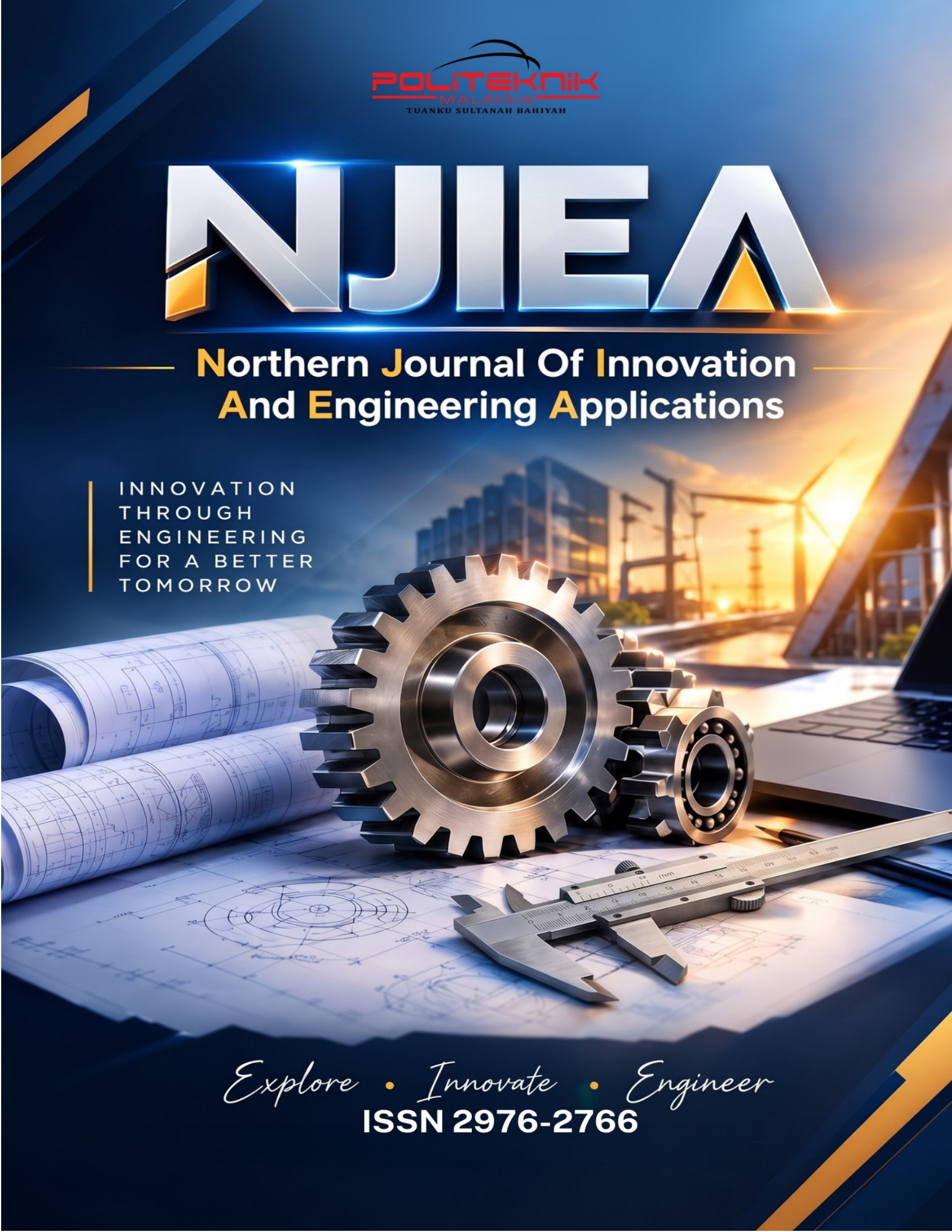

POLITEKNIK
MALAYSIA
TUANKU SULTANAH BAHIYAH
NJIEA
Northern Journal Of Innovation
And Engineering Applications
INNOVATION
THROUGH
ENGINEERING
FOR A BETTER
TOMORROW
Explore • Innovate • Engineer
ISSN 2976-2766

Copyright © 2026 Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored, or transmitted in any form or by any means, whether electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission from Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah.

Published by:
POLITEKNIK TUANKU SULTANAH BAHIYAH
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
KULIM HI-TECH PARK
09090 KULIM, KEDAH

Telephone : 04-403 3333
Fax : 04-403 3033
Email : maklumbalas@ptsb.edu.my

Website: https://ptsb.mypolycc.edu.my

ISSN: 2976-2766

Any enquiries or requests for permission to use the content of this book may be directed to the publisher at the address above.

Disclaimer:
This book is published for informational and educational purposes only. The publisher and authors shall not be held responsible for any errors, interpretations, or actions taken based on the information contained in this book.

Northern Journal of Innovation and Engineering Applications (NJIEA) Vol 1, 2026
ISSN 2976-2766

EDITORIAL BOARD

Hajah Norlili Juwita binti Arshad
Director of Polytechnic Tuanku Sultanah Bahiyah

Dr Mohd Nor Azam bin Mohd Dali
Deputy Director of Academic
Polytechnic Tuanku Sultanah Bahiyah

Log. Abdul Aziz bin Ishak
Deputy Director of Academic Support
Polytechnic Tuanku Sultanah Bahiyah

Ts. Norizah binti Md. Ishak
Head of Unit Penyelidikan, Inovasi dan Pengkomersialan (UPIK)

EDITOR-IN-CHIEF
Dr. Siti Rozakiyah Assurin binti Hassan

EDITORIAL COMMITTEE

Dr. Rahimah binti Abdul Rahman
TS. Dr. Faizatulhaida binti Md Isa
Eda Idoera binti Mohd Yusak
Mohd Khairul bin Domadi
Noor Rafidah binti Md Osman
Kalsom binti Salleh
TS. Nik Noor Zilawati binti Nik Ab. Rahman
TS. Dr. Faizatulhaida binti Md Isa
Nasrul Hisham bin Nasir

REVIEWERS

Dr. Rahimah binti Abdul Rahman
TS. Dr. Faizatulhaida binti Md Isa
Dr. Rossitah binti Selamat
Dr. Siti Rozakiyah Assurin binti Hassan
Dr. Nor Aizam binti Muhamed Yusof
TS. Azhani binti Ariffin
Zarina binti Ismail

Chief Editor's Foreword

Assalamualaikum and warm greetings.

This volume of the Northern Journal of Innovation and Engineering Applications (NJIEA) brings together 23 papers written by lecturers of Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah and their collaborators from Politeknik Ungku Omar, Politeknik Seberang Perai, Kolej Komuniti Tasek Gelugor and Universiti Kebangsaan Malaysia. Eleven papers are written in English and twelve in Bahasa Melayu.

The papers cover a wide spread of work. Several report on teaching and learning in TVET, including gamification, digital media, embedded systems, digital electronics and digital technology in geomatics. Others describe working systems built for real users: IoT monitoring for small poultry and aquaculture operations, a community flood detector, a hybrid IoT and PLC drying house for flood damaged Quran manuscripts, and a solar powered grass cutter. Another group looks at values and ethics, from adab in the age of artificial intelligence to safe touch education within the Muslim family. The volume also includes work on campus sustainability rankings, campus safety culture, wireless communication and operational amplifiers.

Many of these papers start from classroom problems and institutional needs that the authors deal with every day. That is the purpose of this journal. It gives polytechnic lecturers a place to record what they have built and tested, and to share it with colleagues across the TVET system.

I thank all authors for their contributions and their patience during the review and editing process. My thanks also go to the reviewers and the editorial committee for their careful work, and to the management of Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, especially the Director, Hajah Norlili Juwita binti Arshad, and the Unit Penyelidikan, Inovasi dan Pengkomersialan (UPIK), for their continued support.

I hope this volume encourages more lecturers to write and publish their work.

Dr. Siti Rozakiyah Assurin binti Hassan
Chief Editor
Northern Journal of Innovation and Engineering Applications (NJIEA)

Table of Contents

No	Title and Authors	Page
1.	**PENILAIAN IMPAK INTERVENSI PEDAGOGI BERASASKAN PERKAKASAN IOT/ROBOTIK TERHADAP PENCAPAIAN KOGNITIF DAN PENGLIBATAN MINAT (*ENGAGEMENT*) DALAM PEMBELAJARAN SISTEM TERBENAM (*EMBEDDED SYSTEMS*) DALAM KALANGAN PELAJAR TAHAP PERMULAAN** **Nurlina Aimi binti Ramily***, Nor Afifah binti Muhamad Ramzi	8
2.	**IMMERSIVE GAMIFICATION IN VOCATIONAL LEARNING: A MIXED-METHODS STUDY AT A MALAYSIAN POLYTECHNIC** **Norshahidah binti Manaf***	17
3.	**DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE USE OF DIGITAL MEDIA AND THE EFFECTIVENESS OF LEARNING IN CROSS-DISCIPLINARY EDUCATION** **Normawar binti Ali***	21
4.	**COMMUNITY FLOOD DETECTOR: RAIN GAUGE AND ANEMOMETER FUSION WITH REAL-TIME ALARM** **Nor Afifah binti Muhamad Ramzi***, Nurlina Aimi binti Ramily	26
5.	**DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF AN IOT-BASED SMART MECHANICAL EGG INCUBATOR FOR SUSTAINABLE POULTRY PRODUCTION IN MALAYSIA** Azhar bin Fikri, Junaidah binti Ramli, **Wan Khairul Arifin bin Wan Zakaria***	31
6.	**DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CENTRALIZED SMART FEEDING SYSTEM (CSFS) FOR ENHANCED AQUACULTURE PRODUCTIVITY** Izhar bin Ahmad, **Anuar bin Jusoh***, Faizal bin Ahmad	35
7.	**DESIGN AND COMMERCIALISATION OF THE SMART MECHANICAL EGG INCUBATOR (SMEGG): AN IOT-INTEGRATED SOLUTION FOR ENHANCING HATCHING EFFICIENCY IN MALAYSIAN POULTRY SMES** Izhar bin Ahmad, Anuar bin Jusoh, **Wan Khairul Arifin bin Wan Zakaria***	44
8.	**ADAB DAN KECERDASAN BUATAN: SATU ANALISIS KONSEPTUAL DALAM KONTEKS PENGHAYATAN ETIKA DAN PERADABAN DI INSTITUSI POLITEKNIK** **Siti Aishah binti Othman***, Naimah binti Ismail	48
9.	**CHALLENGES FACED BY POLYTECHNIC ENGINEERING LECTURERS IN TEACHING STUDENTS WHO HAVE ONLY PASSED SPM MATHEMATICS** **Mafuzah Nor binti Radzi***, Siti Mariam binti Hussain	54

10.	**CHALLENGES IN INTELLIGENT WIRELESS DATA COMMUNICATION IN THE DIGITALIZATION ERA** **Rahimah binti Abdul Rahman***, Syahril Izwan bin Abdul Yamin, Sharipah binti Daud	60
11.	**SCORE UP, RANK DOWN: INTERPRETING INSTITUTIONAL SUSTAINABILITY PROGRESS WHEN THE UI GREENMETRIC FIELD EXPANDS** **Siti Rozakiyah Assurin binti Hassan***, Mariyati binti Md So'ad	75
12.	**ETIKA DIGITAL DAN PENGGUNAAN INTERNET SECARA BERTANGGUNGJAWAB DALAM KALANGAN PELAJAR POLITEKNIK MALAYSIA: SATU KAJIAN KONSEPTUAL** **Siti Hajar binti Saad @ Mohd Yusoff***, Faizatulhaida binti Md Isa	85
13.	**INTEGRASI TEKNOLOGI DIGITAL DALAM PENGAJARAN BIDANG GEOMATIK DI POLITEKNIK: SATU KERANGKA KONSEP INPUT-PROSES-OUTPUT** **Mustaqiimah binti Muhamad***	96
14.	**KEBERKESANAN PENGGUNAAN DC *POWER SUPPLY TRAINING KIT* DALAM KALANGAN PELAJAR DIPLOMA KEJURUTERAAN ELEKTRIK POLITEKNIK TUANKU SULTANAH BAHIYAH** **Zawiyah binti Mokhtar***, Noorzalina binti Mat Hussein, Amirul Zaharin bin Yusoff	105
15.	**KERANGKA KONSEPTUAL BAGI PENGAJARAN DAN PEMBELAJARAN UKUR KEJURUTERAAN DI POLITEKNIK MALAYSIA** **Nurul Amira binti Din***	113
16.	**KERANGKA KONSEPTUAL GAMIFIKASI DALAM SESI TEORI SISTEM MAKLUMAT GEOGRAFI (GIS): KE ARAH PENINGKATAN PENGLIBATAN PELAJAR KURSUS GIS DI POLITEKNIK MALAYSIA** **Norhayati binti Ahmad***	119
17.	**KONSEP BATAS SENTUHAN DALAM KELUARGA MUSLIM: KE ARAH PEMBINAAN KERANGKA PENDIDIKAN SENTUHAN SELAMAT BERASASKAN MAQASID SYARIAH** **Mazlina binti Omar***, Nurul Asma binti Effendi, Wan Nor Hasnah binti Wan Yunus	130
18.	**METODOLOGI TAFSIR HAMKA TERHADAP AYAT-AYAT SAINTIFIK DALAM TAFSIR AL-AZHAR: ANALISIS AYAT PILIHAN** **Iruwan bin Idris***, Siti Aishah binti Othman, Mazlina binti Omar	139

19.	**OPERATIONAL AMPLIFIERS: A CONCEPTUAL OVERVIEW FOR ELECTRONIC ENGINEERING EDUCATION** **Sharipah binti Daud***, Zunainah binti Hamid	149
20.	**PEMBANGUNAN SISTEM KAWALAN HIBRID IOT–PLC MENGGUNAKAN RASPBERRY PI IRIV DAN PLC OMRON BAGI RUMAH PENGERINGAN Q-DRY** **Khairul Azhar bin Abd Aziz***, Ahmad Sabri bin Mohamed, Imran bin Ismail, Muhd Muslim bin Abu Bakar, Mohamad Hafaif bin Murad	156
21.	**PERANAN PASUKAN INSTITUSI PERTAHANAN AWAM (PISPA) DALAM MEMPERKASA BUDAYA KESELAMATAN KAMPUS: KAJIAN KES DI POLITEKNIK TUANKU SULTANAH BAHIYAH** **Faizatulhaida binti Md Isa***, Muhamad Sujairi bin Yusof, Muhammad Danish Aikhwan bin Muhamad Sujairi	168
22.	**PEMBANGUNAN MESIN RUMPUT SOLAR BERASASKAN BATERI 12 V DAN PENUKAR RANGSANG DC-DC UNTUK PEMOTONGAN RUMPUT BERSKALA KECIL** Adam bin Yusoff, Muhammad Aiman Irfan bin Anuar, **Kalsom binti Salleh***	178
23.	**TEACHING DIGITAL ELECTRONICS COURSES TO ENGINEERING STUDENTS AT MALAYSIAN POLYTECHNICS: CHALLENGES AND EFFECTIVE APPROACHES** **Siti Mariam binti Hussain***, Mafuzah Nor binti Radzi	187

**Corresponding author*

PENILAIAN IMPAK INTERVENSI PEDAGOGI BERASASKAN PERKAKASAN IOT/ROBOTIK TERHADAP PENCAPAIAN KOGNITIF DAN PENGLIBATAN MINAT (*ENGAGEMENT*) DALAM PEMBELAJARAN SISTEM TERBENAM (*EMBEDDED SYSTEMS*) DALAM KALANGAN PELAJAR TAHAP PERMULAAN

Nurlina Aimi binti Ramily*, Nor Afifah binti Muhamad Ramzi

Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: nurlina.aimi@ptsb.edu.my

Abstrak

Perkembangan Revolusi Industri 4.0 (IR4.0) telah menuntut transformasi dalam sistem pendidikan teknikal dan vokasional (TVET) agar pelajar bukan sahaja memahami teori, tetapi juga menguasai kemahiran praktikal berasaskan teknologi semasa seperti *Internet of Things* (IoT) dan robotik. Kajian ini dicadangkan untuk menilai impak intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT dan robotik terhadap pencapaian kognitif serta penglibatan (*engagement*) pelajar dalam pembelajaran topik Sistem Terbenam (*Embedded Systems*). Tumpuan kajian ini diberikan kepada pelajar politeknik tahap permulaan, pelajar sekolah angkat PTSB, dan pelajar sekolah pedalaman yang dikenal pasti mempunyai tahap penguasaan teknologi yang rendah serta pendedahan yang terhad terhadap aplikasi dalam dunia sebenar. Selaras dengan aspirasi Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK) untuk memperkasa pendidikan TVET berasaskan teknologi, intervensi ini direka untuk membolehkan pelajar mengalami proses pembelajaran yang lebih bermakna, interaktif dan inklusif. Reka bentuk kajian ini menggunakan kaedah gabungan (*mixed-method*) yang melibatkan ujian pra dan pasca bagi mengukur peningkatan kognitif, serta soal selidik dan pemerhatian bagi menilai tahap penglibatan pelajar sepanjang aktiviti pembelajaran berasaskan IoT/robotik dijalankan. Analisis data dijangka menggunakan korelasi Pearson bagi menentukan hubungan antara tahap *engagement* dengan peningkatan pencapaian kognitif. Kajian yang dicadangkan ini diharapkan dapat memberikan sumbangan signifikan kepada pembangunan pendekatan pengajaran TVET yang lebih berasaskan teknologi sebenar, menyeluruh, dan selari dengan aspirasi JPPKK dalam melahirkan graduan yang kompeten, inklusif, serta bersedia menghadapi cabaran digital masa kini, di samping menyokong usaha KPM untuk memperkukuh literasi digital dalam kalangan pelajar daripada pelbagai latar belakang.

Kata Kunci: *Internet of Things* (IoT); pencapaian kognitif; penglibatan pelajar; intervensi pedagogi; pembelajaran aktif; robotik; sistem terbenam.

1. Pengenalan

1.1 Latar Belakang Kajian

Perkembangan pesat Revolusi Industri 4.0 (IR4.0) telah mengubah landskap pendidikan teknikal dan vokasional (TVET) secara menyeluruh. Kemunculan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), sistem automasi, dan robotik kini menjadi teras dalam dunia industri dan kejuruteraan moden. Justeru itu, institusi TVET, termasuk politeknik, memainkan peranan penting dalam melahirkan tenaga kerja separa profesional yang bukan sahaja celik teknologi, tetapi juga mampu menyesuaikan diri dengan keperluan industri semasa.

Selaras dengan aspirasi Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK) untuk memperkukuh kualiti pengajaran dan pembelajaran berasaskan teknologi sebenar (*real-world learning*), keperluan untuk pendekatan pedagogi yang lebih inovatif dan praktikal semakin mendesak. Di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB), subjek seperti Sistem Terbenam (*Embedded Systems*) merupakan komponen penting dalam program kejuruteraan, namun pemerhatian menunjukkan masih terdapat pelajar pada tahap permulaan yang berdepan kesukaran memahami konsep abstrak serta aplikasi sebenar sistem tersebut. Antara faktor penyumbang termasuk pendekatan pengajaran berasaskan teori, keterbatasan pendedahan terhadap perkakasan sebenar, serta jurang penguasaan teknologi dalam kalangan pelajar daripada latar sosioekonomi yang berbeza.

Selain itu, PTSB turut mempunyai sekolah-sekolah angkat yang terdiri daripada pelajar sekolah pedalaman dan luar bandar, yang sebahagiannya menunjukkan tahap literasi digital yang rendah. Justeru, projek intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT dan robotik sebenar dicadangkan bukan sahaja untuk meningkatkan pencapaian kognitif dan penglibatan minat pelajar politeknik, tetapi juga sebagai usaha memperluas manfaat kepada komuniti sekolah angkat dan pelajar pedalaman agar mereka tidak ketinggalan dalam arus teknologi semasa.

Pendekatan ini selaras dengan hala tuju JPPKK dalam memperkasa pelaksanaan TVET 4.0, yang menekankan integrasi teknologi digital, pembelajaran berasaskan amali (*hands-on learning*), serta pembentukan pelajar yang holistik dan berkemahiran tinggi. Melalui pelaksanaan kajian ini, diharapkan satu model intervensi pedagogi berasaskan IoT/robotik yang sesuai dapat dibangunkan untuk diaplikasikan secara berterusan dalam pembelajaran sistem terbenam di politeknik dan sekolah-sekolah angkat.

1.2 Penyataan Masalah

Dalam usaha mencapai matlamat TVET 4.0, integrasi teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) dan robotik dalam pengajaran merupakan langkah penting ke arah memperkukuh kebolehpasaran dan kecekapan graduan politeknik. Namun begitu, realiti di lapangan menunjukkan bahawa sebahagian pelajar politeknik, terutamanya pelajar tahap permulaan atau kurang mahir, masih berhadapan dengan cabaran besar dalam menguasai kemahiran berasaskan sistem terbenam (*embedded systems*). Cabaran ini sering berpunca daripada pendekatan pengajaran yang terlalu berasaskan teori, kekurangan pendedahan terhadap perkakasan sebenar, serta jurang kemahiran digital dalam kalangan pelajar yang datang daripada pelbagai latar belakang pendidikan dan sosioekonomi.

Selain itu, pelajar daripada sekolah angkat PTSB dan sekolah pedalaman turut menunjukkan kecenderungan yang sama iaitu kekangan dalam menguasai kemahiran asas pengaturcaraan dan aplikasi teknologi baharu disebabkan kekurangan fasiliti, sumber pembelajaran serta bimbingan langsung daripada tenaga pengajar berpengalaman. Jurang ini boleh menyebabkan mereka ketinggalan dalam arus pendidikan teknologi yang semakin pesat berkembang, sekali gus menjejaskan peluang penyertaan mereka dalam bidang TVET di peringkat lebih tinggi. Walaupun Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK) telah menggariskan kepentingan pendekatan pembelajaran berasaskan amali (*hands-on learning*) dan teknologi sebenar melalui agenda Transformasi TVET 4.0, masih kurang kajian empirikal yang menilai keberkesanan intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT dan robotik sebenar terhadap pencapaian kognitif serta penglibatan pelajar (*student engagement*), khususnya dalam kalangan pelajar politeknik tahap permulaan dan pelajar komuniti sekolah angkat.

Oleh itu, kajian ini dicadangkan untuk menilai sejauh mana intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT dan robotik dapat meningkatkan pencapaian kognitif serta penglibatan dan minat pelajar dalam pembelajaran sistem terbenam. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberi panduan berasaskan bukti (*evidence-based*) kepada pensyarah TVET dalam merancang strategi pengajaran yang lebih inklusif, menarik dan selaras dengan aspirasi JPPKK untuk melahirkan pelajar celik teknologi dan berdaya saing dalam ekosistem pendidikan digital masa kini.

1.3 Objektif Kajian

Secara keseluruhannya, kajian ini bertujuan untuk menilai impak intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT dan robotik terhadap pencapaian kognitif dan penglibatan minat pelajar dalam pembelajaran topik Sistem Terbenam (*Embedded Systems*).

Secara khusus, objektif kajian ini adalah untuk:

(i) Menilai tahap pencapaian kognitif pelajar sebelum dan selepas pelaksanaan intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT/robotik. – Kuantitatif
(ii) Menganalisis tahap penglibatan minat (*engagement*) pelajar dalam pembelajaran menggunakan pendekatan berasaskan perkakasan IoT/robotik. – Kuantitatif
(iii) Menentukan hubungan antara tahap penglibatan pelajar dengan peningkatan pencapaian kognitif selepas intervensi dilaksanakan. – Kualitatif
(iv) Mengenal pasti persepsi pelajar terhadap keberkesanan intervensi pedagogi ini dalam membantu kefahaman dan minat mereka terhadap pembelajaran sistem terbenam. - Kualitatif

Berdasarkan objektif di atas, kajian ini akan menjawab persoalan berikut:

(i) Apakah tahap pencapaian kognitif pelajar sebelum dan selepas pelaksanaan intervensi pedagogi berasaskan perkakasan IoT/robotik?
(ii) Apakah tahap penglibatan minat pelajar dalam pembelajaran Sistem Terbenam menggunakan pendekatan berasaskan perkakasan IoT/robotik?
(iii) Adakah terdapat hubungan yang signifikan antara tahap penglibatan pelajar dengan peningkatan pencapaian kognitif selepas intervensi dilaksanakan?
(iv) Apakah persepsi pelajar terhadap keberkesanan pendekatan pedagogi berasaskan perkakasan IoT/robotik dalam meningkatkan kefahaman dan minat terhadap pembelajaran sistem terbenam?

1.4 Kepentingan Kajian

Kajian ini dijalankan bagi memberikan sumbangan bermakna kepada pembangunan pedagogi berasaskan teknologi dalam pendidikan TVET, khususnya di politeknik dan institusi di bawah Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK). Hasil dapatan daripada kajian ini dijangka memberi manfaat kepada beberapa kumpulan sasaran utama seperti berikut:

(i) *Kepada Pelajar:* Kajian ini dapat membantu pelajar, terutamanya pelajar tahap permulaan dan kurang mahir, memahami konsep abstrak Sistem Terbenam (Embedded Systems) dengan lebih jelas melalui pendekatan amali berasaskan perkakasan sebenar IoT dan robotik. Penggunaan perkakasan sebenar dijangka dapat meningkatkan minat, motivasi, serta penglibatan aktif pelajar dalam proses pembelajaran. Kajian ini juga memberi peluang kepada pelajar sekolah angkat dan pelajar pedalaman untuk mendapat

pendedahan awal terhadap teknologi moden, sekali gus merapatkan jurang digital antara pelajar bandar dan luar bandar.

(ii) *Kepada Pensyarah dan Tenaga Pengajar TVET*: Kajian ini dapat menjadi panduan kepada pensyarah dalam merancang strategi pengajaran yang lebih berkesan dan sesuai dengan tahap penguasaan pelajar. Dapatan kajian boleh digunakan untuk membangunkan modul pengajaran berasaskan perkakasan IoT/robotik, yang bukan sahaja meningkatkan kefahaman pelajar tetapi juga menjadikan proses pembelajaran lebih interaktif dan menyeronokkan. Selain itu, kajian ini dapat membantu pensyarah menilai keberkesanan pendekatan pedagogi baharu yang sejajar dengan tuntutan Industri 4.0 dan prinsip pembelajaran aktif (*active learning*).

(iii) *Kepada Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK)*: Kajian ini menyokong aspirasi JPPKK dalam pelaksanaan agenda Transformasi TVET 4.0, yang menekankan integrasi teknologi digital dan pendekatan *hands-on* dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Dapatan kajian ini boleh dijadikan rujukan oleh JPPKK untuk memperkukuh dasar, garis panduan dan pelaksanaan intervensi pedagogi berbasis teknologi di seluruh politeknik dan kolej komuniti. Kajian ini juga sejajar dengan matlamat JPPKK untuk melahirkan graduan TVET yang kompeten, inovatif dan berdaya saing di peringkat nasional dan antarabangsa.

(iv) *Kepada Komuniti dan Sekolah Angkat PTSB*: Melalui aktiviti kolaboratif dengan sekolah angkat dan komuniti setempat, kajian ini berpotensi memperluaskan manfaat pembelajaran teknologi kepada pelajar di sekolah-sekolah pedalaman. Ia dapat memperkukuh hubungan strategik antara PTSB dan sekolah angkat, sekali gus menyumbang kepada pembangunan literasi digital dalam kalangan pelajar di kawasan luar bandar.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini memfokuskan kepada pembangunan dan penilaian keberkesanan alat pembelajaran berasaskan perkakasan sebenar IoT dan robotik, yang direka bagi meningkatkan kefahaman pelajar terhadap konsep Sistem Terbenam (*Embedded Systems*). Skop kajian tertumpu kepada:

(i) *Kumpulan Sasaran*: Kajian melibatkan pelajar Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB) yang mengikuti kursus berkaitan Sistem Terbenam pada tahap permulaan, serta pelajar sekolah menengah daripada sekolah angkat PTSB, termasuk sekolah-sekolah di kawasan pedalaman.

(ii) *Kandungan Pembelajaran*: Fokus utama adalah pada pengajaran asas sistem terbenam, kawalan input-output, serta aspek asas sistem terbenam dan IoT menggunakan platform mikropengawal seperti ESP32 atau Arduino, dan tidak melibatkan aplikasi industri berskala besar serta integrasi asas *Internet of Things* (IoT) melalui pendekatan berasaskan perkakasan sebenar dan aktiviti amali.

(iii) *Pendekatan Kajian*: Kajian ini menilai tahap kefahaman, minat, dan penglibatan pelajar sebelum dan selepas penggunaan kit pembelajaran tersebut melalui kaedah kuantitatif (soal selidik) dan kualitatif (pemerhatian dan temu bual).

(iv) *Konteks Pelaksanaan*: Kajian akan dijalankan dalam konteks pendidikan politeknik dan sekolah, sejajar dengan hasrat JPPKK dan Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) untuk memperkukuh integrasi teknologi digital dalam pendidikan TVET. Kajian bergantung kepada kemudahan makmal dan perkakasan yang sedia ada di PTSB, serta sokongan daripada sekolah angkat. Faktor kekangan peralatan atau infrastruktur ICT di sekolah pedalaman boleh mempengaruhi hasil kajian.

2. Metodologi

2.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan gabungan (*mixed-method*) yang mengintegrasikan kaedah kuantitatif dan kualitatif (Rajah 1). Kaedah kuantitatif dilaksanakan melalui ujian pra dan pasca untuk menilai pencapaian kognitif pelajar dalam topik Sistem Terbenam (*Embedded Systems*). Kaedah kualitatif pula menggunakan soal selidik dan pemerhatian bagi menilai tahap penglibatan (*engagement*) pelajar sepanjang aktiviti pembelajaran berasaskan perkakasan IoT dan robotik dijalankan. Pendekatan gabungan ini membolehkan kajian menilai bukan sahaja pencapaian akademik, tetapi juga aspek motivasi dan interaksi pelajar dalam proses pembelajaran.



Rajah 1. Cadangan reka bentuk kit pembelajaran

2.2 Populasi dan Sampel

Populasi kajian terdiri daripada:

(i) Pelajar politeknik tahap permulaan.
(ii) Pelajar sekolah angkat PTSB.
(iii) Pelajar sekolah pedalaman dengan pendedahan teknologi rendah.

Sampel pada Jadual 1 dipilih menggunakan *purposive sampling* untuk memastikan peserta yang terlibat mempunyai latar belakang berbeza dalam penguasaan teknologi, tetapi relevan dengan objektif kajian. Jumlah sampel dijangka seramai 60-90 orang.

Jadual 1. Cadangan populasi dan sampel

Kategori Pelajar	Jumlah Sampel (Cadangan)
Politeknik Tahap Permulaan	30
Sekolah Angkat PTSB	20
Sekolah Pedalaman	20

2.3 Instrumen Kajian

Data kajian ini akan dikumpulkan menggunakan gabungan instrumen kuantitatif dan kualitatif. Ujian pra dan pasca akan menjadi instrumen utama untuk mengukur pencapaian kognitif yang direka bentuk untuk menilai secara langsung pengetahuan dan kefahaman pelajar tentang konsep-konsep teras Sistem Terbenam sebelum intervensi (ujian pra) dan segera selepas intervensi selesai (ujian pasca). Selain itu, aspek afektif diukur menggunakan Soal Selidik

Engagement Pelajar, yang merupakan instrumen berasaskan Skala Likert 5-tahap. Soal selidik ini memberi tumpuan kepada penilaian kendiri pelajar terhadap minat, keyakinan, dan motivasi mereka sepanjang intervensi praktikal IoT/Robotik. Akhir sekali, pemahaman mendalam tentang tingkah laku pelajar diperoleh melalui Borang Pemerhatian yang distrukturkan, di mana pensyarah/penyelidik akan mencatat dan menilai secara sistematik interaksi pelajar, tahap kerjasama dalam kumpulan, dan penglibatan aktif mereka semasa sesi pembelajaran hands-on menggunakan kit perkakasan tersebut.

2.4 Prosedur Kajian

Kajian ini telah dilaksanakan melalui empat fasa utama iaitu: Persediaan, Pengukuran Pra-Intervensi, Intervensi dan Pelaksanaan, serta Pengukuran Pasca-Intervensi.

(i) *Fasa 1: Pengenalan dan Persediaan*: Proses kajian dimulakan dengan fasa persediaan yang melibatkan semua peserta kajian. Pada peringkat ini, pensyarah/penyelidik memberi Pengenalan ringkas mengenai Modul Sistem Terbenam (*Embedded Systems*) yang akan dipelajari, serta gambaran keseluruhan tentang perkakasan IoT/Robotik yang akan digunakan. Sesi latihan ringkas (*briefing*) turut dijalankan untuk membiasakan peserta dengan pengendalian peralatan, perisian pengekodan, dan protokol keselamatan standard. Langkah ini penting untuk memastikan semua pelajar tahap permulaan mempunyai pengetahuan asas yang seragam tentang alat sebelum memulakan aktiviti pembelajaran.

(ii) *Fasa 2: Ujian Pra dan Intervensi Utama*: Setelah fasa persediaan selesai, peserta menduduki ujian pra untuk menilai tahap pengetahuan sedia ada dan kefahaman kognitif awal mereka tentang topik Sistem Terbenam. Keputusan ujian pra ini menjadi garis dasar untuk menilai impak intervensi. Seterusnya, fasa Intervensi Pembelajaran Berasaskan IoT/Robotik dimulakan. Dalam fasa ini, peserta terlibat dalam aktiviti praktikal *hands-on* yang direka secara pedagogi. Pembelajaran berlaku melalui tugasan berasaskan projek mini, di mana pelajar dikehendaki menggunakan perkakasan IoT dan robotik untuk menyelesaikan masalah praktikal, sekali gus mengukuhkan kefahaman teori dan aplikasi secara bersepadu.

(iii) *Fasa 3: Pengumpulan Data Semasa dan Selepas Intervensi*: Sepanjang fasa intervensi, dua instrumen utama digunakan untuk mengumpul data secara berterusan. Borang pemerhatian digunakan oleh pensyarah/penyelidik untuk menilai tingkah laku peserta, terutamanya dari segi interaksi, kerjasama dalam kumpulan, dan tahap keaktifan sepanjang sesi praktikal. Selain itu, soal selidik *engagement* pelajar dilaksanakan segera selepas setiap modul pembelajaran praktikal selesai. Pendekatan ini membolehkan penyelidik menilai perubahan minat, motivasi, dan penglibatan pelajar secara dinamik dan tepat pada masanya, serta merekodkan respons afektif mereka sejurus selepas berinteraksi dengan perkakasan tersebut.

(iv) *Fasa 4: Ujian Pasca dan Penutup*: Fasa akhir kajian adalah untuk mengukur hasil pembelajaran. Peserta kajian menduduki ujian pasca, yang mempunyai soalan yang serupa dengan ujian pra, bagi menilai peningkatan pencapaian kognitif selepas selesai keseluruhan intervensi. Perbandingan antara skor pra dan pasca akan digunakan untuk menentukan keberkesanan intervensi ini. Setelah selesai pengumpulan semua data, sesi rumusan dan penutup diadakan untuk mendapatkan maklum balas lisan tambahan dan menamatkan prosedur kajian. Aliran prosedur kajian ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2. Aliran prosedur kajian

2.5 Analisis Data

2.5.1 Data Kuantitatif

(i) Markah ujian pra dan pasca dianalisis menggunakan korelasi Pearson untuk menentukan hubungan antara tahap *engagement* dan peningkatan pencapaian kognitif.
(ii) Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan prestasi pelajar.

2.5.2 Data Kualitatif

Data daripada soal selidik dan pemerhatian dianalisis secara tematik untuk mengenal pasti corak penglibatan, motivasi, dan cabaran semasa pembelajaran berasaskan IoT/robotik.

3. Kesimpulan

Kajian ini dilaksanakan bagi menilai keberkesanan pendekatan pengajaran berasaskan perkakasan Internet of Things (IoT) dan robotik dalam meningkatkan pencapaian kognitif serta tahap penglibatan pelajar dalam pembelajaran topik Sistem Terbenam (Embedded Systems).

Melalui intervensi yang dilaksanakan, pelajar bukan sahaja berpeluang menghubungkan teori dengan aplikasi dunia sebenar, tetapi turut mengalami proses pembelajaran yang lebih bermakna, interaktif dan menyeronokkan.

Dapatan kajian dijangka menunjukkan bahawa pendekatan berasaskan IoT dan robotik mampu meningkatkan kefahaman konsep teknikal pelajar serta mendorong minat terhadap bidang TVET berasaskan teknologi. Peningkatan skor pasca ujian dan maklum balas positif daripada soal selidik *engagement* membuktikan bahawa penggunaan pendekatan ini dapat membina kemahiran abad ke-21 seperti penyelesaian masalah, kolaborasi, dan pemikiran kreatif.

Selain itu, kajian ini turut memberi implikasi penting terhadap aspirasi Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK) dalam memperkukuh pendekatan pengajaran TVET yang selaras dengan keperluan Revolusi Industri 4.0. Pendekatan pengajaran yang lebih berpusatkan pelajar, berpaksikan teknologi sebenar, dan inklusif ini mampu memperkasakan pelajar daripada pelbagai latar belakang termasuk mereka dari kawasan pedalaman dan sekolah angkat politeknik agar tidak ketinggalan dalam arus digital semasa.

Secara keseluruhannya, kajian ini diharapkan dapat menyumbang kepada pembangunan model pembelajaran TVET yang inovatif, holistik, dan lestari. Pengintegrasian IoT dan robotik dalam kurikulum bukan sahaja memperkukuh kemahiran teknikal pelajar, malah menyemai nilai ingin tahu, tanggungjawab, serta keupayaan menyesuaikan diri dengan perubahan teknologi pada masa hadapan. Dengan itu, pendidikan TVET dapat terus melahirkan graduan yang berdaya saing, kompeten dan selari dengan keperluan industri digital negara.

Rujukan

[1] M. Mohaffyza Mohamad, A. Fazieha Zakaria, A. Ahmad and H. Mohd Affendi, “Improvement of TVET’s Educators Competency in Heutagogy Context,” *Online Journal for TVET Practitioners*, vol. 6, no. 2, pp. 35–40, 2021.

[2] M. A. Mohammad Hussain, R. Mohd Zulkifli, A. Kamis, M. D. Threeton and K. Omar, “Industrial Engagement in the Technical and Vocational Training (TVET) System,” *International Journal of Learning*, Teaching and Educational Research, vol. 20, no. 12, pp. 19–34, Dec. 2021.

[3] M. A. Aripin, M. H. M. Hisham, M. I. Zainuddin, M. R. Pairan, M. Z. A. Hamid and S. Ali Al-Shami, “Role of Malaysia TVET Teachers’ Training Institutions toward Industry and Education 4.0,” *RIGEO – Review of International Geographical Education Online*, vol. 11, no. 8, Aug. 2021.

[4] S. Rajamanickam, R. Che’ Rus and M. N. Abdul Raji, “Enhancing TVET for a Digital-Ready Workforce: A Systematic Literature Review,” *International Journal of Modern Education (IJMOE)*, [online], 2024 (DOI: 10.35631/IJMOE.623060).

[5] N. R. Mohd Rokeman, C. G. Che Kob, F. W. Othman, H. Che Sobry, M. L. Mohd Raffi, S. A. Mohd Nong, M. F. Untong and M. N. Mohd Yaacob, “Navigating Digital Competence in TVET Education: Overcoming Challenges and Harnessing Opportunities for Industry 4.0,” *Jurnal Pendidikan Bitara UPSI*, vol. 17, Special Issue 2, pp. 200-215, Nov. 2024.

[6] E. A. Hamid, H. Maskur and R. Abdul Mutalib, “The Use of ChatGPT Applications in Learning: Impact on Understanding and Student Engagement in TVET Institutions,” *Malaysian Journal of Information and Communication* Technology (MyJICT), vol.8, no.2, 2023.

[7] A. A.-M. Ridzuan and N. Syafawani Junaidi, “Artificial Intelligence Technology Adoption in TVET: A Survey From the Perspective of Lahad Datu Community College Students,” *Borneo International Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 31–38, Dec. 2023.

[8] M. Ridzuan Idris, S. Ifrad Ibrahim and N. Mohd Zan, “Usability and Effectiveness of AI TVET Robotics Trainer for Enhancing Learning in Robotics and AI,” *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development (IJARPED),* vol. 14, no. 1, pp. 2387–2392, Mar. 2025.

[9] “HI-TVET strengthened with focus on robotics, IoT, AI – Ahmad Zahid,” Bernama via The Sun Malaysia, 11 Mar. 2025.

[10] A. F. Othman, M. Othman, Z. H. Zaini, Z. Salakin and M. Tamilselvan, “IoT Implementation in Malaysian SMEs: A Strategic Analysis of Enablers and Challenges,” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, [online], Sept. 2025 (DOI: 10.54554/jtec.2025.17.03.006).

IMMERSIVE GAMIFICATION IN VOCATIONAL LEARNING: A MIXED-METHODS STUDY AT A MALAYSIAN POLYTECHNIC

Norshahidah binti Manaf*

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: norshahidah@ptsb.edu.my

Abstract

This study examines the impact of immersive gamification on vocational learning at a Malaysian polytechnic. Using a mixed-methods design, the research explores how augmented and virtual reality (AR/VR), narrative-driven quests, and collaborative challenges influence student engagement, motivation, and academic performance. Quantitative results revealed significant improvements in post-test achievement and attendance, while qualitative findings highlighted enhanced learner agency, confidence, and collaboration. The study identifies best practices, challenges, and strategic recommendations for sustainably implementing gamified learning in Technical and Vocational Education and Training (TVET). It concludes that immersive gamification serves as an effective pedagogical strategy that bridges traditional vocational instruction with experiential, technology-driven engagement.
Keywords: augmented reality; immersive gamification; student engagement; polytechnic; TVET; virtual reality.

1. Introduction

Contemporary education is witnessing a profound transformation driven by digital innovation and learner-centred pedagogies. Among these, gamification, the integration of game mechanics into educational settings, has emerged as a promising strategy to enhance engagement and learning outcomes. In Technical and Vocational Education and Training (TVET), which emphasises skill-based and experiential learning, gamification offers a dynamic way to bridge theory and practice.

This study focuses on immersive gamification, an advanced approach that incorporates AR/VR technologies, narrative storytelling, and collaborative game elements. Conducted at Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB), the research examines how immersive gamification influences cognitive and behavioural engagement among vocational students. The study also aims to identify implementation challenges and offer strategic recommendations to optimise its adoption across the TVET ecosystem.

2. Literature Review

2.1 Concept of Gamification

Gamification is broadly defined as applying game elements such as points, badges, and leaderboards to non-game contexts [1]. It leverages intrinsic motivation by transforming routine learning activities into engaging, goal-oriented experiences. Saari [2] emphasises that gamified environments reposition learners as active participants, fostering curiosity and sustained engagement. In such environments, motivation becomes self-reinforcing, leading to deeper cognitive processing.

2.2 Immersive Gamification and Learning Impact

Immersive gamification extends beyond surface-level game mechanics by integrating sensory-rich experiences such as AR/VR, narrative quests, and simulation-based challenges. Fernandes et al. [3] argue that immersive designs cultivate higher-order thinking skills, including critical reasoning, collaboration, and creative problem-solving. These immersive contexts create authentic simulations that mirror workplace realities, a crucial advantage in vocational training.

However, scholars such as Klock et al. [4] caution that gamification's appeal should not overshadow pedagogical integrity. Overemphasis on entertainment risks trivialising learning objectives. Therefore, effective gamified design must balance fun and functionality, ensuring engagement enhances, rather than distracts from, educational outcomes.

2.3 Gamification in Vocational Education

TVET programs focus on hands-on skills and applied competencies. Traditional lecture-based instruction often struggles to maintain motivation and relevance in such contexts. Immersive gamification offers a framework that aligns with the practical ethos of vocational learning. By situating knowledge within interactive narratives and collaborative problem-solving, gamification can strengthen both cognitive retention and psychomotor skills. This study contributes to the evolving body of research by empirically examining these effects within a Malaysian polytechnic.

3. Methodology

3.1 Research Design

This research employed a mixed-methods approach using an explanatory sequential design. Quantitative data were collected to assess gamification's impact on student performance, followed by qualitative exploration to contextualise learners' experiences. This pragmatic combination provided a holistic understanding of how immersive gamification shapes vocational learning.

3.2 Participants and Setting

The study took place at PTSB and involved 120 students from the Department of Mechanical Engineering. Participants represented a diverse range of skill levels and socio-economic backgrounds. The intervention spanned six to eight weeks within a core technical subject and integrated game-based modules alongside standard curriculum requirements.

3.3 Gamified Learning Design

The gamified module featured four progressive levels:

Level 1: Avatar creation and narrative introduction.

Level 2: Weekly quests and AR/VR-based simulations.

Level 3: Practical assessments framed as technical challenges.

Level 4: Capstone group project and reflective debriefing.

Students participated through the Moodle learning platform enhanced with gamification plugins, AR/VR simulations, and communication channels such as Discord. Lecturers served as Game Masters, providing narrative feedback and guidance throughout the learning journey.

3.4 Data Collection and Analysis

Data collection employed both quantitative and qualitative instruments: Pre- and post-tests measured cognitive improvement. The Gamification Engagement Scale (GES) assessed motivation and engagement. Attendance logs tracked participation. Semi-structured interviews and reflective journals captured students' perceptions. Quantitative data were analysed using paired t-tests and ANOVA to determine statistical significance. The qualitative data underwent thematic and narrative analysis to identify emergent themes related to learner identity, collaboration, and emotional engagement.

3.5 Ethical Considerations

Ethical approval was obtained from the institutional review board. Participation was voluntary, and confidentiality was maintained throughout. Informed consent was collected from all participants, who retained the right to withdraw without penalty.

4. Results and Discussion

4.1 Academic Achievement

Post-test results ($M = 77.8$) showed significant improvement over pre-test scores ($M = 61.3$), $p < 0.001$, indicating that immersive gamification enhanced cognitive performance. This aligns with Hamari et al. [1], who observed that game-based reinforcement sustains learner engagement and promotes mastery.

4.2 Engagement and Motivation

The GES revealed a 32% increase in motivational indices, with task completion rates rising from 67% to 93%. Attendance improved from 80% to 92%. Students reported that the gamified structure transformed mundane coursework into exciting missions, instilling a sense of autonomy and purpose.

4.3 Learner Experiences

Qualitative narratives underscored increased confidence, collaboration, and creativity. Students said that learning through quests and challenges made applying knowledge more meaningful. One participant described the experience as "learning by doing in a world that feels real." These findings affirm the social and emotional dimensions of gamified learning noted by Fernandes et al. [3].

4.4 Instructor Observations and Challenges

Lecturers observed improved problem-solving and peer dialogue but noted challenges in content design and time management. Some students desired deeper theoretical reinforcement. Infrastructure limitations, such as a limited number of VR devices, also constrained scalability.

5. Conclusion

The findings demonstrate that immersive gamification significantly enhances motivation, engagement, and academic outcomes among vocational learners. By embedding AR/VR simulations, collaborative quests, and narrative-driven tasks, educators can create transformative learning experiences aligned with 21st-century skills. However, successful integration requires institutional support, including digital infrastructure, professional training, and curriculum redesign.

6. Recommendations

Institutions should establish dedicated gamification laboratories and strengthen digital infrastructure to support immersive learning. Educators need structured training to design and facilitate gamified instruction effectively. Gamification principles should be embedded within the core curriculum rather than treated as supplementary tools, and monitoring frameworks should be put in place to assess long term effectiveness and learner outcomes. At the national level, the inclusion of gamified strategies in TVET policies would ensure consistency across institutions.

References

[1] J. Hamari, J. Koivisto, and H. Sarsa, “Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification,” *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2014.

[2] T. Saari, “Gamified learning environments and intrinsic motivation: Reframing the learner experience,” *Educational Technology Research*, vol. 30, no.4, pp. 213-229, 2022.

[3] J. Fernandes et al., “Immersive Learning Environments in Vocational Education: Impacts and implications,” *Journal of Educational Innovation*, vol. 15(2), pp. 45–59, 2022.

[4] A. C. Klock, I. Gasparini, M. Pimenta, and J. Hamari, “Balancing fun and learning: Designing effective gamified learning systems,” *Computers and Education*, vol. 194, 104688, 2023.

DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE USE OF DIGITAL MEDIA AND THE EFFECTIVENESS OF LEARNING IN CROSS-DISCIPLINARY EDUCATION

Normawar binti Ali*

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: normawar@ptsb.edu.my

Abstract

This study examined the relationship between digital media use and learning effectiveness in interdisciplinary education at polytechnics. Digital transformation in technical education has introduced new media such as simulations, interactive videos, and AR/VR applications, but implementation remains inconsistent and less effective. This study uses a quantitative design with qualitative support and includes lecturers and students from various fields. Data will be collected through structured questionnaires and semi-structured interviews and analysed using descriptive statistics, Pearson correlation, and multiple regression. The study is expected to identify levels of digital media use and learning effectiveness, as well as the factors that influence them. These findings will inform the development of a more comprehensive and effective interdisciplinary digital teaching and learning strategy. This study is expected to strengthen digital education policies at polytechnics and support national TVET goals for 21st-century learning.
Keywords: digital media; teaching and learning; TVET.

1. Introduction

Rapid advances in digital technology have transformed the global education landscape, including technical and vocational education (TVET). Today's learning environment is no longer limited to traditional classrooms; it now integrates various forms of digital media, such as interactive videos, augmented reality (AR) simulations, virtual reality (VR), and online learning platforms. This innovation enables a more immersive, collaborative, and self-directed learning experience that aligns with the needs of today's digital-generation students. In polytechnics, digital media increasingly supports teaching and learning across academic fields such as mechatronics engineering, creative technology, and computer science. The cross-disciplinary learning approach emphasises integrating knowledge from various fields to solve real problems, strengthening students' ability to think critically, innovate, and collaborate.

However, the effectiveness of using digital media to promote cross-disciplinary learning remains empirically under-explored, especially in the context of polytechnics in Malaysia. Previous studies show that digital media can increase student engagement, motivation, and understanding of learning content. However, the relationship between digital media use and learning effectiveness in interdisciplinary collaboration remains unclear. Several institutions have implemented various digital initiatives, but their effectiveness often varies by field, lecturers' digital skills, and students' acceptance of the technology. In addition, challenges in implementing interdisciplinary teaching and learning also involve factors such as curriculum design, teaching approaches, and lecturers' skills in meaningfully integrating technology. If digital media integration is poorly planned, it risks becoming a mere side activity that does not impact learning. Therefore, an applied study is needed to determine the relationship between digital media use and learning effectiveness in interdisciplinary education, especially in a polytechnic environment that emphasises a balanced mastery of technical and soft skills.

This study is expected to contribute to technical education by providing empirical evidence on the real impact of digital media on the effectiveness of cross-disciplinary teaching. The study's results can also inform stronger digital teaching strategies at polytechnics, guide professional development policies for lecturers, and support an integrated learning approach better aligned with industry needs and the Industrial Revolution 4.0.

2. Problem Statement

Although digital transformation in technical education is increasingly being carried out, the reality is that the implementation of digital media-based teaching and learning in polytechnics is still inconsistent and ineffective. Many departments or fields implement digital initiatives in isolation, without comprehensive cross-disciplinary integration. This leaves learning siloed, while today's world of work demands that students think and collaborate across fields. In addition, lecturers often use digital media cosmetically rather than strategically, using it to attract students' attention without ensuring deeper understanding or improved learning outcomes. Most digital activities in TVET institutions fail to achieve their true learning objectives because they lack solid pedagogical planning. As a result, students become passive users of technology, rather than active explorers in the learning process.

Instead, they become passive users of technology rather than active explorers in the learning process. Furthermore, uneven digital literacy between lecturers and students hinders the effective implementation of digital teaching and learning. Some lecturers still rely on conventional methods and feel less confident implementing an interdisciplinary approach through digital media. As a result, the full potential of digital media to facilitate collaborative learning is not being utilised. More worryingly, strong empirical evidence is lacking on the extent to which digital media use affects the effectiveness of interdisciplinary learning in Malaysian polytechnics. Most previous studies have focused on general perceptions or short-term assessments, without analysing the relationship between digital media use and student learning outcomes.

3. Study Objectives and Research Questions

The general objective of this study is to determine the relationship between digital media use and learning effectiveness in the context of interdisciplinary education at polytechnics. The specific objectives are:

(i) Identify the level of use of digital media in interdisciplinary teaching and learning among lecturers and polytechnic students.
(ii) Assess the level of learning effectiveness of students involved in teaching and learning based on interdisciplinary digital media.
(iii) Determine the relationship between the use of digital media and the effectiveness of learning in the context of interdisciplinary education at polytechnics.
(iv) Analyse the factors that influence the effectiveness of the implementation of digital teaching and learning, including lecturer readiness, infrastructure support, and the level of digital literacy of students.

Research questions:

(i) What is the level of use of digital media in interdisciplinary teaching and learning at polytechnics?
(ii) What is the level of learning effectiveness of students who follow interdisciplinary digital media-based teaching and learning?

(iii) Is there a significant relationship between the use of digital media and the effectiveness of student learning in an interdisciplinary context?
(iv) What factors influence the effectiveness of interdisciplinary digital teaching and learning at polytechnics?

4. Methodology

4.1 Study Design

This study uses a quantitative survey research design to determine the relationship between digital media use and learning effectiveness in interdisciplinary education at polytechnics. This approach allows data to be collected from a large number of respondents for statistical analysis. In addition, a mixed-method study method will be used in support through semi-structured interviews with several selected lecturers.

4.2 Population and Study Sample

The study population consisted of polytechnic lecturers and students involved in cross-disciplinary teaching and learning, particularly in the fields of Mechatronics, Creative Technology, and Computer Science. The sample was selected using stratified random sampling to ensure that each field was represented. Sample size: 100–150 students and 30–40 lecturers.

4.3 Research Instruments

A structured questionnaire with four sections: (A) demographics; (B) level of digital media use; (C) level of learning effectiveness; (D) moderator factors. A 5-point Likert scale was used. Content validity was peer-reviewed, and reliability was assessed using Cronbach's Alpha ($\alpha \geq 0.7$).

5. Research Hypothesis and Conceptual Framework

Null Hypothesis (H0) and Alternative Hypothesis (H1):

(i) $H0_1$: There is no significant relationship between the use of digital media and the effectiveness of interdisciplinary learning at polytechnics.

(ii) $H1_1$: There is a significant relationship between the use of digital media and the effectiveness of interdisciplinary learning at polytechnics.

(iii) $H0_2$: The factors of lecturer readiness, infrastructure support, and student digital literacy do not affect the effectiveness of digital teaching and learning.

(iv) $H1_2$: The factors of lecturer readiness, infrastructure support, and student digital literacy significantly affect the effectiveness of digital teaching and learning.

The study's conceptual framework (Fig. 1) describes the relationship between the independent variable (use of digital media) and the dependent variable (learning effectiveness), with moderator factors (lecturer readiness, student digital literacy, infrastructure support) that can strengthen or weaken this relationship.

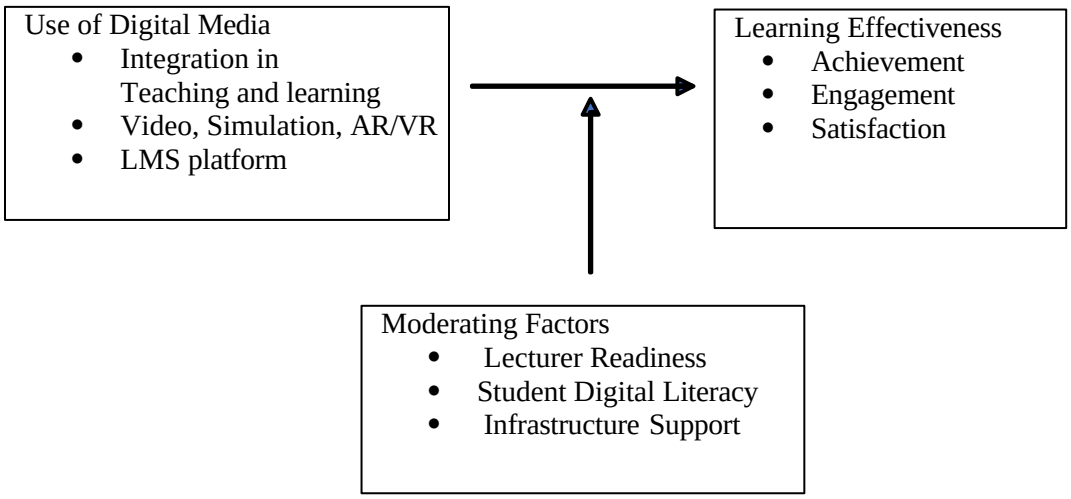


Fig. 1. The study's conceptual framework

6. Data Collection Methods

Data will be collected via online forms (Google/Microsoft Forms) and physical distribution, after permission is obtained. All respondents were given informed consent forms; semi-structured interviews involved 6–8 lecturers.

6.1 Data Analysis Methods

Descriptive analysis (mean, standard deviation, percentage), Pearson correlation for X–Y relationships, and multiple regression to assess moderator influences. Qualitative data will be analysed using thematic analysis.

6.2 Study Duration

The study is expected to take 12 months and will be divided into four consecutive phases, as shown in Table 1.

6.3 Study Ethics

The study complies with the Ministry of Education's ethical guidelines; data will be kept confidential, and respondents can withdraw at any time.

Table 1. Study time plan (12 months)

Phase	Activities	Duration
Phase 1	Literature review Instrument construction Expert Review	Month 1-2
Phase	Data collection (questionnaire and Interview)	Month 3 - 6
Phase	Data analysis and discussion of findings	Month 7 - 9
Phase	Report writing, Presentation of results Publication	Month 10 - 12

7. Conclusion

This study's findings are expected to contribute significantly across empirical, pedagogical, professional, and institutional dimensions. This study will produce strong empirical evidence, based on statistical analysis, to demonstrate the relationship between the use of digital media and the effectiveness of interdisciplinary learning in polytechnics, which will then serve as a scientific reference to support the development and improvement of the Digital TVET Framework policy at the national level. Based on the results of the analysis, this study will also formulate a set of practical interdisciplinary digital teaching and learning strategies that can be applied by lecturers in various departments to increase student engagement, strengthen collaboration between disciplines, and promote active and student-centred learning.

In addition, a professional training guide for TVET lecturers will be developed to help improve their skills in using digital media effectively, especially in terms of digital pedagogical design, technology-based assessment, and online teaching and learning management. The study's findings will also be published as journal articles, seminar proceedings, and national and international presentations to expand knowledge dissemination and strengthen the reputation of polytechnic research.

Overall, this study will contribute to strengthening Malaysia's Digital TVET policy, improving the quality of teaching and learning, and the effectiveness of student learning, as well as enhancing the marketability of graduates through mastery of collaboration skills, cross-disciplinary communication, and digital literacy that are in line with the needs of the Industrial Revolution 4.0 industry.

References

[1] R. Huang, J. M. Spector, and D. Yang, “Educational Technology: A Primer for the 21st Century,” *Springer*, 2022.

[2] M. Rahman and M. Ismail, “Digital Simulation in TVET Education: Impact on Learning Performance,” *J. Tech. Educ*., vol. 5, no. 3, pp. 44–53, 2023.

[3] R. E. Mayer, Multimedia Learning, 3rd ed. Cambridge University Press, 2020.

[4] Y. Lim and W. Wong, “Pedagogical Design and Technology Use in Technical Education,” *Int. J. Educ. Innov*., vol. 8, no. 2, pp. 23–35, 2023.

[5] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum, 1992.

COMMUNITY FLOOD DETECTOR: RAIN GAUGE AND ANEMOMETER FUSION WITH REAL-TIME ALARM

Nor Afifah binti Muhamad Ramzi*, Nurlina Aimi binti Ramily

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: norafifah@ptsb.edu.my

Abstract

Flooding is a recurring problem in Malaysia and Southeast Asia, and low-cost, community-based monitoring systems are lacking. This article designs and assesses an affordable Community Flood Detector that integrates water-level, rain-gauge, and wind (anemometer) data with real-time alarms and phone alerts. The prototype integrates an ultrasonic water-level sensor, tipping-bucket rain gauge, cup anemometer, and an ESP32 microcontroller with Blynk-based dashboards and notification alerts. Field trials and user surveys (n=63) were used to validate detection thresholds and notification response. The fused multi-sensor system improved situational awareness compared to single-parameter devices: reliable notifications were produced at prescribed heights (25 cm, 50 cm, 80 cm), and community feedback showed 93.6% positive acceptance for preparedness value. Limitations included ultrasonic drift in open environments and power constraints for long-term deployment. The Community Flood Detector demonstrates a practical, low-cost approach for near-real-time community flood early warning. Future work will focus on LoRaWAN communications, solar power, and machine-learning-based short-term forecasting.
Keywords: community monitoring; early warning system; flood detection; Internet of Things (IoT); rain gauge; real-time alarm; wireless sensor network.

1. Introduction

Floods are among the most frequent and destructive natural hazards in Malaysia and the wider Maritime Southeast Asia region, driven by intense monsoon rains, rapid land-use changes, and climate variability. Early warning and local monitoring are essential to community preparedness and reducing losses. Conventional hydrometric networks provide accurate stage and discharge measurements but are costly to deploy and maintain, leaving many small catchments under-instrumented. Recently, low-cost Internet of Things (IoT) approaches have proliferated; however, many systems rely on a single parameter (typically water level), which can miss rainfall-driven or wind-related compounding risks. To address these gaps, this work presents a Community Flood Detector that fuses water level, rain intensity, and wind speed measurements with a real-time alarm and mobile notifications, improving local situational awareness and prompting timely community action.

The objective of this paper is to:

(i) describe the prototype design and deployment adapted from the uploaded diploma thesis prototype (assembly, sensor shielding, and Blynk integration),
(ii) evaluate system performance in field tests, and
(iii) compare findings with recent IoT flood monitoring literature. Contributions include a pragmatic multi-sensor fusion design using commodity components (HC-SR04 ultrasonic sensor, tipping-bucket rain gauge, cup anemometer, ESP32), an implementation of Blynk

notification logic for tiered alarms (25-80 cm thresholds), and a user acceptance survey demonstrating community utility.

2. Related Work

IoT-based flood monitoring has expanded rapidly over the past five years, combining sensors, wireless communications, and cloud platforms for real-time alerts. Multi-modal river monitoring approaches have been shown to produce richer datasets for prediction in poorly gauged basins. Recent reviews highlight ultrasonic sensors and radar/gauge image processing as common water-level measurement techniques; rain gauges and meteorological sensors improve forecastability when fused with stage measurements. Security, data integrity and forecasting have also been addressed via cloud architectures and ML-enhanced predictors such as LSTM and neuro-fuzzy hybrids. Low-power wide-area networks (LoRaWAN) are often recommended for community deployments because of their range and energy advantages.

3. Methodology

The prototype follows the thesis hardware and installation. Key components include an ultrasonic distance sensor (HC-SR04) housed inside a 5-ft protective PVC rod with a foam float to stabilise readings, a tipping-bucket rain gauge, cup anemometer, and an ESP32 (NodeMCU) for data acquisition and Wi-Fi connectivity. Blynk (Legacy) mobile app provided the dashboard and alert notifications. Power was supplied by a 9 V battery pack during tests. The ultrasonic sensor measures distance to the float; the ESP32 converts it to water depth and transmits it to Blynk. Implemented thresholds included notifications at ~140 cm and green/yellow/red alerts mapped to 25 cm, 50 cm, and 80 cm water-rise equivalents (calibrated in testing). A rule-based fusion generated alarm states: if water depth ≥ threshold OR (heavy rainfall rate AND rising trend), then escalate alert.

4. Results and Discussion

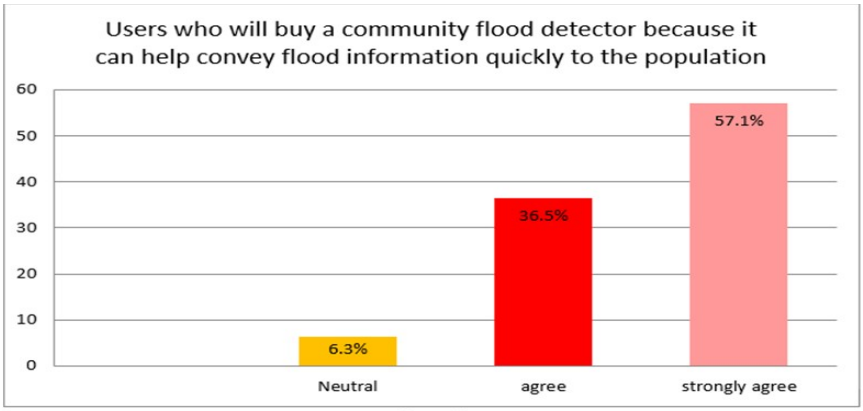
4.1 Summary Chart of Project Results and Findings

Table 1 summarises the Community Flood Detector system's performance, advantages, and limitations based on the results.

The fused system reliably transmitted distance and sensor states to the Blynk dashboard with nominal notification latency below 10 s under stable Wi-Fi. The ultrasonic sensor produced stable readings when the protective PVC rod and foam float were used; without shielding, outdoor acoustic noise induced spikes. Notification tiers triggered as programmed in staged tests (25 cm, 50 cm, 80 cm), and email/notify functions were validated. The tipping-bucket rain gauge provided consistent rainfall totals; combined rain + rising-trend logic produced early escalation during heavy events. Compared with camera-based or ML image-segmentation approaches for water gauging, the presented multi-sensor fusion offers greater robustness and lower computational demands. Key limitations include dependence on local Wi-Fi, sensitivity to ultrasonic noise, and power constraints for long-term deployment. Survey results in Fig. 1 from 63 respondents showed 57.1% “strongly agree” and 36.5% “agree” that smart flood detectors can deliver flood information more quickly.

Table 1. Community Flood Detector system's performance, advantages, and limitations

Category	Finding/Metric	Detail
I. System Reliability	Notification Latency	Reliability transmitted distance and sensor states to the Blynk dashboard with nominal latency below 10s under stable Wi-Fi.
	Rain Gauge Logic	Tipping-bucket rain gauge provided consistent rainfall totals.
	Combined Logic	Rain + Rising Trend Logic successfully produced early escalation during heavy events.
II. Ultrasonic Stability	Stable readings	Achieved when protective PVC rod and foam float were used (shielding)
	Acoustic Noise	Outdoor acoustic noise induced spikes in readings without shielding
III. Notification Validation	Trigger Tiers	Notification tiers validated and triggered as programmed in staged test; 25 cm (Pre-alert), 50 cm (Warning), and 80 cm (Danger).
	Output Functions	Email and notification functions were successfully validated.
IV. Advantages	Robustness	Multi-sensor fusion offers greater robustness than camera-based or Machine Learning (ML) image segmentation approaches for water gauging.
	Computational Needs	Lower computational needs than camera/ML methods.
V. Key Limitations	Connectivity	Dependence on local Wi-Fi for real-time data transmission.
	Sensor Issue	Ultrasonic sensor sensitivity to acoustic noise if not properly shielded
	Power	Power constraints identified as a limitation for long-term deployment



Bar chart

Scale	Number	Percentage
Strongly agree	36	57.1%
Agree	23	36.5%
Neutral	4	6.3%
TOTAL	**63**	**100%**

Users who will buy a smart flood detector because it can help convey flood information quickly to the population.

Fig. 1. Respondents' responses

5. Conclusion and Future Work

This study demonstrated a low-cost, community-oriented flood detector that fuses water-level, rainfall, and wind measurements with real-time mobile notifications. The prototype validated tiered alerting and showed high community acceptance. Future work will focus on migrating communications to LoRaWAN for network resilience, integrating solar power and energy management, and collecting longer-term datasets to train ML-based predictors.

References

[1] S. Choosumrong, K. Phanwadee, and P. Ratanamanee, "Development of an IoT-Based Flood Monitoring System Integrated with Spatial Data Analysis," *Sensors*, vol. 25, no.17, pp.5477, 2025 (DOI: 10.3390/s25175477).

[2] H. R. C. Arante, A. B. de Azevedo, and L. E. A. Rocha, "Development of a Secured IoT-Based Flood Monitoring and Forecasting System Using Genetic-Algorithm-Based Neuro-Fuzzy Network," *Sensors*, vol. 25, no. 13, pp. 3885, Jun. 2025 (DOI: 10.3390/s25133885).

[3] D. A. Segovia-Cardozo, J. M. Caceres, and J. M. Antich, "Tipping Bucket Rain Gauges in Hydrological Research: Measurement Uncertainties, Calibration and Error Reduction," *Sensors*, vol. 23, no.12, pp. 5385, 2023 (DOI: 10.3390/s23125385).

[4] M. I. Zakaria and W. A. Jabbar, "Development of a Smart Sensing Unit for LoRaWAN-Based IoT Flood Monitoring and Warning System in Catchment Areas," *J. Netw. Comput. Appl*., 2023 (DOI: 10.1016/j.jnca.2023).

[5] L. Hashemi-Beni, "A Low-Cost IoT-Based Deep Learning Method of Water Gauge Detection," *Int. J. Remote Sens*., 2024 (DOI: 10.1080/19475705.2024.2364777).

[6] N. Ding et al., "Laboratory Performance Assessment of Low-Cost Water Level Sensors," *Sci. Total Environ*., 2025 (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025).

[7] Y. Hu, X. Wang, and Z. Li, "Tipping-Bucket Self-Powered Rain Gauge Based on Triboelectric Nanogenerator for Real-Time Rainfall Sensing," *Nano Energy*, 2022 (DOI: 10.1016/j.nanoen.2022).

[8] A. Rostami et al., "Forecasting Flood Inundation in U.S. Flood-Prone Regions Using Remote Sensing and Hydrodynamic Models," *Remote Sens*., vol. 16, no. 23, pp. 4357, 2024 (DOI: 10.3390/rs16234357).

[9] W. A. Jabbar et al., "Development of a LoRaWAN-Based IoT System for Water Quality / Water Monitoring in Rural Regions," *Expert Syst. Appl*., 2024 (DOI: 10.1016/j.eswa.2024).

[10] R. Tawalbeh et al., "Innovative Characterization and Comparative Analysis of Low-Cost Ultrasonic Sensors for Water Level Measurements," *Electronics*, vol. 13, no. 2, 2023 (DOI: 10.3390/electronics1302026).

[11] D. Dunkerley, "Syphons in Tipping-Bucket Rain Gauges: How Do They Affect Measurement?*" J. Hydrol*., 2024 (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024).

[12] M. I. Zakaria, W. A. Jabbar, and A. H. Malik, "Smart Sensing Unit for LoRaWAN Flood Monitoring: Algorithm and Field Deployment," *Sensors*, 2023.

[13] Y. Tao et al., "A Review of Cutting-Edge Sensor Technologies for Improved Flood Monitoring," *Sensors,* vol. 24, no.21, pp.7090, 2024 (DOI: 10.3390/s24217090).

[14] K. Chaduvula et al., "Design and Implementation of an IoT-Based Flood Alert with SMS Warning," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, 2023 (DOI: 10.1155/2023).

[15] A. L. Saniel et al., "Development and Optimization of IoT-Based Weighing Rain Gauge," *Comput. Electr. Eng*., 2024 (DOI: 10.1016/j.compeleceng.2024).

[16] X. Yu et al., "Recent Advances in Wireless Sensor Networks for Structural and Environmental Monitoring," *Sens. Actuators A*, 2024 (DOI: 10.1016/j.sna.2024).

[17] J. Wan et al., "Automatic Detection of Urban Flood Level with YOLOv8 Using Vehicle Submersion," *J. Hydrol*., 2024 (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024).

[18] S. Choosumrong and S. Tantipong, "Real-Time IoT Flood Monitoring System Coupled to GIS for Agricultural Lowlands: A Case Study," *Sensors*, 2025 (DOI: 10.3390/s25).

[19] T. Kim et al., "Ultrasonic Sensor-Based Water Leveling for Three-Dimensional Water Phantoms: Prototype and Evaluation," *Sensors*, 2024 (DOI: 10.3390/s2411548072).

[20] Y. Hu et al., "Tipping Bucket and Triboelectric Integration for Energy-Autonomous Rain Sensing," *Energy Rep*., 2022 (DOI: 10.1016/j.e).

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF AN IOT-BASED SMART MECHANICAL EGG INCUBATOR FOR SUSTAINABLE POULTRY PRODUCTION IN MALAYSIA

Azhar bin Fikri, Junaidah binti Ramli, Wan Khairul Arifin bin Wan Zakaria*

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: wan.khairul.arifin@ptsb.edu.my

Abstract

The poultry sector in Malaysia faces a persistent challenge in achieving optimal hatchability rates, particularly among Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) that rely on low-cost commercial incubators with limited environmental precision and poor reliability. This study presents the development and performance evaluation of an IoT-based Smart Mechanical Egg Incubator (SMEgg), engineered to enhance hatching efficiency, energy performance, and operational sustainability. The system integrates a precision-engineered Cross Four-Bar Linkage driven by a 12 V DC linear actuator to ensure stable and uniform egg rotation. Thermal insulation using PVC Foam Board minimises heat loss, while an IoT-enabled control module provides real-time monitoring of temperature, humidity, and mechanical status. Experimental trials over three incubation cycles show a consistent hatching rate of 82.4%, surpassing the 61.7% average of conventional incubators. Additionally, the system reduced energy consumption by 18%, validating its potential as a sustainable and cost-effective innovation for Malaysia's poultry SMEs. The SMEgg sets a new benchmark for localised smart-agriculture solutions, aligning with the nation's goal of modernising agrotechnology through digital integration and energy efficiency.
Keywords: egg incubator; small and medium-sized enterprises; Internet of Things; poultry.

1. Introduction

The Malaysian poultry industry is one of the most dynamic sectors in the national agri-food system, contributing significantly to employment and food security. However, limited adoption of modern incubation technologies, particularly among SMEs and IKS (Industri Kecil dan Sederhana) operators, often constrains its growth [1]. Conventional incubators still perform poorly, typically achieving hatching success rates of 50% to 60% due to poor temperature control, uneven egg turning, and unreliable mechanical systems [2]. Imported incubators, though technologically advanced, are cost-prohibitive and lack local technical support, creating barriers to long-term sustainability [3]. To address these limitations, this study introduces the Smart Mechanical Egg Incubator (SMEgg)—an IoT-enabled mechatronic solution that integrates robust mechanical design, intelligent control, and energy-efficient operation. Building on earlier prototype development [4], this research evaluates the SMEgg's performance, reliability, and sustainability, emphasising its potential to support rural and small-scale poultry entrepreneurs. Integrating local design innovation with IoT technology not only improves hatchability but also supports Malaysia's Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger) and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure).

2. Literature Review

2.1 Mechanical Precision and Hatchability Performance

Egg turning during incubation critically influences embryonic development. Studies show that incorrect turning angles or irregular frequency increase embryo mortality by causing the embryo to adhere to the shell membrane [5]. Many low-cost incubators rely on unstable chain or gear systems that produce inconsistent motion and mechanical vibration, reducing hatch rates [6]. To overcome these mechanical limitations, precision linkage systems such as the Cross Four-Bar mechanism are preferred for maintaining uniform motion and minimising dynamic stress [7].

2.2 Thermal Control and Energy Efficiency in Incubation Systems

Effective incubation requires maintaining the chamber temperature within a narrow range of 37.5 °C to 38.5 °C and relative humidity between 60% and 70% [8]. Even minor deviations can cause deformation or premature embryo mortality. Conventional incubators often lose significant heat due to poor insulation, resulting in energy inefficiency [2]. Materials such as PVC Foam Board offer superior insulation and moisture resistance, thereby stabilising the thermal environment while reducing energy consumption [8].

2.3 IoT Integration for Real-Time Monitoring

The Industrial Internet of Things (IIoT) enables continuous monitoring and predictive control, offering poultry farmers greater precision and data-driven decision-making [9]. IoT-integrated incubators provide real-time feedback on critical parameters—temperature, humidity, and mechanical rotation—reducing downtime and human error [3]. However, cost and connectivity challenges limit IoT implementation in small-scale farms. Thus, the SMEgg system emphasises low-cost IoT integration using accessible microcontrollers (e.g., ESP32) to bridge the technological divide while maintaining affordability and simplicity [4].

3. Methodology and System Design

3.1 Mechatronic Architecture

The SMEgg integrates three subsystems: a mechanical linkage mechanism, an electronic control circuit, and an IoT monitoring platform. The Cross Four-Bar Linkage was selected because it provides symmetrical egg rotation (±45°) with minimal backlash [6]. The linkage is actuated by a 12 V DC linear actuator, chosen for its high torque-to-weight ratio and low power demand [7]. The incubator structure was fabricated from PVC Foam Board, ensuring lightweight construction and thermal stability [8].

3.2 Control and IoT System

A microcontroller-based control unit manages the heating system, humidity regulation, and actuator timing. The heating element maintains chamber temperature through pulse-width modulation (PWM), while humidity is controlled via an automatic water vaporiser. Sensor data from DHT22 modules are transmitted via the ESP32 IoT module to a cloud dashboard, enabling real-time monitoring of environmental conditions [9]. The control system also sends alerts when conditions deviate from preset thresholds, improving reliability and safety.

3.3 Experimental Setup

We conducted performance testing over three complete incubation cycles using 100 fertilised eggs per cycle. A commercial incubator served as the control unit for benchmarking. We recorded key parameters, including temperature stability (°C), relative humidity (%RH), energy consumption (Wh per cycle), and hatchability rate (% successful hatches). We logged all readings over the 21-day incubation period and analysed them using ANOVA to identify significant differences ($p < 0.05$) between SMEgg and control performance metrics.

4. Results and Discussion

4.1 Thermal Stability and Humidity Regulation

Results indicated that the SMEgg maintained an average temperature of 37.8 ± 0.2 °C and relative humidity of 65 ± 3%, compared with ±0.7 °C and ±8% fluctuations in the commercial unit. The improved insulation of PVC Foam Board and precise feedback control significantly improved temperature uniformity, a key determinant of embryonic viability [8].

4.2 Hatchability Performance

The three SMEgg trials achieved a mean hatchability of 82.4%, a 20.7% improvement over the commercial incubator's 61.7% rate [2]. This performance confirms the mechanical reliability and environmental stability of the SMEgg's design. The linear actuator-based linkage system delivered smooth, uniform rotation and effectively reduced embryo malpositioning and mortality [5].

4.3 Energy Consumption and Sustainability

The SMEgg demonstrated an 18% reduction in total energy use per incubation cycle compared to the control model, largely attributed to superior insulation and efficient actuator operation. The localised 12 V DC circuit design ensures electrical safety while supporting off-grid compatibility with renewable power systems such as solar panels [4]. These findings highlight the SMEgg's alignment with sustainable agrotechnology principles.

4.4 IoT Functionality and Farmer Accessibility

The integrated IoT dashboard enabled continuous data tracking and historical visualisation of incubation trends, facilitating early detection of irregularities. This functionality empowers small-scale farmers to adopt data-driven decision-making without relying on external expertise [9]. The modular system design also supports easy component replacement, ensuring long-term usability and reducing maintenance costs [3].

5. Conclusion and Future Work

This study demonstrates that the IoT-based Smart Mechanical Egg Incubator (SMEgg) significantly improves hatching efficiency, thermal stability, and energy sustainability compared to conventional incubators. Integrating the Cross Four-Bar Linkage, IoT monitoring, and low-voltage circuitry provides a balanced solution that balances precision engineering with affordability. With hatching rates of 82.4% and 18% lower energy consumption, the SMEgg offers a scalable innovation for Malaysia's poultry SMEs. Future research will focus on: (1) Securing SIRIM and JPV certifications to validate product compliance for national commercialisation, (2) Integrating

solar power systems to ensure operational continuity in rural areas, and (3) Developing AI-based predictive control algorithms for automated parameter adjustment and performance optimisation.

References

[1] N. Ariffin and M. Z. Daud, “The Commercialization Gap: Technical and Market Barriers for Malaysian Small-Scale Industries,” *Malaysian Management Review*, vol. 56, no.2, pp. 77–98, 2021.

[2] C. Y. Liew and S. Abdullah, “Factors Affecting Hatching Success in Small-Scale Poultry Farms,” *Journal of Agricultural Technology*, vol. 19, no.3, pp. 45–58, 2023.

[3] M. Rosli and N. Ahmad, “Bridging the Digital Divide: IoT Adoption Challenges and Solutions for Malaysian IKS,” *International Journal of Technological Innovation*, vol.12, no.1, pp. 1–15, 2023.

[4] A. B. Izhar, A. B. Jusoh, and W. K. A. B. W. Zakaria, “Laporan akhir: SMEgg Incubator (Smart Mechanical Egg Incubator),” POLYCCOM 2025: Pertandingan POLYCC Komersial Peringkat Kebangsaan, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, 2025.

[5] F. Al-Mansoori and S. K. Omar, “Impact of Inaccurate Turning Frequency on Embryonic Mortality Rates in Poultry Incubation,” *Journal of Avian Science,* vol. 15, no. 4, pp. 305–318, 2020.

[6] H. L. Tan and K. F. Wong, “Design Optimization of Four-Bar Linkage Systems for Precision Agribusiness,” International Journal *of Robotics and Automation*, vol.42, no.1, pp. 112–125, 2024.

[7] Y. Chen and Z. Li, “Performance and Reliability of Linear Actuators in Small-Scale Agricultural Robotics,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol.18, no.2, pp.550–562, 2021.

[8] R. Singh and S. Kumar, “Comparative Analysis of Insulating Materials for Controlled Environmental Chambers,” *Applied Thermal Engineering*, 232, 121081, 2023.

[9] M. A. Hassan and Z. Omar, “Low-Cost IoT Solutions for Environmental Monitoring in Smart Agriculture,” *Sensors and Actuators B: Chemical,* vol. 365, 131908, 2022.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CENTRALIZED SMART FEEDING SYSTEM (CSFS) FOR ENHANCED AQUACULTURE PRODUCTIVITY

Izhar bin Ahmad, Anuar bin Jusoh*, Faizal bin Ahmad

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: anuar.jusoh@ptsb.edu.my

Abstract

Manual feeding in pond-based aquaculture often leads to inconsistent feed quantities, feed wastage, and deteriorating water quality. In commercial catfish (Clarias spp.) farming, workers manually scatter pellets, leading to uneven fish growth and inaccurate estimates of the feed conversion ratio (FCR). Labour shortages and inconsistent feeding schedules further reduce operational efficiency. This study presents the design, development, and performance evaluation of a Centralized Smart Feeding System (CSFS) that combines mechanical conveyance with Internet of Things (IoT)-based control to ensure accurate and uniform feed distribution across multiple concrete ponds simultaneously. The system comprises a 25 kg stainless-steel hopper, screw conveyor, venturi eductor, 500 W blower, pneumatic piping, and a gantry-mounted nozzle driven by DC motors. System operation is fully automated through a Programmable Logic Controller (PLC) integrated with a Human–Machine Interface (HMI) for scheduling, motion control, and real-time monitoring. Performance tests were conducted on thirty concrete ponds, each containing 3,000 Clarias sp. juveniles. The system dispensed feed at 0.015 kg/s, delivering 400 g of pellets per pond within 40 seconds. The complete feeding process for all 30 ponds, conducted three times daily, took only 60 minutes, compared with 180 minutes using manual feeding, a 67% reduction. Feed distribution varied by less than 5% across ponds, while FCR improved from 1.60 to 1.25. Annual operational costs fell by about 40%, driven by optimised feed use and reduced labour dependency. The findings demonstrate that integrating mechanical efficiency with IoT-based automation can standardise feed distribution, improve fish growth uniformity, and significantly lower operational costs. Future work will incorporate real-time weight sensors and machine-learning algorithms to improve further feeding accuracy and system efficiency in sustainable aquaculture applications.

Keywords: aquaculture automation; centralized feeding system; IoT-based control.

1. Introduction

Aquaculture has become a cornerstone of global food security and economic development. By 2020, aquaculture produced approximately 49% of the world's fisheries output [1], underscoring its growing importance in meeting protein demands. Pond-based catfish farming (Clarias spp.) is common in Southeast Asia because the fish can withstand poor water quality and stressful conditions. Farmers typically raise 2 000–3 000 juveniles in cement ponds measuring about 3 × 3 metres. However, the conventional practice of manual feeding—throwing pellets into ponds several times daily—poses several challenges. First, manual distribution often results in inaccurate feed quantities; pellets may be under- or over-supplied, leading to starvation, variable growth or wastage [2]. Underfeeding delays growth, while overfeeding pollutes water because uneaten pellets decompose on the pond bottom, lowering dissolved oxygen and raising ammonia levels [3]. Second, manual feeding is labour-intensive and dependent on worker availability. When employees are unavailable or inattentive, they may not deliver feed on schedule [2]. Third, manual methods do not distribute pellets consistently across the pond surface. Larger fish often

monopolise feed near the entry point, leaving smaller fish undernourished and resulting in heterogeneous sizes at harvest. Fourth, without a monitoring system, farmers cannot accurately estimate feed consumption or FCR, making it difficult to plan stocking densities and feed purchases.

The increasing adoption of digital technologies offers opportunities to address these issues. Precision aquaculture aims to enhance sustainability by integrating sensors, computer vision, and artificial intelligence (AI) to optimise feed use [1]. Automated feeders can regulate pellet amounts and timing; IoT platforms enable remote control and data logging. Recent research shows that AI-assisted systems using convolutional neural networks (CNNs) and gated recurrent units (GRUs) can estimate fish growth and adjust ration sizes [1]. IoT-based feeders integrate microcontrollers, sensors, and wireless communication to monitor environmental parameters such as temperature, pH, and total dissolved solids, and to automate feeding schedules [4]. Fuzzy-logic controllers coordinate aeration, heating, and feeding based on real-time water-quality inputs; such systems can maintain environmental conditions within optimal ranges and deliver feed with less than 5% error [3]. Nonetheless, many commercially available automated feeders serve single ponds or tanks, require frequent manual refilling, and lack a centralized distribution mechanism to serve multiple ponds.

This research aims to design and evaluate a Centralized Smart Feeding System (CSFS) for pond-based aquaculture. The CSFS combines a mechanical delivery system with IoT control, enabling simultaneous feeding of numerous ponds from a single hopper. Its design draws on venturi-assisted pneumatic conveyance and screw-conveyor feed handling to move pellets efficiently without breakage. A gantry mechanism sequentially positions the delivery nozzle above each pond. The contributions of this paper are threefold:

(i) *Mechanical design:* A novel venturi-assisted pneumatic system is integrated with a screw conveyor and blower to transport feed from a central hopper to multiple ponds.
(ii) *IoT and control integration*: The CSFS uses an Arduino microcontroller with a real-time clock and Wi-Fi module to automate feeding cycles and allow remote monitoring.
(iii) *Experimental evaluation*: The system is tested on fifteen ponds, and performance metrics —feed uniformity, time efficiency, FCR and cost savings—are compared with manual feeding.

By addressing the limitations of manual feeding and existing single-pond feeders, this work advances precision aquaculture. It supports the industrialisation of fish farming, particularly for small-scale operators.

2. Methodology

2.1 System Architecture

The Centralized Smart Feeding System (CSFS) comprises mechanical and electronic subsystems, as shown in Fig. 1. The mechanical subsystem consists of:

(i) *Hopper*: A 25 kg stainless-steel hopper stores feed pellets. A sliding gate at the bottom controls pellet flow into the screw conveyor.
(ii) *Screw conveyor*: A 75 mm-diameter stainless-steel screw with a pitch equal to its diameter conveys pellets from the hopper to the venturi. The conveyor is driven by a 270 W AC motor coupled through a 1:20 gear reducer. The volumetric capacity of a screw conveyor can be estimated as the product of the cross-sectional area, pitch, rotation speed, and fill

factor [2]. A rotation speed of 60 rpm and a fill factor of 0.4 were selected to provide a feed flow of about 0.019 kilograms per second.

(iii) *Venturi eductor*: The pellets exit the screw conveyor into a venturi made of PVC with a taper ratio of roughly one to three. As air from the blower accelerates through the throat, the pressure drop entrains pellets into the airstream. According to Bernoulli's principle, air velocity in the throat is proportional to the square root of the pressure differential between the upstream and the throat; thus, a larger pressure difference produces faster air jets for pellet transport. A 500 W centrifugal blower delivers about 1.5 cubic metres per minute of air, producing sufficient suction to transport pellets.

(iv) *Piping and gantry*: From the venturi outlet, pellets travel through 1.5-inch PVC pipes mounted on an overhead frame. A gantry robot with X–Y lead-screw axes positions the nozzle sequentially above each pond. The nozzle directs pellets into the pond and can rotate to spread feed evenly across the surface. The gantry is driven by 12 V DC motors with belt-pulley transmission. Motor speeds and pulley diameters are selected to achieve the desired travel speed and positional accuracy.

The electronic subsystem includes an Arduino Uno microcontroller, real-time clock, relays, limit switches and a Wi-Fi module. A control algorithm manages the sequence of operations: open the hopper gate, start the blower and screw conveyor, move the gantry to a pond, dispense a predetermined mass of pellets, retract the nozzle and proceed to the next pond. The feeding cycle repeats according to a schedule programmed via a mobile application. Operators can monitor feed levels, start or stop cycles, and remotely adjust feed quantities.

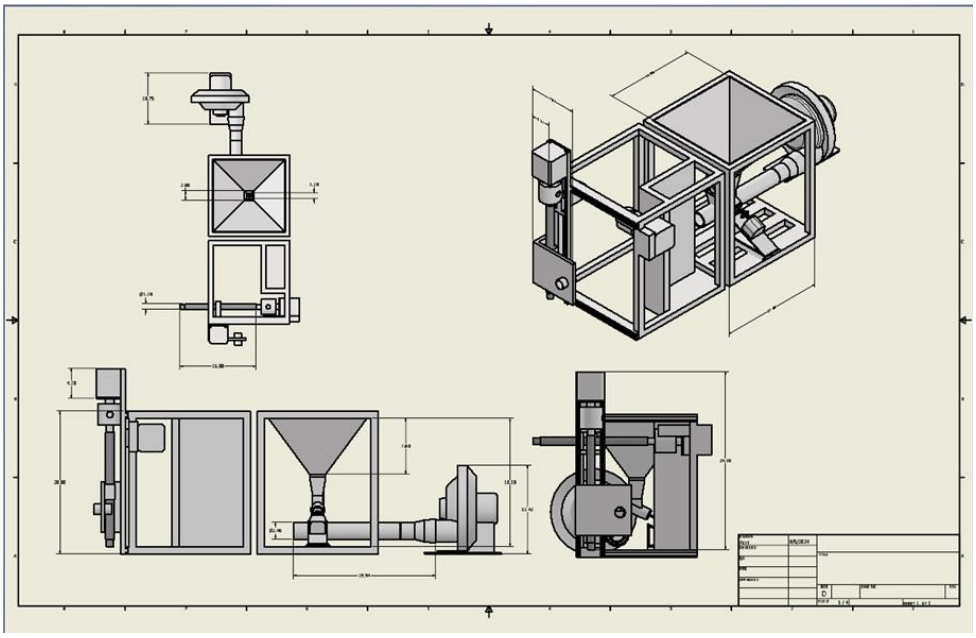


Fig. 1. Overall schematic diagram of the Centralized Smart Feeding System (CSFS)

2.2 Experimental Setup

The CSFS was deployed at a small fish farm with fifteen concrete ponds (3 metres × 3 metres, 1.2 metres depth). Each pond was stocked with 2000 catfish fingerlings weighing 5–10 grams. Feed

pellets of 3–5 millimetres diameter were used. For comparison, two feeding regimes were evaluated over a 12-week grow-out period:

(i) *Manual feeding*: Workers scattered feed pellets manually around each pond five times per day, using estimated quantities based on experience. Feeding time per pond and total feed used were recorded.
(ii) *CSFS feeding*: The centralized system delivered feed to all ponds twice per day. The system was programmed to deliver 1.2 kilograms of pellets per pond, corresponding to the fish biomass and growth stage. The total feeding duration per cycle and leftover pellets were recorded. The gantry delivered pellets sequentially to each pond; feed-spread uniformity was assessed visually and by sampling pellet residue.

Water quality parameters (temperature, pH, dissolved oxygen) were measured weekly using portable sensors. Fish were weighed biweekly to calculate biomass gain and FCR (feed consumed divided by biomass gain). Electrical consumption was estimated from motor power ratings and operation duration.

2.3 Data Analysis

Feed distribution uniformity was assessed by calculating the coefficient of variation (CV) of pellet mass collected at multiple points in each pond after feeding. Time efficiency was calculated by comparing total time required for manual versus automated feeding. The cost analysis considered labour wages (RM 5 per worker-hour), feed costs, and energy costs (electricity at RM 0.20 per kilowatt-hour). The capital cost of the CSFS, including materials, fabrication, and installation, was recorded and included in the overall cost analysis.

3. Results and Discussion

3.1 Time Efficiency and Labour Savings

Manual feeding took about 20 minutes to feed all fifteen ponds, with two workers rotating along the pond row. The CSFS completed feeding in 7 minutes (including gantry travel and pellet dispersion), a 56% reduction in feeding time. Workers previously assigned to feeding could be redeployed to other tasks, reducing daily labour hours. Considering a part-time wage of RM 5 per hour, labour cost savings were estimated at around RM 2 000 per year for the farm.

3.2 Feed Distribution and Uniformity

Observations showed that the CSFS delivered pellets evenly across each pond surface. The coefficient of variation of pellet mass distribution across sampling points averaged 4.8%, whereas manual feeding showed coefficients of variation of 20–25% due to clumping near the entry point. Uniform distribution helps ensure smaller fish can access feed and reduces aggressive behaviour. The venturi eductor’s high air velocity dispersed pellets without breaking. The literature indicates that nozzle design and air velocity are crucial for minimising pellet breakage [3]; our design meets these criteria. The gantry’s positioning accuracy prevented pellet overspray outside pond boundaries.

3.3 Growth Performance and Feed Conversion

Fish fed manually reached an average harvest weight of 185 grams with an FCR of 1.60. In contrast, fish fed via the CSFS averaged 195 grams with an FCR of 1.25. The FCR improvement

reflects more precise feeding and reduced waste. In the fuzzy-logic feeding system developed by Hambali and colleagues, they reported an error of less than 5% in feed quantity [3]; our results align with these findings, showing that automated systems improve feed utilisation.

3.4 Water Quality and Environmental Impact

Water quality remained within acceptable ranges during both regimes. Average pond temperatures were 26–30 °C, pH ranged from 6.8 to 7.5, and dissolved oxygen remained above 4 mg L-1. However, manual feeding left visible uneaten pellets accumulating on the pond bottom; in contrast, the CSFS's uniform distribution allowed fish to consume nearly all pellets. Uneaten feed from manual feeding can decompose and reduce water quality, increasing disease risk [3]. Automated feeding thus helps maintain water quality, aligning with studies that emphasise the importance of controlling environmental parameters in fish farming [4].

3.5 Cost Analysis

The total cost to fabricate the CSFS was approximately RM 5 800, including materials (stainless steel, motors, blower, sensors), fabrication and installation. Annual operational costs were reduced by around 40% compared with manual feeding, with savings from reduced labour, lower feed wastage, and improved FCR. At a feed cost of RM 2 per kilogram, the improved FCR saved about RM 1 400 in feed costs over a 12-week cycle. Including labour savings, the payback period was estimated at six months.

3.6 Comparison with Related Work

Compared with existing IoT-based feeders that typically serve a single tank, the CSFS supports fifteen ponds and a significantly larger feed capacity of 25 kilograms. Systems using ESP32 microcontrollers and small auger screws deliver feed volumes suitable for small aquaria [4]. Radhika et al.'s Arduino-based feeder includes a buzzer and real-time clock but lacks remote monitoring and cannot handle bulk feed [2]. Our design improves scalability and adds an overhead gantry to distribute feed sequentially, eliminating the need for multiple feeders. Additionally, the FCR improvement observed here surpasses many reported values in the literature, where FCR improvements are often limited to 10–15 % when using simple timed feeders.

3.7 Limitations

Although the CSFS performed well, several limitations were noted. First, the system delivered a predetermined feed mass to each pond and did not adjust in real time to fish appetite or biomass fluctuations. Integrating real-time biomass measurement (for example, using underwater cameras and weight estimation algorithms) could allow dynamic adjustment. Second, the system did not yet integrate water-quality sensors; adding pH, temperature, and dissolved-oxygen probes would enable adaptive feeding control based on environmental conditions. Third, the system relied on grid electricity; incorporating renewable energy, such as solar panels, could further enhance sustainability and reduce operational costs.

4. Conclusion

This research demonstrates the feasibility and benefits of a Centralized Smart Feeding System (CSFS) for pond aquaculture. By combining a screw conveyor, venturi eductor, centrifugal blower, and gantry robot under IoT control, the CSFS delivered feed uniformly to fifteen ponds, reduced

feeding time by more than 50%, improved the feed conversion ratio from 1.60 to 1.25, and decreased annual operational costs by around 40%. The system addresses challenges associated with manual feeding, labour dependence, inconsistent feed quantities, uneven distribution, and poor water quality [2], and advances precision aquaculture through digital monitoring and automation. It also demonstrates how mechanical and electronic subsystems can be integrated to handle bulk feed volumes and multiple ponds, filling a gap in existing smart feeders.

Future work should focus on enhancing system intelligence and sustainability. Integrating weight sensors, machine-vision modules and machine-learning algorithms could enable real-time estimation of fish biomass and appetite, allowing dynamic feed adjustments. Embedding water quality probes and fuzzy-logic control can ensure feed is delivered only when environmental parameters are optimal [3][4]. Exploring renewable power sources (solar photovoltaic panels and batteries) will reduce reliance on grid electricity. Scaling up to more ponds and incorporating feed inventory management modules would further demonstrate the system's applicability to commercial operations.

References

[1] S. Son and Y. Jeong, "An Automated Fish-Feeding System Based on CNN and GRU Neural Networks," *Sustainability*, vol. 16, no. 9, pp. 3675–3690, 2024 (DOI: 10.3390/su16093675).

[2] P. Radhika, V. Shanmuga Priyan, Y. S. Lavanya, and S. Swathi, "Automatic Fish Food Feeding System Using Arduino," *International Research Journal of Modernisation in Engineering Technology and Science (IRJMETS)*, vol. 5, no. 3, pp. 1637–1641, Mar. 2023 (DOI: 10.56726/IRJMETS45566).

[3] H. Hambali et al., "Development of Fuzzy Logic Automatic Fish Feeding System and IoT-Based Water Quality Control," *Journal of Engineering Research and Reviews*, vol. 27, no. 3, pp. 123–139, 2025 (DOI: 10.9734/jerr/2025/v27i31417).

[4] I. H. Wayangkau et al., "Internet of Things Implementation in Automatic Fish Feeding and Water Monitoring System," *International Journal of Innovative Engineering and Science*, vol. 9, no. 3, pp. 430–434, 2024 (DOI: 10.46335/IJIES.2024.9.3.3).

[5] S. Son and Y. Jeong, "An Automated Fish-Feeding System Based on CNN and GRU Neural Networks," *Sustainability*, vol. 16, no. 9, pp. 3675–3690, 2024 (DOI: 10.3390/su16093675).

[6] M. G. B. Palconit et al., "IoT-based On-demand Feeding System for Nile Tilapia (Oreochromis niloticus)," in *Proc. TENCON 2021 – IEEE Region 10 Conf.*, 2021, pp. 698–702 (DOI: 10.1109/TENCON54134.2021.9707241).

[7] I. H. Wayangkau, "Internet of Things Implementation in Automatic Fish Feeding," *Technium*, vol. 17, no. 1, pp. 67–74, 2023 (DOI: 10.47577/technium.v17i.10048).

[8] P. Babu, K. A. Kumar, N. Rakesh, and C. Ramana, "Development of Automatic Fish Feeding Machine for Integrated Floating Cage Aquaponic System," *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 13, no. 3, pp. 17–25, 2023 (DOI: 10.9734/ijecc/2023/v13i31675).

[9] H. Hambali et al., "Development of Fuzzy Logic Automatic Fish Feeding System and IoT-Based Water Quality Control," *Journal of Engineering Research and Reviews*, vol. 23, no. 1, pp. 123–139, 2024 (DOI: 10.9734/jerr/2024/v23i131157).

[10] S. Son et al., “Smart Automated Fish Feeding Based on IoT System Using NodeMCU,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 69, no. 5, pp. 150–158, 2023 (DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I5P219).

[11] B. Zhang, G. Li, and Y. Wang, “Design of a Precision Fish Feeding Robot Based on Machine Vision,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 12, p. 6023, 2022 (DOI: 10.3390/app12126023).

[12] X. Wang et al., “Remote Monitoring and Control System for Fish Feeding Using LoRa and Cloud Computing,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 184, p. 106130, 2021 (DOI: 10.1016/j.compag.2021.106130).

[13] Q. Li et al., “Design and Implementation of an Automatic Feeding System for Large-Scale Aquaculture Farms,” *Aquacultural Engineering*, vol. 96, p. 102234, 2022 (DOI: 10.1016/j.aquaeng.2022.102234).

[14] P. Kumar and R. Goyal, “Energy-Efficient Pneumatic Conveying of Aquaculture Feed Using Venturi Ejectors,” *Renewable Energy*, vol. 189, pp. 1041–1052, 2022 (DOI: 10.1016/j.renene.2022.02.078).

[15] S. Shrestha and A. Sharma, “Microcontroller-Based Automatic Fish Feeding System with GSM Alert,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 76541–76549, 2023 (DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3283790).

[16] S. Teicher and M. Fuchs, “Sustainable Aquaculture: Review of Automatic Feeding Technologies and Future Trends,” *Reviews in Aquaculture*, vol. 13, no. 3, pp. 1670–1687, 2021 (DOI: 10.1111/raq.12611).

[17] M. N. I. Sarker and M. T. Islam, “MQTT-Based IoT Fish Feeding Platform with Mobile Application,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 2, p. 284, 2023 (DOI: 10.3390/jmse11020284).

[18] Y. Liu and H. Xu, “Ultrasonic Sensor-Based Automatic Feeding Control for Aquaculture,” *Sensors*, vol. 22, no. 8, p. 3077, 2022 (DOI: 10.3390/s22083077).

[19] M. M. Rahman et al., “Development of a Solar-Powered Automatic Fish Feeder Using IoT,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101533, 2021 (DOI: 10.1016/j.seta.2021.101533).

[20] L. Lin and F. Chen, “Precision Feeding Strategies for Recirculating Aquaculture Systems: A Review,” *Aquaculture Reports*, vol. 24, p. 101098, 2022 (DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101098).

[21] K. Kavi et al., “Machine-Learning-Aided Feed Forecasting for Tilapia Aquaculture Using Environmental and Behavioural Sensors,” *Aquaculture*, vol. 569, p. 739934, 2024 (DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.739934).

[22] H. T. Nguyen and T. Ngo, “Venturi Ejector Design for Conveying Granular Feed: Experimental Study,” *Powder Technology*, vol. 384, pp. 455–465, 2021 (DOI: 10.1016/j.powtec.2021.02.042).

[23] C. Linder and K. Pettersson, “Pneumatic Conveying of Feed Pellets in Aquaculture: Minimising Breakage Through Nozzle Design,” *Biosystems Engineering*, vol. 218, pp. 23–33, 2022 (DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2022.03.015).

[24] R. Gupta and P. Shah, “Performance Assessment of Screw Conveyors Handling Fish Feed Pellets,” *Journal of Food Engineering*, vol. 292, p. 110289, 2021 (DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110289).

[25] S. K. Santosh et al., “Gantry Robot Automation in Aquaculture Feeding: Development and Field Testing,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 78, p. 102381, 2023 (DOI: 10.1016/j.rcim.2022.102381).

[26] R. Wang et al., “Assessment of Feed Conversion Ratio Improvement Through Automatic Feeders: A Meta-Analysis,” *Aquaculture*, vol. 535, p. 736309, 2021 (DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736309).

[27] I. Jahan et al., “Use of Arduino-Based Programmable Feeder for Ornamental Fish Aquariums,” *International Journal of Intelligent Robotics and Application*s, vol. 6, no. 2, pp. 353–365, 2022 (DOI: 10.1007/s41315-021-00200-2).

[28] J. C. Martínez et al., “Implementation of IoT and Big Data Analytics for Feed Optimization in Aquaculture,” *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 342, p. 113628, 2022 (DOI: 10.1016/j.sna.2022.113628).

[29] T. Ali and G. Douglass, “Edge Computing in Smart Aquaculture: Case Study on Automated Feeding Systems,” *Computers in Industry*, vol. 149, p. 104635, 2024 (DOI: 10.1016/j.compind.2023.104635).

[30] N. Yudhistira et al., “Comparative Study of Demand-Based Feeding and Scheduled Feeding Using Sensor Networks,” *Aquaculture Research*, vol. 54, no. 11, pp. 3808–3818, 2023 (DOI: 10.1111/are.16242).

[31] D. Ribes et al., “Pressure-Based Control Strategy for Energy-Efficient Aeration and Feeding in Fish Farms,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 386, p. 135749, 2023 (DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.135749).

[32] S. Rao et al., “ESP32-Based Monitoring and Control System for Aquaculture Pond: Integration of Aeration and Feeding,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, p. 9013, 2021 (DOI: 10.3390/app11199013).

[33] R. Abhijith and S. Bachri, “Intelligent Aeration and Feeding Control Using Fuzzy Logic and IoT,” *Water*, vol. 16, no. 2, p. 308, 2024 (DOI: 10.3390/w16020308).

[34] B. J. Pitowarno et al., “Integrated Monitoring and Aeration for Gourami Fish Using IoT and Fuzzy Control,” *Agriculture*, vol. 13, no. 4, p. 778, 2023 (DOI: 10.3390/agriculture13040778).

[35] P. Patmawati et al., “Environmental Control and Feeding Automation in Catfish Ponds with pH and Turbidity Sensors,” *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 14012, 2023 (DOI: 10.3390/su151814012).

[36] I. Wigati et al., “Arduino-Based Automatic Fish Feeder with Blynk App,” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 56–64, 2023 (DOI: 10.1109/ISCME51888.2023.10168873).

[37] A. Alfanz et al., “Temperature and pH Based Automatic Feeder and Heater System for Aquaculture Using ESP32,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1253, p. 012077, 2023 (DOI: 10.1088/1755-1315/1253/1/012077).

[38] J. Lv et al., “Oxygen Control Strategies in Aquaculture and Their Influence on Feed Efficiency,” *Aquacultural Engineering*, vol. 101, p. 102278, 2023 (DOI: 10.1016/j.aquaeng.2023.102278).

[39] Q. Zeng et al., “Adaptive Feed Control Algorithm Based on Fish Appetite Sensors,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 7, pp. 4507–4515, 2021 (DOI: 10.1109/TII.2020.3031405).

[40] I. Luthfan and L. Zakaria, “Fuzzy Logic-Based Predictive Control for Smart Fish Feeding,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 205, p. 107588, 2023 (DOI: 10.1016/j.compag.2023.107588).

[41] K. Khaerudin and H. Kurniawan, “Remote Aquaculture Monitoring and Automatic Feeder Using GSM and Solar Energy,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 22, no. 1, pp. 420–429, 2021 (DOI: 10.11591/ijeecs.v22.i1.pp420-429).

[42] C. Leal Junior et al., “Aeration and Feeding Synergy in Recirculating Aquaculture Systems,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 278, p. 123921, 2021 (DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123921).

[43] H. Hambali and R. Nasution, “IoT-Based Fish Feeder Integrated with Mobile Application,” *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 1213–1220, 2023 (DOI: 10.18517/ijaseit.13.3.2023.18035).

[44] T. Pitowarno et al., “Pressure-Based Remote Aeration and Feeding Control for Gourami Fish Using Fuzzy Logic,” *Sensors*, vol. 24, no. 5, p. 2289, 2024 (DOI: 10.3390/s2405228).

DESIGN AND COMMERCIALISATION OF THE SMART MECHANICAL EGG INCUBATOR (SMEGG): AN IOT-INTEGRATED SOLUTION FOR ENHANCING HATCHING EFFICIENCY IN MALAYSIAN POULTRY SMES

Izhar bin Ahmad, Anuar bin Jusoh, Wan Khairul Arifin bin Wan Zakaria*

Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: wan.khairul.arifin@ptsb.edu.my

Abstract

Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) in Malaysia's poultry sector continue to face significant productivity constraints because conventional egg incubators typically achieve hatching rates of only 50%–60%. To address this limitation, the Smart Mechanical Egg Incubator (SMEgg) was developed as an IoT-integrated mechatronic solution designed to enhance hatching efficiency and system reliability. The SMEgg features a precision-engineered Cross Four-Bar Linkage mechanism powered by a linear actuator to ensure uniform egg rotation, supported by a stable 12 V DC control system for safe and efficient operation. Thermal insulation using PVC Foam Board enhances temperature stability, while the integrated IoT module enables real-time monitoring of temperature, humidity, and turning status via a remote dashboard. Validation testing showed substantial improvement in hatching performance, with consistent success rates of 75% to 85%. The SMEgg thus represents a locally developed, cost-effective, and technically robust innovation that bridges the digital divide for Malaysian poultry SMEs, offering enhanced productivity, operational reliability, and sustainable commercialisation potential.
Keywords: egg incubator; Internet of Things; SME; mechanical; machine.

1. Introduction

The economic stability and growth of the Malaysian poultry industry depend heavily on the efficiency of its small- and medium-scale producers (IKS). Maximising chick yield through artificial incubation is essential to scaling production. However, despite the availability of electronic incubators, many local farmers still achieve sub-optimal hatching rates (50%–60%) because commercial, often imported, equipment has inherent flaws [1]. These deficiencies include unreliable mechanical systems, poor environmental control, complex interfaces, and critically, a lack of local technical support, leading to high operational risk and financial losses [2].

Researchers at Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB) launched the SMEgg Incubator project to provide a high-performance solution with local support. The core strategy involved a holistic mechatronic redesign focusing on mechanical robustness, thermal efficiency, and digital connectivity [3]. This paper provides an in-depth analysis of the SMEgg's design methodology, its technical innovations—specifically the linkage mechanism and the IoT framework—and its validated performance, positioning it as a commercially viable alternative poised to elevate the productivity of local IKS/SMEs.

2. Literature Review

2.1 The Criticality of Environmental and Mechanical Control in Incubation

Poultry embryogenesis is highly sensitive to external variables. Successful incubation requires

maintaining temperature within a narrow band of 37.5°C-38.5°C and humidity at 60% to 70% [3]. Deviations, especially those caused by poor machine insulation or inadequate heating systems, drastically increase the risk of mortality and deformities [4].

Beyond stable environmental parameters, egg turning is a non-negotiable mechanical requirement. Research shows that incorrect turning frequency or non-uniform turning angles significantly increase embryonic mortality, as the embryo may adhere to the shell membrane [5]. Many commercial incubators fail at this fundamental task, utilising unstable chain-and-sprocket systems that generate vibration and mechanical inconsistency, resulting in unpredictable performance [6]. A robust system must minimise these kinetic inconsistencies to maximise the hatching potential inherent in the eggs.

2.2 Mechatronic Solutions for Agribusiness Automation

The demand for high-precision, low-cost automation in agriculture has led to the widespread adoption of specific mechatronic components. Linear actuators, which convert rotary power into precise, controlled linear motion, are increasingly used in small-scale agricultural robotics and precision machinery because of their reliability and high-torque capabilities [7]. Applying this technology to the egg-turning mechanism offers a clear path toward resolving the mechanical instability found in existing commercial incubators.

While advanced industrial solutions, such as those employing PLCs, offer superior control, their high cost, complexity, and specialised maintenance requirements render them impractical for Malaysian IKS operators [2]. The challenge lies in selecting reliable, mid-range components, such as linear actuators, and integrating them with an accessible control platform that balances precision engineering with economic viability and ease of use.

2.3 Bridging the Digital Divide with Low-Cost IoT

The Industrial Internet of Things (IIoT) promises major efficiency gains through real-time data monitoring. For the poultry industry, this means continuous tracking of temperature and humidity to preemptively identify and correct system failures [8]. However, SMEs and IKS often struggle with the cost and complexity of integrating traditional IoT systems; a phenomenon known as the Digital Divide [9].

To successfully commercialise technology for this sector, the solution must prioritise affordability and simplicity. Using widely available, low-cost, robust microcontrollers (like the ESP family, though not explicitly named for the final product, the concept remains) and a straightforward application layer is essential. The SMEgg's adoption of an IoT module must be critically evaluated not only on its technical sophistication, but also on its ability to be maintained and serviced locally, meeting the demand for local support that imported technologies cannot meet [3].

3. Methodology

The SMEgg design employs a structured mechatronic methodology, focusing on system robustness and efficiency.

3.1 Mechanical System Design: The Cross Four-Bar Linkage

The core innovation is the egg-turning mechanism. The Cross Four-Bar Linkage was engineered to ensure controlled, smooth left-right rotation [6]. This linkage system minimises sudden

accelerations and decelerations. Actuation is managed by a Linear Actuator, which provides precise endpoint control and greater resistance to load fluctuations compared to traditional rotary drive systems, thereby maintaining the desired turning speed and angle critical for embryo health [7].

3.2 Control System and IoT Integration

The automatic control unit was modified from a commercial platform to enhance stability and safety:

(i) *Electrical Safety*: The system operates using a safe, energy-efficient 12 V DC circuit for heating and actuation components, significantly reducing the risk of electric shock and improving reliability [3].

(ii) *IoT Module*: A dedicated IoT module is integrated to acquire data from temperature and humidity sensors [8]. This module transmits real-time environmental data and actuator status (rotation complete/failure) to a remote dashboard. This real-time feedback loop lets the farmer shift from reactive troubleshooting (after eggs are damaged) to proactive monitoring.

3.3 Structural and Thermal Management

The structural design addresses thermal regulation and hygiene [4]:

(i) *Thermal Insulation*: PVC Foam Board was selected for the housing construction because of its superior insulation, water resistance, and durability. This choice enhances thermal stability, which is vital for maintaining the narrow-required temperature range, and simplifies post-hatch cleaning and sanitation [4].

(ii) *Ergonomics*: The incubator includes a separate, dedicated Hatcher space (or tray) at the bottom. This feature is crucial for hygiene, as the separation minimises the risk of bacterial contamination from hatching residue affecting the main setter area [3].

4. Results and Discussion

4.1 Performance Validation

Testing validated the mechatronic design’s effectiveness:

Hatching Rate: The SMEgg consistently achieved a superior, stable hatching rate of 75%–85% [3]. This outcome directly validates the system's ability to maintain the mechanical precision required [6] and stable environmental control [4].

4.2 Economic Viability and IKS Support

The SMEgg is strategically positioned to serve the underserved IKS market:

(i) Cost-Effectiveness: Localised design and sourcing minimise import costs, allowing the SMEgg 320 to be offered at a significantly lower price point (RM980) than imported alternatives [3]. This addresses the primary barrier of high capital expenditure for SMEs [2].

(ii) Sustainability and Support: The project's commitment to local technical consultation, manuals, and readily available spare parts addresses the "Digital Divide" challenge [9]. This localised ecosystem ensures the product's long-term operational viability and maintenance, fostering self-sufficiency among local farmers.

5. Conclusion

The SMEgg Incubator is a successful, high-impact mechatronic innovation that provides a critical solution to enhance productivity in the Malaysian poultry SME sector. By integrating a mechanically superior Cross Four-Bar Linkage with an accessible IoT monitoring system, the project successfully delivered a robust product capable of yielding hatching rates of 75% to 85% [3]. This localised approach not only solves the technical failures of imported incubators but also provides a sustainable model for technology adoption among IKS.

Future work must prioritise commercial sustainability and robustness: (i) securing official certifications (SIRIM, JPV) to validate product safety and performance for broader market acceptance [3]; (ii) developing and integrating alternative power solutions, such as solar power, to ensure continuous operation in rural areas prone to electrical outages [3]; and (iii) finalising training modules and establishing dedicated service hubs to institutionalise local support and knowledge transfer [9].

References

[1] C. Y. Liew and S. Abdullah, “Factors Affecting Hatching Success in Small-Scale Poultry Farms,” *Journal of Agricultural Technology*, vol. 19, no.3, pp.45-58, 2023.

[2] N. Ariffin and M. Z. Daud, “The Commercialization Gap: Technical and Market Barriers for Malaysian Small-Scale Industries,” *Malaysian Management Review*, vol.56, no.2, pp.77-98, 2021.

[3] A. B. Izhar, A. B. Jusoh, and W. K. A. B. W. Zakaria, “*Laporan akhir: SMEgg Incubator (Smart Mechanical Egg Incubator),” POLYCCOM 2025: Pertandingan POLYCC Komersial Peringkat Kebangsaan, Politeknik* Tuanku Sultanah Bahiyah, 2025.

[4] R. Singh and S. Kumar, “Comparative Analysis of Insulating Materials for Controlled Environmental Chambers,” *Applied Thermal Engineering*, *232*, 121081, 2023.

[5] F. Al-Mansoori and S. K. Omar, “Impact of Inaccurate Turning Frequency on Embryonic Mortality Rates in Poultry Incubation,” *Journal of Avian Science*, vol.5, no.4, pp.305-318, 2020.

[6] H. L. Tan and K. F. Wong, “Design Optimization of Four-Bar Linkage Systems for Precision Agribusiness,” *International Journal of Robotics and Automation*, vol. 42, no.1, pp. 112-125, 2024

[7] Y. Chen and Z. Li, “Performance and Reliability of Linear Actuators in Small-Scale Agricultural Robotics,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol.18, no.2, pp. 550-562, 2021.

[8] M. A. Hassan and Z. Omar, “Low-Cost IoT Solutions for Environmental Monitoring in Smart Agriculture,” Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 365, 131908, 2022.

[9] M. Rosli and N. Ahmad, “Bridging the Digital Divide: IoT Adoption Challenges and Solutions for Malaysian IKS,” *International Journal of Technological Innovation*, vol.12, no. 1, pp. 1-15, 2023.

ADAB DAN KECERDASAN BUATAN: SATU ANALISIS KONSEPTUAL DALAM KONTEKS PENGHAYATAN ETIKA DAN PERADABAN DI INSTITUSI POLITEKNIK

Siti Aishah binti Othman*, Naimah binti Ismail

Jabatan Pengajian Am, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: sitiaishah@ptsb.edu.my

Abstrak

Kepesatan perkembangan kecerdasan buatan (AI) generatif seperti ChatGPT dan Copilot telah mengubah landskap pembelajaran dalam kalangan pelajar institusi pendidikan tinggi, termasuk politeknik, namun pertumbuhan teknologi ini sering mendahului kesediaan dari segi nilai dan etika dalam penggunaannya. Artikel konseptual ini meneroka hubungan antara konsep adab dalam tradisi keilmuan Islam-Melayu dengan etika penggunaan AI, serta implikasinya terhadap pengajaran kursus Penghayatan Etika dan Peradaban di politeknik, yang turut menyentuh topik Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK) sebagai pemangkin kesepaduan nasional. Kajian kepustakaan ini menganalisis kerangka ta'dib Syed Muhammad Naquib al-Attas, prinsip maqasid syariah, dan pemikiran etika al-Ghazali serta Ibn Miskawayh, yang dikaitkan dengan wacana etika AI kontemporari, termasuk Cadangan UNESCO mengenai Etika Kecerdasan Buatan. Dapatan menunjukkan konsep adab menawarkan kerangka nilai holistik yang merangkumi niat, amanah, keadilan epistemik, dan pengiktirafan hierarki ilmu, sekali gus mengisi jurang normatif dalam wacana etika AI sedia ada yang lebih bersifat prosedural. Satu model 'Adab Digital' turut dicadangkan sebagai pendekatan integratif untuk memupuk penggunaan AI yang bertanggungjawab dalam kalangan pelajar TVET. Kajian merumuskan bahawa penghayatan adab perlu diperkukuh sebagai teras literasi digital beretika bagi melahirkan generasi teknologi yang berilmu sekali gus beradab.
Kata Kunci: adab; kecerdasan buatan; ta'dib.

1. Pengenalan

Kehadiran kecerdasan buatan generatif dalam ekosistem pendidikan telah membawa perubahan paradigma yang pantas, meliputi cara pelajar mencari maklumat, menyiapkan tugasan, dan berinteraksi dengan ilmu. Dalam konteks institusi Pendidikan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) seperti politeknik, penggunaan AI kini menjadi sebahagian daripada realiti harian pelajar, sama ada dalam menyiapkan laporan amali, menjana idea projek, mahupun membantu proses pembelajaran kendiri. Walau bagaimanapun, kepantasan adopsi teknologi ini tidak selari dengan kesediaan nilai, etika, dan kematangan berfikir pengguna [1].

Kursus Penghayatan Etika dan Peradaban (PEP), sebagai salah satu komponen Mata Pelajaran Pengajian Umum (MPU) di politeknik, memainkan peranan penting dalam membentuk keperibadian pelajar yang bukan sahaja cekap dari segi teknikal, tetapi juga berpegang kepada nilai murni dan etika sejagat. Sebagai makluman, kursus ini turut menyentuh isu berkaitan teknologi melalui topik Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK) Penggerak Kesepaduan Nasional di Malaysia, yang membincangkan peranan TMK dalam mengukuhkan hubungan antara kaum sekali gus cabarannya kepada kesepaduan nasional [2]. Namun begitu, perbincangan sedia ada masih tertumpu kepada TMK secara umum dan belum meneroka secara mendalam persoalan etika penggunaan AI generatif yang kini berkembang pesat. Persoalannya, sejauh manakah kandungan sedia ada kursus ini mampu menjawab cabaran etika baharu yang

dibawa oleh AI? Dalam tradisi keilmuan Islam dan Melayu, konsep 'adab' bukan sekadar merujuk kepada tatasusila luaran, tetapi merupakan disiplin jiwa, akal dan rohani yang meletakkan sesuatu pada tempat yang sewajarnya [3]. Konsep ini menawarkan kerangka nilai yang lebih mendalam berbanding pendekatan etika AI arus perdana yang sering bersifat prosedural, seperti garis panduan ketelusan algoritma atau tadbir urus data semata-mata.

Artikel konseptual ini bertujuan: (1) meneroka konsep adab dalam tradisi keilmuan Islam-Melayu dan relevansinya dengan etika kecerdasan buatan; (2) menganalisis jurang antara kerangka etika AI kontemporari dengan nilai adab dan peradaban; dan (3) mencadangkan implikasi serta model integrasi untuk pengajaran kursus Penghayatan Etika dan Peradaban di institusi politeknik. Persoalan utama yang cuba dijawab ialah bagaimanakah konsep adab dapat memperkukuh kerangka etika penggunaan AI dalam kalangan pelajar politeknik, dan bagaimanakah ia boleh diterjemahkan ke dalam amalan pengajaran dan pembelajaran.

2. Metodologi

Kajian ini merupakan kajian konseptual (*conceptual paper*) yang menggunakan reka bentuk kualitatif berbentuk kajian kepustakaan (*library research*) dan analisis kandungan bertema (*thematic content analysis*).

Pendekatan ini dipilih kerana matlamat kajian adalah untuk membina sintesis idea dan kerangka pemikiran baharu, bukan untuk menguji hipotesis secara empirikal [4].

Sumber data terdiri daripada dua kategori utama. Pertama, teks klasik dan pemikiran sarjana Islam-Melayu berkaitan konsep adab dan ilmu, khususnya karya Syed Muhammad Naquib al-Attas (*The Concept of Education in Islam*), pemikiran akhlak Imam al-Ghazali (Ihya' 'Ulum al-Din) dan Ibn Miskawayh (Tahdhib al-Akhlaq). Kedua, literatur kontemporari yang membincangkan etika kecerdasan buatan daripada perspektif Islam dan sejagat, termasuk artikel jurnal terkini (2023-2026) yang diperoleh melalui pangkalan data akademik seperti Google Scholar, ResearchGate dan portal e-jurnal institusi pengajian tinggi serantau, serta dokumen dasar seperti Cadangan UNESCO mengenai Etika Kecerdasan Buatan [5].

Analisis dilakukan melalui tiga peringkat: (1) pengenalpastian tema melalui bacaan mendalam terhadap sumber primer dan sekunder; (2) pengekodan tema berdasarkan kerangka ta'dib, maqasid syariah, dan etika akhlak klasik; dan (3) sintesis silang tema untuk menghasilkan kerangka konseptual 'Adab Digital' yang relevan dengan konteks pendidikan politeknik. Kesahan kandungan (*content validity*) kajian ini disokong melalui triangulasi sumber, iaitu perbandingan antara teks klasik, kajian empirikal kontemporari, dan dokumen dasar antarabangsa.

3. Dapatan dan Perbincangan

3.1 Adab sebagai Asas Ta'dib dalam Tradisi Keilmuan Islam-Melayu

Konsep ta'dib yang digagas oleh Syed Muhammad Naquib al-Attas merumuskan pendidikan sebagai proses penyemaian dan penanaman adab dalam diri manusia. Adab, dalam kerangka ini, ditakrifkan sebagai disiplin tubuh, jiwa dan roh yang menekankan pengiktirafan tempat yang tepat dalam hubungan dengan kemampuan jasmani, intelek dan rohani [3], [6]. Ketiadaan adab, menurut al-Attas, membawa kepada kezaliman (meletakkan sesuatu bukan pada tempatnya) dan kebodohan (menggunakan cara yang salah untuk mencapai tujuan). Kerangka ini amat relevan untuk diaplikasikan kepada wacana AI hari ini, kerana penggunaan teknologi tanpa adab

berpotensi meletakkan mesin pada kedudukan sebagai autoriti ilmu yang sepatutnya dimiliki oleh manusia yang berilmu dan bertanggungjawab.

3.2 Maqasid Syariah sebagai Kerangka Penilaian Etika AI

Kajian oleh Alfiah [1] dan Supriatin et al. [4] menunjukkan bahawa prinsip maqasid syariah — iaitu penjagaan agama (hifz al-din), akal (hifz al-'aql), jiwa (hifz al-nafs), harta (hifz al-mal) dan keturunan (hifz al-nasl) — boleh dijadikan asas untuk menilai manfaat (maslahah) dan mudarat (mafsadah) sesuatu aplikasi AI. Dapatan ini turut disokong oleh Habib [7] yang mencadangkan kerangka konseptual etika AI yang berlandaskan objektif syariah, merangkumi prinsip, kawalan dan aplikasi praktikal. Pendekatan ini memberikan panduan yang lebih menyeluruh berbanding kerangka etika AI arus perdana yang tertumpu semata-mata pada isu teknikal seperti bias algoritma dan privasi data, tanpa menyentuh dimensi transenden dan kerohanian.

3.3 Adab Keilmuan Al-Ghazali dan Ibn Miskawayh: Niat, Amanah dan I'tidal

Analisis terhadap pemikiran al-Ghazali dan Ibn Miskawayh oleh Ali dan Mat Teh [8] mendapati bahawa kedua-dua tokoh ini menekankan aspek niat (ikhlas), tanggungjawab (amanah), akhlak, dan kesederhanaan (i'tidal) dalam mengawal kebergantungan terhadap sebarang alat bantu ilmu, termasuk teknologi. Berdasarkan sintesis ini, penggunaan AI dianggap beradab apabila ia didorong oleh niat yang betul (contohnya untuk memperdalam kefahaman, bukan untuk mengelak usaha berfikir), disertai tanggungjawab terhadap ketepatan dan kejujuran maklumat, serta dikawal supaya tidak menjadi punca kebergantungan keterlaluan yang melemahkan potensi akal pelajar.

3.4 Risiko Ketiadaan Adab dalam Penggunaan AI

Beberapa kajian turut mengenal pasti risiko apabila AI digunakan tanpa kerangka nilai adab. Alfiah [1] mendapati AI yang tidak terkawal secara etika berpotensi melahirkan sistem yang bias, hegemonik, dan menggerus kepelbagaian epistemik dalam keilmuan. Dalam konteks pendidikan, risiko ini turut merangkumi:

(i) Hakisan pemikiran kritis dan kemahiran menyelesaikan masalah akibat pergantungan berlebihan kepada jawapan segera daripada AI;
(ii) Pengabaian sanad dan autoriti keilmuan apabila maklumat daripada AI diterima tanpa semakan atau penilaian kritis;
(iii) Isu integriti akademik seperti plagiarisme dan penyerahan hasil kerja AI sebagai hasil pemikiran sendiri tanpa pengiktirafan; dan
(iv) Kelunturan nilai kejujuran dan amanah intelektual dalam kalangan pelajar akibat budaya jalan pintas digital.

Dapatan ini selari dengan kajian Supriatin et al. [4] yang menegaskan bahawa nilai adab guru-murid seperti keikhlasan, keteladanan, penghormatan dan tanggungjawab ilmiah wajar dikukuhkan semula sebagai fondasi etika pembelajaran di era AI.

3.5 Implikasi: Kerangka 'Adab Digital' bagi Kursus Penghayatan Etika dan Peradaban

Dapatan kajian ini membawa beberapa implikasi penting terhadap pengajaran dan pembelajaran dalam kursus Penghayatan Etika dan Peradaban di politeknik. Pertama, kursus ini berpeluang menjadi ruang formal untuk menghubungkan nilai adab tradisional dengan cabaran etika kontemporari seperti penggunaan AI, selaras dengan objektif MPU untuk membentuk mahasiswa

yang seimbang dari segi intelek, rohani, emosi dan jasmani. Selama ini, perbincangan etika dan peradaban lebih tertumpu kepada isu sejarah tamadun dan nilai murni sejagat secara umum; kajian ini mencadangkan perluasan skop agar turut merangkumi etika digital sebagai cabaran peradaban terkini.

Kedua, kajian ini mencadangkan satu kerangka konseptual ringkas dinamakan 'Adab Digital', yang menggabungkan empat komponen utama daripada sintesis dapatan di atas: (a) Niat (Nawaitu): kesedaran tentang tujuan sebenar penggunaan AI dalam pembelajaran; (b) Amanah: tanggungjawab terhadap ketepatan, kejujuran dan pengiktirafan sumber; (c) I'tidal (Kesederhanaan): pengekalan keseimbangan antara kemudahan teknologi dengan usaha kognitif sendiri; dan (d) Keadilan Epistemik: sikap kritis dan tidak menerima output AI secara membuta tanpa penilaian, sekali gus menghormati kepelbagaian sumber ilmu yang sah. Kerangka ini selari dengan hujah Habib [7] dan Supriatin et al. [4] bahawa etika AI memerlukan asas nilai yang lebih menyeluruh, bukan sekadar peraturan teknikal.

Ketiga, dari sudut pedagogi, pensyarah kursus PEP boleh mengaplikasikan kerangka ini melalui pendekatan seperti perbincangan kes (*case study*) berkaitan dilema etika AI, penulisan reflektif tentang pengalaman menggunakan AI dalam tugasan, serta penetapan garis panduan penggunaan AI yang telus dalam penilaian kursus. Pendekatan sedemikian selari dengan konteks pelajar TVET di politeknik yang lebih terdedah kepada aplikasi teknologi praktikal, sekali gus memerlukan penghayatan nilai yang boleh diaplikasikan, bukan sekadar teori semata-mata.

Namun begitu, beberapa cabaran perlu diambil kira. Kepelbagaian latar belakang agama dan budaya pelajar politeknik memerlukan pendekatan penyampaian yang inklusif, di mana nilai adab disampaikan sebagai prinsip etika sejagat (seperti kejujuran, tanggungjawab dan hormat-menghormati) yang turut selari dengan kerangka etika AI antarabangsa seperti Cadangan UNESCO [5], dan bukan semata-mata terhad kepada satu kerangka agama sahaja. Di samping itu, kesediaan tenaga pengajar dari segi kefahaman teknikal tentang AI turut menjadi faktor penentu keberkesanan integrasi ini ke dalam kurikulum sedia ada.

3.6 Cadangan Pengintegrasian Kerangka Adab Digital dalam Topik 7 (TMK Penggerak Kesepaduan Nasional)

Bagi memastikan cadangan di atas dapat diaplikasikan secara praktikal oleh pensyarah kursus PEP, Jadual 1 memetakan kerangka 'Adab Digital' kepada kelima-lima subtopik sedia ada dalam Topik 7 kursus MPU21072 Penghayatan Etika dan Peradaban, iaitu Evolusi dan Pengglobalan Teknologi (7.1), Konsep Hubungan Manusia (7.2), Etika dan Peradaban dalam Penggunaan TMK (7.3), TMK sebagai Platform Pengukuhan Kesepaduan Nasional (7.4), dan Isu-isu Semasa TMK (7.5). Pemetaan ini bertujuan memperkaya kandungan sedia ada dengan dimensi kecerdasan buatan tanpa mengubah struktur silibus asal.

Pemetaan ini menunjukkan bahawa kerangka adab tidak memerlukan struktur silibus baharu, sebaliknya boleh disisipkan secara organik ke dalam kandungan Topik 7 yang sedia ada. Pendekatan ini juga membolehkan pensyarah PEP menggunakan kaedah pengajaran yang lebih interaktif seperti perbincangan kes, penulisan reflektif, dan penetapan garis panduan penggunaan AI yang telus dalam penilaian kursus, selaras dengan konteks pelajar TVET di politeknik yang lebih terdedah kepada aplikasi teknologi praktikal.

Jadual 1. Memetakan Kerangka Adab Digital

Subtopik Silibus (MPU21072)	Fokus Sedia Ada	Cadangan Pengintegrasian Nilai Adab / Adab Digital
7.1 Evolusi dan Pengglobalan Teknologi	Sejarah dan perkembangan TMK dari era analog hingga era digital.	Perkenalkan AI generatif sebagai fasa terkini dalam evolusi TMK, dan bincangkan dari perspektif ta'dib bahawa setiap lonjakan teknologi menuntut lonjakan adab yang setara, bukan sekadar penguasaan kemahiran teknikal semata-mata.
7.2 Konsep Hubungan Manusia	Interaksi dan komunikasi antarmanusia melalui perantaraan TMK.	Perluaskan perbincangan kepada hubungan manusia-mesin (human-AI); tegaskan kedudukan manusia sebagai pemegang amanah ilmu, manakala AI kekal sebagai alat bantu dan bukan sumber autoriti epistemik.
7.3 Etika dan Peradaban dalam Penggunaan TMK	Etika dalam penggunaan TMK, seperti netiket digital dan privasi.	Perkenalkan kerangka 'Adab Digital' (Niat, Amanah, I'tidal, Keadilan Epistemik) sebagai kod etika khusus untuk penggunaan AI generatif dalam tugasan akademik dan kehidupan seharian pelajar.
7.4 TMK sebagai Platform Pengukuhan Kesepaduan Nasional	Peranan TMK dalam merapatkan hubungan dan komunikasi antara kaum.	Bincangkan potensi dan risiko AI (bias algoritma, berita palsu, *deepfake*, gelembung penapis) terhadap perpaduan; kaitkan nilai amanah (tabayyun) dengan amalan menyemak kesahihan maklumat sebelum dikongsi di ruang digital.
7.5 Isu-isu Semasa TMK	Isu semasa berkaitan TMK secara umum seperti keselamatan siber dan ketagihan digital.	Jadikan isu semasa AI (plagiarisme akademik berbantukan AI, penyalahgunaan *deepfake*, kebergantungan kognitif) sebagai kajian kes (*case study*) untuk mengaplikasikan kerangka adab secara praktikal dan reflektif.

4. Kesimpulan

Artikel konseptual ini merumuskan bahawa konsep adab, sebagaimana digagas dalam tradisi ta'dib al-Attas dan diperkukuh oleh pemikiran etika al-Ghazali serta Ibn Miskawayh, menawarkan kerangka nilai yang holistik dan mendalam untuk menangani cabaran etika kecerdasan buatan dalam pendidikan. Berbanding pendekatan etika AI arus perdana yang lebih bersifat prosedural dan teknikal, kerangka adab menekankan dimensi niat, tanggungjawab, kesederhanaan, dan keadilan epistemik secara menyeluruh, merangkumi aspek jasmani, akal, dan rohani pengguna.

Dalam konteks politeknik, penghayatan adab digital perlu diperkukuh sebagai teras kursus Penghayatan Etika dan Peradaban, bukan sekadar topik tambahan, supaya pelajar TVET dapat menggunakan teknologi AI secara bertanggungjawab tanpa mengorbankan kemahiran berfikir dan integriti akademik. Cadangan pemetaan kerangka 'Adab Digital' kepada subtopik 7.1 hingga 7.5 yang dikemukakan dalam kajian ini boleh dijadikan panduan awal oleh pensyarah PEP untuk memperkaya kandungan Topik 7 sedia ada tanpa mengubah struktur silibus rasmi. Kajian lanjutan secara empirikal disyorkan untuk menguji keberkesanan kerangka 'Adab Digital' yang dicadangkan ini dalam kalangan pelajar politeknik sebenar, serta mengkaji persepsi pensyarah

MPU terhadap kesediaan mereka untuk mengintegrasikan nilai adab ke dalam pengajaran berkaitan AI.

Rujukan

[1] J. Alfiah, “Kecerdasan buatan (AI) dan etika Islam,” *Prosiding International Seminar on Islamic Education and Peace (ISIEP)*, 2025.

[2] Ateerah Abdul Razak, Nur Azuki Yusuff, dan Zaleha Embong. (Eds.), “Penghayatan etika dan peradaban,” Penerbit UMK, 2021.

[3] S. M. N. Al-Attas, *The concept of education in Islam (2nd ed.).* ISTAC, 1999.

[4] I. Supriatin, S. Syarifah, E. Susilawati, I. Supriadi, and R. Apriani, “Formulasi etika kecerdasan buatan (AI) dalam pendidikan Islam: Pendekatan maqāṣid al-sharī'ah dan tafsir tematik al-Qur'an,” *Halaqa: Journal of Islamic Education*, vol.2, pp. 121–140, 2025.

[5] UNESCO. “Recommendation on the ethics of artificial intelligence,” United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2021.

[6] M. Ardiansyah, “Konsep adab Syed Muhammad Naquib Al-Attas dan aplikasinya di perguruan tinggi,” *At-Taqwa*, 2020.

[7] Z. Habib, “Ethics of artificial intelligence in Maqāṣid al-Sharīʿah's perspective: Concepts, controls, and applications,” *Journal of International Crisis and Risk Communication Research* (JICRCR), 2025.

[8] M. F. Ali and K. S. Mat Teh, “Etika dan adab penggunaan kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran bahasa Arab menurut perspektif Imam Al-Ghazali dan Ibn Miskawayh” *Jurnal Al-Haady*, vol. 7, no.1, pp.22–31, 2025.

[9] J. Auda, “Maqasid al-Shariah as philosophy of Islamic law: A systems approach,” International Institute of Islamic Thought, 2008.

[10] A. Husaini, “Konsep adab dalam falsafah pendidikan al-Attas,” *Islamia*, vol. 11, no.2, 2017.

[11] W. M. N. Wan Daud, “The educational philosophy and practice of Syed Muhammad Naquib al-Attas: An exposition of the original concept of Islamization,” ISTAC, 1998.

CHALLENGES FACED BY POLYTECHNIC ENGINEERING LECTURERS IN TEACHING STUDENTS WHO HAVE ONLY PASSED SPM MATHEMATICS

Mafuzah Nor binti Radzi*, Siti Mariam binti Hussain

Electrical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: mafuzah@ptsb.edu.my

Abstract

This conceptual paper discusses the challenges polytechnic engineering lecturers face when teaching students who have passed only Mathematics at the Malaysian Certificate of Education (SPM) level. Mathematics proficiency among Malaysian students is a national concern. Because mathematics underpins almost all core engineering courses at polytechnics, students who enter the engineering diploma programme with weak mathematics proficiency often struggle to keep up with teaching at the expected level. This paper identifies and discusses five main challenges lecturers face: existing knowledge gaps, mathematics anxiety, diverse learning styles and levels of student motivation, time constraints and a dense syllabus, and lecturer workload issues. The study also suggests several pedagogical strategies, such as staged teaching, differentiated teaching, interactive digital technology, remedial programmes, and lecturer professional development, to overcome these challenges.
Keywords: engineering lecturer; engineering pedagogy; mathematics anxiety; polytechnic; SPM.

1. Introduction

Mathematics is a key pillar of the Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) fields, and mastery of it is a key determinant of students' success in tertiary-level engineering. However, Malaysian students' performance in Mathematics at the Sijil Pelajaran Malaysia (SPM) level remains a concern for various parties. Data show that between 2017 and 2024, more than 600,000 SPM candidates failed Mathematics; when combined with candidates who obtained only grades D and E, this figure reached more than half of all candidates who sat for the examination. Although many students pass or obtain average grades in SPM Mathematics, a large proportion are still eligible and choose to continue their studies in polytechnic engineering, since the entry requirements generally only stipulate a minimum credit in the subject.

This places polytechnic engineering lecturers in a challenging position, as they must teach engineering content grounded in advanced mathematical concepts, such as calculus, vector algebra, trigonometry, and statistics, to students who may not yet have a solid grasp of secondary school mathematics. Therefore, this conceptual paper aims to identify and critically discuss the main challenges polytechnic engineering lecturers face in this context, and to propose appropriate pedagogical strategies to address them.

1.1 Objectives of the Paper

(i) Identify the main challenges polytechnic engineering lecturers face when teaching students who have only passed SPM Mathematics.

(ii) This paper discusses the implications of these challenges for the teaching and learning (TandL) process in polytechnic engineering.

(iii) We propose appropriate pedagogical strategies and approaches to address these challenges.

1.2 Research Methodology and Conceptual Approach

This conceptual research paper uses a systematic literature synthesis approach to examine the challenges engineering lecturers face in Malaysian polytechnics. The methodology is grounded in a comprehensive review and critical analysis of existing academic literature, empirical studies, and pedagogical frameworks related to mathematics teaching and learning in technical education contexts.

1.3 Research Design and Data Collection

The paper utilises a qualitative, narrative synthesis methodology. Literature was systematically sourced from peer-reviewed academic journals, conference proceedings, government reports on polytechnic education in Malaysia, and international publications on STEM education and engineering pedagogy. Key search terms included: "mathematics anxiety," "engineering education," "polytechnic students Malaysia," "teaching mathematics," "pedagogical strategies," and "STEM education." The literature was collected and synthesised to identify patterns, recurring themes, and gaps in the existing knowledge about engineering education challenges in Malaysian polytechnics.

1.4 Data Analysis and Synthesis Framework

The collected literature was analysed using a thematic synthesis approach to identify and categorise key themes and issues relevant to the research objectives. The analysis focused on: (1) identifying the primary challenges lecturers face when teaching mathematics-intensive engineering courses to students with varied mathematics backgrounds; (2) understanding the underlying causes and implications of these challenges; and (3) evaluating existing pedagogical solutions and strategies proposed in the literature. The findings from multiple sources were then synthesised to provide a comprehensive, integrated perspective on the issue. This approach allowed the authors to bridge gaps between theoretical understanding and practical pedagogical concerns in Malaysian polytechnic contexts.

1.5 Theoretical Framework

The paper is underpinned by constructivist learning theory and social-cognitive frameworks, which emphasise that students actively construct knowledge and that teaching effectiveness depends on understanding learners' prior knowledge, motivation, and affective states. The identified pedagogical strategies—scaffolding, differentiated instruction, and digital technology integration—are all grounded in these established theoretical frameworks. This conceptual synthesis approach allows stakeholders in polytechnic education to gain deeper insights into the multifaceted nature of the challenges and to inform evidence-based policy and practice improvements.

2. Background and Context of the Issue

Polytechnics in Malaysia set different entry requirements according to the type of polytechnic and the program of study. For most Diploma in Engineering programmes, candidates need at least a credit (Grade C) in Mathematics at the SPM level as one of the three required credits for admission. This requirement is relatively low compared with the mathematical content required in

core engineering courses such as Engineering Mathematics 1 and 2, which are prerequisites for almost all other technical courses in the diploma programme. Several studies at local polytechnics have found a significant, albeit weak, relationship between SPM Mathematics achievement and student achievement in diploma-level Engineering Mathematics courses [1]. This indicates that SPM achievement alone is not sufficient to predict student success fully and that other factors, such as learning style, motivation, classroom climate, and teaching methods, also play an important role in determining student success at the polytechnic level.

3. Challenges Faced by Engineering Lecturers

3.1 Knowledge Gap in Basic Mathematics

The most fundamental challenge engineering lecturers face is the gap between students' existing knowledge and the mathematical level required to follow an engineering course. Many students who only pass SPM Mathematics also show poor mastery of basic skills such as fractions, proportions, simple algebra, and basic trigonometry -- skills that should have been mastered before they could study advanced mathematical topics such as calculus and vectors at the diploma level. As a result, lecturers must spend much of their teaching time reteaching these basic concepts before moving on to the syllabus content.

3.2 Mathematics Anxiety

Math anxiety is defined as feelings of anxiety, tension, or fear that interfere with an individual's ability to process numbers and solve mathematical problems [2]. Hembree's [3] meta-analysis found a consistent inverse relationship between math anxiety and students' mathematics achievement across educational levels. For students with a history of poor mathematics achievement or who have only passed at school, these repeated negative experiences often lead to higher levels of anxiety when confronted with more complex engineering mathematics content. This finding aligns with several local studies that also reported that math anxiety negatively affects math achievement and problem-solving ability among Malaysian polytechnic and vocational college students [1], [4], [5], [6].

3.3 Diversity of Learning Styles and Student Motivation

Polytechnic engineering classes typically include students with diverse ability levels, learning styles, and motivations. This diversity makes it difficult for lecturers to design a uniform teaching approach that meets all students' needs in the same class. Although mathematics is crucial for honing engineering skills, students often lose interest because they view the subject unfavourably. Without sufficient intrinsic motivation, students tend to avoid actively engaging with engineering mathematics [7], [8].

3.4 Time Constraints and Dense Engineering Curriculum

The engineering syllabus at polytechnics assumes students have mastered secondary school mathematics and focuses on applying mathematics in engineering. When lecturers are forced to re-teach the basics of mathematics that should have been mastered, the teaching time allocated in the course framework becomes insufficient. This, in turn, pressures lecturers to choose between sacrificing conceptual depth to complete the syllabus on time or slowing the teaching tempo at the risk of not completing the prescribed course content.

3.5 Lecturer Workload and Resource Limitations

Engineering lecturers also face structural challenges, including large class sizes, heavy teaching loads (including administrative and project supervision duties), and limited learning support resources, such as remedial classes for engineering mathematics or teaching aids tailored to weaker students' levels. With large class sizes, lecturers find it difficult to give individual attention to students who need additional guidance in basic mathematics, making it hard to implement an effective differentiated teaching approach.

4. Implications for Teaching and Learning

The challenges discussed have several important implications for the engineering teaching and learning process at polytechnics. First, failure rates or unsatisfactory achievement in core mathematics-based courses may increase if students' basic gaps are not addressed early, affecting the Subject Grade Point Average (CGPA) and overall program graduation rates. Second, students who continue to fail or struggle in engineering mathematics courses risk a deeper decline in motivation and self-confidence, which can increase dropout rates in their study programmes. Third, pressure to complete the syllabus while addressing student knowledge gaps can affect lecturers' professional well-being and motivation if they lack adequate training and resources.

5. Proposed Strategies to Address Challenges

5.1 Teaching Scaffolding

The scaffolding approach lets lecturers break down complex engineering mathematics concepts into smaller, incremental learning units, reinforcing mathematical fundamentals before moving on to more complex engineering applications. An action study on scaffolding through group tutoring found that consistent implementation improved student learning and assignment quality.

5.2 Differentiated Teaching

Given the diverse ability levels in a class, differentiated instruction in content, process, and learning outcomes lets lecturers provide training and support at different levels of difficulty based on individual student needs, without sacrificing academic challenge for more advanced students. This approach is also supported by hybrid teaching strategies, digital learning and community support.

5.3 Integration of Digital Technology and Interactive Learning

Interactive mathematics applications, software-based engineering simulations, and digital learning platforms can help students visualise abstract mathematical concepts in real engineering contexts, reducing their reliance on memorisation. For instance, computerised adaptive testing has been shown to reduce anxiety about mathematics tests among polytechnic students [9]. Digital technology has also been shown to help students improve their knowledge and learning to meet industry needs and the demands of the 4th Industrial Revolution in TVET education.

5.4 Remedial Programmes and Basic Mathematics Support Classes

Polytechnics are recommended to provide remedial classes or workshops to strengthen basic mathematics, specifically for students who are identified to have knowledge gaps at the early stages of their studies, before they take the full Engineering Mathematics course. An initial

screening test (diagnostic assessment) in the first week of the semester can help lecturers more accurately and earlier identify students who need additional support.

5.5 Addressing Student Mathematics Anxiety

Strategies to reduce the impact of math anxiety on student performance include reflective writing exercises before exams, creating a learning environment that does not punish mistakes, and using continuous formative assessment rather than relying solely on summative assessment. Engineering lecturers are encouraged to adopt a classroom culture that helps students view mistakes as part of the learning process, not failures, to rebuild students' self-confidence in mathematics, as a supportive classroom learning environment is associated with lower levels of mathematics anxiety among polytechnic students [2].

5.6 Lecturer Professional Development

It is recommended that polytechnic and engineering department management provide ongoing professional development training and workshops for lecturers, particularly on the pedagogy of teaching engineering mathematics to students of various ability levels, techniques for managing students' mathematics anxiety, and the use of the latest teaching technology. This support is important to ensure that lecturers are equipped with relevant pedagogical skills, in addition to their existing engineering technical expertise.

6. Conclusion

This conceptual paper discusses the main challenges polytechnic engineering lecturers face when teaching students who have only passed SPM Mathematics. These challenges are interrelated and have significant implications for teaching and learning quality, students' academic achievement, and lecturers' professional well-being. To address this issue more comprehensively, an integrated approach involving pedagogical strategies such as scaffolding, differentiated instruction, digital technology integration, remedial programmes, and lecturer professional development support should be consistently implemented. This paper proposes that further empirical studies be conducted to assess the effectiveness of the proposed strategies in the local polytechnic context. It suggests that polytechnic management and the Department of Polytechnic and Community College Education (JPPKK) review support for basic mathematics learning for engineering students as part of efforts to improve the quality of national TVET graduates.

References

[1] M. R. Mohd Rustam, K. Azlina, S. Hamdan, T. Norashuha, A. K. Noriadah, and T. V. Nguyen, “Correlational analyses between mathematics anxiety and mathematics achievement among vocational college students”, *Jurnal Teknologi (Sciences* and *Engineering),* vol. 69, no. 6, pp. 117–122, 2014 (DOI: 10.11113/jt.v69.3320).

[2] Y. L. Ling, “Feedback-seeking behavior, classroom learning environment, and mathematics anxiety of polytechnic students in Malaysia,” *Journal of Contemporary Educational Research,* vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2017 (DOI: 10.26689/jcer.v1i1.146).

[3] R. Hembree, “The nature, effects, and relief of mathematics anxiety,” *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 21, no. 1, pp. 33–46, 1990.

[4] R. Muhaimin, I. Mohammad Zainal Akmal, and C. A. Hairi Haizri, “Assessment of the impact of mathematics anxiety on mathematics problem solving ability at maritime

polytechnic in Perak," *International Journal of Education, Psychology and Counselling,* vol. 10, no. 58, pp. 1–11, 2024 (DOI: 10.35631/IJEPC.1058011).

[5] M. S. Zubaidah, S. Geetha, and M. S. Nurul Munira, "Mathematics anxiety among architecture students at Polytechnic Sultan Idris Shah: A preliminary study as an attempt to strengthen mathematics education in TVET institution," *Semarak International Journal of STEM Education,* vol. 1, no. 1, pp. 39–48, 2024 (DOI: 10.37934/sijste.1.1.3948b).

[6] Y. Siti Zaharah and A. Ruslin, "Kebimbangan matematik dan pencapaian matematik tambahan," *Journal of Nusantara Studies,* vol. 3, no. 2, pp.124–133, 2017 (DOI: 10.24200/jonus.vol3iss2pp124-133).

[7] J. W. Yap and V. W. Y. Goh, "Anxiety and intrinsic motivation in learning mathematics: A study of Malaysian secondary school students," *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 2025.

[8] A. Norshaieda, M. Z. Amira Zulaikha, C. H. Che Rosemanita, and W. N. Wan Norhidayah, "Factors influencing mathematics anxiety among undergraduate students using regression model," *Journal of Mathematics and Computing Science,* vol. 10, no. 2, 2024 (DOI: 10.24191/jmcs.v10i2.7395).

[9] S. Mohd-Ali, N. Norfarah, J. I. Ilya-Syazwani, and I. Mohd-Erfy, "The effect of computerized-adaptive test on reducing anxiety towards math test for polytechnic students," *Journal of Technical Education and Training,* vol. 10, no. 2, pp. 1–10, 2018.

CHALLENGES IN INTELLIGENT WIRELESS DATA COMMUNICATION IN THE DIGITALIZATION ERA

Rahimah binti Abdul Rahman*, Syahril Izwan bin Abdul Yamin, Sharipah binti Daud

Electrical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: rahimah@ptsb.edu.my

Abstract

Rapid advances in digital technologies have made wireless communication a fundamental infrastructure supporting digital transformation across sectors. The integration of artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), cloud computing, edge computing and fifth-generation (5G) wireless networks has enhanced intelligent wireless data communication by enabling adaptive, reliable and efficient connectivity. However, these advancements have also introduced challenges related to network scalability, spectrum scarcity, cybersecurity, latency, interoperability, energy efficiency and AI integration. This conceptual paper examines the current challenges of intelligent wireless data communication in the digitalization era. It proposes a conceptual framework to illustrate the relationships among digitalization drivers, enabling technologies, communication challenges and expected outcomes. The study adopts a conceptual research methodology based on a structured review and thematic synthesis of recent literature. The proposed framework offers a holistic perspective to guide future research and support the development of intelligent, secure, resilient, and sustainable wireless communication systems for next-generation digital environments.
Keywords: data communication; intelligent wireless communication; 5G/6G; wireless networks.

1. Introduction

Rapid advances in digital technologies have transformed how sectors such as manufacturing, healthcare, transportation, education, and public services generate, transmit, and use information. The ongoing digitalization era is characterised by the widespread adoption of technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), cloud computing, edge computing and fifth-generation (5G) wireless networks [1], [2]. These technologies rely heavily on efficient, reliable wireless data communication to support real-time information exchange, intelligent decision-making, and seamless connectivity among heterogeneous devices. As digital ecosystems expand, intelligent wireless data communication has become a key enabler of smart applications and next-generation communication infrastructures.

Unlike conventional wireless communication systems that focus primarily on data transmission, intelligent wireless data communication incorporates AI and machine learning to optimise network operations, automate resource allocation, predict network conditions, and improve performance [3]. Integrating intelligent algorithms enables wireless networks to adapt dynamically to changing environments, enhancing spectrum utilisation, reducing transmission latency, improving energy efficiency, and maintaining reliable connectivity. These capabilities are increasingly important for applications such as autonomous vehicles, industrial automation, smart healthcare, precision agriculture, and smart city services, where communication reliability and low latency are essential.

The increasing number of connected devices further intensifies the demand for intelligent wireless communication. Recent projections indicate that the global deployment of IoT devices will

continue to grow rapidly over the coming years, generating unprecedented volumes of data that must be transmitted, processed and analysed efficiently [4]. At the same time, emerging technologies such as extended reality (XR), digital twins, autonomous systems, and collaborative robotics require wireless communication networks that support high data rates, ultra-low latency, and continuous service availability. Consequently, conventional network management approaches are becoming insufficient to accommodate the complexity and scale of modern digital communication environments.

To address these challenges, researchers and industry practitioners have increasingly incorporated intelligent technologies into wireless communication systems. Researchers have applied AI-driven approaches to traffic prediction, adaptive routing, spectrum management, interference mitigation, fault detection, and enhanced network security [5], [6]. The emergence of intelligent network architectures has also accelerated the development of self-organising and self-healing networks that can automatically monitor network conditions and optimise communication performance with minimal human intervention. These advancements have significantly improved the efficiency and flexibility of wireless communication systems, particularly in 5G-enabled environments, while laying the foundation for future sixth-generation (6G) networks.

Despite these advances, intelligent wireless data communication still faces several critical challenges. The exponential growth of connected devices has increased network congestion and intensified competition for limited spectrum resources [7]. The heterogeneous nature of modern communication environments creates interoperability issues among devices that use different communication protocols and standards. Furthermore, intelligent wireless networks are increasingly exposed to sophisticated cybersecurity threats, including unauthorised access, distributed denial-of-service attacks, data interception and adversarial attacks targeting AI models [8]. Other persistent concerns include maintaining Quality of Service (QoS), ensuring communication reliability in highly dynamic environments, reducing energy consumption and achieving scalable network management while supporting increasingly complex digital applications.

Although numerous studies have examined individual aspects of intelligent wireless communication, the literature remains fragmented, with many focusing separately on AI techniques, IoT applications, 5G technologies, or network security [9]. Few studies offer an integrated conceptual perspective on how these components collectively shape the challenges of intelligent wireless data communication in the digitalization era. As wireless communication technologies evolve toward AI-native and 6G-enabled architectures, a comprehensive understanding of these interconnected challenges is needed to guide future research and technology development.

Therefore, this conceptual paper synthesises recent literature to examine the current challenges of intelligent wireless data communication in the digitalization era. The paper discusses the evolution of intelligent wireless communication, analyses the major technical and operational challenges affecting modern wireless networks, identifies existing research gaps, and proposes a conceptual framework to support future investigations. This paper's findings are expected to improve understanding of intelligent wireless communication systems and provide useful insights for researchers, educators, and industry practitioners involved in developing next-generation digital communication technologies.

2. Literature Review

2.1 Intelligent Wireless Data Communication

Wireless data communication has evolved significantly over the past few decades, moving from basic voice and data transmission systems to intelligent communication networks that support diverse digital applications [2]. Traditionally, wireless communication focused on establishing reliable data transmission between devices through radio frequency technologies, with network operations relying primarily on predefined protocols and centralised management [10]. While these conventional approaches successfully supported mobile communication and internet access, they are increasingly challenged by the growing complexity, scale and dynamic nature of modern digital environments.

The digitalization era has accelerated demand for wireless communication systems that are not only faster and more reliable but also able to adapt autonomously to changing network conditions. This shift has driven the development of intelligent wireless data communication, which integrates artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and data analytics into wireless communication systems [9]. Unlike conventional networks, intelligent wireless communication continuously analyses network conditions, predicts traffic patterns, optimises resource allocation and supports adaptive decision-making with minimal human intervention. As a result, communication networks become more efficient, flexible, and resilient in managing increasingly complex communication environments.

A key characteristic of intelligent wireless data communication is its ability to support self-optimising network operations. AI-enabled algorithms can dynamically allocate bandwidth, manage spectrum utilisation, predict network congestion, and optimise routing paths based on real-time traffic information [5]. Machine learning models further enhance communication performance by learning from historical network data and continuously improving decision-making processes [3]. These capabilities reduce transmission latency, improve throughput, and enhance Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) for end users. Such improvements are particularly important for latency-sensitive applications, including autonomous transportation, industrial automation, telemedicine, and smart manufacturing.

Another defining feature of intelligent wireless communication is its support for massive connectivity. The rapid growth of Internet of Things (IoT) devices has dramatically increased the number of connected sensors, actuators and smart devices communicating over wireless networks. These devices continuously generate large volumes of heterogeneous data that require efficient transmission, processing and management. Intelligent communication mechanisms enable networks to prioritise traffic, allocate communication resources efficiently, and accommodate varying service requirements while maintaining network stability. This capability has become increasingly important as digital transformation initiatives continue to expand across industrial, commercial, and public sectors.

Recent advances in fifth-generation (5G) wireless technology have further strengthened intelligent wireless data communication [11]. Compared with previous generations, 5G offers substantially higher data transmission rates, lower latency, greater network capacity, and improved reliability. These capabilities provide an ideal platform for deploying AI-enabled network management, edge computing, and real-time data analytics. Looking ahead, sixth-generation (6G) networks are expected to embed AI as a native component of network architecture, enabling autonomous communication systems capable of self-learning, self-healing, and intelligent resource management [12]. Such developments are anticipated to support emerging applications

including digital twins, extended reality (XR), collaborative robotics, and fully autonomous cyber-physical systems.

Despite these advancements, intelligent wireless data communication extends beyond integrating AI into communication networks. It represents a holistic communication ecosystem in which intelligent technologies, advanced wireless infrastructures, cloud services, edge computing, and data-driven decision-making operate collaboratively to deliver efficient, secure and scalable communication services [2]. This integration enables communication systems to respond proactively to environmental changes while supporting the diverse performance requirements of next-generation digital applications.

In summary, intelligent wireless data communication has become a critical foundation of the digitalization era by enabling adaptive, autonomous, and high-performance communication among interconnected devices and systems [5]. Its ability to integrate intelligent technologies with advanced wireless infrastructures has significantly enhanced network efficiency and service delivery. Nevertheless, the increasing complexity of intelligent communication environments also introduces new technical and operational challenges that require further investigation. Understanding these challenges is essential for guiding the future development of robust, secure, and sustainable wireless communication systems.

3. Evolution of Wireless Communication in the Digitalization Era

The evolution of wireless communication has been driven by the continuous demand for higher data rates, broader connectivity, lower latency and improved service reliability. Over the past four decades, wireless technologies have progressed from supporting basic voice communication to enabling intelligent digital ecosystems that connect people, devices and services in real time [13], [14]. This transformation has been closely aligned with the rapid advancement of digitalization, where digital technologies have become integral to industrial operations, public services, healthcare, education, transportation and everyday life.

The first generation (1G) of wireless communication introduced analogue cellular technology, primarily supporting voice communication with limited capacity and security. The transition to second-generation (2G) networks marked the beginning of digital wireless communication by enabling digital voice transmission, text messaging, and basic data services [15]. Although these early generations laid the foundation for mobile communication, their capabilities could not meet the growing demand for multimedia applications and internet-based services.

Third-generation (3G) networks marked a significant milestone by enabling mobile internet access and faster data transmission. This advancement facilitated the widespread adoption of smartphones and mobile applications, allowing users to access online services beyond voice and messaging. Subsequently, fourth-generation (4G) technology further enhanced communication performance by providing high-speed broadband connectivity capable of supporting video streaming, cloud-based applications, and social networking platforms [16]. During this period, wireless communication shifted from primarily supporting human-to-human communication towards enabling continuous data exchange between digital services and connected devices.

The digitalization era accelerated the need for communication systems that support massive connectivity, real-time data processing, and intelligent decision-making. This demand led to the development of fifth-generation (5G) wireless technology, which introduced enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable low-latency communication (URLLC), and massive machine-type communication (mMTC) [17], [18]. These capabilities significantly expanded wireless

communication's potential by supporting applications such as industrial automation, autonomous vehicles, smart healthcare, precision agriculture, and smart city infrastructure. Unlike previous generations, 5G was designed not only to increase communication speed but also to provide a flexible platform capable of accommodating diverse service requirements across multiple industries.

The rapid adoption of emerging digital technologies has further transformed wireless communication into an intelligent and adaptive network infrastructure [19], [20]. Technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), cloud computing, edge computing, and big data analytics have introduced new communication requirements that conventional network management approaches cannot efficiently address. Modern wireless networks are expected to process enormous volumes of heterogeneous data, manage highly dynamic traffic patterns, and maintain reliable communication among billions of interconnected devices. Consequently, intelligence has become essential to wireless communication systems, enabling data-driven decision-making that optimises resource allocation, predicts congestion, enhances security, and improves overall performance.

Alongside 5G deployment, research on sixth-generation (6G) wireless communication has gained considerable attention. Although still under development, 6G is envisioned as an AI-native communication platform that integrates communication, sensing, computing, and intelligence into a unified architecture. Future 6G networks are expected to provide terabit-level data transmission [14], [21], sub-millisecond latency, global connectivity, and autonomous network management. These capabilities are anticipated to support emerging applications such as digital twins, immersive extended reality (XR), collaborative robotics, intelligent transportation systems, and fully connected cyber-physical environments. The transition to 6G reflects the continued evolution of wireless communication from a connectivity-oriented infrastructure to an intelligent digital ecosystem that supports highly complex, data-intensive applications.

Despite these remarkable technological advancements, wireless communication has also introduced new challenges. Increasing network complexity, spectrum scarcity, cybersecurity risks, interoperability issues, and growing energy consumption continue to affect the performance and sustainability of intelligent wireless communication systems [13], [22]. As digital transformation accelerates across sectors, addressing these challenges is essential to ensure future wireless networks remain secure, efficient, scalable, and capable of supporting the evolving demands of the digital economy.

Overall, wireless communication has evolved from conventional mobile systems to intelligent, data-driven network infrastructures. This transformation has provided the technological foundation for digitalization by enabling ubiquitous connectivity, real-time communication, and intelligent service delivery. At the same time, it highlights the need for continuous innovation to overcome the technical and operational challenges associated with increasingly sophisticated wireless communication environments.

4. Key Enabling Technologies (AI, IoT, 5G/6G, Edge Computing)

Digitalization has fundamentally transformed how individuals, organisations, and industries create, exchange, and use information. It refers to integrating digital technologies into business processes, public services, manufacturing, education, healthcare, transportation, and other sectors to improve operational efficiency, productivity, and decision-making [1], [23]. The widespread adoption of digital technologies has led to an unprecedented increase in data generation and communication demands, requiring communication networks that provide

continuous, reliable, high-speed connectivity [2]. Consequently, wireless communication has evolved from a supporting technology into critical infrastructure underpinning modern digital ecosystems.

The increasing digitalization of society has significantly expanded the role of wireless communication beyond conventional mobile connectivity. Modern digital services depend on seamless communication among interconnected devices, cloud platforms, edge computing resources, and intelligent applications that continuously exchange large volumes of data in real time [4]. Examples include smart manufacturing systems that monitor production processes through wireless sensors, intelligent transportation systems that enable vehicle-to-vehicle communication, healthcare platforms that support remote patient monitoring, and smart city applications that coordinate urban infrastructure through interconnected networks. These applications demonstrate that wireless communication has become an essential enabler of digital transformation across multiple sectors.

One defining characteristic of the digitalization era is the rapid growth of connected devices. The Internet of Things (IoT) has enabled billions of sensors, actuators, mobile devices, and embedded systems to communicate autonomously through wireless networks. Unlike traditional communication environments that primarily supported human-to-human interactions, digital ecosystems require communication infrastructures that can handle continuous machine-to-machine (M2M) communication while maintaining low latency, high reliability, and efficient resource utilisation [12]. This shift has substantially increased the complexity of wireless communication networks and created new requirements for intelligent network management.

Advances in complementary digital technologies have further accelerated wireless communication's evolution. Artificial intelligence (AI) enables communication networks to analyse traffic patterns, predict congestion, optimise routing, and automate resource allocation [5]. Cloud computing provides scalable computing and storage resources for processing large volumes of communication data. In contrast, edge computing brings computational capabilities closer to end devices, reducing latency and supporting time-sensitive applications. Together, these technologies have transformed wireless communication from a simple transmission medium into an intelligent, adaptive communication ecosystem that supports diverse digital services.

Digital transformation has also changed user expectations regarding communication performance. Individuals and organisations increasingly rely on uninterrupted access to cloud services, real-time collaboration platforms, online learning environments, digital financial services, and multimedia applications [23]. At the industrial level, technologies such as Industry 4.0, autonomous robotics, digital twins, and cyber-physical systems require wireless communication networks that can support ultra-reliable communication with minimal delay [1]. Meeting these requirements has driven continuous innovation in wireless communication technologies, encouraging the integration of intelligence, automation and advanced networking capabilities into modern communication systems.

As wireless communication evolves alongside digitalization, communication networks are expected to become increasingly autonomous, scalable, and context-aware [12]. Rather than simply transmitting information, intelligent wireless networks are now designed to learn from network conditions, adapt to changing traffic demands, and optimise communication performance dynamically. This evolution supports the growing complexity of digital environments while enabling more efficient utilisation of communication resources.

Nevertheless, the close relationship between digitalization and wireless communication also introduces significant technical and operational challenges. The growing number of connected devices, increasing communication traffic, heterogeneous network architectures, and evolving cybersecurity threats require more sophisticated communication strategies than those used in conventional wireless systems [7], [8]. These developments highlight the need to continuously advance wireless communication technologies to support future digital ecosystems securely, reliably, and sustainably.

5. Current Challenges in Intelligent Wireless Data Communication

One of the primary challenges facing intelligent wireless communication is the exponential growth in connected devices driven by the rapid adoption of Internet of Things (IoT) technologies. Billions of sensors, mobile devices, autonomous systems, and smart appliances continuously exchange information over wireless networks, placing significant pressure on existing communication infrastructures. As device density increases, communication networks may experience congestion, packet collisions, reduced throughput, and degraded Quality of Service (QoS). Maintaining stable communication while supporting diverse applications with varying bandwidth and latency requirements remains a significant challenge for network operators and researchers [24], [25].

Beyond scalability concerns, rising demand for wireless services has intensified competition for limited radio frequency spectrum resources. Traditional spectrum allocation approaches often result in inefficient utilisation, particularly in dynamic communication environments. As a result, intelligent wireless systems require adaptive spectrum management strategies that can allocate resources based on real-time network conditions while minimising interference and ensuring fairness among users [6], [13], [21].

As wireless communication becomes more interconnected and data-driven, cybersecurity and data privacy have become critical concerns. Continuous data exchange among devices, cloud platforms, and edge systems increases vulnerability to threats such as unauthorised access, data breaches, distributed denial-of-service (DDoS) attacks, and adversarial attacks targeting AI models. Protecting sensitive information while maintaining system performance remains a major challenge in modern wireless environments [26], [27], [28].

Another important issue relates to latency and Quality of Service. Many digital applications, including autonomous vehicles, industrial automation, and remote healthcare systems, require ultra-reliable communication with minimal delay. Although advanced technologies such as 5G have significantly reduced communication latency, maintaining consistent quality of service under dynamic conditions—such as fluctuating traffic loads, user mobility, and wireless interference—continues to be a complex challenge [17], [29], [30].

Interoperability also presents a significant barrier in intelligent wireless communication. Modern communication environments include heterogeneous networks, diverse devices, and multiple vendor-specific communication standards. Differences in protocols, data formats, and system capabilities may hinder seamless integration and efficient data exchange. Interoperability is therefore essential, especially in large-scale digital ecosystems such as smart cities and industrial automation systems [22], [31].

In parallel, energy efficiency and sustainability have become increasingly important considerations. The continuous operation of base stations, IoT devices, edge servers, and AI processing units contributes to substantial energy consumption. This is especially critical for

battery-powered devices deployed in remote or resource-constrained environments. Consequently, there is a growing need for energy-efficient communication strategies, green networking technologies, and sustainable system designs to reduce environmental impact while maintaining network performance [14], [32].

Finally, integrating artificial intelligence adds complexity to wireless communication systems. While AI enables adaptive network management, predictive analytics, and autonomous decision-making, it also requires significant computational resources and large volumes of high-quality data. Challenges related to model reliability, explainability, and robustness remain significant, as inaccurate predictions or poorly trained models may negatively affect communication performance. Therefore, ensuring trustworthy and efficient AI deployment is essential to successfully implementing intelligent wireless networks [19].

Overall, the challenges associated with intelligent wireless data communication are multidimensional and closely interconnected. Improving one aspect, such as increasing network capacity, may introduce new challenges in energy consumption, security, or computational complexity. Consequently, future wireless communication systems require integrated solutions that combine intelligent network management, adaptive resource allocation, robust cybersecurity mechanisms, and sustainable communication strategies. Addressing these challenges will be fundamental to supporting the continued growth of digitalization and the successful implementation of next-generation wireless communication technologies.

6. Methodology

This study adopts a conceptual research methodology based on a comprehensive review and synthesis of existing literature on intelligent wireless data communication in the digitalization era. Unlike empirical research that relies on primary data collection through surveys, experiments, or interviews, conceptual research aims to develop theoretical understanding by critically analysing and integrating existing knowledge. This approach suits emerging, multidisciplinary topics such as intelligent wireless communication, where technological advancements occur rapidly, and knowledge is distributed across multiple research domains.

The literature review was conducted using a structured search strategy to identify relevant and high-quality publications related to intelligent wireless data communication and its associated challenges. We selected reputable academic databases, including IEEE Xplore, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, and the ACM Digital Library, because they provide extensive coverage of peer-reviewed journals and conference proceedings in wireless communication, information and communication technology (ICT), computer science, and electrical and electronic engineering.

A combination of predefined keywords and Boolean operators was employed to ensure comprehensive retrieval of relevant publications. The primary search terms included "intelligent wireless communication", "wireless data communication", "digitalization", "artificial intelligence", "Internet of Things", "5G", "6G", "edge computing", "cloud computing", "wireless communication challenges", and "network security". We used Boolean operators such as AND and OR to refine the search and improve the relevance of the retrieved literature. Example search combinations included "intelligent wireless communication" AND "digitalization", "5G" OR "6G" AND "artificial intelligence" and "IoT" AND "wireless communication challenges".

To ensure that the review reflected recent technological developments, priority was given to peer-reviewed journal articles and conference papers published between 2020 and 2025. Earlier

publications were included selectively when they provided important theoretical foundations or historical perspectives on the evolution of wireless communication technologies. We screened the retrieved publications by reviewing their titles, abstracts, and keywords to assess their relevance to the study's objectives. We then selected full-text articles addressing intelligent wireless communication, enabling technologies, digital transformation, and communication challenges for detailed analysis.

The selected literature was analysed using thematic synthesis. The analysis systematically identified key concepts, technological developments, and recurring challenges, grouping them into major themes, including network scalability, spectrum management, cybersecurity, interoperability, communication quality, energy efficiency, and artificial intelligence integration. These themes were subsequently synthesised to examine their interrelationships and to identify existing research gaps within the current body of knowledge.

Based on the literature synthesis findings, we developed a conceptual framework to illustrate the relationships among digitalization drivers, enabling technologies, current challenges, and the expected outcomes of intelligent wireless data communication. Rather than establishing causal relationships through empirical testing, the proposed framework provides a theoretical foundation for understanding the multidimensional challenges associated with intelligent wireless communication. It guides future empirical research and technology development.

7. Findings and Discussion

Through a systematic thematic synthesis of the reviewed literature, this study extracted and mapped the foundational data that defines modern wireless networking systems. The primary output is a Consolidated Research Matrix (Table 1), which organises the selected publications by core components, key information, and empirical focus.

8. Framework Integration and Structural Synthesis

The thematic mapping in Table 1 reveals that contemporary research remains heavily siloed. While physical layer studies isolate hardware and propagation limits, separate software-centric papers focus strictly on algorithmic optimisation or decentralised edge computing nodes. To address this fragmentation, this paper proposes a unified conceptual framework (Figure 1) that illustrates the explicit relationship between digitalization drivers, enabling technologies, current challenges, and the desired outcomes of intelligent wireless data communication.

Table 1. Consolidated research matrix: next-generation intelligent wireless networks

Component	Key Information	Empirical Focus
Digitalization Drivers	Smart Ecosystems	Rapid development of smart cities, automated industries, and localised context-aware public systems.
	Data Explosion	A massive rise in global data traffic, driven by ubiquitous mobile devices, IoT sensors, and autonomous vehicles, requires persistent edge-cloud connectivity.
Enabling Technologies	AI-Native Architecture	Deep integration of Edge Artificial Intelligence (Edge AI), Federated Learning, and split-learning algorithms directly into edge nodes.
	Semantic Communications	Transitioning from raw data transmission to context- and meaning-oriented communication to maximise bandwidth usage.
	Advanced Physical Layers	Utilisation of Terahertz (THz) and millimetre-wave frequencies combined with intelligent Software-Defined Networks (SDN).
Current Challenges	Resource Constraints	Severe spectrum scarcity at extremely high frequencies, along with massive atmospheric absorption/blocking bottlenecks.
	Orchestration Complexity	Highly elevated computational overhead and orchestration friction when managing massive, heterogeneous multi-agent edge networks
	AI Weaknesses	Explainability, trustworthiness, and training data discrepancies under volatile, real-time network states.
	Security Vulnerabilities	Expanded cyber threat surfaces introduced by distributed AI nodes, quantum threats, and dense data tracking.
Expected Outcomes	Connected Intelligence	Achieving ultra-low latency, optimised bandwidth consumption, and massive device scalability.
	Green and Sustainable Networks	Development of energy-efficient, self-learning network models inspired by the sustainable processing dynamics of biological brains.
	Unified Protocol Coexistence	Robust standardisations that ensure seamless, secure interoperability within dense, cross-domain user ecosystems.

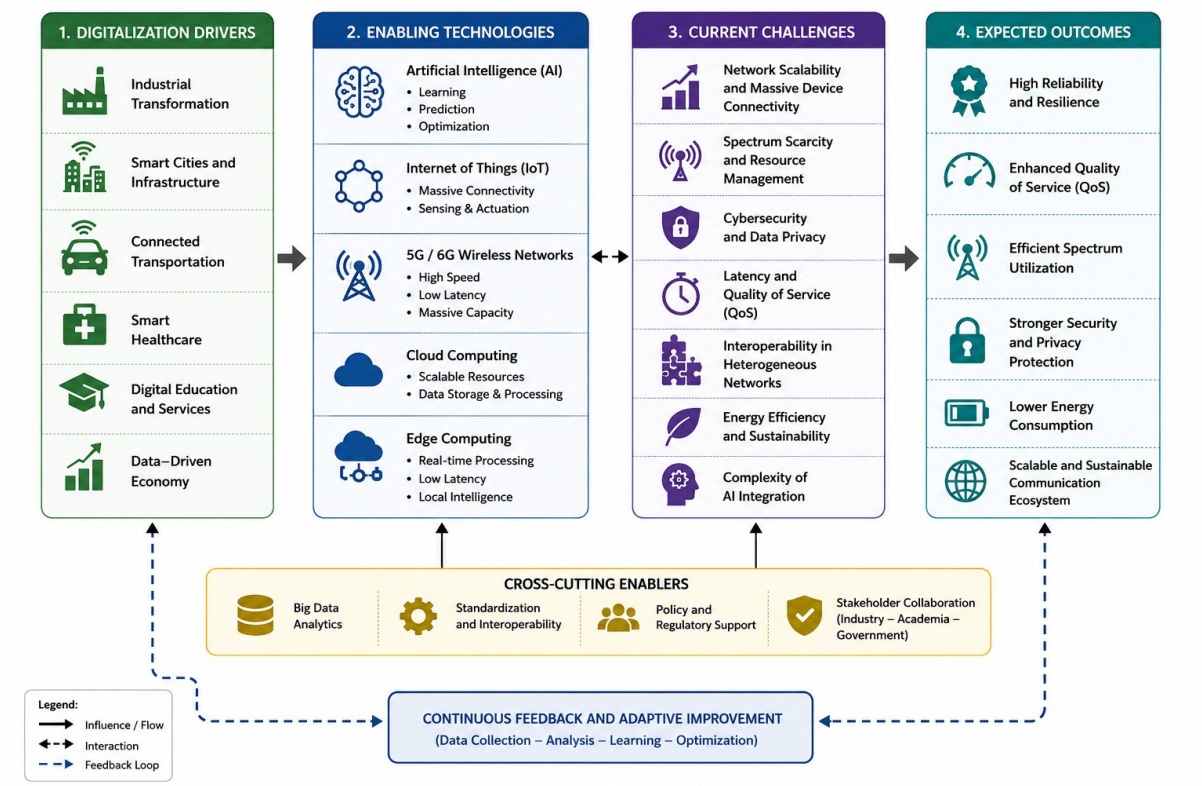


Fig. 1. Proposed conceptual framework for intelligent wireless communication in the digitalization era

The proposed framework has four primary vertical core components, supported by horizontal, cross-cutting enablers and a continuous optimisation loop.

8.1 Digitalization Drivers

Represents the increasing demand for digital transformation across sectors such as manufacturing, healthcare, education, transportation, agriculture, and smart cities. These sectors require communication infrastructures that support real-time data exchange, intelligent decision-making, and seamless connectivity among diverse devices and applications. Digitalization therefore drives the evolution of intelligent wireless communication [33], [34].

8.2 Enabling Technologies

Comprise the underlying technical tools that support intelligent networks. These include Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), fifth-generation and emerging sixth-generation (5G/6G) wireless networks, cloud computing, and edge computing. AI enables intelligent network management through predictive analytics, adaptive resource allocation, and autonomous decision-making. IoT enables large-scale connectivity among smart devices, while cloud and edge computing provide scalable computational resources to process communication data efficiently. Meanwhile, 5G and future 6G networks provide the communication infrastructure necessary to support high-speed, low-latency, and reliable data transmission [33], [35].

8.3 Current Challenges

Focuses on the immediate technical and operational hurdles affecting communication systems. These challenges include network scalability, spectrum scarcity, cybersecurity threats, latency management, interoperability among heterogeneous networks, energy efficiency, and the complexity of AI integration. These challenges are closely interconnected and do not operate independently. For example, increasing the number of connected devices may intensify network congestion, which in turn affects communication latency and spectrum utilisation. Similarly, implementing AI-based network optimisation may improve communication performance but also raise concerns about computational complexity, explainability, and cybersecurity [34], [35].

8.4 Expected Outcomes

This section presents the ultimate goals of effective intelligent wireless communication. By addressing the identified challenges through the coordinated application of enabling technologies, future wireless communication systems are expected to achieve improved network reliability, enhanced Quality of Service (QoS), efficient spectrum utilisation, reduced communication latency, stronger cybersecurity, sustainable energy consumption, and greater scalability. These outcomes will enable intelligent wireless communication to support the continued expansion of digital transformation initiatives across various industries and public services [33], [34].

To transition successfully from enabling technologies to expected outcomes while mitigating complex network friction points, the architecture introduces four horizontal Cross-Cutting Enablers that span the entire framework ecosystem:

(i) Big Data Analytics acts as the primary computational engine, translating massive streams of raw network telemetry data into structured inputs for the AI engine.
(ii) Standardisation and Interoperability establish unified protocol boundaries, preventing packet-drop anomalies and collision states in dense, multi-vendor device configurations.
(iii) Policy and Regulatory Support manage dynamic spectrum allocation strategies while maintaining compliance with regional and global user data privacy protection mandates.
(iv) Stakeholder Collaboration (Industry–Academia–Government) bridges the operational gap between theoretical lab-based machine learning models and telecom operators' infrastructure demands.

Finally, the framework highlights that modern digital networks cannot rely on static configurations. The baseline architecture relies on a Continuous Feedback and Adaptive Improvement Loop powered by data collection, real-time analysis, iterative machine learning, and dynamic optimisation. This loop ensures that unexpected shifts in digitalization drivers trigger immediate, self-healing updates to technology configurations, keeping the network resilient to emerging security vulnerabilities and latency spikes.

9. Conclusion

The digitalization era has transformed wireless communication into a fundamental infrastructure supporting intelligent, connected, and data-driven societies. The convergence of technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, cloud computing, edge computing, and 5G wireless networks has significantly enhanced communication systems' ability to provide reliable, adaptive, and efficient data transmission. At the same time, the increasing complexity of digital ecosystems has introduced new challenges beyond traditional communication issues, including

network scalability, spectrum management, cybersecurity, interoperability, energy efficiency, and AI integration.

This conceptual paper reviewed the evolution of intelligent wireless data communication and examined the major challenges influencing its implementation in the digitalization era. The review highlighted that although substantial progress has been made in individual technological domains, existing research remains fragmented and places limited emphasis on the interrelationships among the multiple challenges affecting intelligent wireless communication. This fragmentation indicates the need for a more comprehensive perspective that integrates enabling technologies, communication challenges and expected system outcomes within a unified conceptual framework.

To address this gap, the paper proposed a conceptual framework that illustrates the relationships among digitalization drivers, enabling technologies, current communication challenges and desired network outcomes. The framework provides a theoretical basis for understanding how integrated technological solutions may enhance the performance, reliability, security and sustainability of future wireless communication systems. It also serves as a reference for researchers and practitioners designing intelligent communication infrastructures that support next-generation digital applications.

Future research should validate the proposed framework through empirical investigations, simulation studies, and real-world implementations. Such studies will deepen understanding of intelligent wireless communication and support the development of resilient, secure, and sustainable communication networks that meet the evolving demands of digital transformation.

References

[1] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, “Digital transformation technologies and their applications,” Sustainable Operations *and Computers,* vol. 4, pp. 54–62, 2023.

[2] C.-X. Wang et al., “On the road to 6G: Visions, requirements, key technologies, and testbeds,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 24, no. 2, pp. 995–1039, 2022.

[3] J. Lee, D. Kim, and S. Park, “Machine learning-based network optimization in wireless communication systems,” *IEEE Access,* vol. 10, pp. 45678–45692, 2022.

[4] Cisco. *Cisco annual internet report (2018–2023)*. Cisco Systems, 2022.

[5] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, “Toward AI-native wireless networks,” *IEEE Wireless Communications,* vol. 30, no. 2, pp. 56–62, 2023.

[6] Z. Zhang, Y. Xiao, Z. Ma, M. Xiao, Z. Ding, X. Lei, and P. Fan, “6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies,” *IEEE Vehicular Technology Magazine,* vol.17, no. 2, pp. 28–41, 2022.

[7] I. F. Akyildiz, A. Kak, and S. Nie, “6G and beyond: The future of wireless communications systems,” *IEEE Access,* vol. *11*, pp. 10234–10259, 2023.

[8] M. M. Alam, A. E. Saddik, and S. H. Ahmed, “Security and privacy challenges in IoT-enabled wireless systems,” *Future Generation Computer Systems,* vol. 138, pp. 273–288, 2023.

[9] J. Zhang, S. Chen, and Y. Li, “Intelligent wireless communication systems: Recent advances and future directions,” *IEEE Access,* vol. 12, pp. 12345–12367, 2024.

[10] S. A. Busari, S. Mumtaz, S. Al-Rubaye, and J. Rodriguez, “Artificial intelligence for next-generation wireless networks: A comprehensive survey,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 26, no. 1, pp. 234–265, 2024.

[11] X. Chen, H. Zhang, and Y. Li, “AI-enabled wireless communications: A survey,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 24, no. 3, pp. 1755–1783, 2022.

[12] K. B. Letaief, W. Chen, Y. Shi, J. Zhang, and Y. Zhang, “The roadmap to 6G: AI-empowered wireless networks,” *IEEE Communications Magazine,* vol. 61, no. 1. pp. 84–90, 2023.

[13] H. Tataria, M. Shafi, A. F. Molisch, M. Dohler, H. Sjöland, and F. Tufvesson, “6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities,” *Proceedings of the IEEE,* vol.110, no. 8, pp. 1166–1199, 2022.

[14] X. You et al., “Towards 6G wireless communication networks,” *Science China Information Sciences,* vol. 66, no. 3, pp. 1–19, 2023.

[15] A. Goldsmith, *Wireless communications* (2nd ed.). Cambridge University Press, 2022.

[16] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, “What will 5G be?,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications,* vol. 40, no. 2, pp. 1065–1082, 2022.

[17] S. Chen, Y.-C. Liang, S. Sun, S. Kang, W. Cheng, and M. Peng, “Vision, requirements, and technology trends for 6G mobile communications,” *IEEE Wireless Communications,* vol. 30, no. 1, pp. 12–19, 2023.

[18] ITU-R, *IMT-2030 (6G) framework and overall objectives*. International Telecommunication Union, 2023.

[19] Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, and K. B. Letaief, “A survey on mobile edge computing: The communication perspective,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 24, no. 2, pp. 1069–1099, 2022.

[20] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge computing: Vision and challenges,” IEEE *Internet of Things Journal,* vol. 9, no. 2, pp. 1–14, 2022.

[21] S. Dang, O. Amin, B. Shihada, and M.-S. Alouini, “What should 6G be?,” *Nature Electronics,* vol.6, no.1, pp. 12–19, 2023.

[22] D. C. Nguyen, M. Ding, P. N. Pathirana, and A. Seneviratne, “6G Internet of Things: A comprehensive survey,” *IEEE Internet of Things Journal,* vol. 9, no. 1, pp. 359–383, 2022.

[23] P. C. Verhoef, T. Broekhuizen, Y. Bart, A. Bhattacharya, J. Q. Dong, N. Fabian, and M. Haenlein, “Digital transformation: A multidisciplinary reflection,” *Journal of Business Research,* vol. 122, pp. 889–901, 2021.

[24] A. Akbar, H. K. Qureshi, and M. Ahmed, “Toward scalable Internet of Things: Challenges and solutions,” *IEEE Access,* vol. 10, pp. 11234–11250, 2022.

[25] R. Iyer, P. Sahu, and S. Mishra, “Massive IoT connectivity: Challenges and enabling technologies,” *IEEE Internet of Things Journal,* vol. 9, no. 5, pp. 3456–3470, 2022.

[26] M. Conti, A. Dehghantanha, K. Franke, and S. Watson, “Internet of Things security and forensics: Challenges and opportunities,” *Future Generation Computer Systems,* vol. 78, pp. 544–546, 2022.

[27] F. Hussain, R. Hussain, S. A. Hassan, and E. Hossain, “Machine learning in IoT security: Current solutions and future challenges,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 25, no. 1, pp. 172–198, 2023.

[28] S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Porisini, “Security, privacy and trust in Internet of Things,” *Computer Networks, 76*, pp. 146–164, 2022.

[29] M. Bennis, M. Debbah, and H. V. Poor, “Ultra-reliable and low-latency wireless communication: Tail, risk, and scale,” *Proceedings of the IEEE,* vol. 110, no.3, pp. 183–204, 2022.

[30] J. Park, S. Samarakoon, M. Bennis, and M. Debbah, “Wireless network intelligence at the edge,” *IEEE Communications Magazine,* vol. 61, no. 3, pp. 102–108, 2023.

[31] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials,* vol. 24, no.1, pp. 234–274, 2022.

[32] D. Wu, S. Zhou, and X. He, “Energy-efficient wireless communications: A survey,” *IEEE Transactions on Green Communications and Networking,* vol. 4, no. 2, pp. 789–803, 2022.

[33] A. M. Al-Ansi, M. Othman, and Y. B. Abushark, “A review of intelligent systems in smart cities,” *Sustainable Cities and Society,* vol. 74, 103164, 2021.

[34] S. Ismail and R. Buyya, “Cloud computing and distributed systems: Challenges and opportunities,” *Future Generation Computer Systems,* vol.29, no. 3, pp. 599–616, 2022.

[35] V. Bhide, P. Kulkarni, and S. Patil, “Intelligent wireless communication systems: Challenges and opportunities,” *IEEE Access,* vol.12, pp. 44567–44589, 2024.

[36] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, “A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems,” IEEE *Network,* vol. 36, no. 1, pp. 134–142, 2022.

SCORE UP, RANK DOWN: INTERPRETING INSTITUTIONAL SUSTAINABILITY PROGRESS WHEN THE UI GREENMETRIC FIELD EXPANDS

Siti Rozakiyah Assurin binti Hassan[1]*, Mariyati binti Md So'ad[2]

[1]Mechanical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah
[2]Mechanical Engineering Department, Seberang Perai Polytechnic, 13500 Permatang Pauh, Pulau Pinang

*Corresponding author e-mail address: rozakiyah@ptsb.edu.my

Abstract

Institutions taking part in the UI GreenMetric (UIGM) rankings tend to read their position as a measure of how well they are doing. The position answers a narrower question than that. It says where an institution stood among whoever took part that year. This paper looks at what happens to that reading when the number of participants keeps rising. Verified UIGM fact file data for Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB) for 2024 and 2025 are used, together with 2023 ranking positions for twenty Malaysian polytechnics and community colleges. Participation grew from 1,183 institutions in 2023 to 1,477 in 2024 and 1,745 in 2025. PTSB improved its total score from 6,235 to 6,555 out of 10,000 and rose from 793rd to 594th in the world. The six categories do not follow the same pattern. Energy and Climate Change gained ten points between 2024 and 2025 and still dropped 162 ranking positions. Transportation gained 37.5 points and dropped 42. Setting and Infrastructure lost score after UIGM revised the indicators for 2025, which is a change in the instrument rather than in institutional effort. These cases are used to estimate a break-even improvement rate, meaning the score gain a category needs each year just to hold its position. A category improving more slowly than that will look as though it is going backwards. The paper suggests that MOHE and JPPKK assess institutional sustainability performance through score trajectories instead of ranking positions, since ranking movement depends partly on what other institutions did.

Keywords: UI GreenMetric; ranking methodology; sustainability benchmarking; TVET institutions; performance measurement; Malaysian polytechnics.

1. Introduction

Institutions treat a rising ranking as evidence of progress and a falling ranking as evidence of decline. This reading holds only when the field being ranked stays stable. Once the population of participants changes, ranking position and institutional performance measure different things. One reports relative standing among whoever entered that year. The other reports what the institution actually did.

The UI GreenMetric World University Rankings (UIGM), established by Universitas Indonesia in 2010, has expanded rapidly. By 2025 it covered 1,745 institutions across 105 countries, compared with 1,477 in 2024 and approximately 1,183 in 2023. That is an additional 562 participants within two cycles, an expansion of roughly 47 percent. UIGM assesses six categories: Setting and Infrastructure, Energy and Climate Change, Waste, Water, Transportation, and Education and Research. Because it publishes both absolute scores and ranking positions, it permits a direct comparison between the two measures.

Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah (PTSB), a Malaysian polytechnic under the Ministry of Higher Education, participated in UIGM across the 2023, 2024, and 2025 cycles. Its overall trajectory looks straightforward. The institution rose from 793rd globally in 2023 to 634th in 2024 and 594th in 2025, a gain of 199 positions, while its total score rose from 6,235 to 6,555 out of 10,000 between 2024 and 2025.

The category level data complicate that reading. In Energy and Climate Change, PTSB scored 975 out of 2,100 in 2024 and 985 in 2025. The score rose. The world ranking fell from 958th to 1,120th, a loss of 162 positions. Transportation shows the same divergence at smaller magnitude. An institution reading only its ranking would conclude that its energy performance deteriorated. It did not.

This paper therefore treats the divergence itself as the object of study. First, it documents where score movement and ranking movement separate across PTSB's six categories between 2024 and 2025. Second, it derives from those patterns a break-even improvement rate, meaning the rate of score gain required to hold ranking position in an expanding field. Third, it sets out what follows for how MOHE and the Polytechnic and Community College Education Department (JPPKK) assess institutional sustainability performance.

Sector data provide context for the argument. Twenty Malaysian polytechnics and community colleges participated in UIGM 2023, with global positions from 329th to 1,151st, a spread of 822 places. The divergence documented here is therefore not specific to one institution. It is a property of how ranking behaves when the field grows faster than individual institutions improve.

2. Background

2.1 What a Ranking Position Actually Measures

A ranking position is not a score. It is a comparison. It tells an institution how many other institutions did better and how many did worse in that particular year. If nobody else changes, then a better score means a better position. But that condition rarely holds.

Two things can move a ranking position. The institution itself can improve or decline, or the field around it can change. New participants enter, existing participants improve at different speeds, and the whole distribution shifts. The ranking number moves in both cases, and it looks the same either way.

This matters for institutions that use rankings for planning. A drop in position is usually read as a warning sign. Departments get asked what went wrong. Budgets get redirected. If the drop came from the field moving rather than from the institution slipping, then the response is aimed at the wrong problem. Rankings shape institutional behaviour and resource allocation in ways that go well beyond what the underlying metrics justify [1], [2]. Because rankings compress performance into a single position, they push managers toward defending relative standing rather than improving in absolute terms [3].

2.2 UIGM as a Benchmarking Tool

UIGM works well for benchmarking because it publishes more than a single number. Participating institutions receive a fact file that breaks performance down into six categories, each with its own score, percentage, and world ranking. So, an institution can see where it stands overall and where its strengths and weak points are [4].

That level of detail is what makes the analysis in this paper possible. Without category level rankings, the divergence between score and position would be invisible. The overall numbers for PTSB look consistent, with score and rank both rising. Only when the six categories are separated does the pattern break apart. Comparability across cycles is a known weakness. Boiocchi et al. [5] show that changes to indicator definitions limit how far UI GreenMetric results can be compared year on year, which becomes directly relevant to the Setting and Infrastructure results reported in Section 4.

2.3 A Growing Field

Participation in UIGM has climbed year on year since it began in 2010. By 2025 it covered 1,745 institutions in 105 countries [4]. In 2024 the figure was 1,477, and in 2023 it was around 1,183. That is 562 more institutions in two cycles. Fig. 1 shows this growth alongside PTSB's world ranking.

Growth of that size changes what a ranking position means. An institution sitting at 800th out of 1,183 is in a different place from one sitting at 800th out of 1,745, even though the number is identical. Holding position in a growing field already requires improvement, and gaining position requires improving faster than the field does.

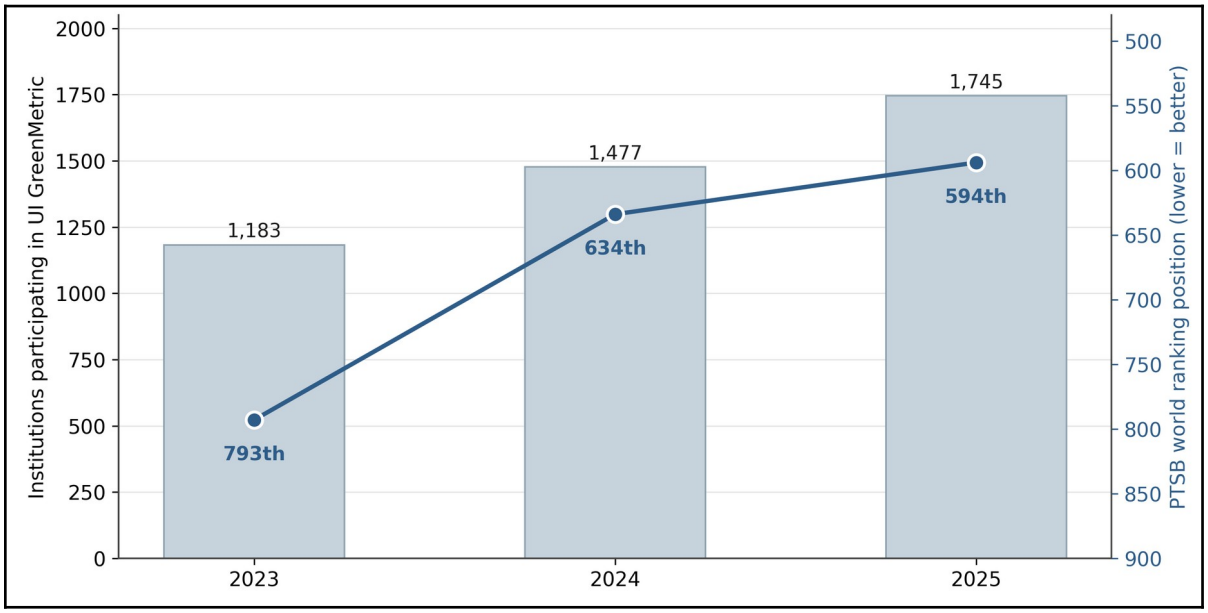


Fig. 1. UI GreenMetric participant growth and PTSB world ranking, 2023 to 2025 (Source: [4])

There is a second effect that is easy to miss. New entrants do not spread evenly across the distribution. Participation in UIGM is voluntary, and institutions that join a sustainability ranking usually do so because they have something to report. Alberti et al. [6] identify this self selection as a structural feature of the UI GreenMetric, noting that an institution's result is only meaningful relative to whichever institutions chose to take part that year.

2.4 Malaysian TVET Institutions in UIGM

Malaysian polytechnics and community colleges under JPPKK have taken part in UIGM in reasonable numbers. Twenty of them participated in the 2023 cycle, with world positions ranging from 329th to 1,151st [7]. The 822-place spread across a single national sector is wide.

TVET institutions have good reason to be in this ranking. Their graduates go into industries that carry a large environmental footprint, and UNESCO's 2015 Recommendation on TVET calls for sustainable development to be built into TVET programmes [8]. These institutions also operate with tighter budgets than universities, which affects how quickly they can improve in categories that need capital spending.

3. Methodology

3.1 Data

All data come from verified UIGM records.

The first is PTSB's UIGM fact file for 2024. The second is the fact file for 2025. Both give full category level detail: score obtained, maximum score, percentage, and world ranking for each of the six categories, plus the overall total.

The third is the 2023 UIGM result list for Malaysian polytechnics and community colleges, taken from the JPPKK announcement. This covers twenty institutions and gives world ranking positions only. No category breakdown is available at this level. Total participant counts for each cycle come from UIGM's annual results announcements.

3.2 How the Analysis Works

Step one compares score movement against ranking movement for each of PTSB's six categories between 2024 and 2025. Both figures are available for every category, so the comparison is direct. Categories are then sorted into three groups: those where score and ranking moved in the same direction, those where they moved in opposite directions, and those where the score movement can be traced to a change in the UIGM method rather than to institutional performance.

Step two uses the divergent categories to estimate a break-even improvement rate. The logic is simple. If a category gained score but lost position, then the field improved faster than the institution did in that category. If a category gained score and gained position, the reverse holds. The point where ranking would have stayed flat sits somewhere between the two. Working across all six categories narrows that range.

Step three sets the result against the sector data and the participant growth figures, then draws out what it means for how institutions and JPPKK should read UIGM results.

3.3 What This Method Cannot Do

The break-even rate estimated here comes from one institution's six categories. It is not measured across the field, because score-level data for other institutions are not publicly available. Only ranking positions are published for the wider sector.

So, the figure should be treated as an estimate drawn from a single case, not a measured property of UIGM. A proper measurement would need score data from a large sample of institutions across at least two cycles. That data exists inside UIGM but is not released at that level.

The 2023 sector figures carry a second limitation. They come from an earlier version of the UIGM method, and several indicators have changed since. Comparing 2023 positions directly against

2025 positions is therefore not exact. In this paper the 2023 data are used to describe the spread within the Malaysian TVET sector, not to track change over time.

4. Results

4.1 The Overall Picture

PTSB's headline numbers move in one direction. The institution ranked 793rd globally in 2023, 634th in 2024, and 594th in 2025. Its total score rose from 6,235 out of 10,000 in 2024 to 6,555 in 2025, a gain of 320 points or 3.20 percentage points. Read on its own, this looks like steady progress across the board. The category data show that it is not.

4.2 Score Movement Against Ranking Movement

Table 1 sets the two measures side by side for all six categories.

Table 1. PTSB category performance, score change against ranking change, 2024 to 2025

Category	2024	2025	Change (pp)	Rank 2024	Rank 2025	Rank change
Education and Research	76.39%	87.50%	+11.11	535	224	+311
Water	55.00%	68.75%	+13.75	682	568	+114
Waste	62.50%	72.22%	+9.72	566	453	+113
Transportation	60.28%	62.36%	+2.08	782	824	−42
Energy and Climate Change	46.43%	46.90%	+0.47	958	1,120	−162
Setting and Infrastructure	75.00%	59.00%	−16.00	n/a	792	not comparable
Total	62.35%	65.55%	+3.20	634	594	+40

Source: [9], [10].

Three categories moved together. Education and Research, Water, and Waste all gained score and gained ranking position. Education and Research gained the most on both measures, rising 11.11 percentage points and climbing 311 places to 224th in the world.

Two categories moved apart. Transportation gained 2.08 percentage points and lost 42 places. Energy and Climate Change gained 0.47 percentage points and lost 162 places. In both, the institution performed better in 2025 than in 2024 and finished lower in the table. Fig. 2 plots the score change against the ranking change for each category.

One category cannot be read either way. Setting and Infrastructure fell 16 percentage points. The 2025 UIGM cycle revised several indicators in this category, including new items on digital systems for sustainability management. A score drop that follows a change in what is being measured says nothing about institutional effort. Boiocchi et al. [5] treat this kind of definitional change as a standing limit on year-to-year comparison in UI GreenMetric, and the present case fits that description.

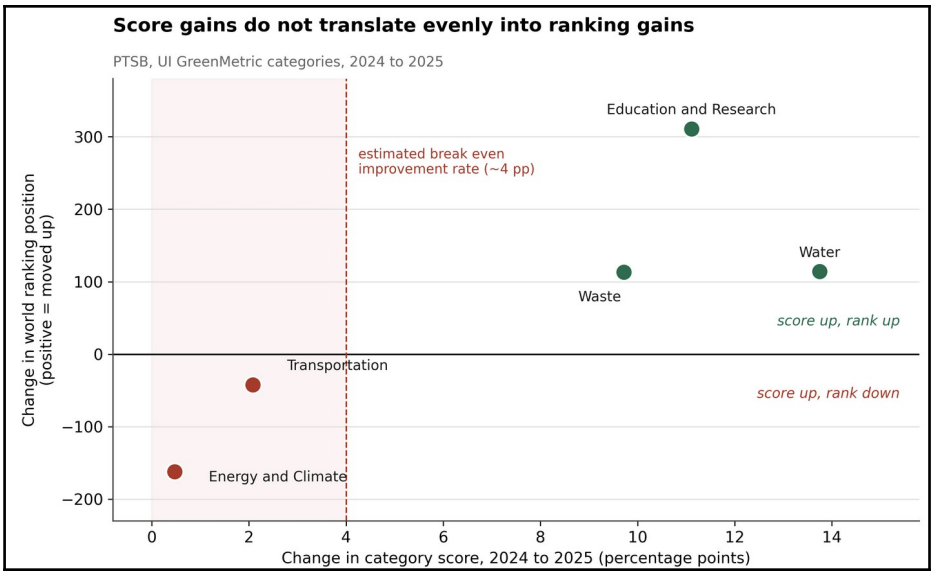


Fig. 2. Score change against ranking change by UIGM category, PTSB, 2024 to 2025 (Source: [9], [10])

4.3 The Exchange Rate Between Score and Rank

If score and ranking measured the same thing, a fixed score gain would buy a fixed number of places. It does not. Table 2 divides rank change by score change for the five comparable categories.

Table 2. Ranking positions gained per percentage point of score gain, 2024 to 2025

Category	Score change (pp)	Rank change	Positions per pp
Education and Research	+11.11	+311	+28.0
Waste	+9.72	+113	+11.6
Water	+13.75	+114	+8.3
Transportation	+2.08	−42	−20.2
Energy and Climate Change	+0.47	−162	−345.0

Source: calculated from [9], [10].

The figures vary by a wide margin. A percentage point bought 28 places in Education and Research and 8.3 places in Water. The same unit of improvement cost 20 places in Transportation and 345 places in Energy and Climate Change.

The sign change is what matters. Somewhere between Transportation at 2.08 percentage points and Waste at 9.72 percentage points, the direction reverses. Below that point an institution loses ground while improving. Above it, improvement registers.

4.4 The Break-Even Improvement Rate

The break-even improvement rate is the annual score gain a category needs simply to hold its ranking position. Below it, the field is improving faster than the institution.

The data bracket this rate rather than fix it. Energy and Climate Change gained 0.47 percentage points and fell sharply, so its break-even rate sits well above that figure. Transportation gained 2.08 points and still fell, so its rate is above 2.08. Waste gained 9.72 points and rose, so its rate is below 9.72. Linear interpolation between Transportation and Waste puts the crossing near 4 percentage points a year, though the uneven exchange rates in Table 2 mean this should be read as an order of magnitude rather than a precise figure.

The overall column behaves differently. PTSB gained 3.20 percentage points in total score and gained 40 places, so the institution-wide break-even rate sits below 3.20. The aggregate distribution is less volatile than the category distributions, which is why the two figures do not match.

This points to the finding that carries the most weight for planning. The break-even rate is not one number for the institution. It is category specific, and it is highest in Energy and Climate Change and Transportation. Those are the two categories where the global field is improving fastest, and they are also the two where PTSB scores lowest. An institution weak in a fast-moving category faces a double disadvantage. It has the furthest to travel and the highest speed to match.

5. Discussion

5.1 What the Divergence Means for Institutional Reporting

An institution reading only its Energy and Climate Change ranking in 2025 would conclude that its energy performance went backwards. The score says otherwise. Nothing was lost. The field simply moved faster.

The practical risk is misdirected response. A falling ranking prompts questions, reviews, and sometimes reallocation of budget away from the area that appears to be failing. If the fall came from field movement, that response corrects a problem that does not exist and may divert resources from areas where the institution is genuinely behind.

The reverse error is available too. Three of PTSB’s categories rose on both measures, which reads as unambiguous success. It is, but the size of the ranking gain in Education and Research owes something to how thinly the field is spread at that performance level. Reporting a 311 place climb without the score behind it overstates what changed. Both errors have the same source. Ranking position answers a question about other institutions. Score answers a question about this one.

5.2 Why Weak Categories Are the Hardest to Fix

The double disadvantage identified in Section 4.4 has a straightforward cause. Energy and Climate Change carries the highest UIGM weight at 21 percent, and it is the category most directly tied to global climate policy. Institutions worldwide are investing in solar capacity, building management systems, and emissions monitoring. The field moves quickly because the money is moving there.

For an institution with limited capital, this is the worst combination. Improvement in this category needs infrastructure rather than documentation. A polytechnic can improve its Waste score through segregation programmes and better record keeping within an operating budget. It cannot improve its energy score the same way. So the category where PTSB most needs to gain is the category where gains are slowest to buy and the target is receding fastest.

This is a structural feature of the Malaysian TVET sector rather than a PTSB problem. The twenty polytechnics and community colleges that participated in UIGM 2023 spread across 822 ranking positions, from 329th to 1,151st (Fig. 3). They operate under similar funding arrangements and face the same constraint on capital projects.

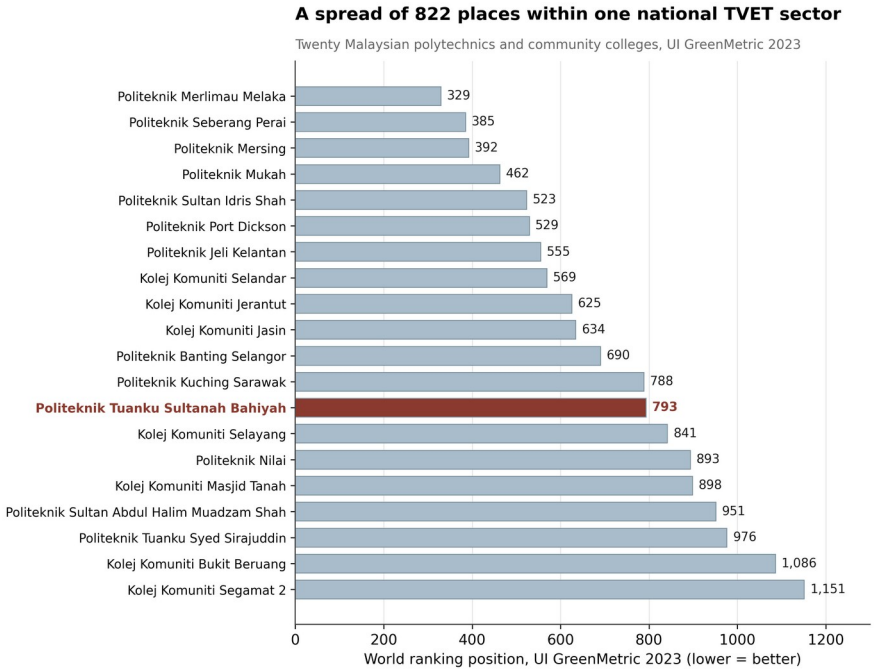


Fig. 3. World ranking distribution of Malaysian polytechnics and community colleges, UIGM 2023 (Source: [7])

5.3 What This Means for MOHE and JPPKK

Institutional sustainability performance should be assessed on score trajectory rather than ranking position. A polytechnic that gains score and loses rank has done what was asked of it. Evaluating it on the ranking number penalises it for the behaviour of institutions it does not control and cannot influence.

Where ranking position is used, it should be reported next to the participant count for that cycle. A position of 800th out of 1,183 and a position of 800th out of 1,745 describe different achievements. The number alone conceals the difference.

Capital planning for Energy and Climate Change should be treated as sector policy rather than institutional discretion. The category carries the highest weight, moves fastest, and is the one least responsive to effort without funding. Individual institutions working within operating budgets will continue to lose ground here regardless of what they do.

5.4 Limitations

The break-even rate estimated here comes from six categories at one institution across two cycles. It is not measured across the field. Score-level data for other participating institutions are not published, so the estimate rests on inference from PTSB's own position changes. A measured figure would require score data from a large sample across at least two cycles. That data exists within UIGM but is not released at that level.

The uneven exchange rates in Table 2 limit the interpolation used in Section 4.4. Ranking density varies across the distribution and across categories, so a single crossing point derived from two adjacent categories carries real uncertainty. The finding that break-even rates differ by category is better supported than any particular value for them.

Setting and Infrastructure is excluded from the score to rank analysis because the 2024 category ranking was not available and the 2025 indicator revision breaks comparability in any case.

The 2023 sector figures come from an earlier version of the UIGM method. They are used here to describe spread within the Malaysian TVET sector at a single point, not to track change over time.

6. Conclusion

PTSB improved its UI GreenMetric score in five of six categories between 2024 and 2025 and lost ranking position in two of them. Energy and Climate Change gained ten points and fell 162 places. Transportation gained 37.5 points and fell 42 places. The institution did not decline in either area.

The divergence follows from what a ranking position is. It reports standing relative to whoever participated that year, in a field that grew from roughly 1,183 institutions in 2023 to 1,745 in 2025. Holding position in that field requires improvement. Gaining position requires improving faster than everyone else.

The break-even improvement rate differs by category. It is highest in Energy and Climate Change and Transportation, which are the categories where PTSB scores lowest and where improvement depends most on capital investment. Institutions weak in fast moving categories are the least able to close the gap and the most likely to be judged as failing while improving.

Score trajectory answers the question institutions and their ministries actually want answered. Ranking position answers a different one. Reporting the second in place of the first will keep producing conclusions that the underlying data do not support.

Acknowledgements

The authors acknowledge Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah management and the UI GreenMetric World University Rankings team at Universitas Indonesia for the verified fact file data used in this analysis. The authors also acknowledge MOHE’s Polytechnic and Community College Education Department for the 2023 sector ranking results, and the Malaysian polytechnics and community colleges whose participation makes sector level comparison possible.

References

[1] E. Hazelkorn, “Reshaping the world order of higher education: The role and impact of rankings on national and global systems,” Policy Reviews in Higher Education, vol. 2, no. 1, pp. 4–31, 2018 (DOI: 10.1080/23322969.2018.1424562).

[2] S. Marginson and M. van der Wende, “To rank or to be ranked: The impact of global rankings in higher education,” Journal of Studies in International Education, vol. 11, no. 3–4, pp. 306–329, 2007 (DOI: 10.1177/1028315307303544).

[3] W. N. Espeland and M. Sauder, Engines of Anxiety: Academic Rankings, Reputation, and Accountability. Russell Sage Foundation, 2016.

[4] UI GreenMetric World University Rankings, “UI GreenMetric World University Rankings 2025: Methodology and about,” Universitas Indonesia, 2025. [Online]. Available: https://greenmetric.ui.ac.id

[5] R. Boiocchi, M. Ragazzi, V. Torretta, and E. C. Rada, “Critical analysis of the GreenMetric world university ranking system: The issue of comparability,” Sustainability, vol. 15, no. 2, Art. no. 1343, 2023 (DOI: 10.3390/su15021343).

[6] C. Alberti, A. Civera, E. E. Lehmann, M. Meoli, J. M. Otto, and S. Paleari, “University sustainability rankings: A critical literature review on the UI GreenMetric ranking system,” The Journal of Technology Transfer, vol. 50, no. 6, pp. 2752–2801, 2025 (DOI: 10.1007/s10961-025-10223-9).

[7] Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK), “UI GreenMetric World University Rankings 2023: Malaysian polytechnics and community colleges results,” Official announcement, Ministry of Higher Education Malaysia, 2023.

[8] UNESCO, Recommendation Concerning Technical and Vocational Education and Training (TVET). Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015.

[9] UI GreenMetric World University Rankings, “Fact File 2024: Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Malaysia,” Universitas Indonesia, 2024.

[10] UI GreenMetric World University Rankings, “Fact File 2025: Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Malaysia,” Universitas Indonesia, 2025.

[11] B. Galleli, N. E. B. Teles, J. A. R. Santos, M. S. Freitas-Martins, and F. Hourneaux Junior, “Sustainability university rankings: A comparative analysis of UI GreenMetric and the Times Higher Education world university rankings,” International Journal of Sustainability in Higher Education, vol. 23, no. 2, pp. 404–425, 2022 (DOI: 10.1108/IJSHE-12-2020-0475).

[12] E. Hazelkorn, “Reflections on a decade of global rankings: What we have learned and outstanding issues,” European Journal of Education, vol. 49, no. 1, pp. 12–28, 2014 (DOI: 10.1111/ejed.12059).

[13] J. Johnes, “University rankings: What do they really show?,” Scientometrics, vol. 115, pp. 585–606, 2018 (DOI: 10.1007/s11192-018-2666-1).

[14] A. Lauder, R. F. Sari, N. Suwartha, and G. Tjahjono, “Critical review of a global campus sustainability ranking: GreenMetric,” Journal of Cleaner Production, vol. 108, pp. 852–863, 2015 (DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.02.080).

[15] N. Suwartha and R. F. Sari, “Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: Assessment of the year 2011 ranking,” Journal of Cleaner Production, vol. 61, pp. 46–53, 2013 (DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.02.034).

ETIKA DIGITAL DAN PENGGUNAAN INTERNET SECARA BERTANGGUNGJAWAB DALAM KALANGAN PELAJAR POLITEKNIK MALAYSIA: SATU KAJIAN KONSEPTUAL

Siti Hajar binti Saad @ Mohd Yusoff*, Faizatulhaida binti Md Isa

Jabatan Matematik, Sains dan Komputer, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: siti_hajar@ptsb.edu.my

Abstrak

Perkembangan teknologi digital menjadikan internet sebagai medium penting dalam pengajaran, pembelajaran dan komunikasi dalam Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET), termasuk di politeknik di Malaysia. Namun, peningkatan penggunaan teknologi turut mendedahkan pelajar kepada penyebaran maklumat palsu, pelanggaran privasi, keselamatan siber dan isu integriti akademik berkaitan *Generative AI*. Penguasaan kemahiran teknikal semata-mata tidak mencukupi sekiranya tidak disertai kesedaran etika digital dan amalan penggunaan internet yang bertanggungjawab. Kajian konseptual ini bertujuan meneliti hubungan antara Etika Digital dengan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, serta peranan Sikap, Norma Subjektif, Kawalan Tingkah Laku yang Ditanggap, dan Literasi Digital dalam kalangan pelajar politeknik Malaysia. Kajian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui sintesis literatur secara tematik dan integratif berdasarkan kajian terdahulu berkaitan Etika Digital, Literasi Digital, Kewarganegaraan Digital, *Theory of Planned Behaviour* (TPB), dan *Digital Citizenship Framework*. Kajian ini dijangka menghasilkan kerangka konseptual yang menerangkan hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, serta proposisi yang boleh diuji melalui kajian empirikal. Kesimpulannya, kerangka yang dicadangkan dapat membantu menjelaskan faktor-faktor yang berkaitan dengan pembentukan tingkah laku digital yang beretika dan bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik di Malaysia.
Kata Kunci: etika digital; literasi digital; kewarganegaraan digital; penggunaan internet; TVET.

1. Pengenalan

Transformasi digital telah mengubah landskap pendidikan tinggi secara menyeluruh. Teknologi Maklumat dan Komunikasi (ICT), platform pengurusan pembelajaran (*Learning Management System*), serta teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*, AI) kini menjadi medium teras yang menyokong pembelajaran kendiri dan kolaboratif. Dalam konteks Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) di Malaysia, institusi seperti politeknik memanfaatkan kemudahan digital untuk memperkasakan kemahiran teknikal dan kognitif pelajar. Walau bagaimanapun, keupayaan mengendalikan peranti dan platform digital secara teknikal semata-mata tidak lagi mencukupi tanpa kesedaran tentang etika digital dan amalan penggunaan internet yang bertanggungjawab. Etika digital merujuk kepada sistem nilai moral dan panduan tingkah laku yang membimbing individu untuk menggunakan teknologi secara berhemah, selamat dan menghormati hak orang lain [1], [2]. Dalam era ledakan maklumat dan kemunculan *Generative AI*, isu-isu seperti penyebaran maklumat palsu (*misinformation* dan *disinformation*), pencerobohan privasi data, buli siber, serta pelanggaran hak cipta akademik semakin membimbangkan [3], [4]. Pertubuhan Pendidikan, Sains dan Kebudayaan Bangsa-Bangsa Bersatu [5] menegaskan bahawa penguasaan *Media and Information Literacy* (MIL) dan etika siber amat kritikal bagi memastikan pengguna berupaya menilai dan mengurus maklumat secara bertanggungjawab.

Dalam persekitaran Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET), pelajar politeknik merupakan bakal tenaga kerja yang perlu menguasai kemahiran teknikal serta mempunyai integriti, akauntabiliti dan profesionalisme dalam penggunaan teknologi digital [3]. Namun, kebanyakan usaha pendigitalan dalam institusi pendidikan masih lebih menekankan penguasaan teknologi dan kemahiran teknikal berbanding aspek nilai dan etika digital [6], [7]. Penguasaan teknologi sahaja tidak memadai sekiranya tidak disertai dengan keupayaan menggunakan internet secara beretika dan bertanggungjawab. Dalam hal ini, Etika Digital, Literasi Digital dan Kewarganegaraan Digital (*Digital Citizenship*) merupakan aspek yang perlu diberi perhatian dalam membentuk amalan penggunaan teknologi yang baik [8], [9]. Keperluan tersebut semakin ketara apabila penggunaan internet, platform awan, media sosial dan peranti pintar semakin menjadi sebahagian daripada proses pembelajaran dan komunikasi akademik [6], [5].

Perkembangan teknologi seperti *Generative AI* turut membawa cabaran baharu dalam persekitaran akademik. Antara isu yang sering dikaitkan ialah penyebaran maklumat palsu (*misinformation* dan *disinformation*), pencerobohan privasi data, buli siber (*cyberbullying*), penipuan dalam talian serta pelanggaran hak cipta dan integriti akademik [3], [4], [2]. Walaupun pelajar sering dianggap sebagai *digital natives*, keupayaan menggunakan teknologi tidak semestinya menunjukkan tahap kesedaran etika digital yang baik [10], [1]. Pelajar juga perlu mempunyai keupayaan untuk menilai kesahihan maklumat dan membuat semakan sebelum sesuatu maklumat disebarkan [5]. Dalam konteks TVET Malaysia, perkara ini penting kerana pelajar politeknik bakal memasuki alam pekerjaan yang semakin bergantung kepada teknologi digital. Namun begitu, kajian terdahulu lebih banyak membincangkan literasi digital, keselamatan siber atau penggunaan aplikasi tertentu secara berasingan [10], [8]. Kajian yang menghubungkan kesedaran Etika Digital dengan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab (*Responsible Internet Use*), khususnya dalam kalangan pelajar politeknik di Malaysia, masih terhad. Keadaan ini menunjukkan perlunya kajian yang melihat kedua-dua aspek tersebut secara bersama.

Berdasarkan keperluan tersebut, kajian ini menggabungkan *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* untuk menerangkan hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik di Malaysia. Pendekatan ini berbeza daripada kajian yang membincangkan literasi digital, keselamatan siber dan kewarganegaraan digital secara berasingan kerana kajian ini melihat peranan Sikap, Norma Subjektif dan Kawalan Tingkah Laku Ditanggap yang berkaitan dengan Literasi Digital dalam membentuk tingkah laku penggunaan internet yang bertanggungjawab. Pemilihan konteks politeknik juga penting kerana pelajar TVET perlu mempunyai kemahiran teknikal yang disertai dengan amalan digital yang beretika dan profesional. Kerangka yang dicadangkan dalam kajian ini bersifat konseptual dan dibangunkan berdasarkan sintesis literatur.

Oleh itu, objektif kajian adalah:

(i) Menganalisis secara kritikal landskap dan domain utama Etika Digital (*Digital Ethics*) serta amalan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab (*Responsible Internet Use*) dalam persekitaran Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) [1], [5].
(ii) Menilai hubungan serta perkaitan antara kesedaran Etika Digital dan amalan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik berdasarkan sintesis kajian-kajian terdahulu [10], [2].
(iii) Mengenal pasti peranan faktor perantara dan pemboleh ubah sokongan seperti Literasi Digital (*Digital Literacy*) dan Kewarganegaraan Digital (*Digital Citizenship*) dalam membina tingkah laku siber yang positif dan berintegriti [6], [7].
(iv) Membina dan mencadangkan satu kerangka konseptual integratif berasaskan *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* bagi menjelaskan proses

pembentukan tingkah laku penggunaan internet secara bertanggungjawab sebagai asas kepada kajian empirikal berasaskan data pada masa hadapan [3], [9].

2. Sorotan Literatur

Seksyen ini membincangkan empat domain utama yang menjadi teras kepada kerangka konseptual yang dicadangkan, iaitu Etika Digital, Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, Literasi Digital dan Kewarganegaraan Digital.

2.1 Etika Digital (*Digital Ethics*)

Etika digital merujuk kepada sistem prinsip, nilai moral dan standard tingkah laku yang membimbing individu dalam menggunakan teknologi maklumat, platform media sosial, serta aplikasi digital secara berhemah, selamat dan berintegriti [1], [2]. Dalam persekitaran pendidikan tinggi dan TVET, etika digital merangkumi pelbagai dimensi kritikal, termasuk perlindungan privasi data, keselamatan siber, pematuhan hak cipta, integriti akademik, serta penggunaan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) secara bertanggungjawab [3], [4].

Kajian-kajian terkini menunjukkan bahawa walaupun pelajar generasi muda bertindak sebagai *digital natives*, tahap kesedaran dan amalan etika digital mereka masih berhadapan dengan cabaran nyata. Sebagai contoh, Ventayen [4] mendapati bahawa kepesatan teknologi *Generative AI* seperti ChatGPT mendedahkan pelajar kepada risiko pencerobohan integriti akademik dan penyalahgunaan kandungan tanpa pematuhan etika pengiktirafan (*attribution*) yang wajar. Isu privasi dan keselamatan data juga kekal kritikal, kajian oleh Wang et al. [2] mengesahkan bahawa walaupun pelajar menyatakan kebimbangan terhadap kerahsiaan data peribadi, majoriti daripada mereka masih mengamalkan tingkah laku siber berisiko seperti menggunakan kata laluan yang lemah dan menyerahkan maklumat peribadi tanpa menentusahkan keselamatan platform. Oleh itu, pendedahan etika digital yang berstruktur amat penting bagi memastikan pelajar politeknik mampu membuat pertimbangan moral yang wajar dalam persekitaran digital [1], [3].

2.2 Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab (*Responsible Internet Use*)

Penggunaan internet secara bertanggungjawab ditakrifkan sebagai keupayaan dan amalan individu dalam memanfaatkan kemudahan siber secara produktif, selamat dan beretika tanpa memudaratkan diri sendiri atau orang lain [8], [5]. Dalam konteks pelajar IPT, amalan ini merangkumi kebolehan menilai kesahihan maklumat, mengelakkan penyebaran berita palsu (*misinformation* dan *disinformation*) serta menjauhi tingkah laku berisiko seperti buli siber (*cyberbullying*), penipuan dalam talian dan pencerobohan privasi [8], [5].

UNESCO [5] menegaskan bahawa peningkatan capaian internet dan kebergantungan kepada media sosial dalam kalangan belia belum diimbangi dengan amalan semakan fakta (*fact-checking*) yang konsisten. Hal ini mendedahkan pelajar kepada manipulasi maklumat dan ancaman keselamatan siber. Kajian Lebni et al. [8] turut mendapati bahawa penggunaan internet yang tidak terkawal dan tidak bertanggungjawab bukan sahaja menjejaskan prestasi akademik, malah berpotensi memberi kesan negatif kepada kesihatan mental dan kesejahteraan psikologi pelajar. Justeru, pembentukan tingkah laku siber yang bertanggungjawab memerlukan gabungan antara kemahiran teknikal, kesedaran etika dan kawalan kendiri yang tinggi [8], [5].

2.3 Literasi Digital (*Digital Literacy*)

Literasi digital dalam era pendidikan moden tidak lagi terhad kepada kemahiran asas mengendalikan peranti atau perisian, sebaliknya merangkumi keupayaan menganalisis, menilai, mencipta, dan menyebarkan kandungan secara kritikal dan beretika [6], [11]. UNESCO [5] menerusi kerangka *Media and Information Literacy* (MIL) menggariskan bahawa penguasaan literasi maklumat merupakan teras utama kepada pembentukan ekosistem digital yang selamat dan dipercayai.

Dalam konteks pelajar IPT di Malaysia, penerapan literasi media baharu (*new media literacy*) berupaya membentuk tingkah laku penggunaan internet yang lebih matang dan berintegriti [6]. Penyelidikan oleh Che Zainal et al. [6] membuktikan bahawa tahap literasi digital yang tinggi berupaya mengurangkan kebarangkalian penyalahgunaan internet, kerana pelajar yang celik digital lebih berkemampuan mengenal pasti maklumat berunsur manipulasi, mengurus jejak digital (*digital footprint*) serta mematuhi norma undang-undang siber.

2.4 Kewarganegaraan Digital (*Digital Citizenship*)

Kewarganegaraan digital merujuk kepada norma, nilai dan standard tingkah laku yang bersesuaian serta bertanggungjawab dalam penggunaan teknologi maklumat [7], [9]. Kerangka Kewarganegaraan Digital yang dimurnikan oleh Ribble [9] merangkumi sembilan elemen teras yang dikategorikan kepada tiga tiang utama: *Respect* (Hormat), *Educate* (Mendidik) dan *Protect* (Melindungi) termasuk etiket digital, undang-undang siber, hak dan tanggungjawab digital, serta keselamatan siber.

Dapatan kajian dalam konteks pendidikan tinggi Malaysia menunjukkan bahawa amalan kewarganegaraan digital dalam kalangan pelajar mempunyai hubungan yang signifikan dengan tahap kesedaran, pendedahan awal dan sikap mereka terhadap teknologi [7]. Pua'at Saito dan Mohamad Yunus [7] menegaskan bahawa institusi pendidikan tinggi perlu menyediakan platform pendedahan yang berterusan agar pelajar bukan sahaja berdaya saing secara teknikal, malah berkembang sebagai warga digital (*digital citizens*) yang beretika, bertanggungjawab dan mampu memberi sumbangan positif kepada masyarakat siber.

3. Metodologi Kajian

3.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui sintesis literatur secara integratif untuk membangunkan asas konseptual berkaitan hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik di Malaysia. Pendekatan ini dipilih kerana kajian berbentuk konseptual tidak melibatkan pengumpulan data primer, sebaliknya memberi tumpuan kepada penelitian, perbandingan dan pengintegrasian penemuan daripada kajian terdahulu yang berkaitan. Sintesis literatur digunakan untuk mengenal pasti konsep utama, hubungan antara konstruk serta jurang penyelidikan yang dapat menyokong pembangunan kerangka konseptual.

3.2 Strategi dan Sumber Pencarian Literatur

Literatur yang dirujuk merangkumi kajian berkaitan Etika Digital, Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, Literasi Digital, Kewarganegaraan Digital serta teori dan kerangka yang berkaitan dengan pembentukan tingkah laku digital. Sumber literatur terdiri daripada artikel jurnal,

penerbitan akademik dan sumber institusi yang relevan dengan konteks pendidikan tinggi, TVET dan penggunaan teknologi digital. Selain literatur semasa, sumber teori asas seperti *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* turut dirujuk bagi memastikan pembentukan kerangka konseptual mempunyai asas teori yang jelas.

Pemilihan literatur memberi tumpuan kepada kajian yang membincangkan aspek etika penggunaan teknologi, tingkah laku pengguna internet, literasi digital, kewarganegaraan digital serta faktor yang mempengaruhi pembentukan tingkah laku digital yang bertanggungjawab. Literatur berkaitan penggunaan teknologi dan kecerdasan buatan dalam pendidikan tinggi turut dipertimbangkan bagi memastikan perbincangan mengambil kira perkembangan semasa dalam persekitaran pendidikan digital.

3.3 Kriteria Pemilihan Literatur

Literatur dipilih berdasarkan kesesuaian dengan fokus dan objektif kajian. Keutamaan diberikan kepada sumber yang mempunyai hubungan langsung dengan konstruk Etika Digital, Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, Literasi Digital dan Kewarganegaraan Digital. Kajian berkaitan pendidikan tinggi dan konteks TVET turut diberikan perhatian bagi memastikan sintesis yang dihasilkan mempunyai kesesuaian dengan konteks pelajar politeknik Malaysia.

Selain itu, sumber teori yang menjadi asas kepada pembangunan kerangka, khususnya TPB dan *Digital Citizenship Framework*, turut dimasukkan bagi menjelaskan hubungan antara faktor kognitif, sosial dan tingkah laku dalam penggunaan teknologi secara bertanggungjawab. Literatur semasa digunakan bagi memperkukuh perbincangan tentang isu digital kontemporari seperti privasi data, keselamatan siber, penyebaran maklumat palsu, integriti akademik dan penggunaan *Generative AI* secara bertanggungjawab.

3.4 Pendekatan Sintesis Literatur

Sintesis literatur dilaksanakan secara tematik dan integratif dengan mengelompokkan literatur berdasarkan domain utama yang berkaitan dengan objektif kajian. Empat domain utama yang dikenal pasti ialah Etika Digital, Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab, Literasi Digital dan Kewarganegaraan Digital. Di samping itu, TPB dan *Digital Citizenship Framework* dianalisis sebagai asas teori untuk menjelaskan mekanisme pembentukan tingkah laku digital.

Proses sintesis melibatkan perbandingan konsep, dapatan dan hubungan yang dibincangkan dalam kajian terdahulu bagi mengenal pasti persamaan, perbezaan serta jurang penyelidikan. Sintesis tersebut seterusnya digunakan untuk menjelaskan kemungkinan hubungan antara kesedaran Etika Digital dengan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab melalui faktor sikap, norma subjektif dan kawalan tingkah laku yang dianggap berkaitan dengan Literasi Digital. Pendekatan ini membolehkan elemen daripada kedua-dua perspektif teori diintegrasikan secara sistematik bagi membentuk asas kepada kerangka konseptual yang dicadangkan.

3.5 Pembangunan Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual dibangunkan berdasarkan sintesis literatur serta integrasi antara TPB dan *Digital Citizenship Framework*. Dalam kerangka yang dicadangkan, Etika Digital berperanan sebagai pemboleh ubah bebas yang mempengaruhi pembentukan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab sebagai pemboleh ubah bersandar. Hubungan tersebut dijelaskan melalui faktor perantara yang terdiri daripada Sikap, Norma Subjektif dan Kawalan Tingkah Laku yang Ditanggap yang dikaitkan dengan Literasi Digital.

Digital Citizenship Framework juga digunakan untuk memperkukuh dimensi kandungan dan amalan kewarganegaraan digital, termasuk aspek etiket, hak dan tanggungjawab digital, undang-undang digital, keselamatan digital serta literasi digital. Integrasi kedua-dua perspektif membolehkan kerangka yang dicadangkan menerangkan bukan sahaja aspek nilai dan norma yang berkaitan dengan tingkah laku digital, tetapi juga mekanisme yang berpotensi mempengaruhi penterjemahan kesedaran etika ke dalam amalan penggunaan internet yang bertanggungjawab.

Berdasarkan sintesis tersebut, dua proposisi konseptual dikemukakan sebagai asas kepada pengujian empirikal pada masa hadapan. Kerangka yang dibangunkan dalam kajian ini bersifat konseptual dan belum diuji menggunakan data empirikal.

4. Asas Teori

Bagi menjelaskan dinamika hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik, kajian konseptual ini disandarkan kepada dua kerangka teori teras: *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework.*

4.1 *Theory of Planned Behaviour* (TPB)

TPB yang diasaskan oleh Ajzen [12] dan terus dikembangkan dalam persekitaran digital terkini [12] dijadikan landasan utama untuk menerangkan bagaimana faktor kognitif dan psikologi mempengaruhi niat (*intention*) dan tingkah laku (*behaviour*) individu. Dalam konteks penggunaan internet secara bertanggungjawab, TPB menggariskan tiga pemboleh ubah penentu utama:

(i) *Sikap Terhadap Tingkah Laku (Attitude Toward Behaviour):* Merujuk kepada penilaian positif atau negatif pelajar terhadap amalan siber yang beretika. Pelajar yang menganggap etika digital seperti menghormati hak cipta, memelihara privasi, dan tidak menyebarkan berita palsu sebagai tindakan yang bermakna dan memberi manfaat cenderung membina sikap positif terhadap penggunaan internet secara bertanggungjawab [1], [2].

(ii) *Norma Subjektif (Subjective Norm):* Merujuk kepada tekanan sosial atau persepsi pelajar terhadap jangkaan individu penting di sekeliling mereka, seperti pensyarah, rakan sebaya dan institusi politeknik. Pengaruh norma akademik dan persekitaran rakan sebaya yang menekankan integriti siber mampu mendorong pelajar mematuhi amalan digital yang beretika [3], [7].

(iii) *Kawalan Tingkah Laku Ditanggap (Perceived Behavioural Control):* Merujuk kepada persepsi pelajar tentang tahap kemudahan atau kesukaran untuk mengamalkan etika digital, berasaskan sumber, kemahiran dan peluang yang ada. Dalam persekitaran digital, kawalan ini sangat berkait rapat dengan tahap Literasi Digital (*Digital Literacy*) pelajar. Semakin tinggi kemahiran dan keupayaan teknikal atau kognitif mereka untuk menapis maklumat atau mengurus keselamatan siber, semakin tinggi keupayaan mereka untuk bertindak secara bertanggungjawab [6], [5].

Ringkasnya, TPB menerangkan proses kognitif dalaman di mana kesedaran dan nilai etika digital membentuk sikap, norma dan kawalan kendiri, yang seterusnya menghasilkan niat untuk menggunakan internet secara berintegriti dan berhemah [12], [1].

4.2 *Digital Citizenship Framework*

Bagi melengkapi sudut pandang psikologi TPB, *Digital Citizenship Framework* yang dimurnikan oleh Ribble [9] membekalkan domain kontekstual dan standard tingkah laku yang khusus dalam persekitaran siber. Kerangka ini membahagikan amalan kewarganegaraan digital kepada sembilan elemen teras yang dikelompokkan bawah tiga utama:

(i) Hormat (*Respect*):
   (a) Akses Digital (*Digital Access*): Kesedaran tentang kesaksamaan hak capaian teknologi.
   (b) Etiket Digital (*Digital Etiquette*): Pematuhan kepada norma kesopanan dan komunikasi
   beretika dalam talian.
   (c) Undang-undang Digital (*Digital Law*): Kesedaran dan pematuhan terhadap peraturan siber, termasuk hak cipta dan perlindungan harta intelek.

(ii) Mendidik (*Educate*):
   (a) Komunikasi Digital (*Digital Communication*): Keupayaan berinteraksi secara berkesan dan berhemah melalui platform digital.
   (b) Literasi Digital (*Digital Literacy*): Keupayaan untuk mengajar, mempelajari, menilai, dan memproses maklumat secara kritis [5].
   (c) Perdagangan Digital (*Digital Commerce*): Pemahaman tentang transaksi kewangan dan ekonomi digital yang selamat dan sah.

(iii) Melindungi (*Protect*):
   (a) Hak dan Tanggungjawab Digital (*Digital Rights and Responsibilities*): Keseimbangan antara hak kebebasan bersuara dan tanggungjawab sosial di dunia siber.
   (b) Keselamatan Digital (*Digital Security*): Langkah perlindungan peranti, data peribadi, dan kawalan privasi [2].
   (c) Kesihatan dan Kesejahteraan Digital (*Digital Health and Wellness*): Kesedaran tentang kesan fizikal dan psikologi akibat penggunaan teknologi [8].

4.3 Integrasi TPB dan *Digital Citizenship Framework*

Sinergi antara TPB dan *Digital Citizenship Framework* mewujudkan landasan teoretikal yang kukuh untuk kajian konseptual ini. *Digital Citizenship Framework* bertindak sebagai penentu kandungan dan domain kemahiran (iaitu apa yang perlu diketahui dan diamalkan seperti etiket, keselamatan, dan undang-undang siber), manakala TPB menjelaskan mekanisme psikologi (bagaimana pengetahuan dan kesedaran tersebut diterjemahkan menjadi amalan tingkah laku sebenar melalui sikap, norma sosial, dan kawalan kendiri) [10], [3], [9]. Integrasi ini amat sesuai untuk menerangkan dinamika pembentukan amalan penggunaan internet yang bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik.

5. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual bagi kajian ini (Rajah 1) dibangunkan menerusi sintesis integratif antara *Theory of Planned Behaviour* (TPB) [12] dan *Digital Citizenship Framework* [9]. Kerangka ini direka bentuk untuk menerangkan mekanisme bagaimana kesedaran Etika Digital mempengaruhi amalan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik di Malaysia melalui pemboleh ubah perantara (*mediating variables*).

5.1 Komponen Kerangka Konseptual

5.1.1 Pemboleh Ubah Bebas / Independent Variable (IV) - Etika Digital:

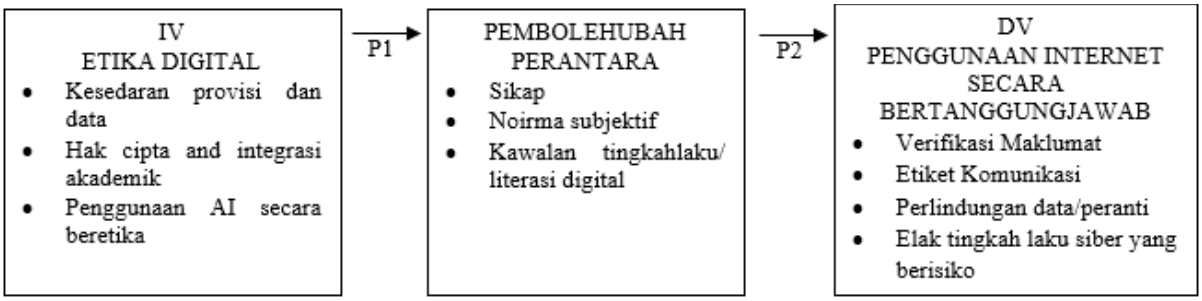
Etika digital dikonsepkan sebagai tahap kesedaran dan pemahaman pelajar terhadap prinsip moral siber. Domain utama merangkumi kesedaran terhadap kerahsiaan dan privasi data [2], penghormatan terhadap undang-undang hak cipta digital, serta pematuhan terhadap etika akademik dan penggunaan alatan kecerdasan buatan (*Generative AI*) secara telus [3], [4].

5.1.2 Pemboleh Ubah Perantara / Mediating Variable (MV) - Penentu TPB dan Kewarganegaraan Digital:

(i) Berdasarkan TPB [12] dan *Digital Citizenship Framework* [9], pengaruh kesedaran etika digital terhadap tingkah laku sebenar tidak berlaku secara langsung semata-mata, sebaliknya dijembatani oleh tiga faktor kognitif dan persekitaran:
(ii) Sikap (*Attitude*): Kepercayaan dan penilaian kendiri pelajar bahawa amalan digital yang beretika memberi implikasi positif kepada diri dan persekitaran [1].
(iii) Norma Subjektif (*Subjective Norms*): Pengaruh dan dorongan daripada iklim institusi politeknik, rakan sebaya dan pensyarah yang membudayakan kewarganegaraan digital [7].
(iv) Kawalan Tingkah Laku Ditanggap (*Perceived Behavioural Control* / *Digital Literacy*): Keupayaan kognitif dan teknikal pelajar (literasi digital) yang memberikan mereka keyakinan serta kawalan untuk bertindak dengan selamat dan berintegriti dalam talian [6], [5].

5.1.3 Pemboleh Ubah Bersandar / Dependent Variable (DV) - Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab:

Merujuk kepada amalan dan tingkah laku nyata pelajar semasa mengendalikan teknologi internet. Indikator utama merangkumi amalan verifikasi maklumat dan semakan fakta bagi membendung berita palsu [5], etiket komunikasi yang bersopan dalam media sosial [10] serta tindakan proaktif dalam melindungi peranti dan mengelakkan tingkah laku siber berisiko [8].



Rajah 1. Kerangka konseptual etika digital dan penggunaan internet secara bertanggungjawab

5.2 Hipotesis

Berdasarkan kerangka yang dicadangkan, kajian konseptual ini mengemukakan proposisi bahawa:

(i) P1: Terdapat hubungan positif yang signifikan antara kesedaran etika digital dan amalan penggunaan internet secara bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik.

(ii) P2: Penentu TPB (Sikap, Norma Subjektif, dan Literasi Digital) bertindak sebagai perantara (*mediator*) yang signifikan dalam hubungan antara kesedaran Etika Digital dan amalan penggunaan internet secara bertanggungjawab.

6. Perbincangan

Kajian terdahulu menunjukkan bahawa penguasaan kemahiran teknikal sahaja tidak mencukupi untuk membentuk tingkah laku digital yang positif dalam kalangan pelajar politeknik [10], [3]. Penggunaan internet secara bertanggungjawab turut dipengaruhi oleh kesedaran terhadap etika, sikap terhadap amalan digital, pengaruh persekitaran serta keupayaan pelajar mengurus teknologi dengan baik. Dalam hal ini, integrasi *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* membantu menjelaskan hubungan antara Etika Digital sebagai pemboleh ubah bebas dengan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab sebagai pemboleh ubah bersandar melalui faktor Sikap, Norma Subjektif dan Kawalan Tingkah Laku Ditanggap yang berkait dengan Literasi Digital [12], [9].

Kajian terdahulu juga menunjukkan wujudnya jurang antara kesedaran tentang etika dan amalan sebenar. Pengetahuan tentang privasi, hak cipta dan keselamatan digital tidak semestinya diterjemahkan kepada tingkah laku yang konsisten dalam penggunaan internet [2]. Berdasarkan kerangka yang dicadangkan, Sikap dan Kawalan Tingkah Laku Ditanggap dilihat sebagai faktor yang dapat mempengaruhi cara pelajar menggunakan pengetahuan etika ketika membuat keputusan dalam persekitaran digital. Literasi Digital turut memainkan peranan penting kerana keupayaan menilai maklumat, mengenal pasti kandungan yang meragukan dan mengurus jejak digital dapat menyokong penggunaan internet yang lebih bertanggungjawab [1], [6].

Perkembangan *Generative AI* juga menambah cabaran terhadap amalan Etika Digital, khususnya dalam aspek integriti akademik. Penggunaan AI tanpa panduan yang jelas boleh menimbulkan persoalan berkaitan ketelusan, pengiktirafan sumber, plagiarisme dan kebergantungan terhadap teknologi dalam menghasilkan tugasan akademik [3], [4]. Oleh itu, penggunaan teknologi ini perlu disertai dengan pertimbangan etika dan tanggungjawab pengguna. Pada masa yang sama, persekitaran politeknik turut mempengaruhi pembentukan tingkah laku digital. Norma subjektif yang terbentuk melalui peranan pensyarah, rakan sebaya dan dasar institusi boleh mempengaruhi cara pelajar melihat serta mengamalkan penggunaan internet yang selamat, beretika dan profesional [10], [7]. Kerangka yang dicadangkan dalam kajian ini masih bersifat konseptual dan hubungan antara konstruk yang dikenal pasti perlu diuji melalui kajian empirikal pada masa hadapan.

7. Implikasi Kajian

Kajian ini memberi beberapa implikasi terhadap aspek teori, pengurusan dan amalan di institusi TVET serta kehidupan sosial pelajar. Implikasi yang dibincangkan berkait dengan keperluan untuk membentuk amalan penggunaan teknologi yang beretika dan bertanggungjawab dalam kalangan pelajar politeknik.

7.1 Implikasi Teoretikal

Dari sudut teori, kajian ini menggabungkan *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* untuk meneliti hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab [12], [9]. TPB memberi tumpuan kepada sikap, norma subjektif dan kawalan tingkah laku yang dianggap mempengaruhi tingkah laku seseorang, manakala *Digital Citizenship Framework* melihat nilai dan amalan yang berkaitan dengan penggunaan teknologi

secara bertanggungjawab. Gabungan kedua-dua perspektif ini digunakan dalam kajian untuk menerangkan bagaimana kesedaran tentang Etika Digital boleh berkait dengan cara pelajar menggunakan internet. Dalam hubungan tersebut, sikap pelajar, pengaruh orang di sekeliling dan keupayaan mengurus teknologi perlu diberi perhatian kerana faktor-faktor ini boleh mempengaruhi tindakan pelajar dalam persekitaran digital [1], [6].

7.2 Implikasi Dasar dan Amalan Institusi TVET

Dari sudut institusi, aspek Etika Digital boleh diberi perhatian dalam pengajaran dan aktiviti pembelajaran di politeknik. JPPKK dan pihak pengurusan akademik boleh mempertimbangkan penerapan etika digital, integriti akademik dan penggunaan *Generative AI* dalam kursus yang berkaitan dengan teknologi dan kemahiran teknikal [3], [4]. Pada masa yang sama, peraturan berkaitan penggunaan internet dan keselamatan maklumat boleh disemak dari semasa ke semasa supaya pelajar lebih jelas tentang perkara yang perlu dijaga, termasuk privasi, etiket komunikasi dan kesahihan maklumat yang dikongsi [7], [5]. Program kesedaran dan latihan juga boleh dijalankan secara berkala supaya pelajar mempunyai peluang untuk memahami isu sebenar yang mereka hadapi ketika menggunakan teknologi dan media digital [8], [2].

7.3 Implikasi Sosial

Dari sudut sosial, Etika Digital dan Kewarganegaraan Digital penting dalam membentuk pelajar yang memahami tanggungjawab mereka ketika menggunakan teknologi. Perkara seperti menghormati privasi, mematuhi hak cipta, menyemak maklumat sebelum berkongsi dan menggunakan teknologi secara beretika merupakan amalan yang perlu diterapkan dalam kehidupan seharian. Pengetahuan dan amalan tersebut juga dapat membantu pelajar menghadapi isu seperti buli siber, berita palsu dan penipuan dalam talian dengan lebih berhati-hati [10], [5]. Bagi pelajar TVET, amalan ini penting kerana penggunaan teknologi akan terus menjadi sebahagian daripada pembelajaran dan kehidupan pekerjaan mereka. Oleh itu, aspek etika dan tanggungjawab digital wajar berjalan seiring dengan kemahiran teknikal yang dipelajari.

8. Kesimpulan dan Cadangan

Kajian konseptual ini menunjukkan bahawa kemahiran teknikal dan keupayaan menggunakan teknologi sahaja tidak mencukupi untuk membentuk amalan penggunaan internet yang baik dalam kalangan pelajar politeknik. Penggunaan internet secara bertanggungjawab turut berkait dengan kesedaran terhadap Etika Digital, sikap pelajar, pengaruh persekitaran serta keupayaan mengurus teknologi dengan betul. Berdasarkan kajian terdahulu, integrasi *Theory of Planned Behaviour* (TPB) dan *Digital Citizenship Framework* dapat digunakan untuk melihat hubungan antara Etika Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab. Dalam kerangka yang dicadangkan, Sikap, Norma Subjektif dan Kawalan Tingkah Laku Ditanggap yang berkaitan dengan Literasi Digital dilihat sebagai faktor yang boleh mempengaruhi cara pelajar menggunakan internet. Aspek seperti semakan maklumat, perlindungan privasi, pematuhan hak cipta dan penggunaan *Generative AI* secara bertanggungjawab turut perlu diberi perhatian.

Dalam konteks politeknik, Etika Digital dan Kewarganegaraan Digital boleh diterapkan melalui pengajaran, aktiviti kesedaran dan amalan penggunaan teknologi di peringkat institusi. Peranan pensyarah, rakan sebaya dan pihak pengurusan juga penting dalam membentuk persekitaran yang menggalakkan penggunaan internet secara selamat dan beretika. Pendekatan ini selaras dengan keperluan TVET yang bukan sahaja menekankan kemahiran teknikal, tetapi juga memerlukan graduan yang mempunyai sikap profesional dan bertanggungjawab dalam menggunakan teknologi.

Walau bagaimanapun, kerangka yang dicadangkan dalam kajian ini masih berada pada tahap konseptual dan belum diuji menggunakan data sebenar. Kajian seterusnya boleh dijalankan dalam kalangan pelajar politeknik Malaysia bagi menguji hubungan antara Etika Digital, Sikap, Norma Subjektif, Kawalan Tingkah Laku Ditanggap, Literasi Digital dan Penggunaan Internet Secara Bertanggungjawab. Kajian tersebut juga boleh menguji proposisi P1 dan P2 serta melihat sama ada faktor yang dicadangkan berperanan sebagai pemboleh ubah perantara. Dapatan kajian empirikal kelak dapat menentukan sejauh mana kerangka ini sesuai digunakan dalam konteks pendidikan TVET di Malaysia.

Rujukan

[1] Y. M. Al-Dheleai, Z. Tasir, and H. Al-Samarraie, “Digital ethics awareness and online behavior among university students: Implications for higher education policy,” *Computers and Education*, vol. 194, 104689, 2023 (DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104689).

[2] L. Wang, Y. Li, and J. Zhang, “Privacy concerns and protective behaviors among university students: A comparative study,” *Computers and Security*, vol. 92, 101742, 2020 (DOI: 10.1016/j.cose.2020.101742).

[3] M. A. Amdan, R. Hashim, and S. Sulaiman, “Ethical and academic landscape of AI in Malaysian Polytechnics,” *Journal of Technical Education and Training*, vol. 16, no. 1, pp. 45–58, 2024 (DOI: 10.30880/jtet.2024.16.01.005).

[4] R. J. M. Ventayen, “OpenAI ChatGPT in higher education: Academic integrity, ethics, and responsible engagement,” International *Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol.20, no. 2, pp. 112–125, 2023 (DOI: 10.1186/s41239-023-00384-8).

[5] UNESCO. *Media and information literacy: Policy and strategy guidelines*. UNESCO Publishing, 2024, https://www.unesco.org/en/media-information-literacy

[6] C. N. A. S. Che Zainal, W. H. Adnan, and A. Abdul Aziz, “Promoting new media literacy on youth usage of the Internet: A conceptual paper,” *Jurnal Pengajian Media Malaysia*, vol. 26, no.2, pp. 33–48, 2024 (DOI: 10.22452/jpmm.vol26no2.3).

[7] A. A. Pua'at Saito and N. Mohamad Yunus, “A study on awareness, exposure and attitude towards digital citizenship among university students in Malaysia,” *Information Management and Business Review*, vol. 15, no. 1, pp. 202–211, 2023 (DOI: 10.22610/imbr.v15i1(I)SI.3397).

[8] M. J. Lebni, R. Toghroli, J. Abbas, N. Kianipour, S. J. Shahabadi, and A. Ziapour, “Internet use and health outcomes among higher education students: A systematic scoping review,” *BMC Public Health*, vol. 20, no. 1, pp.1–12, 2020 (DOI: 10.1186/s12889-020-09123-2).

[9] M. Ribble, “Essential elements of digital citizenship,” *International Society for Technology in Education (ISTE)*, 2020, https://iste.org/blog/essential-elements-of-digital-citizenship

[10] A. M. Al-Abdullatif and A. A. Gameil, “Exploring students' knowledge and practice of digital citizenship in higher education,” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 15, no. 19, pp. 122–142, 2020 (DOI: 10.3991/ijet.v15i19.15611).

[11] Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia. *Pelan Tindakan Pendigitalan Pengajian Tinggi 2022–2025*, Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia, 2022.

[12] I. Ajzen, “The theory of planned behavior: Frequently asked questions,” *Human Behavior and Emerging Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 314–324, 2020 (DOI: 10.1002/hbe2.195).

INTEGRASI TEKNOLOGI DIGITAL DALAM PENGAJARAN BIDANG GEOMATIK DI POLITEKNIK: SATU KERANGKA KONSEP INPUT-PROSES-OUTPUT

Mustaqiimah binti Muhamad*

Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: mustaqiimah@ptsb.edu.my

Abstrak

Geomatik merupakan komponen teras dalam program teknologi dan kejuruteraan awam di politeknik, yang secara tradisinya diajar melalui kaedah lapangan dan pengiraan manual. Perkembangan pesat teknologi digital seperti perisian reka bentuk berbantu komputer (CAD), Sistem Maklumat Geografi (GIS), Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS) dan *total station* elektronik, serta teknologi yang sedang meningkat naik seperti kenderaan udara tanpa pemandu (UAV) dan *Building Information Modelling* (BIM), telah mengubah amalan geomatik dalam industri. Perubahan ini menuntut penyesuaian dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) di institusi pendidikan dan latihan teknikal dan vokasional (TVET). Kertas konsep ini bertujuan meninjau amalan semasa penggunaan pendekatan digital dalam PdP geomatik, mengenal pasti teknologi dan perisian yang relevan, serta menganalisis cabaran utama pelaksanaannya di Politeknik Malaysia. Melalui tinjauan literatur naratif dan analisis konseptual, kertas ini mencadangkan kerangka konsep Input-Proses-Output (IPO) yang menghubungkan input (kurikulum, perisian dan peralatan, kompetensi pensyarah, kesediaan digital pelajar), proses (pengajaran *blended*, latihan amali, kerjasama industri) dan output (kompetensi digital graduan serta kebolehpasaran). Berbeza daripada kerangka kompetensi digital sedia ada yang berpusat pada pendidik, kerangka ini dikhususkan kepada geomatik di politeknik dan menghubungkan penyediaan sumber, amalan PdP dan hasil graduan dalam satu aliran. Kertas ini diharap menjadi rujukan awal kepada pensyarah, penggubal kurikulum dan pentadbir institusi TVET dalam merancang integrasi teknologi digital yang lebih holistik dan mampan.
Kata Kunci: teknologi digital; geomatik; pendidikan TVET; perisian CAD dan GIS; GNSS; cabaran pengajaran.

1. Pengenalan

Geomatik, yang merangkumi ukur tanah (*land surveying*), pemetaan dan pengurusan data geospatial, ialah disiplin asas yang menyokong hampir keseluruhan aktiviti pembangunan fizikal negara, termasuk pembinaan infrastruktur, perancangan bandar, pengurusan hartanah, serta pemetaan sempadan dan sumber. Sebagai salah satu bidang teras dalam aliran kejuruteraan awam dan alam bina, geomatik di politeknik Malaysia secara tradisinya menekankan penguasaan kaedah lapangan konvensional seperti penggunaan pita ukur, alat aras (*level*) dan *total station*, yang disokong oleh pengiraan koordinat dan luas secara manual menggunakan kaedah trigonometri asas.

Namun, industri geomatik kini telah mengalami transformasi digital yang ketara. Instrumen elektronik seperti *total station*, penerima GNSS/GPS berketepatan tinggi, perisian reka bentuk seperti AutoCAD Civil 3D, aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS), serta teknologi muncul seperti kenderaan udara tanpa pemandu (UAV atau dron) untuk fotogrametri dan pengimbasan LiDAR, kini menjadi amalan piawai dalam firma ukur dan pembinaan. Kajian tinjauan oleh Gerber, Khashe dan Smith [1] terhadap program alam bina di Amerika Syarikat turut mengesahkan

bahawa kandungan pengkomputeran dalam kurikulum kejuruteraan awam terus berkembang dari semasa ke semasa, sejajar dengan peningkatan penggunaan teknologi digital dalam industri.

Perubahan ini membawa implikasi langsung kepada kompetensi yang diperlukan daripada graduan politeknik. Mereka bukan sahaja perlu memahami prinsip teori geomatik, tetapi juga mahir menggunakan alat dan perisian digital yang relevan dengan keperluan industri semasa. Persoalannya, pendekatan pengajaran dan pembelajaran (PdP) di politeknik dapat atau tidak sesuaikan dengan perubahan ini. Di peringkat program, Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti [JPPKK] (2024) telah menetapkan keupayaan menggunakan teknologi digital sebagai salah satu hasil pembelajaran program Diploma Geomatik, yang menunjukkan bahawa kompetensi digital kini menjadi sasaran kurikulum. Namun, integrasi teknologi digital dalam amalan pengajaran sering terbantut oleh kelemahan kompetensi digital dalam kalangan pendidik, sebagaimana didapati oleh Valverde-Berrocoso et al. [2], dan dapatan ini turut relevan dalam konteks pengajaran geomatik.

Faktor seperti kos peralatan, kesediaan infrastruktur, kompetensi pensyarah dan struktur kurikulum sedia ada sering menjadi penghalang kepada integrasi teknologi yang menyeluruh. Justeru, kertas konsep ini disediakan untuk meninjau secara konseptual amalan semasa, jenis pendekatan digital yang relevan, serta cabaran utama dalam pengajaran geomatik di politeknik. Kertas ini juga mencadangkan kerangka konsep sebagai asas perbincangan lanjut dan panduan awal kepada pensyarah serta penggubal kurikulum dalam merancang strategi integrasi teknologi digital yang lebih berkesan. Sumbangan utama kertas ini ialah kerangka konsep IPO yang dikhususkan kepada geomatik di politeknik, seperti dibincangkan dalam Bahagian 7.

2. Objektif Kajian

Kertas konsep ini digubal berdasarkan empat objektif utama, iaitu:

(i) Meninjau amalan semasa penggunaan pendekatan digital dalam PdP geomatik di politeknik.
(ii) Mengenal pasti jenis perisian, instrumen digital dan teknologi digital yang relevan dengan kurikulum geomatik.
(iii) Menganalisis cabaran utama yang dihadapi oleh pensyarah dan institusi dalam melaksanakan integrasi teknologi digital secara berkesan.
(iv) Mencadangkan kerangka konsep bersepadu bagi memandu perancangan dan pelaksanaan PdP berasaskan teknologi digital dalam geomatik.

3. Metodologi

Kertas ini ialah kertas konsep (*conceptual paper*) yang dibina melalui tinjauan dan sintesis literatur naratif (*narrative literature review*), disertai analisis konseptual oleh penulis sebagai pengamal pendidikan TVET dalam bidang kejuruteraan awam. Pendekatan ini sesuai kerana kertas ini bertujuan meneroka dan menyusun idea, bukan menguji hipotesis secara empirikal.

Tinjauan dijalankan dalam tiga langkah. Pertama, carian sumber dilakukan menerusi *Scopus*, *Web of Science* dan *Google Scholar* menggunakan kata kunci dalam bahasa Melayu dan Inggeris, antaranya *geomatics education*, *surveying education*, *digital technology*, *TVET*, *polytechnic*, *CAD*, *GIS*, *GNSS*, *UAV* dan *BIM*. Kedua, sumber dipilih membincangkan integrasi teknologi digital dalam pengajaran ukur atau geomatik, dalam pendidikan kejuruteraan dan pembinaan yang berkaitan. Selain itu, perbincangan kompetensi digital dan kebolehpasaran dalam konteks TVET serta dokumen program politeknik turut digunakan untuk menggambarkan

konteks tempatan. Sumber hanya menghuraikan aspek teknikal perisian atau instrumen tanpa kaitan dengan pengajaran tidak dimasukkan. Ketiga, sumber terpilih disintesis secara tematik.

Sintesis tematik diadaptasi daripada langkah analisis tematik Braun dan Clarke [3]. Penulis membaca sumber terpilih, menandakan setiap dapatan yang berkaitan amalan PdP, teknologi digital dan halangan pelaksanaan, mengumpulkan dapatan yang serupa ke dalam kategori, kemudian menyemak kategori tersebut terhadap sumber asal sehingga kategori yang terhasil tidak bertindih. Enam kategori cabaran dalam Jadual 1 (Bahagian 6) serta komponen input, proses dan output dalam kerangka konsep (Bahagian 7) dibentuk melalui proses ini. Pengalaman penulis mengajar dalam bidang ini digunakan untuk membantu menafsirkan dapatan dan bukan sebagai data primer.

Memandangkan sifat konseptualnya, kertas ini tidak melibatkan pengumpulan data primer atau ujian statistik, tetapi menyediakan asas teoretikal yang boleh disahkan secara empirikal dalam kajian lanjutan.

4. Tinjauan Konsep: Pendekatan Digital dalam Pengajaran Geomatik

Bahagian ini membincangkan evolusi dan kategori utama pendekatan digital yang relevan dengan pengajaran geomatik di peringkat politeknik.

4.1 Evolusi daripada Kaedah Manual kepada Digital

Secara tradisinya, pengajaran geomatik tertumpu kepada kaedah manual seperti ukur aras, ukur takimetri menggunakan teodolit optik, dan pengiraan koordinat secara manual menggunakan jadual logaritma atau kalkulator saintifik. Kaedah ini penting untuk membina pemahaman asas tentang prinsip geometri dan trigonometri dalam geomatik. Walau bagaimanapun, kaedah manual memakan masa yang panjang dan terdedah kepada ralat pengiraan oleh manusia. Peralihan kepada instrumen dan perisian digital membolehkan pengumpulan, pemprosesan dan visualisasi data ukur dilakukan dengan lebih pantas, tepat dan cekap. Hal ini menuntut pendekatan pengajaran yang turut disesuaikan.

4.2 Perisian Reka Bentuk dan Pemetaan Berkomputer

Perisian seperti AutoCAD dan AutoCAD Civil 3D digunakan secara meluas dalam industri untuk menghasilkan pelan ukur, model permukaan tiga dimensi (TIN), pengiraan kerja tanah (*cut and fill*), serta reka bentuk laluan dan lot tanah. Dalam konteks pengajaran, perisian ini membolehkan pelajar mengaplikasikan data lapangan sebenar dalam persekitaran digital, menghasilkan pelan bercetak yang mematuhi piawaian profesional, dan memahami aliran kerja *field to finish* yang diamalkan dalam industri. Selari dengan penemuan Puolitaival dan Forsythe [4] dalam konteks pendidikan BIM, cabaran utama dalam pengajaran berasaskan perisian sebegini ialah mengimbangi keperluan perisian gred industri dengan persekitaran pembelajaran yang realistik dan boleh dicapai oleh pelajar peringkat awal.

4.3 Instrumen Digital: *Total Station* dan Pemerolehan Data Elektronik

Total station elektronik menggabungkan fungsi teodolit elektronik dan alat pengukur jarak elektronik (EDM) dalam satu unit, sekali gus membolehkan sudut, jarak dan ketinggian direkodkan serta disimpan secara digital. Data ini boleh dipindahkan terus ke perisian komputer untuk diproses, menggantikan kaedah rekod manual dalam buku lapangan. Pengajaran berasaskan *total station* memerlukan pelajar memahami dua aspek: operasi fizikal instrumen di

lapangan, dan pengendalian data digital yang dihasilkan. Justeru, instrumen ini menjadi titik pertemuan penting antara amali lapangan tradisional dengan kemahiran digital.

4.4 Sistem GNSS/GPS dalam Ukur Kawalan

Penggunaan penerima Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS), termasuk teknologi *Real-Time Kinematic* (RTK), membolehkan penentuan koordinat berketepatan tinggi tanpa memerlukan garis pandangan langsung antara stesen seperti dalam kaedah konvensional. Modul pengajaran GNSS memperkenalkan pelajar kepada konsep rangkaian stesen rujukan, ketepatan penentuan kedudukan, dan integrasi data satelit dengan sistem koordinat kebangsaan. Kemahiran ini semakin diperlukan dalam projek ukur kawalan dan pemetaan berskala besar.

4.5 Sistem Maklumat Geografi (GIS) sebagai Alat Analisis

GIS membolehkan data geomatik disepadukan dengan lapisan maklumat spasial lain seperti guna tanah, hidrologi dan infrastruktur sedia ada bagi tujuan analisis dan perancangan. Pendedahan kepada GIS dalam kurikulum geomatik membantu pelajar memahami aplikasi data ukur dalam konteks perancangan bandar dan pengurusan sumber yang lebih luas, selain mengukuhkan kemahiran analisis spasial yang relevan dengan pelbagai kerjaya dalam alam bina.

4.6 Teknologi Muncul: UAV, BIM dan Simulasi Digital

Perkembangan terkini turut memperkenalkan penggunaan kenderaan udara tanpa pemandu (UAV) untuk fotogrametri udara dan pemetaan kawasan luas secara pantas, teknologi pengimbasan LiDAR untuk model permukaan berketepatan tinggi, serta integrasi data ukur ke dalam model *Building Information Modelling* (BIM) bagi projek pembinaan bersepadu. Al-Tahir [5] berhujah bahawa institusi pengajian perlu memperluas program pendidikan dan latihan kepada operasi geomatik berasaskan UAV, dan mencadangkan sukatan serta tugasan amali berdasarkan pengalamannya. Joyce, Meiklejohn dan Mead [6] pula membentangkan pendekatan berstruktur menggunakan dron mini asas untuk mengajar konsep asas teknologi geospatial dari peringkat sekolah hingga pengajian tinggi. Lebih terkini, Alamouri dan Berger [7] membentangkan satu konsep pengajaran fotogrametri UAV berstruktur bagi kursus bukan geodesi, yang menggabungkan komponen teori dan amali secara berperingkat bagi pelajar yang tiada asas pengetahuan terdahulu. Pendekatan ini berpotensi diadaptasi dalam konteks kurikulum geomatik politeknik. Selain itu, simulasi digital dan realiti maya (VR) mula diterokai sebagai alat bantu pengajaran. Penerapannya di politeknik, menurut pemerhatian penulis, masih pada peringkat awal, namun teknologi ini menggambarkan hala tuju pengajaran geomatik yang semakin digital dan bersepadu.

5. Amalan Semasa di Politeknik Malaysia

Di peringkat kebangsaan, JPPKK [8] menetapkan bahawa graduan Diploma Geomatik perlu menunjukkan keupayaan menggunakan teknologi digital dalam pelbagai jenis kerja ukur, termasuk dalam konteks kelestarian dan alam sekitar (hasil pembelajaran program 6). Dokumen yang sama turut memasukkan kemahiran digital dalam objektif pendidikan program dan dalam kluster hasil pembelajaran *Malaysian Qualifications Framework* (MQF). Dokumen ini menunjukkan bahawa kompetensi digital telah diiktiraf sebagai sasaran program, tetapi tahap pelaksanaannya dalam PdP di setiap politeknik masih memerlukan kajian empirikal. Menurut pemerhatian penulis sebagai pengamal pendidikan TVET, amalan PdP geomatik di politeknik kini lazimnya bersifat hibrid, iaitu menggabungkan latihan lapangan manual sebagai asas pembinaan

konsep, diikuti pendedahan kepada instrumen dan perisian digital pada peringkat yang lebih lanjut. Makmal komputer digunakan untuk sesi amali CAD dan pemprosesan data, manakala kerjasama industri melalui lawatan teknikal, latihan industri dan projek akhir menjadi saluran tambahan untuk mendedahkan pelajar kepada teknologi terkini yang mungkin belum tersedia sepenuhnya di kampus. Sebagai perbandingan antarabangsa, Wong, Wong dan Nadeem [9] menghuraikan inisiatif sebuah universiti di Hong Kong memasukkan BIM ke dalam kurikulum pengurusan pembinaan, teknologi bangunan dan ukur bahan, serta melaporkan maklum balas pelajar tentang pengetahuan yang diperoleh melalui pembelajaran dan amali BIM.

Walau bagaimanapun, tahap dan kedalaman integrasi teknologi digital dipercayai tidak seragam antara institusi, bergantung pada faktor seperti peruntukan kewangan jabatan, bilangan dan kepakaran pensyarah, serta keutamaan yang diberikan dalam semakan kurikulum. Berdasarkan pemerhatian penulis, sesetengah politeknik telah melabur dalam *total station*, penerima GNSS terkini dan lesen perisian Autodesk melalui program pendidikan, manakala yang lain masih bergantung pada peralatan optik konvensional dengan pendedahan digital yang terhad kepada sesi teori. Perbezaan ini perlu disahkan melalui kajian empirikal merentasi politeknik. Isu ini turut berkait rapat dengan tuntutan kebolehpasaran graduan TVET. Kajian Bassah dan Noor [10] terhadap pakar industri di Malaysia mengenal pasti literasi teknologi sebagai salah satu kemahiran kebolehpasaran teras yang perlu dimiliki oleh graduan TVET, sejajar dengan tinjauan sistematik Chin dan Chia [11] yang turut menekankan kepentingan kemahiran digital dalam kebolehpasaran sektor TVET di Malaysia. Dari sudut pembangunan pendidik, Md Hani et al. [12] membangunkan kerangka kompetensi digital bagi pendidik TVET dalam Rangkaian Universiti Teknikal Malaysia (MTUN) dan menegaskan bahawa literatur sedia ada kekurangan kerangka berstruktur untuk menangani cabaran kompetensi digital dalam kalangan pendidik TVET.

6. Cabaran Semasa dalam Pelaksanaan

Sintesis literatur dan dokumen program yang dihuraikan dalam Bahagian 3 menghasilkan enam kategori cabaran utama yang menghalang integrasi menyeluruh pendekatan digital dalam pengajaran geomatik, seperti dirumuskan dalam Jadual 1. Setiap kategori dibentuk dengan mengumpulkan halangan yang serupa daripada sumber yang berbeza, iaitu halangan yang berkaitan dengan kos, pensyarah, kurikulum, pelajar, infrastruktur dan penilaian.

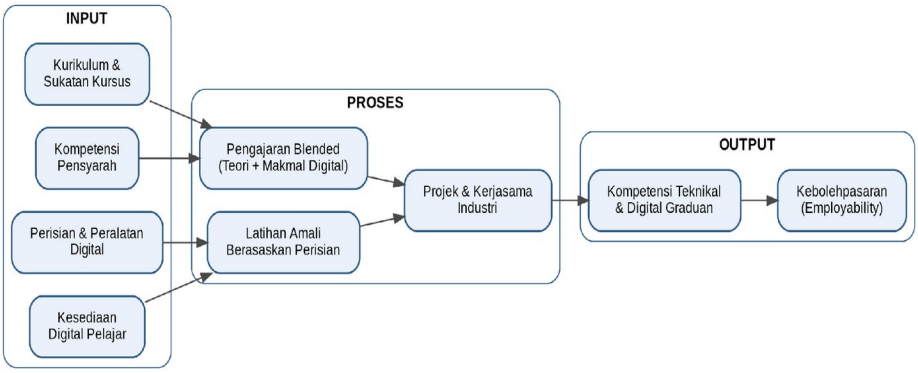
Cabaran-cabaran ini saling berkait rapat. Sebagai contoh, kekangan kos peralatan turut menjejaskan peluang pensyarah memperoleh pengalaman langsung dengan teknologi terkini, yang seterusnya menjejaskan keyakinan mereka untuk menyampaikan pengajaran berasaskan teknologi digital. Puolitaival dan Forsythe [4] turut mengenal pasti pembangunan profesional staf sebagai salah satu cabaran utama dalam pendidikan BIM. Hal ini selari dengan tinjauan skop oleh Mohd Rokeman et al. [13], yang menyimpulkan bahawa pendidikan digital memerlukan penyesuaian dalam pedagogi dan penilaian serta latihan dan pembangunan profesional bagi pengajar. Justeru, penyelesaian kepada isu ini memerlukan pendekatan bersepadu yang melibatkan pentadbir institusi, penggubal kurikulum dan rakan industri.

Jadual 1. Rumusan cabaran integrasi pendekatan digital dalam pengajaran geomatik

Cabaran	Huraian Ringkas
Kos Peralatan & Perisian	Lesen perisian CAD/GIS profesional dan instrumen digital (*total station*, penerima GNSS) memerlukan pelaburan modal serta penyelenggaraan berkala yang tinggi.
Kompetensi & Latihan Pensyarah	Ramai pensyarah dilatih dalam kaedah ukur konvensional. Latihan semula (*upskilling*) secara berterusan diperlukan agar selari dengan perkembangan teknologi industri [13], [4].
Peruntukan Kurikulum & Masa	Sukatan sedia ada sering menekankan teori dan amali manual. Ruang untuk modul digital lanjutan (BIM, GIS, dron) masih terhad dalam jam kredit sedia ada.
Kesediaan & Literasi Digital Pelajar	Tahap kemahiran ICT pelajar yang berbeza-beza menyebabkan jurang pembelajaran apabila perisian teknikal diperkenalkan tanpa asas digital yang mencukupi.
Infrastruktur ICT & Lesen Perisian	Bilangan makmal komputer berspesifikasi tinggi dan bilangan lesen serentak yang terhad menyukarkan semua pelajar mengakses perisian secara menyeluruh, terutamanya di kampus yang mempunyai enrolmen besar.
Penilaian & Pengesahan Kemahiran	Kaedah pentaksiran sedia ada belum menyokong sepenuhnya pengukuran kompetensi digital secara autentik dan berterusan.

7. Kerangka Konsep Cadangan

Berdasarkan tinjauan literatur dan analisis cabaran di atas, kertas ini mencadangkan kerangka konsep bersepadu berasaskan model Input-Proses-Output (IPO) untuk memandu integrasi pendekatan digital dalam pengajaran geomatik, seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1. Kerangka konsep integrasi pendekatan digital dalam pengajaran geomatik

Kerangka ini mencadangkan bahawa keberkesanan integrasi teknologi digital bergantung pada penyediaan input yang mencukupi, iaitu kurikulum yang responsif, akses kepada perisian dan peralatan, kompetensi pensyarah yang dikemas kini, serta kesediaan digital pelajar. Input ini seterusnya menyokong proses pengajaran yang menggabungkan kaedah *blended* (teori bersama makmal digital), latihan amali berasaskan perisian sebenar, serta kerjasama erat dengan industri melalui projek dan latihan praktikal. Hasil akhir yang disasarkan ialah peningkatan kompetensi teknikal dan digital graduan, yang secara langsung menyumbang kepada kebolehpasaran (*employability*) mereka dalam pasaran kerja geomatik dan alam bina yang semakin digital.

Setiap input dalam kerangka ini menjawab satu atau lebih kategori cabaran dalam Jadual 1. Kos peralatan dan infrastruktur ICT diwakili oleh input perisian dan peralatan, manakala kompetensi pensyarah, peruntukan kurikulum dan kesediaan pelajar masing-masing diwakili oleh input yang sepadan. Cabaran penilaian dan pengesahan kemahiran pula dikaitkan dengan output, iaitu cara kompetensi digital graduan diukur dan diiktiraf.

Kerangka ini berbeza daripada beberapa kerangka sedia ada dari segi fokus dan skop. Model *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) [14] menerangkan pengetahuan yang diperlukan oleh guru untuk mengintegrasikan teknologi dalam pengajaran, manakala *European Framework for the Digital Competence of Educators* (DigCompEdu) [15] menghuraikan kompetensi digital pendidik secara umum bagi pelbagai peringkat pendidikan. Dalam konteks TVET di Malaysia, kerangka HATTA oleh Md Hani et al. [12] dibangunkan untuk pendidik TVET secara umum dalam MTUN dan memberi tumpuan kepada kompetensi digital serta kepuasan pendidik. Kerangka IPO dalam kertas ini berbeza kerana ia meletakkan kompetensi pensyarah sebagai satu daripada empat input, bersama kurikulum, perisian dan peralatan serta kesediaan pelajar, dan menghubungkannya dengan proses PdP serta output graduan dalam geomatik di politeknik. Kerangka ini dicadangkan sebagai sumbangan konseptual awal dan belum diuji secara empirikal.

8. Implikasi dan Cadangan

Kerangka konsep yang dicadangkan membawa beberapa implikasi praktikal kepada pihak berkepentingan. Pertama, penggubal kurikulum perlu mempertimbangkan semakan berkala terhadap sukatan geomatik bagi memastikan keseimbangan yang sesuai antara asas teori manual dengan kemahiran digital, selaras dengan keperluan industri semasa. Kedua, institusi perlu melabur secara strategik dalam pembangunan profesional berterusan (*continuous professional development*) bagi pensyarah, termasuk kerjasama dengan pembekal perisian dan agensi industri untuk akses kepada latihan bersijil. Ketiga, pelaburan dalam infrastruktur ICT dan lesen perisian pendidikan wajar diberi keutamaan dalam perancangan bajet jabatan, memandangkan kesannya yang meluas terhadap kualiti pengalaman pembelajaran pelajar. Akhir sekali, kerjasama industri-akademia perlu diperkukuh bagi merapatkan jurang antara amalan pengajaran dengan keperluan pasaran kerja sebenar, khususnya dalam memperkukuh literasi teknologi sebagai kemahiran kebolehpasaran teras [10].

9. Kesimpulan

Pendekatan digital dalam pengajaran geomatik bukan lagi pilihan tambahan, tetapi keperluan asas untuk memastikan graduan politeknik kekal relevan dengan tuntutan industri geomatik dan alam bina yang semakin digital. Kertas konsep ini telah meninjau evolusi dan kategori utama teknologi digital yang relevan, mengenal pasti amalan semasa di politeknik Malaysia, serta menganalisis enam kategori cabaran utama pelaksanaannya. Kerangka konsep IPO yang dicadangkan menawarkan asas awal kepada pensyarah dan penggubal kurikulum untuk merancang strategi integrasi yang lebih holistik. Kajian empirikal lanjutan, seperti tinjauan persepsi pensyarah dan pelajar atau kajian kes pelaksanaan di politeknik terpilih, dicadangkan bagi mengesahkan dan memperhalusi kerangka konsep ini dalam konteks sebenar.

Rujukan

[1] D. J. Gerber, S. Khashe, and I. F. C. Smith, “Surveying the evolution of computing in architecture, engineering, and construction education,” Journal of Computing in Civil

Engineering, vol. 29, no. 5, Art. no. 04014060, 2015 (DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000361).

[2] J. Valverde-Berrocoso, M. R. Fernández-Sánchez, F. I. Revuelta Domínguez, and M. J. Sosa-Díaz, “The educational integration of digital technologies pre-Covid-19: Lessons for teacher education,” PLOS ONE, vol. 16, no. 8, Art. no. e0256283, 2021 (DOI: 10.1371/journal.pone.0256283).

[3] V. Braun and V. Clarke, “Using thematic analysis in psychology,” Qualitative Research in Psychology, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006 (DOI: 10.1191/1478088706qp063oa).

[4] T. Puolitaival and P. Forsythe, “Practical challenges of BIM education,” Structural Survey, vol. 34, no. 4/5, pp. 351–366, 2016 (DOI: 10.1108/SS-12-2015-0053).

[5] R. Al-Tahir, “Integrating UAV into geomatics curriculum,” The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XL-1/W4, pp. 387–390, 2015 (DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-387-2015).

[6] K. E. Joyce, N. Meiklejohn, and P. C. H. Mead, “Using minidrones to teach geospatial technology fundamentals,” Drones, vol. 4, no. 3, Art. no. 57, 2020 (DOI: 10.3390/drones4030057).

[7] A. Alamouri and C. Berger, “Teaching UAV photogrammetry in non-geodetic degree courses: The example of TU Braunschweig,” PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, vol. 93, no. 3, pp. 309–316, 2025 (DOI: 10.1007/s41064-025-00331-4).

[8] Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK), Programme Information: Diploma in Geomatic (DGU) (Version 06062024_1). Ministry of Higher Education, 2024. [Online]. Available: https://www.poliku.edu.my/wp-content/uploads/2025/07/Program-Information-Diploma-in-Geomatic_DGU.pdf

[9] K. D. A. Wong, F. K. W. Wong, and A. Nadeem, “Building information modelling for tertiary construction education in Hong Kong,” Journal of Information Technology in Construction, vol. 16, pp. 467–476, 2011. [Online]. Available: https://itcon.org/paper/2011/27

[10] N. A. S. H. Bassah and M. A. M. Noor, “Employability skills needed for TVET graduates in Malaysia: Perspective of industry expert,” TVET@Asia, no. 20, 2023. [Online]. Available: https://tvet-online.asia/20/employability-skills-needed-for-tvet-graduates-in-malaysia-perspective-of-industry-expert/

[11] L. P. Chin and Y. M. Chia, “Employability skills in the Malaysian context: A systematic literature review of the TVET sector,” Education + Training, vol. 63, no. 7/8, pp. 1063–1081, 2021 (DOI: 10.1108/ET-04-2020-0102).

[12] M. H. Md Hani, A. Ismail, S. F. Abdul Samad, M. A. Mohd Yusof, and A. Hafidzi, “Enhancing high aptitude TVET technological assistance (HATTA) framework of a digital competence model for TVET educator’s satisfaction by using linear regression approaches,” Journal of Technical Education and Training, vol. 17, no. 1 (Special Issue), pp. 45–61, 2025 (DOI: 10.30880/jtet.2025.17.01.004).

[13] N. R. Mohd Rokeman, C. G. Che Kob, F. W. Othman, H. Che Sobry, M. L. Mohd Raffi, S. A. Mohd Nong, M. F. Untong, and M. N. Mohd Yaacob, “Navigating digital competence in TVET education: Overcoming challenges and harnessing opportunities for Industry 4.0,” Jurnal Pendidikan Bitara UPSI, vol. 17, pp. 200–215, 2024 (DOI: 10.37134/bitara.vol17.sp2.20.2024).

[14] P. Mishra and M. J. Koehler, “Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge,” Teachers College Record, vol. 108, no. 6, pp. 1017–1054, 2006 (DOI: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x).

[15] C. Redecker, European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu, Y. Punie, Ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 (DOI: 10.2760/159770).

KEBERKESANAN PENGGUNAAN DC *POWER SUPPLY TRAINING KIT* DALAM KALANGAN PELAJAR DIPLOMA KEJURUTERAAN ELEKTRIK POLITEKNIK TUANKU SULTANAH BAHIYAH

Zawiyah binti Mokhtar[1]*, Noorzalina binti Mat Hussein[2], Amirul Zaharin bin Yusoff[1]

[1]Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah
[2]Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Politeknik Ungku Omar, Jalan Raja Musa Mahadi, 31400 Ipoh, Perak

*Corresponding author e-mail address: zawiyah@ptsb.edu.my

Abstrak

Bekalan kuasa DC merupakan alatan asas penting dalam pendidikan kejuruteraan, berfungsi sebagai sumber utama untuk membekalkan kuasa, menguji, dan menyelesaikan masalah litar elektronik di makmal. Unit bekalan kuasa sedia ada di makmal Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah didapati usang dan sebahagiannya tidak lagi berfungsi dengan baik, menjejaskan ketepatan pengukuran praktikal pelajar. Kajian ini membentangkan pembangunan DC *Power Supply Training Kit*, satu modul pembelajaran praktikal yang mengintegrasikan litar penerus, penapis, dan pengatur voltan dalam satu platform tunggal bagi mendemonstrasikan transformasi gelombang isyarat elektrik. Satu kajian penilaian keberkesanan turut dijalankan melibatkan 16 orang pelajar diploma daripada program DEE, DTK, DET dan DEP menggunakan borang soal selidik skala Likert 5 mata merangkumi enam item penilaian. Lima item teras yang mengukur keberkesanan pembelajaran secara langsung mencatatkan min skor keseluruhan 4.00 (Tahap Tinggi), manakala satu item tambahan berkaitan keperluan bahan pengajaran sokongan mencatatkan min 4.19 dan dilaporkan secara berasingan. Dapatan kajian membuktikan *trainer kit* ini berkesan dalam meningkatkan pemahaman konsep, penglibatan pembelajaran, dan kualiti pengalaman praktikal pelajar di makmal elektrik dan elektronik.
Kata Kunci: bekalan kuasa DC; kit latihan makmal; keberkesanan pembelajaran.

1. Pengenalan

Aktiviti amali makmal memainkan peranan penting dalam membantu pelajar memahami konsep asas kejuruteraan elektrik dan elektronik. Melalui eksperimen secara *hands-on*, pelajar dapat mengaplikasikan pengetahuan teori yang dipelajari di dalam kelas serta memerhati tingkah laku sebenar litar elektronik. Dapatan ini turut disokong oleh kajian Kanapathy dan Azhari [1] yang mendapati pembelajaran *hands-on* memberi kesan signifikan terhadap pencapaian pelajar dalam mata pelajaran STEM berbanding kaedah pengajaran konvensional. Salah satu peralatan paling penting dalam sesi makmal ini ialah bekalan kuasa DC, yang membekalkan sumber voltan stabil dan terkawal untuk mengendalikan pelbagai komponen elektronik seperti transistor, diod, dan litar bersepadu [2].

Namun begitu, banyak unit bekalan kuasa sedia ada di makmal telah usang dan tidak lagi beroperasi dengan cekap. Had-had peralatan lama ini, termasuk output voltan yang tidak stabil dan julat voltan yang terhad, boleh menjejaskan ketepatan hasil eksperimen dan menyekat jenis eksperimen yang boleh dijalankan oleh pelajar. Akibatnya, pelajar sering menghadapi kesukaran untuk memahami tingkah laku litar dan mengaitkan keputusan pengukuran dengan pengiraan teori, sejajar dengan dapatan bahawa ketiadaan peralatan yang sesuai untuk aktiviti amali menjadi penghalang utama kepada pembangunan kemahiran praktikal pelajar [2].

Kajian lepas turut menunjukkan bahawa *trainer kit* berasaskan litar analog dan elektronik kuasa memberi kesan positif terhadap pemahaman konsep pelajar yang bersifat abstrak, seperti transformasi gelombang dan pengaturan voltan, kerana pelajar dapat memerhati secara langsung perubahan isyarat pada setiap peringkat litar berbanding hanya mempelajarinya secara teori [3]. Selain itu, reka bentuk modul berbilang konfigurasi turut disokong oleh kajian berkaitan platform pembelajaran litar penerus dan elektronik kuasa, yang mendapati pendekatan sedemikian membolehkan pelajar membandingkan prestasi litar secara sistematik dalam satu sesi amali, sekali gus memperkukuh kefahaman konseptual mereka terhadap litar bekalan kuasa [3].

Isu peralatan bekalan kuasa DC yang usang di makmal elektronik turut dilaporkan dalam kajian oleh Yusof et al. [4] di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, yang mendapati bekalan kuasa sedia ada tidak lagi berfungsi dengan baik sehingga menjejaskan ketepatan pengukuran pelajar, lalu mencadangkan pembangunan bekalan kuasa mudah alih berciri pelbagai julat sebagai penyelesaian praktikal — dapatan yang konsisten dengan motivasi pembangunan kit dalam kajian ini. Selain itu, kajian oleh Darus et al. [5] ke atas *Power Supply Trainer Learning Kit* di Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin turut mengesahkan bahawa *trainer kit* berasaskan modul penerus, penapis, dan pengatur voltan dapat meningkatkan motivasi, pemahaman konsep, dan kecekapan masa pelajar semasa amali litar elektronik, dengan tahap keberkesanan keseluruhan berada pada tahap Tinggi menggunakan skala interpretasi Landell [6] yang sama seperti yang digunakan dalam kajian ini. Dapatan dua kajian ini melengkapkan kajian terdahulu berkaitan *trainer kit* mikropengawal dan IoT yang turut melaporkan peningkatan penglibatan pembelajaran pelajar dalam makmal elektronik dan litar digital [2], [7].

Kajian oleh Jambari et al. [8] ke atas *Educational Trainer Kit* (ETK) dalam kalangan pelajar Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik di dua buah politeknik turut mengesahkan bahawa penggunaan *trainer kit* dapat mempertingkatkan kemahiran kerja berpasukan dan penyelesaian masalah pelajar, selain kemahiran teknikal, sekali gus menjustifikasikan keperluan politeknik untuk terus membangunkan ETK bagi aktiviti pengajaran dan pembelajaran yang lebih berkesan. Sejajar dengan ini, Hamid et al. [9] turut membangunkan kit latihan litar elektrik berasaskan pembelajaran koperatif menerusi pendekatan model ADDIE dan mendapati kit tersebut mencatatkan skor kebolehgunaan yang sangat baik serta nilai *n-gain* 0.77 (kategori tinggi) dalam meningkatkan penguasaan pelajar terhadap litar elektrik dan elektronik asas. Kedua-dua kajian ini memberi sokongan tambahan bahawa pendekatan pembangunan *trainer kit* berasaskan modul, seperti yang diamalkan dalam kajian ini, merupakan kaedah yang terbukti berkesan merentasi pelbagai konteks litar elektrik dan elektronik.

Bagi menangani isu ini, pembangunan tiga jenis litar DC *Power Supply Training Kit* dicadangkan sebagai penyelesaian praktikal untuk menyokong proses pengajaran dan pembelajaran di makmal elektronik [10]. Kit latihan ini direka bukan sahaja berfungsi sebagai unit bekalan kuasa, tetapi juga sebagai alat pendidikan yang membolehkan pelajar mengkaji dan memahami operasi asas litar bekalan kuasa, termasuk penerusan, penapisan, dan pengaturan voltan, selari dengan pendekatan pembangunan *trainer kit* berasaskan modul yang terbukti berkesan dalam meningkatkan motivasi dan penglibatan pembelajaran pelajar [11], [12].

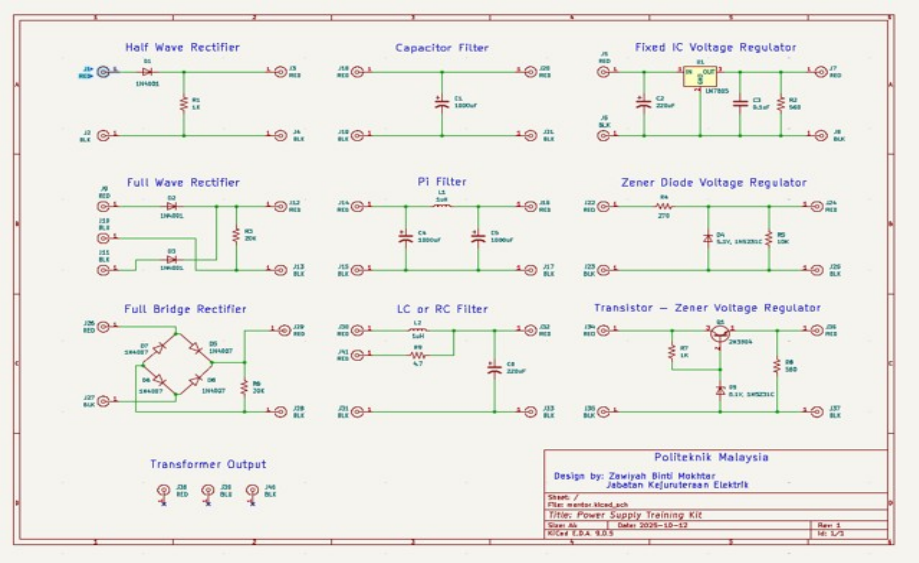
Objektif utama kajian ini adalah seperti berikut:

(i) Meningkatkan pengalaman pembelajaran praktikal pelajar melalui interaksi *hands-on*;
(ii) Menyediakan visualisasi operasi litar yang jelas bagi setiap peringkat litar bekalan kuasa; dan

(iii) Menilai tahap keberkesanan penggunaan *trainer kit* ini dalam kalangan pelajar diploma melalui kajian soal selidik berstruktur.

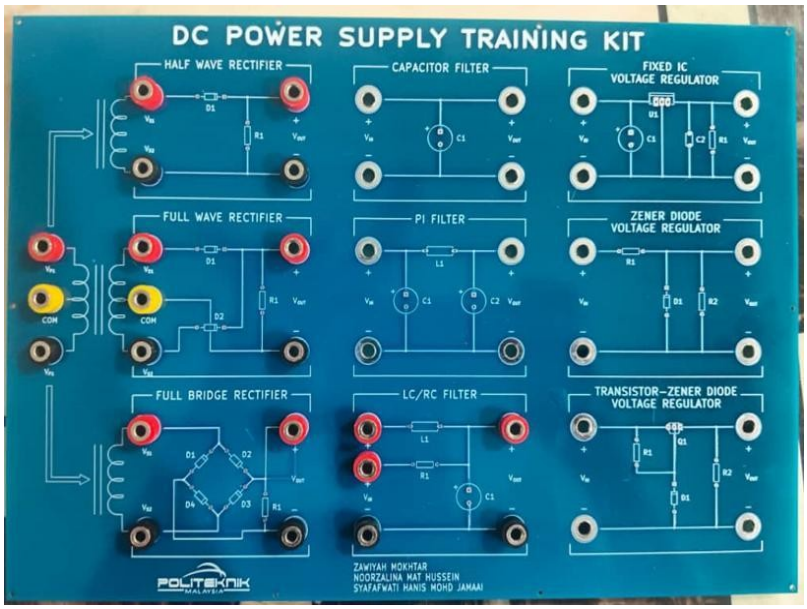
2. Metodologi

Pembangunan DC *Power Supply Training Kit* mengikuti pendekatan sistematik yang merangkumi fasa analisis keperluan, reka bentuk litar, pembinaan prototaip, pengujian dan penilaian keberkesanan. Fasa reka bentuk bermula dengan pembangunan skema litar yang merangkumi peringkat pengubah, penerus, penapis dan pengawal voltan. Tiga jenis konfigurasi litar telah dibangunkan bagi setiap peringkat, membolehkan pelajar membandingkan prestasi antara *Half-Wave Rectifier*, *Full-Wave Rectifier*, dan *Full Bridge Rectifier*; *Capacitor Filter*, *Pi Filter*, dan LC/RC *Filter*; serta *Fixed* IC *Voltage Regulator*, *Zener Diode Voltage Regulator*, dan Transistor-Zener *Voltage Regulator*, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Pendekatan reka bentuk modul berbilang konfigurasi ini konsisten dengan keperluan untuk menyediakan peralatan dan metodologi yang sesuai bagi tujuan pengajaran dan penyelidikan litar penerus dan elektronik kuasa [3].



Rajah 1. Skema litar DC *Power Supply Training Kit*

Selepas simulasi berjaya dijalankan, prototaip fizikal dibina di atas papan litar bercetak untuk pengujian awal. Proses ini merangkumi pemasangan pengubah, penerus, penapis, dan pengatur voltan; penyambungan terminal output dan suis julat voltan; pengintegrasian litar bateri boleh cas semula untuk kebolehalihan; serta pemasangan ciri perlindungan seperti fius, had arus, dan perlindungan lampau voltan, seperti ditunjukkan dalam Rajah 2. Prototaip kemudian menjalani pengujian menyeluruh menggunakan multimeter digital dan osiloskop bagi memastikan keselamatan, fungsi, dan ketepatan output voltan pada setiap litar.



Rajah 2. Prototaip DC *Power Supply Training Kit*

Bagi menilai keberkesanan penggunaan *trainer kit* ini, satu borang soal selidik Google Form telah diedarkan kepada pelajar diploma yang telah menggunakan kit tersebut dalam sesi makmal. Borang ini mengandungi enam item penilaian menggunakan skala Likert 5 mata (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 5 = Sangat Setuju), merangkumi aspek visualisasi gelombang, kemudahan penggunaan, pemahaman konsep, penglibatan dalam pembelajaran, reka bentuk fizikal, dan keperluan bahan pengajaran tambahan. Lima item pertama (Item 1–5) mengukur keberkesanan pembelajaran secara langsung dan menjadi asas pengiraan min skor keseluruhan keberkesanan kit, manakala Item 6 mengukur keperluan bahan sokongan tambahan dan dilaporkan secara berasingan kerana ia tidak mencerminkan keberkesanan kit itu sendiri. Data yang dikumpul dianalisis menggunakan statistik deskriptif (skor minimum) dan diinterpretasikan menggunakan skala tiga tahap Landell [6], seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.

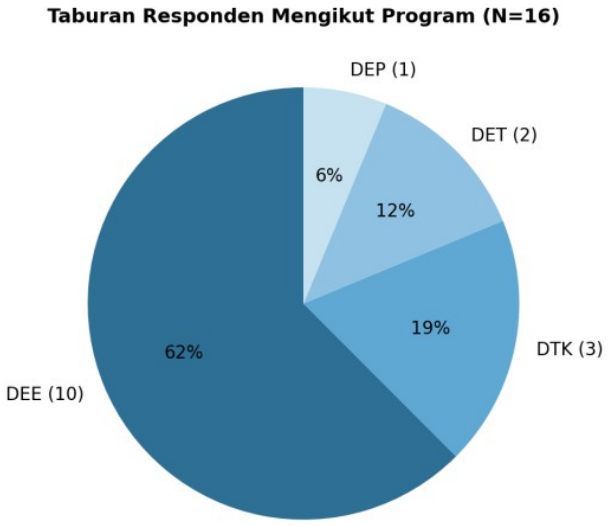
3. Dapatan Kajian dan Perbincangan

Jadual 1. Taburan responden mengikut program

Program	Bilangan Responden	Peratusan (%)
DEE (Diploma Kejuruteraan Elektrik)	10	62.5
DTK (Diploma Teknologi Kejuruteraan)	3	18.8
DET (Diploma Kejuruteraan Elektronik)	2	12.5
DEP (Diploma Kejuruteraan Elektrik Perindustrian)	1	6.2
Jumlah	16	100

Kajian ini melibatkan seramai 16 orang responden pelajar diploma daripada empat program berbeza di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah dan Politeknik Ungku Omar. Semua responden mengesahkan mempunyai pendedahan terhadap litar DC *Power Supply* sebelum menjawab

borang soal selidik. Taburan responden mengikut program ditunjukkan dalam Jadual 1 dan Rajah 3.



Rajah 3. Carta taburan responden mengikut program

Bagi menginterpretasikan tahap min skor bagi setiap item, kajian ini menggunakan skala interpretasi seperti dalam Jadual 2.

Jadual 2. Skala interpretasi min skor

Julat Min Skor	Tahap Interpretasi
1.00 – 2.33	Rendah
2.34 – 3.67	Sederhana
3.68 – 5.00	Tinggi

Jadual 3 dan Rajah 4 menunjukkan min skor bagi lima item teras penilaian keberkesanan DC *Power Supply Training Kit* berdasarkan maklum balas 16 responden. Item 6 dikecualikan daripada pengiraan min skor keseluruhan keberkesanan kerana ia mengukur keperluan bahan sokongan pembelajaran tambahan (manual, lembaran kerja, tutorial QR-*code*), bukan keberkesanan kit secara langsung; item ini dilaporkan secara berasingan dalam Jadual 4.

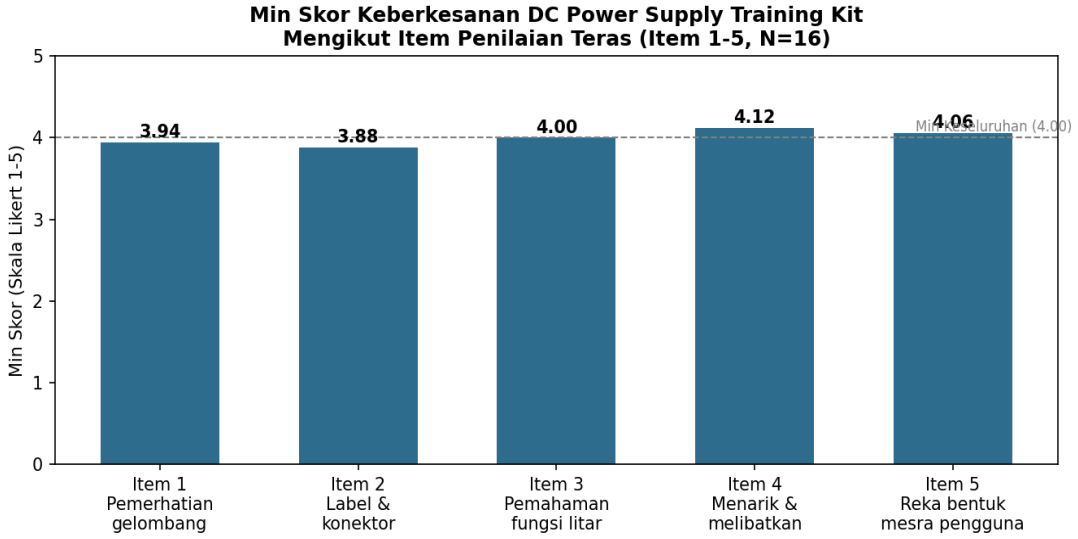
Min skor keseluruhan bagi lima item teras (Item 1–5) ialah 4.00, berada pada tahap Tinggi mengikut skala interpretasi yang digunakan. Ini menunjukkan bahawa secara amnya, pelajar memberikan maklum balas yang sangat positif terhadap penggunaan DC *Power Supply Training Kit* dalam sesi pembelajaran makmal, dapatan yang selari dengan kajian lepas yang turut melaporkan peningkatan motivasi dan penglibatan pembelajaran pelajar hasil daripada penggunaan *trainer kit* berasaskan modul [11].

Item 4 (proses pembelajaran lebih menarik dan melibatkan) mencatatkan min tertinggi dalam kalangan lima item teras (4.12), menyokong hasrat kajian untuk menjadikan pembelajaran litar bekalan kuasa lebih interaktif berbanding kaedah kuliah konvensional, selaras dengan dapatan

bahawa integrasi media pembelajaran berasaskan *trainer kit* dapat memperkukuh pemahaman konsep litar digital dan elektronik [7].

Jadual 3. Min skor keberkesanan mengikut item penilaian teras (item 1–5, N=16)

Item	Aspek Penilaian	Min Skor	Tahap
1	*Trainer* membolehkan pemerhatian perubahan gelombang secara berkesan dari peringkat penerus ke pengatur voltan	3.94	Tinggi
2	Label modul dan konektor memudahkan penggunaan semasa aktiviti makmal	3.88	Tinggi
3	*Trainer* meningkatkan pemahaman fungsi litar penerus, penapis, dan pengatur voltan	4.00	Tinggi
4	Proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan melibatkan berbanding kaedah konvensional	4.12	Tinggi
5	Reka bentuk fizikal *trainer* mesra pengguna dan mudah difahami	4.06	Tinggi
Min Keseluruhan (Item 1–5)		4.00	Tinggi



Rajah 4. Carta min skor keberkesanan mengikut item penilaian teras

Item 2 (label modul dan konektor) mencatatkan min terendah (3.88) berbanding item lain, walaupun masih pada tahap yang tinggi. Ini selari dengan cadangan penambahbaikan yang diberikan oleh responden melalui soalan terbuka, iaitu keperluan untuk pelabelan titik ujian yang lebih jelas serta penambahan paparan skrin digital pada meter voltan dan arus bagi memudahkan pengukuran.

Sebagai maklumat tambahan, Jadual 4 menunjukkan Item 6 (keperluan bahan pengajaran tambahan) mencatatkan min skor 4.19, iaitu tertinggi berbanding kelima-lima item teras. Walaupun item ini tidak digunakan sebagai bukti langsung keberkesanan kit, skor tinggi ini menunjukkan pelajar amat menghargai sokongan bahan rujukan tambahan untuk melengkapkan

pengalaman pembelajaran *hands-on* mereka, serta memberikan input berguna untuk penambahbaikan versi akan datang.

Jadual 4. Min skor bagi item keperluan bahan pengajaran tambahan (item 6, N=16)

Item	Aspek Penilaian	Min Skor	Tahap
6	Bahan pengajaran tambahan (manual, lembaran kerja, QR *code*) akan meningkatkan lagi pengalaman pembelajaran	4.19	Tinggi

Secara keseluruhan, majoriti besar responden (melebihi 80%) memberikan respons Setuju atau Sangat Setuju bagi setiap item penilaian, membuktikan penerimaan yang tinggi terhadap *trainer kit* ini dalam kalangan pelajar diploma pelbagai program kejuruteraan elektrik dan elektronik.

4. Kesimpulan

DC *Power Supply Training Kit* telah berjaya dibangunkan dan dilaksanakan di Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, sebagai platform pembelajaran *hands-on* yang membolehkan pelajar memasang dan meneroka setiap peringkat litar bekalan kuasa, daripada pengubah dan penerus kepada penapis dan pengatur voltan [10]. Dapatan kajian keberkesanan yang melibatkan 16 orang pelajar diploma mengesahkan bahawa *trainer kit* ini berkesan pada tahap Tinggi (min keseluruhan bagi lima item teras = 4.00) dalam meningkatkan pemahaman konsep litar bekalan kuasa DC, penglibatan pembelajaran, dan kualiti pengalaman praktikal di makmal.

Cadangan penambahbaikan utama yang perlu dipertimbangkan untuk versi akan datang termasuk penambahan paparan digital voltan/arus, pelabelan titik ujian yang lebih jelas, serta penyediaan manual pengguna yang lebih komprehensif lengkap dengan lembaran kerja dan tutorial kod QR — selaras dengan skor tinggi yang dicatatkan bagi keperluan bahan sokongan tambahan (Item 6, min = 4.19). Secara keseluruhan, kit latihan ini berfungsi sebagai alat pendidikan yang berkesan dalam menghubungkan teori dan praktikal, melengkapkan pelajar dengan kemahiran praktikal, keyakinan teknikal, dan pemahaman yang jelas tentang operasi litar bekalan kuasa DC, selaras dengan peranan *trainer kit hands-on* dalam merapatkan jurang antara pengetahuan teori dan aplikasi praktikal dalam pendidikan kejuruteraan [2].

Rujukan

[1] S. Kanapathy and A. M. Azhari, “Exploration of the experience of hands-on learning and its impacts on STEM learning,” *Pedagogika*, vol. 155, no.3, pp.104–125, 2024.

[2] B. Sumanth, J. Neha, R. Sneha, C. K. Prasad, and K. Viswanathan, “Programmable Logic Controller (PLC) trainer kit for various power system applications,” *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, vol. 12, no. 7, pp.103–113, 2024.

[3] J. Bayona, N. Gélvez, and H. Espitia, “Design and implementation of a module for teaching and research on SCRs for power electronics,” *HardwareX*, vol. 22, e00640, 2025.

[4] N. A. M. Yusof, J. Sulaiman, and S. Yusof, “Development of DC power supply for electronic laboratory purposes,” In *Proceedings of Liga Ilmu Serantau (LIS2024)*. Universitas Ibnu Sina, Batam, Indonesia, 2024.

[5] H. Darus, S. Abu Seman, and N. Othman, “Study on the effectiveness of using the Power Supply Trainer Learning Kit among students of the Electrical Engineering Department, Tuanku Syed Sirajuddin Polytechnic during hands-on practical work,” *International Journal of Research and Innovation Management*, vol. 10, no.1, pp. 1–13, 2024.

[6] K. Landell, *Management by menu.* Wiley and Sons Inc. 1997.

[7] W. Mustakim, H. Effendi, Aswardi, M. Giatman, Hariyadi, and W. D. Pratiwi, “Development of Internet of Things trainer kit as a learning media for digital circuit subjects in higher education,” *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 4–16, 2024.

[8] H. Jambari, I. Taman, N. H. Mohamad, R. Abu, N. H. Ismail, J. Ahmad, N. Sapuan, and S. Osman, “Effectiveness of educational trainer kits to enhance the technical skills for students,” *Advanced Science Letters*, vol. 24, no.4, pp.2195–2198, 2018.

[9] M. A. Hamid, E. Permata, D. Aribowo, I. A. Darmawan, M. Nurtanto, and S. Laraswati, “Development of cooperative learning-based electric circuit kit trainer for basic electrical and electronics practice,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1456, no. 1, 012047, 2020.

[10] Z. Mokhtar, N. Mat Hussein, and S. H. Mohd Jamaai, “DC power supply training kit module”, In *Proceedings of the International Education Research and Innovation Carnival (InERIC 2026)*. Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah / Politeknik Ungku Omar, 2026.

[11] F. Eliza, O. Candra, R. Mukhaiyar, R. Fadli, and Y. E. Wibowo, “Development of a microcontroller training kit to increase student learning motivation. *Engineering,” Technology and Applied Science Research*, vol. 15, no. 13, pp. 22319–22326.

[12] A. F. Mahmood, K. A. Ahmed, and H. A. Mahmood, “Design and implementation of a microcontroller training kit for blended learning,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 30, no.4, pp.1236–1247, 2022.

KERANGKA KONSEPTUAL BAGI PENGAJARAN DAN PEMBELAJARAN UKUR KEJURUTERAAN DI POLITEKNIK MALAYSIA

Nurul Amira binti Din*

Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: amira@ptsb.edu.my

Abstrak

Mempelajari cara membina sesuatu dan memahami struktur adalah sangat penting, dan kejuruteraan merupakan sebahagian besar daripadanya. Dalam konteks pengajaran di Politeknik Malaysia, mengajar kemahiran teknikal boleh menjadi sukar kerana pelajar tidak mendapat latihan praktikal yang mencukupi, peralatan moden tidak mencukupi, dan apa yang mereka pelajari di dalam kelas tidak selalunya sepadan dengan pekerjaan sebenar. Artikel ini mencadangkan rancangan mudah untuk meningkatkan kemahiran pengukuran dalam pengajaran di politeknik. Ia melihat bagaimana pengajaran dirancang, penglibatan tenaga pengajar, proses kerja lapangan yang dijalankan serta penggunaan teknologi oleh tenaga pengajar dan pelajar itu sendiri. Artikel ini menerangkan cara bahagian ini berfungsi bersama-sama untuk mengekalkan minat pelajar, membantu mereka mempelajari kemahiran sebenar dan mendorong mereka untuk bekerja dalam bidang kejuruteraan selepas tamat pengajian. Matlamatnya adalah untuk membantu tenaga pengajar dan perancang kurikulum menjadikan pembelajaran lebih praktikal serta menyediakan pelajar dengan lebih baik untuk dunia pekerjaan sebenar. Lebih banyak penyelidikan diperlukan untuk menilai sama ada kerangka ini berkesan di Politeknik Malaysia.
Kata Kunci: kejuruteraan; pengajaran dan pembelajaran; Politeknik Malaysia.

1. Pengenalan

Sistem Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) di Malaysia memainkan peranan penting dalam melahirkan tenaga kerja mahir yang akan menyokong kepada pembangunan sektor pembinaan dan infrastruktur negara. Politeknik Malaysia, sebagai salah satu institusi utama TVET, bertanggungjawab melahirkan graduan yang kompeten dalam pelbagai bidang kejuruteraan, termasuk kejuruteraan awam. Antara kursus teras dalam program pengajian kejuruteraan awam ialah Ukur Kejuruteraan (*Engineering Survey*), yang melengkapkan pelajar dengan pengetahuan asas dan kemahiran teknikal berkaitan pengukuran tanah, pemetaan, dan aplikasi teknologi ukur moden seperti *Total Station*, *Global Positioning System* (GPS), dan perisian *Building Information Modelling* (BIM).

Walau bagaimanapun, pengajaran dan pembelajaran (PdP) kejuruteraan di Politeknik Malaysia masih berdepan pelbagai cabaran. Antaranya ialah pendedahan kerja lapangan yang terhad akibat kekangan masa dan sumber, kekurangan peralatan ukur yang mencukupi dan terkini, serta jurang antara pengetahuan teori yang diajar di dalam kelas dengan keperluan praktikal industri sebenar. Cabaran ini turut disokong oleh dapatan hasil kajian lepas yang mendapati bahawa pelajar sering mengalami kesukaran dalam mengaplikasikan konsep teori ukur dalam situasi lapangan yang sebenar, sekali gus menjejaskan tahap kesediaan mereka untuk memasuki alam pekerjaan.

Sehubungan itu, kertas konsep ini bertujuan untuk mencadangkan satu kerangka konseptual bagi PdP ukur kejuruteraan di Politeknik Malaysia. Kerangka ini dibangunkan berdasarkan sorotan literatur berkaitan teori pembelajaran, amalan pedagogi TVET, serta cabaran semasa yang dihadapi oleh pensyarah dan pelajar dalam bidang kejuruteraan ukur.

Objektif utama penulisan ini adalah untuk mengenal pasti faktor-faktor utama yang mempengaruhi keberkesanan PdP ukur kejuruteraan, menerangkan kaedah penganalisisan literatur dan pembentukan kerangka secara sistematik, serta membentangkan kerangka konseptual yang menghubungkan input pengajaran, proses pengajaran dan pembelajaran, serta hasil pembelajaran pelajar.

2. Sorotan Literatur

2.1 Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) di Malaysia

TVET sangat penting untuk negara kerana ia membantu orang ramai mempelajari kemahiran dan bersedia untuk teknologi baharu yang dipanggil Revolusi Perindustrian Keempat (IR 4.0). Politeknik ialah institusi pengajian khas yang merupakan sebahagian daripada TVET; mengajar pelajar secara teori dan Kemahiran secara *hands-on*. Untuk disiplin ukur kejuruteraan, integrasi amali yang kukuh adalah kritikal kerana ketepatan data pengukuran memerlukan kefahaman konsep pengiraan serta kemahiran psikomotor semasa mengendalikan alatan di lapangan perlu selari.

2.2 Cabaran dalam Pengajaran dan Pembelajaran (PdP) Ukur Kejuruteraan

Kajian-kajian lepas secara konsisten mendapati bahawa pelbagai cabaran dari segi struktur dan pedagogi dalam bidang ukur kejuruteraan ini antaranya adalah:

(i) Kekangan dari segi sumber dan peralatan

Ketiadaan peralatan moden yang mencukupi seperti alat *Total Station* yang berkejituan tinggi dan alat *Terrestrial Laser Scanner* menuntut pelajar berkongsi peralatan tersebut dalam jumlah kumpulan pelajar yang ramai bagi satu-satu kumpulan amali, sekali gus mengurangkan masa latihan bagi setiap individu.

(ii) Kekangan dari segi tempoh masa di lapangan

Masa yang diperuntukkan untuk latihan amali di lapangan adalah terhad, menyebabkan proses simulasi projek ukur sebenar tidak dapat dijalankan secara komprehensif dan berkesan.

(iii) Jurang kompetensi digital pensyarah

Perkembangan teknologi dalam bidang geomatik ini juga memberi impak terhadap kompetensi tenaga pengajar. Pensyarah perlu meningkatkan kemahiran secara berterusan, terutamanya dalam mengaplikasikan perisian pemprosesan data dan pemodelan 3D.

Di sini dapat dinyatakan bahawa akan berlaku jurang perbezaan dari segi teknik dan aplikasi yang digunakan antara pelajar di institusi dan di alam pekerjaan, yang menyebabkan graduan kadangkala tidak dapat menguasai kemahiran praktikal yang mencukupi dan terkini apabila mereka mula bekerja.

2.3 Teori dan Model Pembelajaran yang Relevan

Dalam mengukuhkan struktur asas kerangka ini, tiga (3) teori utama digabungkan iaitu:

(i) *Teori Pembelajaran Pengalaman oleh Kolb* [1] menerangkan bagaimana pembelajaran berlaku melalui pengalaman: melakukan sesuatu, memikirkan apa yang telah dilakukan, memahami idea baharu, dan mencuba semula. Cara pembelajaran ini berjalan dengan baik melalui kerja lapangan. Teori ini menekankan kepada empat peringkat kitaran pembelajaran iaitu, pengalaman konkrit, pemerhatian reflektif, konseptualisasi abstrak dan eksperimentasi aktif. Dalam bidang ukur kejuruteraan ini, kerja amali lapangan membolehkan pelajar melalui empat kitaran ini dengan menukarkan data ukuran yang sebenar kepada pemahaman secara teori.

(ii) *Rangka kerja Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) oleh Mishra dan Koehler [2] pula membincangkan bagaimana tenaga pengajar boleh menggunakan teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) dan alatan digital untuk membantu pelajar belajar dengan lebih baik. Teori ini menjelaskan bahawa gabungan antara pengetahuan teknologi, pengetahuan pedagogi serta pengetahuan kandungan pembelajaran amat penting dalam membantu menguasai penggunaan peralatan ukur untuk menyampaikan konsep pembelajaran dalam bidang geomatik melalui penyampaian pedagogi amali yang berkesan.

(iii) *Teori Konstruktivisme Sosial yang diilhamkan oleh Vygotsky* [3] pula mengatakan bahawa pelajar belajar dengan baik apabila mereka bekerjasama dan mendapat bantuan daripada tenaga pengajar semasa aktiviti di lapangan. Teori ini menekankan peranan secara interaksi sosial antara pelajar dan tenaga pengajar perlu berjalan seiring untuk membolehkan penerokaan secara kolaboratif terhadap pengetahuan dan kemudahan yang disediakan sereta inisiatif tenaga pelajar dalam menyampaikan pengajaran.

2.4 Integrasi Teknologi dalam Pendidikan Ukur

Transisi atau perkembangan teknologi setiap hari dalam industri pembinaan ke arah digitalisasi memerlukan integrasi teknologi moden seperti *Building Information Modelling* (BIM), *Geographic Information System* (GIS), peralatan ukur digital, dan kemajuan dalam fotogrametri berasaskan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Penguasaan teknologi ini membolehkan pelajar memahami aliran kerja geospatial semasa, dari pengumpulan data asas hingga pemodelan digital. Integrasi ini bergantung pada sejauh mana kurikulum, pelajar dan tenaga pengajar bersedia mengadaptasinya untuk menjayakannya.

3. Metodologi Pembentukan Kerangka Konseptual

Dalam proses pembentukan kerangka yang kukuh dan sistematik, bahagian ini menerangkan tentang kaedah analisis literatur dan proses pembentukan kerangka konseptual yang digunakan.

3.1 Kaedah Analisis Tematik dan Sintesis Dokumentasi Literatur

Melalui pendekatan ini, kerangka konseptual ini dibentuk. Proses ini merangkumi empat fasa utama iaitu:

(i) *Kenal pasti Literatur yang Berfokus*: Meliputi carian dokumen dasar (seperti Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia), kurikulum ukur kejuruteraan TVET, serta jurnal

ilmiah (2015–2026) berkaitan pedagogi ukur kejuruteraan, integrasi teknologi (BIM/GIS/UAV), dan teori pembelajaran yang berkaitan

(ii) *Tapisan dan Penilaian Kualiti:* Literatur disaring dan dikelaskan mengikut kesesuaian dan relevan berdasarkan isu dan cabaran PdP ukur kejuruteraan di politeknik/institusi teknikal.

(iii) *Penentuan Kategori*: Pemboleh ubah utama diasingkan kepada pemboleh ubah tidak bersandar (Input), pemboleh ubah perantara (Proses), dan pemboleh ubah bersandar (Hasil/Output).

(iv) *Sintesis untuk Mengukuhkan Kerangka*: Hasil penemuan literatur dipetakan untuk membuktikan bagaimana elemen input bertindak secara sinergi dalam mempengaruhi proses dan seterusnya keberkesanan hasil pembelajaran.

3.2 Kaedah Pembentukan Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual ini dibentuk berdasarkan konsep Model Input-Proses-Output (IPO). Kerangka ini menstrukturkan fenomena PdP Ukur Kejuruteraan kepada tiga tahap saling berkait iaitu:

(i) Fasa Input: Mengenal pasti empat (4) elemen teras yang dikenal pasti melalui literatur sebagai penentu utama keberkesanan PdP.

(ii) Fasa Proses: Pelaksanaan PdP Ukur Kejuruteraan yang menggabungkan teori dan amali di bilik kuliah serta kerja di lapangan.

(iii) Fasa Output: Keberkesanan pembelajaran diukur melalui tiga domain utama (Penglibatan, Kemahiran, dan Kesediaan Industri).

4. Kerangka Konseptual

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, penulisan ini mengemukakan Kerangka Konseptual Pengajaran dan Pembelajaran (PdP) Ukur Kejuruteraan yang ditunjukkan dalam Rajah 1 di bawah.

INPUT		PROSES		OUTPUT
• Reka Bentuk Kurikulum • Kompetensi Pensyarah • Integrasi dalam Kerja Lapangan • Penggunaan Teknologi dalam Pembelajaran	➡	Pengajaran dan Pembelajaran Ukur Kejuruteraan (Integrasi Teori dan Amali)	➡	• Penglibatan Pelajar • Penguasaan Kemahiran Praktikal • Kesediaan Memasuki Industri

Rajah 1. Kerangka konseptual pengajaran dan pembelajaran Ukur Kejuruteraan di Politeknik Malaysia

4.1 Perincian dan Peranan Komponen Kerangka

(i) *Reka Bentuk Kurikulum (Input*): keselarasan silibus ukur kejuruteraan dengan standard keperluan industri pembinaan semasa serta penstrukturan kandungan teori dan amali secara seimbang. Analisis literatur menunjukkan bahawa kurikulum yang berorientasikan projek atau *project-based learning* dapat mengimbangi nisbah teori dan amali secara optimum.

(ii) *Kompetensi Pensyarah (Input):* tahap pengetahuan, kemahiran, dan pengalaman pensyarah dalam mengendalikan peralatan ukur serta menyampaikan pengajaran secara

berkesan. Berdasarkan Model TPACK menyatakan bahawa pensyarah bukan sahaja perlu menguasai ilmu ukur itu sendiri tetapi mesti berupaya dalam mengintegrasikan alatan ukur yamg moden dan kaedah pedagogi secara interaktif.

(iii) *Integrasi Kerja Lapangan (Input):* Berdasarkan Teori *Experiential Learning* Kolb dan Konstruktivisme Vygotsky, kerja lapangan ini menyatakan bahawa ia memberikan pengalaman yang konkrit dan mampu mengukuhkan pemahaman secara teori.

(iv) *Penggunaan Teknologi dalam Pembelajaran (Input*): penerapan dan penggunaan alat digital seperti BIM, GIS, UAV, *Total Station*, dan GPS dapat membiasakan pelajar dengan aliran proses kerja digital dalam industri pembinaan masa kini.

Keempat-empat komponen ini saling berkait dan mempengaruhi proses PdP secara keseluruhan, yang seterusnya membawa kepada tiga hasil utama, iaitu peningkatan penglibatan pelajar (*student engagement),* penguasaan kemahiran praktikal (*practical skill acquisition*), dan kesediaan pelajar untuk memasuki industri (*industry readiness*).

5. Perbincangan

Kerangka konseptual yang dicadangkan menunjukkan bahawa keberkesanan PdP ukur kejuruteraan tidak bergantung pada satu faktor tunggal, sebaliknya memerlukan interaksi harmonis antara kurikulum yang relevan, kompetensi tenaga pengajar, peluang kerja lapangan yang mencukupi, serta penggunaan teknologi yang sesuai. Sekiranya salah satu komponen ini lemah, ia berpotensi menjejaskan keseluruhan proses PdP dan seterusnya menyebabkan hasil pembelajaran pelajar tidak dicapai dengan berkesan.

Pengukuhan terancang ke atas keempat-empat komponen input tersebut menerusi penganalisisan literatur didapati memberi sumbangan langsung seperti berikut:

(i) Penglibatan Pelajar (*Student Engagement*): Penggunaan teknologi interaktif dan amali lapangan secara kolaboratif meningkatkan motivasi serta penglibatan aktif pelajar [3].
(ii) Penguasaan Kemahiran Praktikal (*Practical Skill Acquisition*): Latihan amali berulang berteraskan kitaran pembelajaran pengalaman Kolb [1] memastikan pelajar menguasai kemahiran psikomotor pengendalian alat ukur.
(iii) Kesediaan Memasuki Industri (*Industry Readiness*): Kurikulum yang dikemas kini selaras dengan piawaian industri dan pemodenan teknologi memastikan graduan mengurangkan jurang kebolehpasaran.

Implikasi kerangka ini kepada pihak pentadbir politeknik ialah keperluan untuk menyediakan latihan berterusan kepada pensyarah, terutamanya berkaitan teknologi ukur terkini seperti BIM dan peralatan digital. Selain itu, semakan kurikulum secara berkala perlu dilakukan bagi memastikan keselarasan dengan keperluan industri semasa. Peruntukan sumber yang mencukupi terutamanya bagi bajet penyelenggaraan dan pembelian alatan digital amatlah diperlukan. Ini penting dalam memastikan pelajar mendapat pendedahan praktikal yang mencukupi sebelum menamatkan pengajian.

Kerangka ini juga membuka ruang untuk kajian empirikal lanjutan, khususnya kajian kuantitatif atau kualitatif yang dapat mengesahkan hubungan antara komponen-komponen yang dicadangkan dengan hasil pembelajaran pelajar secara statistik atau melalui persepsi pensyarah dan pelajar politeknik di seluruh Malaysia.

6. Kesimpulan dan Cadangan

Kertas konsep ini telah mencadangkan dan memaparkan penambahbaikan kerangka konseptual bagi PdP ukur kejuruteraan di Politeknik Malaysia dengan menggabungkan empat faktor utama, iaitu reka bentuk kurikulum, kompetensi pensyarah, integrasi kerja lapangan, dan penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Diharapkan, kerangka yang disediakan melalui analisis literatur yang sistematik dapat menjadi panduan kepada pensyarah dan pembangun kurikulum dalam usaha menambah baik keberkesanan PdP serta merapatkan jurang antara teori dan amali dalam bidang ukur kejuruteraan.

Adalah dicadangkan untuk memasukkan pemboleh ubah tambahan ke dalam kerangka ini. Sebagai contoh, memasukkan faktor luaran seperti sokongan rakan industri (*industry linkage*), motivasi kendiri para pelajar, sokongan pengurusan tertinggi serta sokongan infrastruktur di dalam institusi itu sendiri bagi memperkukuhkan lagi kerangka yang dicadangkan.

Rujukan

[1] D. A. Kolb, *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall, 1984.

[2] P. Mishra and M. J. Koehler, Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, vol. 108, no. 6, pp. 1017-1054, 2006.

[3] L. S. Vygotsky, *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press, 1978.

[4] Kementerian Pendidikan Malaysia. *Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (Pendidikan Tinggi) 2015-2025*. Putrajaya: KPM, 2015.

[5] Jabatan Pendidikan Politeknik dan Kolej Komuniti (JPPKK). *Hala Tuju Pendidikan TVET di Malaysia*. Putrajaya: Kementerian Pendidikan Malaysia, 2020.

KERANGKA KONSEPTUAL GAMIFIKASI DALAM SESI TEORI SISTEM MAKLUMAT GEOGRAFI (GIS): KE ARAH PENINGKATAN PENGLIBATAN PELAJAR KURSUS GIS DI POLITEKNIK MALAYSIA

Norhayati binti Ahmad*

Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: norhayati_ahmad@ptsb.edu.my

Abstrak

Sistem Maklumat Geografi (GIS) merupakan kursus teras dalam kurikulum Geomatik di Politeknik Malaysia, namun sesi teorinya masih kurang interaktif dan penilaiannya bergantung pada kuiz serta ujian bertulis yang konvensional, sekali gus mencabar penglibatan dan motivasi pelajar terhadap konsep GIS yang bersifat abstrak. Kertas konseptual ini bertujuan membangunkan kerangka konseptual untuk menerangkan bagaimana elemen gamifikasi dapat diintegrasikan ke dalam sesi teori GIS bagi meningkatkan penglibatan pelajar dalam kursus GIS di politeknik. Menerusi sintesis literatur bersistem berpandukan prosedur Jabareen, kajian ini mengintegrasikan Teori Determinasi Kendiri, model penglibatan pelajar berbilang dimensi, serta elemen reka bentuk gamifikasi. Kerangka yang dicadangkan merangkumi empat komponen utama, iaitu elemen reka bentuk gamifikasi, *mediator* psikologi (autonomi, kompetensi, perkaitan sosial), dimensi penglibatan pelajar (tingkah laku, kognitif, emosi, agentik), serta impak pembelajaran dan kesediaan kerjaya, dengan faktor penyederhana seperti kompleksiti perisian GIS dan kesediaan digital pensyarah. Kajian ini menyumbang kerangka rujukan teoretis bagi penyelidikan empirikal akan datang serta panduan praktikal kepada pensyarah GIS dalam merancang pembelajaran teori yang lebih interaktif dan berpusatkan pelajar.
Kata Kunci: gamifikasi; kerangka konseptual; penglibatan pelajar.

1. Pengenalan

1.1 Latar Belakang dan Motivasi Kajian

Sistem Maklumat Geografi (GIS) merupakan salah satu kursus teras dalam bidang geomatik yang membekalkan pelajar dengan pengetahuan dan kemahiran untuk memperoleh, mengurus, menganalisis serta memvisualisasikan data geospatial bagi menyokong pelbagai aplikasi seperti perancangan bandar, pengurusan tanah, pemetaan infrastruktur dan bidang-bidang lain yang berkaitan.

Di Politeknik Malaysia, kursus GIS lazimnya dilaksanakan melalui dua komponen utama, iaitu sesi teori (kuliah) dan sesi amali (makmal). Komponen teori memberi fokus kepada pemahaman konsep asas dan prinsip operasi GIS, merangkumi aspek pengurusan data geospatial, pemodelan data spatial, analisis ruang serta peranan GIS dalam menyokong proses membuat keputusan berasaskan lokasi. Sementara itu, komponen amali memberi peluang kepada pelajar untuk mengaplikasikan konsep yang dipelajari melalui penggunaan perisian GIS seperti QGIS dan ArcGIS. Walaupun sesi amali secara semula jadinya lebih interaktif kerana melibatkan aktiviti hands-on, komponen teori GIS masih banyak bergantung kepada penerangan konsep oleh pensyarah. Walaupun elemen interaksi seperti sesi soal jawab dan pembentangan turut dilaksanakan, keperluan untuk pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan berpusatkan

pelajar masih wujud bagi meningkatkan pemahaman pelajar terhadap konsep GIS yang kompleks dan abstrak.

Cabaran dalam pembelajaran teori GIS menjadi lebih ketara kerana sifat kandungannya yang bersifat konseptual dan teknikal. Sesetengah konsep GIS memerlukan keupayaan pelajar untuk memahami hubungan antara persembahan data, lokasi dan ruang yang sukar dibayangkan sekiranya tidak disokong oleh elemen visual atau pengalaman praktikal yang bersesuaian. Selain itu, penilaian bagi komponen teori GIS masih banyak bergantung kepada kaedah konvensional seperti kuiz dan peperiksaan bertulis yang bersifat sumatif. Walaupun kaedah ini penting dalam mengukur tahap penguasaan pelajar, pendekatan tersebut mempunyai keterbatasan dari segi penyediaan maklum balas segera atau ganjaran kepada usaha pembelajaran, serta sokongan terhadap pembelajaran berterusan. Keadaan ini boleh menyebabkan pelajar lebih menumpukan kepada penguasaan fakta berbanding membina pemahaman konseptual yang lebih mendalam.

Sehubungan itu, kertas ini memfokuskan kepada pelajar yang mengikuti kursus GIS, dalam Program Diploma Geomatik di Politeknik Malaysia. Tumpuan kajian diberikan kepada komponen teori (kuliah) kerana komponen ini masih memperlihatkan cabaran dari segi penglibatan pelajar, keabstrakan kandungan, serta pendekatan penilaian yang belum sepenuhnya menyokong penguasaan konsep secara mendalam. Walaupun kajian terdahulu, seperti DeMers [1], telah membincangkan pelaksanaan gamifikasi struktural dalam komponen amali GIS di peringkat universiti, penerapan gamifikasi yang memfokuskan kepada komponen teori GIS masih kurang diberi perhatian dalam literatur, khususnya dalam konteks Politeknik Malaysia.

Fenomena penglibatan pelajar yang rendah bukanlah isu unik kepada GIS semata-mata, tetapi turut menjadi cabaran meluas dalam pendidikan Teknikal dan Vokasional (TVET) di peringkat global [2]. Sebagai respons, gamifikasi iaitu penerapan elemen reka bentuk permainan seperti mata, lencana, papan pendahulu, dan misi berperingkat ke dalam konteks bukan permainan [3] telah muncul sebagai satu pendekatan pedagogi yang semakin mendapat perhatian dalam pendidikan tinggi kerana potensinya meningkatkan motivasi intrinsik, penglibatan, dan pencapaian akademik pelajar [4], [5]. Elemen seperti kuiz bergamifikasi berpemarkahan segera, naratif senario dunia sebenar untuk menjelaskan konsep abstrak, serta lencana pencapaian penguasaan konsep berpotensi mengubah penyampaian teori GIS yang sehala kepada pengalaman pembelajaran yang lebih aktif dan bermakna kepada pelajar.

Walau bagaimanapun, kebanyakan bukti empirikal berkaitan gamifikasi dalam pendidikan GIS masih tertumpu kepada institusi pengajian tinggi di negara Barat dan peringkat universiti. Kajian yang memfokuskan kepada konteks Politeknik Malaysia masih terhad, sedangkan institusi ini mempunyai profil pelajar, struktur kurikulum dan matlamat pendidikan yang berbeza, khususnya yang berorientasikan pembangunan kemahiran vokasional. Oleh itu, sebelum sesuatu intervensi gamifikasi bagi pembelajaran teori GIS dilaksanakan dan diuji secara empirikal dalam konteks Politeknik Malaysia, adalah penting untuk membangunkan satu kerangka konseptual yang menghubungkan elemen reka bentuk gamifikasi, mekanisme psikologi yang mendasarinya serta dimensi penglibatan pelajar secara sistematik dan koheren.

1.2 Sorotan Literatur

1.2.1 Konsep dan Teori Gamifikasi

Gamifikasi ditakrifkan secara meluas sebagai penggunaan elemen reka bentuk permainan dalam konteks bukan permainan [3], berbeza daripada pembelajaran berasaskan permainan (game-based learning) yang menggunakan permainan lengkap sebagai medium pembelajaran.

Werbach dan Hunter [6] mengklasifikasikan elemen gamifikasi kepada tiga lapisan, iaitu dinamik (matlamat keseluruhan seperti naratif dan perkembangan), mekanik (proses seperti cabaran, peluang, dan maklum balas), dan komponen (elemen konkrit seperti mata, lencana, papan pendahulu, dan misi). Kapp [7] turut menekankan bahawa gamifikasi berkesan bukan sekadar menambah unsur permainan secara kosmetik, tetapi perlu direka bentuk berdasarkan prinsip pembelajaran dan motivasi yang mantap.

Asas teoretis yang paling kerap digunakan untuk menerangkan keberkesanan gamifikasi ialah Teori Determinasi Kendiri (*Self-Determination Theory*). Teori ini menjelaskan bahawa motivasi individu dipengaruhi oleh sokongan terhadap tiga keperluan psikologi asas, iaitu autonomi, kompetensi dan perkaitan sosial [8]. Autonomi merujuk kepada keupayaan individu untuk mempunyai kawalan terhadap pilihan dan tindakan sendiri, kompetensi berkaitan dengan kepercayaan terhadap kebolehan diri dalam menguasai sesuatu tugasan, manakala perkaitan sosial merujuk kepada keperluan untuk berasa terhubung dan berinteraksi dengan individu lain.

Dalam konteks gamifikasi, elemen reka bentuk permainan boleh menyokong pemenuhan keperluan psikologi tersebut. Sebagai contoh, penyediaan pilihan laluan pembelajaran dapat menyokong aspek autonomi, manakala maklum balas segera dan sistem lencana pencapaian dapat meningkatkan persepsi kompetensi pelajar. Selain itu, ciri kolaboratif dan kompetitif seperti papan pendahulu berpasukan berpotensi mengukuhkan aspek perkaitan sosial melalui interaksi dan penglibatan bersama.

Selaras dengan perspektif ini, kajian meta-analisis oleh Sailer dan Homner [5] menunjukkan bahawa gamifikasi berpotensi meningkatkan motivasi dan menyokong pengekalan pembelajaran jangka panjang apabila elemen gamifikasi direka bentuk berdasarkan prinsip psikologi yang bersesuaian. Dapatan tersebut turut disokong oleh kajian meta-analisis terkini, iaitu Li et al. [9] yang menganalisis 41 kajian melibatkan lebih 5,000 peserta dan melaporkan kesan positif gamifikasi terhadap hasil pembelajaran. Selain itu, Zeng et al. [10] turut mengesahkan bahawa gamifikasi memberikan kesan positif terhadap prestasi akademik pelajar merentasi pelbagai peringkat pendidikan dan disiplin berdasarkan analisis terhadap 22 kajian eksperimental yang diterbitkan antara tahun 2008 hingga 2023.

1.2.2 Penglibatan Pelajar: Model Berbilang Dimensi

Penglibatan pelajar dikonsepsualisasikan oleh Fredricks et al. [11] sebagai konstruk multidimensi yang merangkumi tiga aspek utama, iaitu tingkah laku, kognitif dan emosi. Penglibatan tingkah laku merujuk kepada penyertaan aktif pelajar dalam aktiviti pembelajaran, penglibatan kognitif melibatkan pelaburan mental serta penggunaan strategi pembelajaran yang mendalam, manakala penglibatan emosi berkaitan dengan perasaan minat, keseronokan dan rasa kepunyaan terhadap proses pembelajaran.

Kerangka konseptual ini kemudiannya diperluas oleh Kahu [12] melalui model bersepadu yang mengambil kira pengaruh konteks institusi dan faktor sosio-politik terhadap perkembangan penglibatan pelajar, di samping menghubungkannya dengan hasil pembelajaran seperti pencapaian akademik dan kesejahteraan pelajar. Selaras dengan perkembangan literatur kontemporari, dimensi agentik, iaitu sumbangan proaktif pelajar dalam membentuk dan membina pengalaman pembelajaran mereka sendiri, turut dicadangkan sebagai dimensi keempat dalam memahami penglibatan pelajar [13], [14].

Dalam konteks kertas konseptual ini, keempat-empat dimensi tersebut digunakan sebagai asas teoretikal untuk memahami secara holistik bagaimana penerapan gamifikasi berpotensi mempengaruhi penglibatan pelajar dalam pembelajaran Sistem Maklumat Geografi (GIS).

1.2.3 Gamifikasi dalam Pendidikan GIS dan TVET

Dalam konteks pendidikan GIS, DeMers [1] menghuraikan perubahan reka bentuk kursus makmal GIS peringkat universiti daripada pendekatan pembelajaran konvensional yang berstruktur secara linear kepada persekitaran pembelajaran berasaskan misi (*quest-based learning*). Pendekatan ini menghubungkan ganjaran lencana secara jelas dengan model kompetensi industri geospatial, sekali gus memberikan pelajar pilihan laluan pembelajaran serta peluang untuk belajar melalui proses percubaan dan kesilapan tanpa dikenakan hukuman berat. Walau bagaimanapun, kajian tersebut lebih memfokuskan kepada komponen amali (makmal) kursus GIS, manakala penerapan gamifikasi dalam komponen teori atau kuliah GIS, khususnya untuk menyokong penyampaian konsep abstrak dan pelaksanaan penilaian formatif, masih kurang mendapat perhatian dalam literatur sedia ada. Pendekatan reka bentuk gamifikasi yang berstruktur ini turut selari dengan dapatan literatur gamifikasi dalam pendidikan tinggi secara umum, di mana Hanus dan Fox [4] mendapati bahawa elemen kompetitif seperti papan pendahulu (*leaderboard*) perlu dilaksanakan secara berhati-hati kerana berpotensi menjejaskan motivasi sesetengah pelajar sekiranya tidak diseimbangkan dengan elemen kerjasama dan pengiktirafan terhadap usaha individu. Bagi komponen teori khususnya, penggunaan kuiz bergamifikasi dengan maklum balas segera serta naratif berasaskan senario turut didapati berkesan dalam membantu menjelaskan konsep abstrak dan meningkatkan pengekalan pembelajaran dalam kajian berkaitan gamifikasi dalam pendidikan tinggi [15].

Dalam konteks Malaysia, Ong et al. [16] mendapati bahawa penerapan gamifikasi dalam sistem pendidikan tertiar tempatan mempunyai potensi yang signifikan untuk meningkatkan motivasi pembelajaran pelajar. Selain itu, agenda pendigitalan TVET turut menekankan kepentingan pelaksanaan pedagogi interaktif berasaskan teknologi bagi memastikan kualiti latihan kemahiran kekal selaras dengan keperluan industri [2]. Kajian empirikal terkini oleh Hmoud et al. [17] yang dijalankan di universiti di Jordan dan Palestin turut mendapati bahawa faktor seperti infrastruktur ICT, sokongan pihak pengurusan, dan ketersediaan sumber kewangan merupakan antara penentu utama kejayaan pelaksanaan gamifikasi dalam pendidikan tinggi di negara membangun. Dapatan ini turut relevan dalam konteks politeknik Malaysia yang berhadapan dengan kepelbagaian tahap kesiapsiagaan infrastruktur digital antara institusi.

1.2.4 Jurang Kajian Khusus dalam Persekitaran Pembelajaran Spatial

Sorotan literatur bersistem oleh Das et al. [18] menunjukkan bahawa penerapan gamifikasi dalam persekitaran pembelajaran digital berciri spatial (*spatial digital learning environments*) masih terhad. Daripada 849 artikel yang disaring, hanya 11 kajian dikenal pasti mengaplikasikan gamifikasi dalam konteks pembelajaran spatial, manakala daripada 49 mekanisme gamifikasi yang dianalisis, hanya dua yang memanfaatkan dimensi keruangan (*spatiality*) secara khusus. Dapatan ini menunjukkan bahawa penerapan gamifikasi yang mengambil kira ciri-ciri spatial, termasuk dalam domain GIS, masih kurang diterokai dalam kajian-kajian terdahulu di peringkat antarabangsa. Keadaan ini menjadi lebih ketara dalam konteks pendidikan TVET di Malaysia yang masih kekurangan kajian yang mengintegrasikan elemen gamifikasi, pembelajaran GIS dan penglibatan pelajar dalam satu kerangka konseptual yang menyeluruh. Sehubungan itu, terdapat keperluan untuk membangunkan sebuah kerangka konseptual yang berasaskan teori bagi menjelaskan hubungan antara elemen gamifikasi dengan penglibatan pelajar dalam pembelajaran GIS, sekali gus menjadi asas kepada penyelidikan empirikal pada masa hadapan.

1.2.5 Jurang Kajian Keseluruhan

Berdasarkan sorotan literatur, tiga jurang utama dapat dikenal pasti. Pertama, jurang kontekstual, iaitu kebanyakan kajian berkaitan gamifikasi dalam pendidikan GIS tertumpu kepada institusi pendidikan tinggi bukan TVET di negara maju, manakala konteks politeknik Malaysia yang mempunyai ciri pelajar, kurikulum dan persekitaran pembelajaran vokasional yang tersendiri masih kurang diterokai. Kedua, jurang teoretis, di mana kebanyakan kajian gamifikasi dalam pendidikan lebih memfokuskan kepada kesan langsung terhadap motivasi atau prestasi pembelajaran tanpa menghuraikan dengan jelas mekanisme psikologi yang menghubungkan elemen gamifikasi dengan dimensi penglibatan pelajar, termasuk aspek autonomi, kompetensi dan perkaitan sosial. Ketiga, jurang metodologi, iaitu ketiadaan kerangka konseptual yang bersepadu menyukarkan pembangunan instrumen penyelidikan empirikal yang mempunyai kesahan dan kebolehpercayaan yang baik bagi konteks pembelajaran GIS di politeknik.

Sehubungan itu, kertas konseptual ini bertujuan menangani ketiga-tiga jurang tersebut melalui pembangunan kerangka konseptual yang bersepadu dan berasaskan teori. Kerangka ini diharapkan dapat menjadi asas kepada penyelidikan empirikal pada masa hadapan serta menyumbang kepada pemahaman yang lebih komprehensif tentang hubungan antara elemen gamifikasi dan penglibatan pelajar dalam pembelajaran GIS di politeknik Malaysia.

1.3 Permasalahan Kajian

Berdasarkan sorotan literatur dan keperluan konteks pendidikan GIS di politeknik, tiga permasalahan utama dikenal pasti sebagai asas kajian ini. Pertama, sesi teori atau kuliah GIS di politeknik masih banyak bergantung pada pendekatan penyampaian kandungan secara berstruktur, di mana aktiviti interaktif seperti sesi soal jawab dan pembentangan pelajar dilaksanakan sebagai sebahagian daripada proses pembelajaran, namun belum sepenuhnya menyokong pembelajaran aktif yang berterusan. Keadaan ini menjadi lebih mencabar kerana kandungan teori GIS merangkumi pelbagai konsep asas dan prinsip operasi GIS yang melibatkan pengurusan data, pemodelan spatial, analisis ruang serta aplikasi GIS dalam menyokong proses membuat keputusan berasaskan lokasi. Konsep-konsep tersebut melibatkan pemahaman abstrak dan penaakulan spatial yang kompleks, yang memerlukan sokongan visual, simulasi atau aplikasi praktikal untuk membantu pelajar membina pemahaman yang lebih mendalam. Kekangan dalam penyampaian konsep teori yang kompleks ini berpotensi mempengaruhi tahap penglibatan pelajar dari segi tingkah laku, kognitif dan emosi.

Kedua, kaedah penilaian bagi pembelajaran teori GIS yang lazimnya bergantung kepada kuiz dan peperiksaan bertulis masih kurang menyediakan maklum balas segera serta pengiktirafan terhadap usaha pembelajaran secara berterusan. Keadaan ini berpotensi mengehadkan motivasi pelajar untuk meneroka dan menguasai konsep GIS dengan lebih mendalam. Walaupun gamifikasi telah dilaporkan berkesan dalam meningkatkan penglibatan pelajar dalam pelbagai bidang STEM dan persekitaran pembelajaran digital [5], [10], kajian yang mengintegrasikan elemen gamifikasi secara khusus dalam penyampaian dan penilaian teori GIS bagi pelajar di institusi TVET Malaysia masih terhad. Kekurangan kajian dalam konteks ini menyebabkan keperluan untuk rujukan teoretis dan kerangka panduan yang sesuai bagi membantu pensyarah GIS mereka bentuk intervensi gamifikasi yang selari dengan ciri-ciri pembelajaran GIS.

Ketiga, ketiadaan kerangka konseptual yang bersepadu untuk menjelaskan hubungan antara elemen reka bentuk gamifikasi, mekanisme psikologi, dan dimensi penglibatan pelajar menyebabkan pembangunan pendekatan gamifikasi dalam pembelajaran GIS berpotensi dilaksanakan secara tidak sistematik. Tanpa asas teori yang kukuh, pelaksanaan gamifikasi

berisiko tertumpu kepada penggunaan elemen permukaan seperti mata, lencana dan papan pendahulu semata-mata, tanpa mengambil kira faktor yang menyokong penglibatan pelajar secara bermakna. Oleh itu, terdapat keperluan untuk membangunkan kerangka konseptual berasaskan teori bagi menjelaskan bagaimana elemen gamifikasi dapat menyokong penglibatan pelajar dalam pembelajaran GIS secara menyeluruh, khususnya dalam konteks pendidikan politeknik di Malaysia.

1.4 Objektif Kajian

Kajian ini bertujuan untuk:

(i) Mengenal pasti elemen gamifikasi yang sesuai dalam pembelajaran GIS di politeknik Malaysia.
(ii) Mengenal pasti mekanisme psikologi dan penglibatan pelajar dalam pembelajaran GIS berasaskan gamifikasi.
(iii) Membangun kerangka konseptual gamifikasi untuk pembelajaran GIS.

1.5 Persoalan Kajian

(i) Apakah elemen gamifikasi yang sesuai untuk pembelajaran GIS di politeknik Malaysia?
(ii) Bagaimanakah gamifikasi mempengaruhi mekanisme psikologi dan penglibatan pelajar dalam pembelajaran GIS?
(iii) Bagaimana kerangka konseptual gamifikasi dapat menjelaskan hubungan antara elemen gamifikasi, mekanisme psikologis, dan keterlibatan pelajar?

1.6 Skop Kajian

Kajian ini memfokuskan pada pembangunan kerangka konseptual, bukan pada pengujian empirikal, dalam konteks pembelajaran GIS di politeknik Malaysia. Skop kajian melibatkan pelajar yang mengikuti kursus GIS merentasi pelbagai program berkaitan yang menawarkan GIS sebagai kursus teras atau elektif. Unit analisis kajian adalah pengalaman pembelajaran pelajar dalam kursus GIS secara khusus, bukan pengalaman pembelajaran pelajar politeknik secara umum.

Perbincangan kajian tertumpu kepada komponen teori atau kuliah GIS, meliputi penyampaian konsep, kandungan pembelajaran dan penilaian formatif, manakala komponen amali atau makmal tidak menjadi fokus utama kerana lazimnya telah melibatkan aktiviti pembelajaran yang lebih interaktif. Kajian ini turut merangkumi elemen gamifikasi yang berkaitan dengan pembelajaran teori GIS, aspek motivasi dan penglibatan pelajar dalam pendidikan tinggi/TVET, serta hubungannya dengan konteks pendidikan teknikal dan vokasional di Malaysia. Pengujian empirikal terhadap kerangka konseptual yang dicadangkan sebagai kajian lanjutan pada masa hadapan.

2. Metodologi

2.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini ialah kertas konseptual (*conceptual paper*) yang menggunakan pendekatan sintesis dan analisis literatur bersistem, bukan reka bentuk kuantitatif, kualitatif, atau kaedah campuran yang melibatkan pengumpulan data primer daripada responden. Pendekatan ini dipilih kerana matlamat kajian adalah untuk membina hujah teoretis yang koheren dan kerangka rujukan

baharu, selaras dengan hasrat objektif kajian yang menumpukan pembangunan model konseptual berbanding pengujian hipotesis secara empirikal.

2.2 Prosedur Pembinaan Kerangka Konseptual

Kajian ini mengguna pakai prosedur pembinaan kerangka konseptual yang dicadangkan oleh Jabareen [19], yang merangkumi lapan langkah, iaitu: (i) pemetaan pelbagai sumber data yang terdiri daripada kajian teori dan empirikal berkaitan gamifikasi, penglibatan pelajar serta pendidikan GIS dan TVET; (ii) bacaan dan pengkategorian sumber literatur yang dipilih; (iii) pengenalpastian dan penamaan konsep-konsep utama; (iv) penemuan hubungan antara konsep-konsep yang dikenal pasti; (v) pengesahan awal kesesuaian konsep berdasarkan bukti daripada literatur; (vi) penyepaduan konsep-konsep tersebut ke dalam sebuah kerangka konseptual yang bersepadu; (vii) semakan semula kerangka konseptual; dan (viii) penambahbaikan kerangka secara berterusan.

Sumber literatur diperoleh melalui carian sistematik dalam pangkalan data akademik seperti Scopus, Web of Science, Google Scholar, dan repositori jurnal TVET tempatan, menggunakan gabungan kata kunci seperti *gamification*, *GIS education*, *student engagement*, TVET, *polytechnic*, dan *self-determination theory*. Pemilihan literatur memberi keutamaan kepada sumber primer dan artikel berwasit yang membincangkan teori gamifikasi, teori motivasi, model penglibatan pelajar serta pelaksanaan gamifikasi dalam pendidikan GIS dan TVET. Bagi karya teori asas, tiada had tahun penerbitan ditetapkan, manakala bagi kajian empirikal, keutamaan diberikan kepada penerbitan terkini bagi memastikan kerangka konseptual yang dibangunkan mencerminkan perkembangan penyelidikan semasa.

2.3 Konteks dan Populasi Sasaran Kajian

Walaupun kajian ini berbentuk konseptual, kerangka yang dibangunkan dirangka untuk konteks pelajar yang mengikuti kursus atau modul GIS di politeknik di Malaysia. Bagi tujuan pengesahan empirikal pada masa hadapan, populasi sasaran dicadangkan terdiri daripada pelajar yang sedang mengikuti kursus GIS di politeknik terpilih, dengan rangka persampelan merujuk kepada senarai pelajar aktif yang berdaftar pada semester semasa. Pendekatan ini bertujuan memastikan responden mempunyai pengalaman pembelajaran yang relevan dengan konteks kajian serta mengurangkan risiko pemilihan responden yang tidak memenuhi skop kajian. Pengesahan empirikal terhadap kerangka konseptual ini dicadangkan sebagai agenda penyelidikan pada masa hadapan.

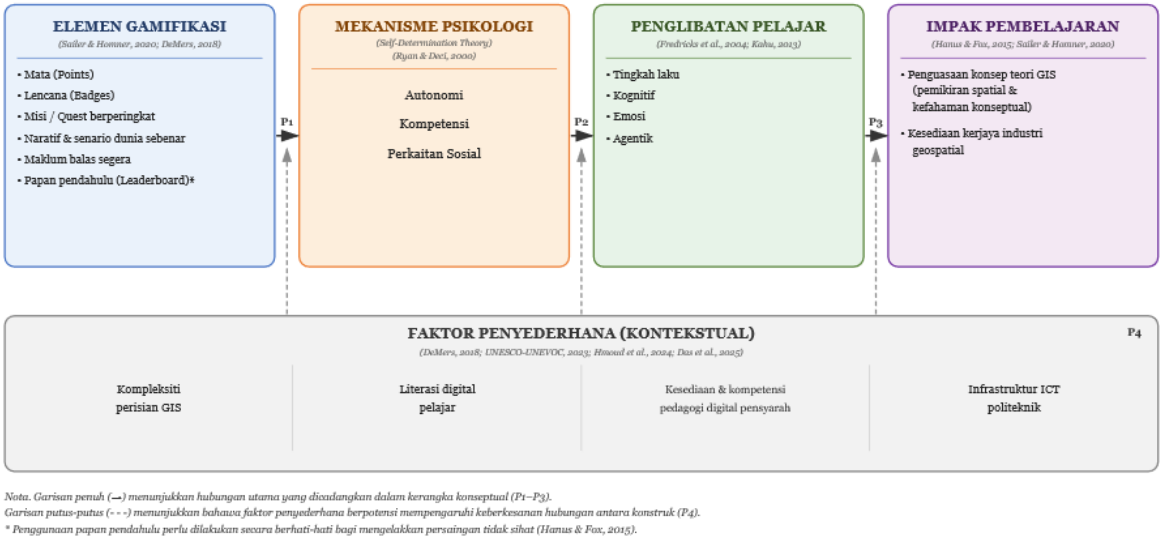
2.4 Kaedah Analisis Konseptual

Analisis dijalankan menggunakan pendekatan kualitatif-interpretatif melalui teknik analisis tematik terhadap literatur terpilih untuk mengenal pasti konsep, hubungan, dan pola yang konsisten antara elemen gamifikasi, mekanisme psikologi, dan dimensi penglibatan pelajar. Dapatan analisis kemudiannya disintesis dan dipersembahkan dalam bentuk kerangka konseptual (Rajah 1) serta jadual proposisi kajian (Jadual 1) bagi menyediakan asas kepada pembentukan hipotesis yang boleh diuji secara empirikal dalam penyelidikan akan datang.

3. Dapatan dan Perbincangan

Berdasarkan sintesis literatur dalam Bahagian 1.2, satu kerangka konseptual bersepadu dibangunkan bagi menggambarkan hubungan antara elemen reka bentuk gamifikasi, *mediator* psikologi, dimensi penglibatan pelajar, impak pembelajaran, dan faktor penyederhana dalam

konteks sesi teori/kuliah GIS bagi pelajar kursus GIS di Politeknik Malaysia, seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.



Nota. Garisan penuh (—) menunjukkan hubungan utama yang dicadangkan dalam kerangka konseptual (P1–P3).
Garisan putus-putus (- - -) menunjukkan bahawa faktor penyederhana berpotensi mempengaruhi keberkesanan hubungan antara konstruk (P4).
** Penggunaan papan pendahulu perlu dilakukan secara berhati-hati bagi mengelakkan persaingan tidak sihat (Hanus & Fox, 2015).*

Rajah 1. Kerangka konseptual gamifikasi dalam sesi teori/kuliah GIS di Politeknik Malaysia

3.1 Huraian Komponen Kerangka

Komponen pertama, elemen reka bentuk gamifikasi, merangkumi mata dan lencana berasaskan penguasaan konsep teori GIS, papan pendahulu bagi kuiz teori berkumpulan, misi/quest berperingkat yang menggantikan susunan bab kuliah yang linear dan sehala, naratif dan senario dunia sebenar untuk menjelaskan konsep abstrak, serta maklum balas segera melalui kuiz digital interaktif semasa atau selepas kuliah.

Komponen kedua, *mediator* psikologi, berperanan menghubungkan elemen gamifikasi dengan hasil penglibatan melalui pemenuhan keperluan autonomi, kompetensi, dan perkaitan sosial, selaras dengan Teori Determinasi Kendiri [8].

Komponen ketiga, dimensi penglibatan pelajar, mengaplikasikan model berbilang dimensi Fredricks et al. [11] dan Kahu [12] yang merangkumi penglibatan tingkah laku (kekerapan penyertaan aktif dalam sesi kuliah dan kuiz teori GIS), kognitif (usaha memahami dan menguasai konsep spatial yang abstrak seperti sistem koordinat dan model data), emosi (minat dan keseronokan terhadap pembelajaran teori GIS berbanding rasa bosan terhadap kuliah sehala), serta agentik (inisiatif pelajar mencadangkan atau meneroka penjelasan konsep GIS mengikut cara mereka sendiri). Komponen keempat, impak, menjangkakan kesan langsung terhadap penguasaan konsep teori GIS (pemikiran spatial dan kefahaman konseptual) serta kesediaan kerjaya dalam industri geospatial. Akhir sekali, kerangka ini turut mengambil kira faktor penyederhana yang berpotensi mengukuhkan atau melemahkan hubungan tersebut, iaitu kompleksiti perisian GIS yang digunakan, tahap literasi digital pelajar, kesediaan dan kompetensi pedagogi digital pensyarah, serta infrastruktur ICT di politeknik.

3.2 Proposisi Kajian

Berdasarkan kerangka konseptual di atas, beberapa proposisi kajian dicadangkan untuk memandu pengesahan empirikal pada masa akan datang, seperti yang dirumuskan dalam Jadual 1.

Jadual 1. Proposisi kajian berdasarkan kerangka konseptual

Proposisi	Pernyataan Proposisi	Asas Teori/Literatur
P1	Elemen reka bentuk gamifikasi (mata, lencana, misi, naratif) yang diterapkan dalam sesi teori/kuliah GIS berhubung secara positif dengan pemenuhan keperluan autonomi, kompetensi, dan perkaitan sosial dalam kalangan pelajar kursus GIS.	Deterding et al. [3]; Ryan dan Deci [8]; Werbach dan Hunter [6]
P2	Pemenuhan keperluan psikologi asas (autonomi, kompetensi, perkaitan sosial) berkait secara positif dengan dimensi penglibatan tingkah laku, kognitif, emosi dan agentik pelajar semasa sesi teori GIS.	Ryan dan Deci [8]; Fredricks et al. [11]; Kahu [12]
P3	Penglibatan pelajar yang lebih tinggi menerusi gamifikasi sesi teori berkait secara positif dengan penguasaan konsep teori GIS dan kesediaan kerjaya dalam bidang geospatial.	Fredricks et al. [11]; Hanus dan Fox [4]; Sailer dan Homner [5]; Li et al. [9]; Zeng et al. [10]
P4	Hubungan antara gamifikasi sesi teori dan penglibatan pelajar disederhanakan oleh kompleksiti perisian GIS, literasi digital pelajar, dan kesediaan pedagogi digital pensyarah.	DeMers [1]; UNESCO-UNEVOC [2]; Hmoud et al. [17]; Das et al. [18]

3.3 Sumbangan Teori

Kerangka konseptual yang dibangunkan menyumbang kepada pengembangan literatur sedia ada dengan mengintegrasikan secara sistematik tiga aliran teori yang lazimnya dibincangkan secara berasingan, iaitu teori reka bentuk gamifikasi [3], [6], Teori Determinasi Kendiri [8], dan model penglibatan pelajar berbilang dimensi [11], [12], ke dalam sebuah model bersepadu yang khusus untuk konteks pendidikan GIS di institusi TVET. Kerangka ini menyediakan asas teoretis yang lebih kukuh untuk menjelaskan hubungan antara elemen gamifikasi, mekanisme psikologi, dan penglibatan pelajar, berbanding pendekatan gamifikasi yang hanya menumpukan pada elemen permukaan, seperti mata dan lencana, tanpa mengambil kira mekanisme psikologi yang mendasari.

3.4 Sumbangan Praktikal

Kerangka konseptual yang dicadangkan menyediakan panduan kepada pensyarah dalam mereka bentuk dan melaksanakan strategi gamifikasi untuk pembelajaran teori GIS di politeknik. Kerangka ini turut menyokong amalan pedagogi yang lebih interaktif dan menjadi rujukan untuk pelaksanaan gamifikasi dalam konteks pendidikan TVET.

3.5 Limitasi Kajian

Sebagai kertas konseptual, kajian ini mempunyai beberapa limitasi. Pertama, kerangka yang dicadangkan belum disahkan secara empirikal menerusi data lapangan sebenar, sekali gus hubungan yang digambarkan bersifat hipotesis berasaskan sorotan literatur dan belum tentu mencerminkan realiti sepenuhnya di semua politeknik Malaysia yang mempunyai kepelbagaian konteks infrastruktur dan demografi pelajar. Kedua, sorotan literatur yang digunakan turut bergantung kepada kajian gamifikasi pendidikan tinggi dan TVET dari konteks antarabangsa

memandangkan kajian khusus gamifikasi GIS di politeknik Malaysia masih sangat terhad, yang mungkin membataskan kesesuaian budaya sepenuhnya

3.6 Cadangan Kajian Akan Datang

(i) Menguji kerangka konseptual yang dicadangkan secara empirikal dalam kalangan pelajar kursus GIS di politeknik terpilih bagi mengesahkan proposisi yang dikemukakan.
(ii) Menilai keberkesanan intervensi gamifikasi dalam pembelajaran teori GIS terhadap penguasaan konsep dan penglibatan pelajar melalui kajian eksperimen atau kuasi-eksperimen.
(iii) Meneroka pengalaman pelajar dan pensyarah dalam pelaksanaan gamifikasi dalam pembelajaran teori GIS menggunakan pendekatan kaedah campuran.

4. Kesimpulan

Kertas konseptual ini membangunkan sebuah kerangka konseptual bersepadu yang menghubungkan elemen reka bentuk gamifikasi, *mediator* psikologi berasaskan Teori Determinasi Kendiri, dimensi penglibatan pelajar yang pelbagai, serta impaknya terhadap penguasaan konsep dan kesediaan kerjaya dalam konteks sesi teori/kuliah GIS bagi pelajar yang mengambil kursus GIS di politeknik Malaysia. Kerangka ini menawarkan asas teoretis yang koheren untuk mengatasi jurang dalam kajian sedia ada serta menyediakan garis panduan praktikal kepada pensyarah GIS di politeknik dalam merancang penyampaian teori GIS yang lebih interaktif dan berpusatkan pelajar. Pengesahan empirikal kerangka ini melalui kajian lapangan yang akan datang dijangka dapat memperkukuh sumbangan kajian ini kepada bidang pendidikan geomatik dan GIS di politeknik Malaysia.

Rujukan

[1] M. N. DeMers, *Structural gamification of a university GIS course*. In O. Ahlqvist and C. Schlieder (Eds.), *Geogames and geoplay: Game-based approaches to the analysis of geo-information*, pp. 195–208, Springer, 2018 (DOI: 10.1007/978-3-319-22774-0_10).

[2] UNESCO-UNEVOC. *Digital transformation in TVET: Supporting TVET providers for a digital world*. UNESCO-UNEVOC International Centre for Technical and Vocational Education and Training, 2023.

[3] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke, “From game design elements to gamefulness: Defining ‘gamification’,” in Proceedings *of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments,* pp. 9–15, Association for Computing Machinery, 2011 (DOI: 10.1145/2181037.2181040).

[4] M. D. Hanus and J. Fox, “Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance,” *Computers and Education*, vol. 80, pp.152–161, 2015 (DOI: 10.1016/j.compedu.2014.08.019).

[5] M. Sailer and L. Homner, “The gamification of learning: A meta-analysis,” *Educational Psychology Review*, vol. 32, no.1, pp. 77–112, 2020 (DOI: 10.1007/s10648-019-09498-w).

[6] K. Werbach and D. Hunter, *For the win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press, 2012.

[7] K. M. Kapp, *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. Pfeiffer, 2012

[8] R. M. Ryan and E. L. Deci, “Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being,” *American Psychologist*, vol. 55, no. 1, pp. 68–78, 2000 (DOI: 10.1037/0003-066X.55.1.68).

[9] M. Li, S. Ma, and Y. Shi, “Examining the effectiveness of gamification as a tool promoting teaching and learning in educational settings: A meta-analysis,” *Frontiers in Psychology*, 14, Article 1253549, 2023 (DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1253549).

[10] J. Zeng, D. Sun, C.-K. Looi, and A. C. W. Fan, “Exploring the impact of gamification on students' academic performance: A comprehensive meta-analysis of studies from the year 2008 to 2023” *British Journal of Educational Technology*, vol. 55, no.6, pp. 2478–2502, 2024 (DOI: 10.1111/bjet.13471).

[11] J. A. Fredricks, P. C. Blumenfeld, and A. H. Paris, “School engagement: Potential of the concept, state of the evidence,” *Review of Educational Research*, vol. 74, no. 1, pp. 59–109, 2004 (DOI: 10.3102/00346543074001059).

[12] E. R. Kahu, “Framing student engagement in higher education,” *Studies in Higher Education*, vol. 38, no.5, pp. 758–773, 2013 (DOI: 10.1080/03075079.2011.598505).

[13] J. Reeve and C.-M. Tseng, “Agency as a fourth aspect of students' engagement during learning activities,” *Contemporary Educational Psychology*, vol. 36, no.4, pp. 257–267, 2011 (DOI: 10.1016/j.cedpsych.2011.05.002).

[14] G. M. Sinatra, B. C. Heddy, and D. Lombardi, “The challenges of defining and measuring student engagement in science,” Educational Psychologist, vol. 50, no. 1, pp. 1–13, 2015 (DOI: 10.1080/00461520.2014.1002924).

[15] D. Paľová and M. Vejačka, “Implementation of gamification principles into higher education,” *European Journal of Educational Research*, vol. 11, no. 2, pp.763–779, 2022 (DOI: 10.12973/eu-jer.11.2.763).

[16] D. Ong, Y. Y. Chan, W. H. Cho, and T. Y. Koh, “Motivation of learning: An assessment of the practicality and effectiveness of gamification within a tertiary education system in Malaysia,” *World Academy of Researchers, Educators, and Scholars in Business, Social Sciences, Humanities and Education Conference Proceedings*, vol. 1, no.1, pp. 131–146, 2013.

[17] A. Y. R. Hmoud, O. H. Salah, and R. A. H. Altalib, “The adoption of gamification in higher education and its impact on academic performance: Empirical evidence from Jordan and Palestine,” *Cogent Education*, vol. 11, no. 1, Article 2428907, 2024 (DOI: 10.1080/2331186X.2024.2428907).

[18] S. Das, S. V. Nakshatram, H. Söbke, J. Baalsrud Hauge, and C. Springer, “Towards gamification for spatial digital learning environments,” *Entertainment Computing*, vol. 52, Article 100893, 2025 (DOI: 10.1016/j.entcom.2024.100893).

[19] Y. Jabareen, “Building a conceptual framework: Philosophy, definitions, and procedure,” *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 8, no. 4, pp. 49–62, 2009 (DOI: 10.1177/160940690900800406).

KONSEP BATAS SENTUHAN DALAM KELUARGA MUSLIM: KE ARAH PEMBINAAN KERANGKA PENDIDIKAN SENTUHAN SELAMAT BERASASKAN MAQASID SYARIAH

Mazlina binti Omar*, Nurul Asma binti Effendi, Wan Nor Hasnah binti Wan Yunus

Jabatan Pengajian Am, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: lina@ptsb.edu.my

Abstrak

Sentuhan fizikal dalam institusi keluarga merupakan medium penting bagi pembentukan kasih sayang dan keselamatan emosi kanak-kanak, namun ia turut membawa risiko penyalahgunaan sekiranya batasnya tidak difahami dengan tepat. Islam melalui konsep mahram dan bukan mahram telah menggariskan batas sentuhan yang halal dan haram, namun kefahaman masyarakat mengenainya sering kali bersifat terpisah-pisah dan tidak disusun dalam satu kerangka pendidikan yang sistematik. Kertas konsep ini bertujuan untuk menganalisis konsep batas sentuhan dalam keluarga Muslim serta membina kerangka pendidikan sentuhan selamat (*safe touch education*) yang berteraskan Maqasid Syariah. Kajian ini menggunakan pendekatan kualitatif berbentuk kajian naratif (*narrative review*) terhadap nas-nas syarak, pandangan fuqaha dan literatur akademik berkaitan keluarga Islam dan perlindungan kanak-kanak. Dapatan kajian naratif mengenal pasti lima tema utama yang membentuk asas batas sentuhan, iaitu konsep mahram dan bukan mahram, sentuhan sebagai fitrah kasih sayang, sentuhan sebagai risiko penderaan, kepelbagaian pandangan mazhab, serta jurang dalam pendidikan sentuhan selamat yang sedia ada. Berdasarkan tema tersebut, kertas ini membangunkan satu kerangka konseptual yang memetakan lima objektif utama Maqasid Syariah iaitu hifz al-din, hifz al-nafs, hifz al-nasl wa al-'ird, dan hifz al-'aql, serta prinsip sadd al-dhara'i', kepada komponen-komponen praktikal pendidikan sentuhan selamat untuk kanak-kanak Muslim mengikut peringkat umur. Kerangka yang dibina ini diharapkan dapat menjadi rujukan asas kepada ibu bapa, pendidik dan pembuat dasar dalam membangunkan modul pendidikan sentuhan selamat yang selaras dengan syariah, sekali gus menyumbang kepada usaha pencegahan penderaan seksual kanak-kanak dalam institusi keluarga Islam.

Kata Kunci: batas sentuhan; keluarga Muslim; maqasid syariah; pendidikan sentuhan selamat; perlindungan kanak-kanak.

1. Pengenalan

Sentuhan fizikal merupakan salah satu keperluan fitrah manusia yang penting dalam membentuk ikatan kasih sayang, keselamatan emosi dan kesejahteraan psikologi, khususnya dalam kalangan kanak-kanak. Dalam institusi keluarga, sentuhan seperti pelukan, dukungan dan belaian kasih sayang ibu bapa terhadap anak merupakan sebahagian daripada tarbiah yang dianjurkan dalam Islam. Namun begitu, sentuhan turut merupakan salah satu medium utama yang disalahgunakan dalam kes-kes penderaan seksual kanak-kanak, termasuk sumbang mahram yang berlaku dalam kalangan ahli keluarga sendiri.

Islam sebagai agama yang syumul telah menggariskan batas sentuhan yang jelas melalui konsep mahram dan bukan mahram, yang disokong oleh dalil-dalil al-Quran dan hadis yang mengatur pergaulan antara lelaki dan perempuan. Walau bagaimanapun, kefahaman masyarakat mengenai batas sentuhan ini sering bersifat umum dan tidak disusun dalam bentuk kerangka

pendidikan yang sistematik untuk diajarkan kepada kanak-kanak mengikut peringkat umur dan tahap keupayaan kognitif mereka. Kekurangan ini menyebabkan ibu bapa sering keliru dalam menentukan sejauh mana sentuhan dibenarkan dalam kalangan ahli keluarga dan, pada masa yang sama, tidak mempunyai panduan yang jelas untuk mendidik anak-anak mengenal pasti sentuhan yang selamat dan tidak selamat.

Pendekatan pendidikan sentuhan selamat (*safe touch education*) yang berkembang dalam bidang psikologi kanak-kanak Barat lazimnya tidak mengambil kira kerangka nilai dan hukum syarak yang menjadi asas kehidupan keluarga Muslim. Justeru, terdapat keperluan mendesak untuk membina satu kerangka pendidikan sentuhan selamat yang bukan sahaja berteraskan pendekatan psikologi kanak-kanak, tetapi turut berakar umbi kepada objektif-objektif Maqasid Syariah, iaitu falsafah perundangan Islam yang menekankan pemeliharaan agama, nyawa, akal, keturunan dan harta sebagai matlamat utama sesuatu hukum syarak.

Kertas konsep ini bertujuan untuk: (i) menganalisis konsep batas sentuhan dalam keluarga Muslim berdasarkan nas syarak dan pandangan fuqaha melalui kajian naratif; (ii) mengenal pasti tema-tema utama yang membentuk asas batas sentuhan tersebut; dan (iii) membina satu kerangka konseptual pendidikan sentuhan selamat berasaskan Maqasid Syariah yang boleh dijadikan panduan oleh ibu bapa, pendidik dan pembuat dasar. Kertas ini diharapkan dapat mengisi jurang antara kefahaman fiqh tradisional mengenai sentuhan dengan keperluan praktikal pendidikan perlindungan kanak-kanak pada masa kini.

2. Kajian Literatur

Bahagian ini menyorot literatur berkaitan konsep batas sentuhan dalam Islam, kerangka Maqasid Syariah dan pendekatan pendidikan sentuhan selamat sedia ada, sama ada daripada perspektif Islam mahupun perspektif sains sosial Barat, bagi membina asas kepada pembinaan kerangka konseptual dalam kertas ini.

2.1 Konsep Mahram, Bukan Mahram dan Batas Sentuhan

Konsep mahram merujuk kepada individu yang haram dinikahi secara kekal disebabkan pertalian nasab, musaharah atau radaah. Status mahram membenarkan pergaulan dan sentuhan tanpa perlu menutup aurat secara ketat, sebagaimana yang dituntut bagi bukan mahram. Kajian dalam kalangan sarjana Mazhab Syafi'i menegaskan bahawa walaupun hubungan mahram membenarkan interaksi yang lebih dekat, ia tetap tertakluk kepada garis panduan etika bagi menjaga hifz al-'ird, terutamanya apabila melibatkan bahagian tubuh badan yang termasuk dalam kategori aurat sesama mahram. Sebaliknya, sentuhan dengan bukan mahram secara umumnya diharamkan berdasarkan hadis yang menyatakan bahawa lebih baik kepala seseorang lelaki ditusuk dengan jarum besi daripada menyentuh perempuan yang tidak halal baginya, serta larangan berkhalwat sebagaimana disebutkan dalam hadis riwayat al-Bukhari dan Muslim. Konsep asas ini menjadi titik tolak kepada seluruh perbincangan batas sentuhan dalam kertas ini, kerana ia menentukan sempadan hukum antara sentuhan yang dituntut, yang diharuskan dan yang diharamkan sama sekali.

2.2 Maqasid Syariah sebagai Kerangka Teori

Maqasid Syariah merujuk kepada matlamat dan hikmah di sebalik pensyariatan hukum Islam, yang secara klasik dirumuskan oleh al-Syatibi sebagai lima keperluan asasi (al-dharuriyyat al-khamsah): pemeliharaan agama (hifz al-din), nyawa (hifz al-nafs), akal (hifz al-'aql), keturunan (hifz al-nasl) dan harta (hifz al-mal). Ibn 'Asyur turut memperluaskan perbincangan Maqasid

Syariah dengan mentakrifkannya sebagai makna dan hikmah yang tertumpu kepada syarak secara menyeluruh dan menegaskan bahawa sesuatu hukum tidak sah melainkan ia membawa kepada pemenuhan maslahah atau mengelakkan mafsadah. Sarjana kontemporari turut memperluaskan hifz al-nasl untuk merangkumi hifz al-'ird, iaitu pemeliharaan maruah dan kehormatan diri, yang amat relevan dalam konteks perbincangan sentuhan dan pencegahan penderaan seksual. Kajian oleh Zaim [1] mengenal pasti tiga prinsip pencegahan dalam Islam untuk menangani penderaan seksual kanak-kanak di rumah, iaitu prinsip sadd al-dhara'i' (menutup jalan kepada kemudaratan), al-darar yuzal (kemudaratan wajib dihapuskan), serta prinsip dalam Maqasid Syariah yang merangkumi hifz al-din dan hifz al-nasb wa al-'ard. Kajian tersebut turut mendapati bahawa tuntutan hak kanak-kanak dalam Konvensyen Hak Kanak-Kanak Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu 1989, khususnya hak mendapat perlindungan dan pemeliharaan sebaiknya, tidak mempunyai perbezaan yang jauh dengan tuntutan Maqasid Syariah, sekali gus mengukuhkan hujah bahawa kerangka Maqasid Syariah selari dengan piawaian antarabangsa hak kanak-kanak. Dapatan-dapatan ini menyokong hujah bahawa Maqasid Syariah bukan sahaja relevan sebagai kerangka teori perundangan Islam, tetapi juga sesuai dijadikan asas kepada pembangunan modul pendidikan perlindungan kanak-kanak yang praktikal.

2.3 Sentuhan sebagai Fitrah Kasih Sayang dalam Keluarga

Dari sudut psikologi kanak-kanak, sentuhan kasih sayang ibu bapa terhadap anak memainkan peranan penting dalam membentuk keterikatan emosi (*bonding*) yang sihat serta perkembangan sosioemosi yang seimbang. Kajian pendidikan anak dalam Islam turut menegaskan bahawa sentuhan kasih sayang seperti mendukung dan mencium anak-anak kecil merupakan sebahagian daripada sunnah Rasulullah SAW dalam mendidik anak-anak, sekali gus menunjukkan bahawa sentuhan dalam kalangan mahram bukan sahaja dibenarkan malah dituntut sebagai sebahagian daripada pembentukan kasih sayang dan keharmonian keluarga. Ulwan [2] dalam Tarbiyat al-Awlad fi al-Islam turut menggariskan bahawa kaedah tarbiah perlu dilaksanakan secara berperingkat mengikut usia dan kematangan kanak-kanak, termasuk dalam aspek pendidikan yang melibatkan adab pergaulan dan sentuhan. Namun begitu, tuntutan kasih sayang ini perlu diimbangi dengan adab dan etika tertentu supaya tidak disalahtafsirkan sebagai kebebasan mutlak tanpa batas, khususnya apabila anak mula meningkat usia baligh.

2.4 Sentuhan sebagai Faktor Risiko Penderaan Seksual Kanak-Kanak

Kajian oleh Zaim et al. [3] yang meneliti elemen kesejahteraan keluarga Islam dalam menangani penderaan seksual kanak-kanak mendapati bahawa kepincangan institusi keluarga, termasuk kes penderaan seksual dan sumbang mahram dalam kalangan ahli keluarga, merupakan isu yang membimbangkan dalam masyarakat masa kini. Kajian tersebut turut mengenal pasti bahawa amalan nilai moral oleh ahli keluarga, hubungan baik antara ibu bapa, serta teladan yang baik daripada ibu bapa merupakan elemen tertinggi bagi mencegah gejala penderaan seksual dalam keluarga. Kajian lanjutan oleh Zaim [1] turut mengesahkan bahawa kebanyakan kes penderaan seksual kanak-kanak berlaku di rumah dan dilakukan oleh individu yang dikenali oleh mangsa, termasuk ahli keluarga sendiri, menjadikan isu batas sentuhan dalam kalangan keluarga sebagai keutamaan pencegahan yang tidak boleh dipandang ringan. Dapatan-dapatan ini menunjukkan bahawa isu batas sentuhan bukan sekadar persoalan fiqh semata-mata, tetapi juga merupakan mekanisme perlindungan sosial yang signifikan dalam konteks kesejahteraan keluarga Islam.

2.5 Kepelbagaian Pandangan Mazhab mengenai Sentuhan dengan Bukan Mahram

Dalam isu sentuhan dan jabat tangan dengan bukan mahram, terdapat kepelbagaian pandangan dalam kalangan mazhab fiqh. Mazhab Syafi'i secara umumnya mengharamkan berjabat tangan dengan bukan mahram, tanpa mengecualikan golongan yang lebih tua. Kajian komparatif oleh Al Fursan et al. [4] yang membandingkan Mazhab Hanafi dan Mazhab Syafi'i mendapati bahawa Mazhab Hanafi mengecualikan wanita lanjut usia daripada larangan tersebut sekiranya tiada unsur syahwat, manakala Mazhab Syafi'i kekal mengharamkannya secara mutlak tanpa pengecualian. Sebahagian ulama kontemporari seperti Yusuf al-Qaradhawi pula, sebagaimana dianalisis oleh Ramdani dan Sutisna [5] dalam kajian perbandingan pemikiran Imam Nawawi dan al-Qaradhawi, berpandangan bahawa larangan tersebut bersifat pencegahan (sadd al-dzari'ah) dan bukan pengharaman mutlak dalam semua keadaan, manakala pandangan yang lebih keras tanpa pengecualian turut dipegang oleh sebahagian fuqaha lain. Kepelbagaian pandangan ini menunjukkan bahawa isu sentuhan dengan bukan mahram, walaupun disepakati haram pada asasnya, mempunyai ruang ijtihad dalam menentukan tahap dan pengecualiannya berdasarkan illah pencegahan fitnah dan ruang ijtihad ini turut memberi implikasi kepada fleksibiliti dalam merangka kandungan pendidikan yang sesuai dengan konteks sosial semasa tanpa menggadaikan prinsip asas syarak.

2.6 Model Pendidikan Sentuhan Selamat dalam Literatur Antarabangsa

Pendekatan pendidikan sentuhan selamat (*safe touch education*) telah berkembang pesat dalam literatur sains sosial Barat sebagai strategi pencegahan primer terhadap penderaan seksual kanak-kanak. Program seperti *Safe Touches*, yang dibangunkan oleh New York Society for the Prevention of Cruelty to Children, mengajar kanak-kanak mengenal pasti bahagian tubuh peribadi, membezakan sentuhan selamat dan tidak selamat, serta membezakan antara "rahsia" dan "kejutan" melalui sesi interaktif menggunakan boneka dan main peranan. Kajian rawak berkelompok oleh Pulido et al. [6] ke atas pelajar bandar mendapati program sedemikian berjaya meningkatkan pengetahuan kanak-kanak berkaitan penderaan seksual secara signifikan. Kajian susulan berskala besar oleh Guastaferro et al. [7] turut mengesahkan bahawa peningkatan pengetahuan tersebut kekal dikekalkan sehingga dua belas bulan selepas program dijalankan, dengan lebih 14,000 orang murid tahun dua terlibat dalam kajian kohort tersebut. Program lain seperti *Talk PANTS* yang diperkenalkan oleh National Society for the Prevention of Cruelty to Children (NSPCC) di United Kingdom turut menggunakan pendekatan mudah dan mesra kanak-kanak untuk mengajarkan konsep badan milik sendiri kepada kanak-kanak prasekolah dan sekolah rendah.

Walau bagaimanapun, program-program ini pada umumnya dibangunkan berasaskan kerangka sekular dan tidak mengambil kira nilai-nilai keagamaan, konsep mahram atau batas aurat yang menjadi asas kehidupan keluarga Muslim. Sebagai contoh, konsep "badan milik sendiri" (*my body belongs to me*) yang digunakan secara meluas dalam program Barat, walaupun pada dasarnya selari dengan konsep hifz al-nafs dalam Islam, tidak menghubungkannya secara eksplisit dengan konsep mahram, aurat atau tanggungjawab agama, sekali gus berpotensi menimbulkan kekeliruan sekiranya diguna pakai secara terus tanpa penyesuaian dalam konteks keluarga Muslim. Perbezaan pendekatan ini menegaskan keperluan untuk membangunkan kerangka pendidikan sentuhan selamat yang tersendiri, yang menggabungkan kekuatan bukti empirikal daripada kajian sains sosial dengan asas nilai dan hukum syarak yang sahih.

2.7 Jurang dalam Pendidikan Sentuhan Selamat Sedia Ada di Malaysia

Sorotan literatur turut mendapati bahawa modul pendidikan sentuhan selamat yang sedia ada di Malaysia, sama ada di sekolah atau dalam komuniti, lazimnya diadaptasi daripada model antarabangsa tanpa penyesuaian menyeluruh kepada kerangka nilai syarak yang menjadi asas kehidupan keluarga Muslim. Kajian oleh Nabilah Huda [8] yang membangunkan model pencegahan penderaan seksual kanak-kanak dalam keluarga Islam turut mengesahkan wujudnya keperluan mendesak untuk model pencegahan yang lebih menyeluruh dan berasaskan pendekatan bersepadu antara syarak, undang-undang dan sains sosial. Ketiadaan kerangka bersepadu yang menghubungkan konsep fiqh mahram dengan pendekatan pedagogi sentuhan selamat moden menjadi jurang utama yang cuba diisi oleh kertas konsep ini.

3. Metodologi

Kajian ini merupakan kajian konsep (*conceptual paper*) yang menggunakan pendekatan kualitatif berbentuk kajian naratif (*narrative review*). Kajian naratif dipilih kerana ia sesuai untuk mensintesis pelbagai sumber rujukan yang berbeza sifat meliputi nas al-Quran dan hadis, pandangan fiqh klasik dan kontemporari, serta kajian akademik empirikal berkaitan keluarga Islam dan perlindungan kanak-kanak bagi membina satu kerangka konseptual baharu yang koheren.

Data primer kajian ini diperoleh daripada nas al-Quran dan hadis yang berkaitan dengan hukum sentuhan, aurat dan pergaulan antara mahram dan bukan mahram. Data sekunder pula diperoleh daripada kitab-kitab fiqh klasik dan kontemporari merangkumi pandangan empat mazhab utama, serta artikel jurnal berwasit, prosiding dan tesis berkaitan Maqasid Syariah, kesejahteraan keluarga Islam dan pencegahan penderaan seksual kanak-kanak. Carian sumber sekunder dijalankan menerusi pangkalan data Google Scholar, Scopus dan repositori tesis institusi pengajian tinggi tempatan (contohnya e-tesis UKM, UIS dan UISI), dengan tumpuan kepada bahan yang diterbitkan dalam tempoh 2015 hingga 2026 bagi memastikan kesegaran dapatan, di samping rujukan kitab fiqh klasik yang bersifat kekal relevan tanpa had tempoh.

Pemilihan sumber sekunder tertakluk kepada kriteria kemasukan dan pengecualian tertentu. Kriteria kemasukan meliputi: (i) artikel jurnal berwasit, tesis, buku ilmiah atau prosiding yang membincangkan secara langsung konsep mahram, aurat, sentuhan, Maqasid Syariah atau pendidikan sentuhan selamat kanak-kanak; (ii) diterbitkan dalam bahasa Melayu, Indonesia, Arab atau Inggeris; dan (iii) daripada sumber akademik atau kitab muktabar yang boleh disahkan pengarang dan penerbitnya. Kriteria pengecualian pula meliputi laman sedar umum, blog, atau bahan fatwa tanpa rujukan ilmiah yang jelas, kecuali digunakan semata-mata sebagai contoh amalan masyarakat dan bukan sebagai hujah hukum utama.

Proses analisis dilakukan melalui tiga peringkat, mengadaptasi kerangka analisis tematik oleh Braun dan Clarke [9] yang lazim digunakan dalam kajian kualitatif berbentuk sorotan naratif. Pertama, peringkat pengumpulan dan penyaringan sumber berdasarkan kata kunci seperti "sentuhan", "mahram", "maqasid syariah" dan "pendidikan sentuhan selamat", diikuti penapisan mengikut kriteria kemasukan dan pengecualian yang dinyatakan di atas. Kedua, peringkat analisis tematik, iaitu pengkaji membaca berulang kali setiap sumber terpilih (*familiarization*), menghasilkan kod awal bagi idea atau hujah utama yang berulang (*initial coding*), sebelum kod-kod tersebut dikelompokkan dan disemak secara berterusan sehingga terbentuk lima tema utama yang stabil merentasi sumber-sumber yang dikaji. Ketiga, peringkat sintesis dan pembangunan kerangka, iaitu memetakan tema-tema yang diperoleh kepada lima objektif utama Maqasid Syariah bagi membentuk satu kerangka konseptual pendidikan sentuhan selamat yang tersusun.

4. Penemuan Utama Daripada Kajian Naratif

Hasil kajian naratif mengenal pasti lima tema utama yang membentuk asas kepada konsep batas sentuhan dalam keluarga Muslim, sebagaimana dibincangkan dalam Kajian Literatur di atas: (i) konsep mahram dan bukan mahram sebagai penentu status halal-haram sentuhan; (ii) sentuhan sebagai fitrah kasih sayang yang dituntut dalam kalangan mahram; (iii) sentuhan sebagai faktor risiko penderaan seksual apabila batasnya tidak difahami; (iv) kepelbagaian pandangan mazhab yang membuka ruang ijtihad kontekstual; dan (v) jurang antara kefahaman fiqh tradisional dengan pendekatan pedagogi sentuhan selamat moden.

Kelima-lima tema ini terbentuk melalui proses pengekodan berulang seperti dihuraikan dalam Metodologi: setiap sumber yang lulus penapisan dibaca dan dikodkan berdasarkan idea utama yang dibawa; kod-kod yang berkongsi makna kemudiannya dikelompokkan menjadi sub-tema; dan sub-tema yang saling berkait digabungkan menjadi tema utama. Sebagai contoh, kod-kod seperti hukum menyentuh bukan mahram, larangan berkhalwat dan illah pencegahan fitnah dikelompokkan di bawah tema kepelbagaian pandangan mazhab, manakala kod-kod seperti sunnah mendukung anak dan *bonding* ibu bapa-anak dikelompokkan di bawah tema sentuhan sebagai fitrah kasih sayang. Proses ini disemak secara berulang oleh pengkaji bagi memastikan setiap tema disokong secara konsisten oleh sekurang-kurangnya dua kategori sumber yang berbeza, iaitu nas atau pandangan fiqh dan kajian akademik empirikal, sebelum dianggap stabil dan dibawa ke peringkat sintesis.

Penemuan penting daripada kajian naratif ini ialah kelima-lima tema tersebut, apabila dianalisis secara bersepadu, menunjukkan keselarasan yang jelas dengan objektif-objektif Maqasid Syariah. Sentuhan halal dalam kalangan mahram menyokong hifz al-nafs (keselamatan emosi dan psikologi kanak-kanak) dan hifz al-din (pembentukan akhlak dan tarbiah); manakala larangan sentuhan dengan bukan mahram dan pencegahan penderaan seksual secara langsung menyokong hifz al-nasl wa al-'ird. Keupayaan kanak-kanak menilai dan bertindak wajar terhadap sentuhan yang diterima pula berkait rapat dengan hifz al-'aql, sementara pendekatan pencegahan awal melalui pemantauan dan pendidikan menyokong prinsip sadd al-dhara'i'.

Penemuan ini membawa kepada kesimpulan bahawa Maqasid Syariah bukan sahaja relevan sebagai asas teori perundangan Islam, tetapi juga berpotensi besar dijadikan kerangka rujukan bersepadu bagi membina modul pendidikan sentuhan selamat yang khusus untuk keluarga Muslim. Jadual 1 merumuskan pemetaan antara objektif Maqasid Syariah dengan komponen praktikal pendidikan sentuhan selamat yang dicadangkan berdasarkan sintesis kajian naratif ini.

5. Pembangunan Cadangan: Kerangka Pendidikan Sentuhan Selamat Berasaskan Maqasid Syariah

Berdasarkan pemetaan dalam Jadual 1, kertas ini mencadangkan satu kerangka pendidikan sentuhan selamat yang terdiri daripada tiga peringkat utama, iaitu prinsip asas, kandungan mengikut peringkat umur dan pihak berkepentingan pelaksana.

Jadual 1. Pemetaan objektif Maqasid Syariah kepada komponen pendidikan sentuhan selamat

Objektif Maqasid Syariah	Dalil/Sumber Rujukan Utama	Prinsip Panduan Batas Sentuhan	Komponen dalam Pendidikan Sentuhan Selamat
Hifz al-Din (Pemeliharaan Agama)	Surah al-Nur 24:30-31; konsep aurat dan mahram dalam fiqh klasik	Sentuhan dikawal oleh status halal-haram berdasarkan konsep mahram dan bukan mahram	Pengenalan asas akidah dan hukum aurat; kaitan sentuhan dengan ibadah dan akhlak
Hifz al-Nafs (Pemeliharaan Nyawa/Diri)	Hadis riwayat al-Thabarani mengenai larangan menyentuh bukan mahram	Sentuhan tidak boleh membawa kemudaratan fizikal atau psikologikal kepada kanak-kanak	Latihan mengenal pasti sentuhan yang menyakitkan atau tidak selesa; kemahiran melapor
Hifz al-Nasl wa al-'Ird (Pemeliharaan Keturunan dan Maruah)	Larangan khalwat (Hadis riwayat al-Bukhari dan Muslim); prinsip hifz al-nasb wa al-'ard [1]	Larangan sentuhan yang membuka ruang fitnah, zina, sumbang mahram dan penderaan seksual	Modul mengenal bahagian tubuh peribadi; konsep sentuhan baik dan sentuhan buruk
Hifz al-'Aql (Pemeliharaan Akal)	Prinsip tarbiah berperingkat mengikut kematangan akal kanak-kanak [2]	Kanak-kanak perlu berkemampuan menilai dan membuat keputusan wajar terhadap sentuhan yang diterima	Pembangunan kemahiran berfikir kritis dan membuat keputusan mengikut peringkat umur
Sadd al-Dhara'i' (Menutup Jalan Kemudaratan)	Kaedah fiqhiyyah sadd al-dhara'i' dan al-darar yuzal [1]	Langkah pencegahan awal diutamakan berbanding tindakan selepas berlaku kemudaratan	Pemantauan ibu bapa, adab pergaulan dalam rumah dan sekatan ruang berkhalwat

5.1 Prinsip Asas Kerangka

Kerangka yang dicadangkan berpaksikan tiga prinsip asas. Pertama, prinsip kesepaduan syarak dan sains, iaitu kandungan pendidikan sentuhan selamat perlu menggabungkan hukum fiqh mahram dan bukan mahram dengan pendekatan psikologi perkembangan kanak-kanak yang telah terbukti berkesan. Kedua, prinsip kesesuaian peringkat umur (*age-appropriateness*), iaitu penyampaian kandungan perlu disesuaikan dengan tahap kognitif dan kematangan kanak-kanak, selaras dengan kaedah tarbiah berperingkat yang dianjurkan dalam hadis mengenai pendidikan solat kanak-kanak. Ketiga, prinsip pencegahan berterusan (sadd al-dhara'i'), iaitu pendidikan ini perlu dilaksanakan secara berterusan dan bukan sebagai satu sesi tunggal, disokong oleh pemantauan aktif ibu bapa dalam kehidupan seharian.

5.2 Kandungan Mengikut Peringkat Umur

Kandungan pendidikan sentuhan selamat perlu disusun secara berperingkat mengikut tahap kognitif dan kematangan kanak-kanak, selaras dengan kaedah tarbiah berperingkat yang dianjurkan dalam hadis mengenai pendidikan solat kanak-kanak. Jadual 2 merumuskan struktur kandungan yang dicadangkan mengikut tiga peringkat umur utama.

Jadual 2. Struktur kandungan pendidikan sentuhan selamat mengikut peringkat umur

Peringkat Umur	Fokus Kandungan	Kaedah Penyampaian Dicadangkan
Awal Kanak-Kanak (4-6 tahun)	Nama anggota badan; konsep "bahagian badan peribadi"; kemahiran mengucapkan "tidak" dan melaporkan sentuhan tidak selesa kepada ibu bapa	Bercerita, lakonan boneka, nyanyian dan aktiviti bergambar sesuai fitrah bermain kanak-kanak
Pertengahan Kanak-Kanak (7-9 tahun)	Pengenalan ringkas konsep mahram dan bukan mahram; adab meminta izin masuk bilik ibu bapa; pengukuhan hukum asas menutup aurat	Perbincangan interaktif, buku aktiviti, main peranan (*role-play*) situasi harian
Akhir Kanak-Kanak/Pra-Remaja (10-12 tahun)	Hukum sentuhan dengan bukan mahram secara lebih terperinci; adab pergaulan dengan sepupu dan ipar; pendedahan awal risiko penderaan seksual dan langkah melindungi diri	Modul bengkel berstruktur, sesi soal jawab, kaunseling kelompok kecil bersama ibu bapa/guru

5.3 Pihak Berkepentingan dan Peranan Pelaksanaan

Pelaksanaan kerangka ini memerlukan kerjasama pelbagai pihak. Ibu bapa berperanan sebagai penyampai utama dan teladan dalam mengamalkan adab sentuhan yang betul dalam kehidupan seharian. Institusi pendidikan Islam seperti sekolah agama dan tadika Islam berperanan mengintegrasikan modul sentuhan selamat ke dalam kurikulum pendidikan Islam sedia ada. Agensi kerajaan yang berkaitan kebajikan keluarga dan kanak-kanak pula berperanan menyediakan latihan kepada ibu bapa dan guru, serta membangunkan bahan rujukan rasmi berasaskan kerangka Maqasid Syariah ini. Institusi masjid dan surau turut boleh memainkan peranan sebagai pusat penyebaran kesedaran kepada komuniti setempat.

5.4 Cadangan Kajian Lanjutan

Kertas konsep ini mencadangkan agar kerangka yang dibina ini disahkan secara empirikal pada peringkat seterusnya, contohnya melalui kaedah *Fuzzy Delphi* atau Teknik Kumpulan Nominal (NGT) dengan melibatkan pakar dalam bidang fiqh, psikologi kanak-kanak dan pendidikan awal kanak-kanak, bagi memastikan kesahan dan kebolehgunaan kerangka ini sebelum diaplikasikan secara meluas dalam modul pendidikan keluarga Islam.

6. Kesimpulan

Kertas konsep ini telah menganalisis konsep batas sentuhan dalam keluarga Muslim melalui kajian naratif terhadap nas syarak dan literatur akademik yang berkaitan, serta membina kerangka konseptual pendidikan sentuhan selamat yang berteraskan Maqasid Syariah. Dapatan kajian menunjukkan bahawa batas sentuhan halal dan haram dalam Islam, yang berasaskan konsep mahram dan bukan mahram, selari sepenuhnya dengan objektif-objektif utama Maqasid Syariah, iaitu hifz al-din, hifz al-nafs, hifz al-nasl wa al-'ird, hifz al-'aql, dan prinsip sadd al-dhara'i'. Kerangka yang dicadangkan, yang memetakan objektif-objektif tersebut kepada komponen praktikal pendidikan mengikut peringkat umur, diharapkan dapat mengisi jurang antara kefahaman fiqh tradisional dan keperluan pendidikan perlindungan kanak-kanak pada masa kini. Sumbangan utama kertas ini ialah menawarkan satu model rujukan awal yang boleh dikembangkan lebih lanjut oleh penyelidik, pendidik dan pembuat dasar dalam usaha membina keluarga Muslim yang lebih selamat, sejahtera dan patuh syariah.

Rujukan

[1] N. H. Zaim, “Prinsip pencegahan Islam bagi menangani penderaan seksual kanak-kanak,” *Journal of Islamic, Social, Economics and Development (JISED),* vol. 9, no.63, pp.679–694, 2024.

[2] A. N. Ulwan, *Tarbiyat al-awlad fi al-Islam*. Batu Caves: PTS Publishing House, 2015.

[3] N. H. Zaim, N. Mohd Salleh, and Z. Mohd Kusrin, “Elemen kesejahteraan keluarga Islam dalam menangani penderaan seksual kanak-kanak,” *Jurnal Pengajian Islam*, vol. 13, no. 2, pp. 35–49, 2020, https://jpi.uis.edu.my/index.p

[4] U. Al Fursan, M. Ikhsan, and M. Istiqamah, “Hukum berjabat tangan dengan wanita lansia non-mahram (studi komparatif Mazhab Hanafi dan Mazhab Syafi'i),” AL-MABSUTH: *Jurnal Studi Islam dan Bahasa Arab*, vol. 1, no. 2, pp. 612–639, 2025 (DOI: 10.36701/mabsuth.v1i2.2552).

[5] D. A. Ramdani and S. Sutisna, “Studi komparatif pemikiran Imam Nawawi dan Yusuf al-Qardhawi tentang berjabat tangan dengan bukan mahram dalam Islam,” *Mizan: Journal of Islamic Law*, vol. 2, no. 1, pp. 47–58, 2018.

[6] M. L. Pulido, S. Dauber, B. A. Tully, P. Hamilton, M. J. Smith, and K. Freeman, “Knowledge gains following a child sexual abuse prevention program among urban students: A cluster-randomized evaluation,” *American Journal of Public Health*, vol. 105, no.7, 1344–1350, 2015.

[7] K. Guastaferro, S. L. Shipe, C. M. Connell, E. J. Letourneau, and J. G. Noll, “Implementation of a universal school-based child sexual abuse prevention program: A longitudinal cohort study,” *Journal of Interpersonal Violence*, vol. 38, no.15-16, pp. 8785–8802, 2023 (DOI: 10.1177/08862605231158765).

[8] Z. Nabilah Huda, “Pembangunan model pencegahan penderaan seksual kanak-kanak dalam keluarga Islam,” Tesis PhD tidak diterbitkan, Universiti Islam Selangor, 2022.

[9] V. Braun and V. Clarke, “Using thematic analysis in psychology,” *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006 (DOI: 10.1191/1478088706qp063oa).

[10] Al-Quran al-Karim

[11] M. I. Al-Bukhari, Sahih al-Bukhari, t.t.

[12] I. al-Syatibi, *al-Muwafaqat fi Usul al-Syariah. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyah*, al-Thabarani, S. (t.t.). al-Mu'jam al-Kabir, 2003.

[13] M. T. Ibn 'Asyur, Maqasid al-Syariah al-Islamiyyah. Amman: Dar al-Nafais, 2004.

[14] Mahkamah: Jurnal Riset Ilmu Hukum, Pandangan dan sentuhan antar mahram menurut Mazhab Syafi'i, vol. 3, no. 1, 2026, https://ejournal.appihi.or.id/index.php/Mahkamah/article/download/1450/1229/7492

[15] I. H. Muslim, Sahih Muslim, t.t.

[16] National Society for the Prevention of Cruelty to Children (NSPCC), *Talk PANTS: Keeping children safe from abuse*, 2024, https://www.nspcc.org.uk/keeping-children-safe/support-for-parents/pants-underwear-rule/

[17] United Nations, *Convention on the Rights of the Child*, 1989, https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-child

METODOLOGI TAFSIR HAMKA TERHADAP AYAT-AYAT SAINTIFIK DALAM TAFSIR AL-AZHAR: ANALISIS AYAT PILIHAN

Iruwan bin Idris*, Siti Aishah binti Othman, Mazlina binti Omar

Jabatan Pengajian Am, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: iruwan@ptsb.edu.my

Abstrak

Kajian ini bertujuan menganalisis metodologi tafsir HAMKA terhadap ayat-ayat al-Quran yang mengandungi unsur saintifik dalam kitab Tafsir Al-Azhar. Sembilan ayat al-Quran yang dipilih akan dianalisis bagi mengenal pasti pendekatan, fokus dan kaedah yang digunakan oleh HAMKA ketika menghuraikan ayat serta hubungannya dengan penemuan sains moden sebagai satu cara untuk memahami ayat dan tuntutannya. Kajian ini menggunakan reka bentuk kualitatif berbentuk analisis kandungan ke atas teks primer iaitu Tafsir Al-Azhar, disokong oleh sumber sekunder daripada kajian-kajian lepas berkaitan tafsir saintifik. Sampel ayat dipilih menggunakan kaedah persampelan bertujuan yang mewakili beberapa bidang sains. Dapatan kajian menunjukkan bahawa HAMKA mengamalkan pendekatan tafsir saintifik yang berhati-hati dan seimbang, iaitu mengutamakan kaedah bahasa Arab sebagai asas tafsiran, menerima dapatan sains yang muktamad sahaja, menolak teori sains yang bercanggah dengan akidah seperti evolusi Darwin, serta sentiasa mengarahkan tafsirannya kepada matlamat utama al-Quran iaitu pendidikan, peneguhan iman dan pengiktirafan kekuasaan Allah SWT. Kajian ini merumuskan bahawa HAMKA tidak menjadikan sains sebagai penentu mutlak untuk memahami makna ayat, sebaliknya dapatan sains digunakan secara selektif untuk mengukuhkan kefahaman terhadap ayat-ayat saintifik yang ada di dalam al-Quran tanpa mengorbankan prinsip-prinsip akidah dan kaedah tafsir yang muktabar.
Kata Kunci: HAMKA; Tafsir Al-Azhar; tafsir saintifik; metodologi tafsir.

1. Pengenalan

Al-Quran sebagai kitab panduan hidup umat Islam turut mengandungi pelbagai ayat yang menyentuh fenomena alam semula jadi yang dikenali sebagai ayat *al-Kauniyyah*. Ayat-ayat ini menjadi bukti kepada mukjizat ilmiah al-Quran kerana turut selari dengan penemuan sains moden walaupun diturunkan lebih daripada 14 abad yang lalu. Justeru, bidang tafsir saintifik wujud sebagai satu disiplin ilmu yang menghubungkan pentafsiran ayat al-Quran dengan penemuan sains, bertujuan untuk memahami keserasian antara wahyu dan akal, serta mengukuhkan keimanan umat terhadap kebenaran al-Quran sebagai kalam Allah SWT.

HAMKA, iaitu Haji Abdul Malik Karim Amrullah, merupakan salah seorang tokoh ulama Nusantara yang terkenal dengan karya tafsirnya, Tafsir Al-Azhar, yang menjadi rujukan penting dalam dunia pentafsiran al-Quran di rantau Alam Melayu. Dalam tafsirnya, HAMKA turut menyentuh pelbagai ayat *al-Kauniyyah* dan cuba menghubungkannya dengan dapatan sains semasa [1]. Namun begitu, pendekatan HAMKA dalam mentafsirkan ayat-ayat saintifik ini mempunyai ciri dan kaedah tersendiri yang membezakannya daripada tokoh-tokoh tafsir yang lain, khususnya dari segi keseimbangan antara penerimaan sains dan pemeliharaan prinsip akidah.

Justeru, kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti dan menganalisis secara mendalam metodologi, fokus dan kaedah yang digunakan oleh HAMKA ketika mentafsirkan ayat-ayat

saintifik terpilih di dalam Tafsir Al-Azhar. Sembilan ayat pilihan yang merangkumi pelbagai bidang sains seperti biologi, astronomi, geologi dan fisiologi manusia dianalisis untuk tujuan ini.

1.1 Permasalahan Kajian

Kajian-kajian lepas berkaitan tafsir saintifik sering menumpukan kepada pengesahan fakta sains semata-mata tanpa menganalisis secara khusus metodologi dan pendirian seorang ahli tafsir terhadap teori-teori sains yang masih diperdebatkan. Sehubungan itu, wujud jurang kajian dalam memahami secara terperinci bagaimana HAMKA menyeimbangkan antara kaedah bahasa, dapatan sains dan prinsip akidah ketika mentafsirkan ayat-ayat yang menyentuh fenomena saintifik, serta bagaimana beliau menangani isu-isu sains yang bercanggah dengan tauhid seperti teori evolusi.

1.2 Objektif Kajian

Kajian ini dijalankan bagi mencapai objektif berikut:

(i) Mengenal pasti fakta saintifik yang terkandung dalam sembilan ayat pilihan di dalam Tafsir Al-Azhar.

(ii) Menganalisis pendekatan dan kaedah tafsir HAMKA terhadap ayat-ayat saintifik tersebut.

(iii) Merumuskan metodologi keseluruhan HAMKA dalam mentafsirkan ayat-ayat saintifik di dalam Tafsir Al-Azhar.

2. Metodologi

Kajian ini menggunakan reka bentuk kualitatif berbentuk analisis kandungan atau analisis dokumen sebagai pendekatan utama. Analisis kandungan dipilih kerana kesesuaiannya untuk mengkaji teks tafsir secara mendalam bagi mengenal pasti tema, pola dan kaedah tafsir yang digunakan oleh HAMKA ketika mentafsirkan ayat-ayat saintifik yang terdapat dalam Tafsir al-Azhar.

2.1 Sumber Data

Sumber data primer kajian ini ialah kitab Tafsir al-Azhar karangan HAMKA, manakala sumber data sekunder terdiri daripada kajian-kajian lepas berkaitan tafsir saintifik dan ayat-ayat saintifik, termasuklah kajian oleh Kasmo [2], Zainal Abidin [1], Ismail [3] dan Sempo [4] yang digunakan sebagai bahan perbandingan dan sokongan dapatan.

2.2 Persampelan Ayat

Kajian ini menggunakan kaedah persampelan bertujuan (*purposive sampling*) dengan memilih sembilan ayat al-Quran yang mengandungi unsur saintifik dan telah ditafsirkan secara khusus oleh HAMKA dalam Tafsir al-Azhar. Pemilihan ayat mewakili semua bidang sains utama, meliputi bidang fisiologi seperti kulit dan cap jari manusia, bidang astronomi seperti matahari dan bulan, bidang zoologi seperti lebah dan semut, bidang geologi seperti perihal bumi, langit dan gunung, bidang geografi seperti perihal tanah rendah, serta bidang biologi seperti reproduksi manusia dan penentuan jantina bayi.

2.3 Kaedah Analisis Data

Setiap ayat dianalisis melalui tiga peringkat: pertama, mengenal pasti fakta saintifik dan kalimah kunci dalam ayat; kedua, membandingkan tafsiran HAMKA dengan pandangan pengkaji tafsir saintifik yang lain seperti Kasmo [2], Zainal Abidin [1] dan Sempo [4]; dan ketiga, merumuskan pendirian serta kaedah yang digunakan oleh HAMKA dalam setiap tafsirannya. Hasil analisis sembilan ayat tersebut kemudian disintesis untuk menghasilkan rumusan metodologi keseluruhan yang digunakan oleh HAMKA dalam mentafsirkan ayat-ayat saintifik.

3. Dapatan dan Perbincangan

3.1 Analisis 9 Ayat Pilihan oleh HAMKA

3.1.1 Ayat 1: Kulit adalah reseptor deria

Allah berfirman: “Sesungguhnya orang-orang yang kufur ingkar kepada ayat-ayat keterangan Kami. Kami akan membakar mereka di dalam api neraka. Tiap kali kulit mereka masak hangus, kami gantikan dengan kulit yang lain supaya mereka merasai azab sengsara itu. Dan (ingatlah) sesungguhnya Allah adalah Maha Kuasa lagi Maha Bijaksana”. [al-Quran, 4:56]

Analisis ayat:

Fakta saintifik di dalam ayat ini berkisar kepada potongan ayat “*Tiap-tiap kali kulit mereka masak hangus, Kami gantikan untuk mereka kulit yang lain supaya mereka merasa azab sengsara itu*”. Kasmo [2] mengiktiraf ayat ini sebagai isyarat daripada Allah bahawa kulit adalah organ deria yang mengesan ransangan termasuklah rasa sakit. Manakala, HAMKA pula ketika menafsirkan ayat ini menyatakan bahawa sesiapa yang kafir kepada Allah akan dimasukkan ke dalam neraka, kulit mereka akan dimasak hangus kemudian kulit itu akan diganti dengan kulit yang lain supaya mereka akan terus merasai sakit. Namun, oleh kerana peristiwa ini berkaitan neraka yang termasuk di dalam perkara ghaib, beliau tidak berlebihan dalam mentafsirkannya bahkan melarang untuk mengkaji bagaimana proses pertukaran kulit itu berlaku. Bahkan HAMKA sering meninggalkan perbincangan saintifik melibatkan perkara ghaib yang dikaitkan dengan teori-teori sains seumpama firman Allah “*Jangan sesekali berlaku derhaka! Demi sesungguhnya jika ia tidak berhenti (dari perbuatan yang buruk itu) nescaya Kami menyentap ubun-ubunnya. (iaitu) ubun-ubun orang yang berdusta, yang bersalah*” [al-Quran, 96:15-16]. Sebaliknya, fokus HAMKA adalah kepada peringatan untuk mengelakkan diri daripada kulit dibakar di Neraka angkara kafir kepada Allah. Kesimpulannya, HAMKA mengakui ayat ini menjadi hujah bahawa al-Quran menjelaskan fungsi kulit sebagai organ deria kepada manusia yang berfungsi untuk merasa sakit dan kepanasan. Namun, oleh kerana peristiwa ini termasuk di dalam perkara ghaib yang tidak mampu difahami sepenuhnya, maka HAMKA tidak berlebihan dalam mentafsirkannya tetapi berpada dengan dapatan sains yang diyakini sahaja untuk memahami ayat saintifik ini.

3.1.2 Ayat 2: Matahari itu bersinar, bulan itu bercahaya

Allah berfirman: “Dialah yang menjadikan matahari bersinar-sinar (terang-benderang) dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menentukan perjalanan tiap-tiap satu itu (berpindah-randah) pada tempat-tempat peredarannya masing-masing supaya kamu dapat mengetahui bilangan tahun dan kiraan masa. Allah tidak menjadikan semuanya itu melainkan dengan adanya faedah dan gunanya yang sebenar. Allah menjelaskan ayat-ayat-Nya (tanda-tanda kebesaran-Nya) satu persatu bagi kaum yang mahu mengetahui (hikmat sesuatu yang dijadikan-Nya)”. [al-Quran, 10:5]

Analisis ayat:

Fokus utama fakta saintifik dalam ayat ini ialah pada penggunaan kalimah "*Diya'an*" yang bermaksud bersinar terang untuk menggambarkan sifat matahari dan kalimah "*Nuuran*" yang bermaksud bercahaya untuk mewakili sifat bulan. Zainal Abidin [1] menjelaskan bahawa ayat ini sebagai isyarat bahawa matahari itu sifatnya seperti pelita atau lampu yang menyala, mengeluarkan cahaya dan membakar manakala bulan pula sifatnya seperti cermin yang memantulkan cahaya dan menyilau tanpa memiliki cahaya sendiri. HAMKA pula ketika menafsirkan ayat ini menyatakan bahawa kalimah "*Diya'an*" bermaksud sinar terang yang timbul daripada diri sendiri yang mampu memancarkan cahaya seumpama lampu atau pelita dan kalimah "*Nuuran*" bermaksud cahaya sebuah bekas yang memantulkan semula cahaya terang yang menimpa dirinya seperti sifatnya berlian. Selanjutnya HAMKA menerangkan bahawa perkara ini terjadi kerana sifat matahari dan bulan itu sendiri. Matahari adalah objek yang seluruhnya adalah bahan bakar sahaja dan cahayanya terdiri daripada susunan tujuh warna sebaliknya bulan pula ialah objek yang menjadi bercahaya kerana memantulkan cahaya terang matahari yang terkena padanya serta hanya memiliki satu warna sahaja. Semua perbahasan HAMKA dikaitkan dengan makna bahasa dan sains. Ini menunjukkan bahawa HAMKA telah menggunakan ketelitian gaya bahasa Arab dan dapatan sains berkaitan fenomena alam seperti *manazil* bulan, sifat matahari, jenis cahaya dan seumpamanya ketika mentafsirkan kalimah "*Diya'an*" yang menjadi sifat khusus bagi matahari dan "*Nuuran*" bagi bulan. Kesimpulannya, HAMKA mengakui ayat ini menjadi hujah bahawa al-Quran menjelaskan Matahari adalah bersinar seperti pelita dan bulan pula bercahaya seperti berlian. Selain itu, boleh difahami juga bahawa HAMKA ketika mentafsirkan konsep sinar matahari dan cahaya bulan telah menyesuaikan tafsirnya dengan dapatan sains dan makna bahasa.

3.1.3 Ayat 3: Koloni lebah diketuai oleh seekor ratu

Allah berfirman: "Dan Tuhanmu memberi ilham kepada lebah: 'Hendaklah engkau membuat sarangmu di gunung-gunung dan di pokok-pokok kayu, dan juga di bangunan-bangunan yang didirikan oleh manusia.' Kemudian makanlah dari segala jenis bunga-bungaan dan buah-buahan (yang engkau sukai) serta turutlah jalan-jalan peraturan Tuhanmu yang diilhamkan dan dimudahkannya kepadamu. (Dengan itu) akan keluarlah dari dalam badannya minuman (madu) yang berlainan warna, yang mengandungi penawar bagi manusia (dari berbagai-bagai penyakit). Sesungguhnya pada yang demikian itu, ada tanda (yang membuktikan kemurahan Allah) bagi orang-orang yang mahu berfikir". [al-Nahl, 16:68-69]

Analisis ayat:

Ayat ini menerangkan bahawa Allah telah memberi ilham dan memerintahkan lebah untuk membuat sarang, mencari makan, mengikut perintah dan peraturan Allah ketika menjalani kehidupan mereka di alam ini sehingga mereka boleh menghasilkan madu yang sangat bermanfaat kepada manusia. Fokus utama fakta saintifik dalam pengkhabaran ini ialah pada penggunaan kalimah "*Ittakhizi*" yang bermaksud ambillah, "*Kuli*" yang bermaksud makanlah, "*Fasluki*" yang bermaksud turutilah, "*Rabbiki*" yang bermaksud Tuhanmu dan "*Butuniha*" yang bermaksud abdomennya. Semua lima kalimah ini secara bahasa dirujuk sebagai arahan atau ditujukan kepada perempuan. Kasmo [2] mengiktiraf ayat ini sebagai isyarat daripada Allah bahawa lebah yang membuat sarang dan mencari madu adalah lebah betina. Manakala, HAMKA pula ketika menafsirkan ayat ini menyatakan bahawa ayat ini sangat menakjubkan dan menjadi bukti bahawa koloni lebah diketuai oleh seekor lebah betina yang paling dominan dan berkuasa yang digelar Ratu. Ini sesuai dengan kaedah bahasa tentang kalimah yang digunakan oleh Allah ketika memberikan ilham kepada lebah tersebut. Ini menunjukkan bahawa HAMKA ketika

menentukan jantina lebah yang dirujuk dalam ayat ini sebagai betina adalah berdasarkan kaedah bahasa dan telah memilih pendapat yang muktamad. Perkara ini boleh difahami ketika HAMKA tidak menentukan jantina semut bahkan hanya menyatakan bahawa semut ini adalah semata-mata seekor semut peninjau ketika mentafsirkan firman Allah "(*Maralah angkatan itu) hingga apabila mereka sampai di Waadin-Naml (lembah semut) berkatalah seekor semut: 'Wahai sekalian semut, masuklah ke sarang kamu masing-masing, jangan Sulaiman dan tenteranya memijak serta membinasakan kamu, sedang mereka tidak menyedari'" [al-Naml, 27:18]*. Ini kerana para ahli tafsir berbeza pendapat dalam menentukan jantina semut yang disebut di dalam ayat ini kerana perbezaan kaedah bahasa semasa menentukan makna kalimah "*Namlatun*" adakah merujuk kepada semut betina secara khusus atau semut jantan dan betina secara umum [4]. Kesimpulannya, HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini bersetuju bahawa jantina lebah di dalam ayat ini adalah betina kerana sesuai dengan makna muktamad menurut kaedah bahasa dan disesuaikan dengan dapatan sains.

3.1.4 Ayat 4: Bumi dan langit asalnya bercantum

Allah berfirman: "Dan tidakkah orang-orang kafir itu memikirkan dan mempercayai bahawa sesungguhnya langit dan bumi itu pada asal mulanya bercantum (sebagai benda yang satu), lalu Kami pisahkan antara keduanya? Dan Kami jadikan dari air tiap-tiap benda yang hidup? Maka mengapa mereka tidak mahu beriman?" [al-Anbiyaa, 21:30]

Analisis ayat:

Secara asasnya, fakta saintifik dalam ayat ini berkisar pada dua kalimah, iaitu "Ratqan" yang bermaksud "bercantum" dan "Fataqna" yang bermaksud "kami pisahkan", yang terdapat dalam potongan ayat "*Sesungguhnya langit dan bumi itu pada asal mulanya bercantum (sebagai benda yang satu), lalu Kami pisahkan antara keduanya*". Kasmo [2] menyatakan bahawa bercantum dan dipisahkan ini bermaksud pada mulanya langit dan bumi adalah satu unit, berganding satu sama lain, berlapis, dan kemudian Allah SWT memisahkannya serta menjadikan tujuh langit dan bumi. HAMKA, ketika mentafsirkan ayat ini, telah menerangkan bahawa ahli tafsir pada zaman dahulu bersetuju bahawa langit dan bumi pada mulanya adalah sekepal, bersatu padu, lekat, dan tidak terpisah; lama-kelamaan, kedua-duanya terpisah satu sama lain. Namun, mereka berbeza pendapat dalam menghuraikan proses pemisahan antara langit dan bumi sesuai dengan perkembangan ilmu iaitu, pertama, pemisahan ini melibatkan pemisahan langit menjadi tujuh lapis, bumi menjadi tujuh lapis, langit berfungsi untuk menurunkan hujan, bumi berfungsi menumbuhkan tumbuhan, kedua, pemisahan ini adalah berkait dengan kejadian matahari, bintang-bintang, kewujudan alam di dalam sistem matahari, serta teori orbit bumi dan matahari dan ketiga, berita percantuman dan pemisahan ini adalah ayat renungan semata-mata dan proses memahaminya akan sentiasa berubah dan berkembang kerana perkembangan ilmu sains. Seterusnya, HAMKA menegaskan bahawa usaha untuk memahami proses pemisahan ini sehingga memaksa dan mengaitkannya dengan sebarang teori sains yang tidak tetap dan sentiasa berubah adalah tindakan yang salah serta terpesong daripada tujuan asal ayat. Bahkan, HAMKA menjadikan ayat ini sebagai sanggahan kepada orang yang berilmu tetapi tidak mahu beriman dengan ilmunya. Kesimpulannya, HAMKA mengakui bahawa ayat ini menjadi hujah bahawa al-Quran telah mengkhabarkan satu fakta yang hebat iaitu langit dan bumi asalnya adalah satu unit yang berpadu kemudiannya dipisahkan oleh Allah SWT. Namun, HAMKA tidak mengaitkan ayat ini secara pasti dengan sebarang teori terperinci berkaitan proses pemisahan langit dan bumi, seumpama teori "*Big Bang*", kerana ia termasuk dalam teori sains yang sentiasa berkembang dan mungkin berubah.

3.1.5 Ayat 5: Haiwan darat berasal daripada air

Allah berfirman: "Dan Allah menciptakan tiap-tiap haiwan yang bergerak itu dari air; maka sebahagian di antara mereka menjalar atas perutnya, dan sebahagian di antaranya berjalan dengan dua kaki, dan sebahagian lagi berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa sahaja yang Ia kehendaki (selain dari yang tersebut), kerana sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas tiap-tiap sesuatu". [al-Nuur, 24:45]

Analisis ayat:

Secara khususnya fakta saintifik di dalam ayat ini merujuk kepada pengkhabaran daripada Allah SWT tentang asal kejadian haiwan yang bergerak iaitu "*Dan Allah menciptakan tiap-tiap haiwan yang bergerak itu dari air*". Kasmo [2] menyatakan ayat ini memberikan isyarat bahawa evolusi untuk semua organisme hidup telah benar-benar berlaku yang bermula dan berasal daripada air. Manakala HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini telah menyatakan bahawa semua haiwan yang melata semuanya adalah diciptakan oleh Allah yang berasal daripada air dan ia tidak berlaku secara kebetulan. HAMKA juga bersetuju bahawa semua ini berlaku secara evolusi tapi tidak bersetuju dan menolak teori evolusi yang dikemukan oleh Darwin kerana ia ditunjangi oleh teori naturalisme alam dan penolakan terhadap kuasa Allah. Seterusnya, HAMKA mengaitkan ayat ini dengan proses perubahan evolusi alam dengan kuasa penciptaan Allah sebagai pengatur alam dan meminta supaya penyelidikan tentang alam tetap diteruskan sehingga akhirnya. Pendapat yang sama dikemukakan oleh Zainal Abidin [1] yang menyatakan bahawa ayat ini adalah bukti semua organisme hidup adalah diciptakan, tetapi beliau telah menolak semua teori yang dikaitkan dengan evolusi kerana asasnya ialah kuasa semula jadi atau kuasa kebetulan dan menafikan kekuasaan Allah sebagai pengatur. Kesimpulannya, HAMKA bersetuju ayat ini menjadi bukti bahawa haiwan darat berasal daripada air dan ia berlaku secara evolusi yang diatur oleh Allah. Namun, HAMKA menolak kaitan ayat ini dengan teori yang tidak saintifik dan mengelirukan seperti Teori Evolusi Darwin. Sebaliknya, HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini menfokuskan kepada pengiktirafan kekuasaan Allah sebagai pengatur alam dan pengawal seluruh perubahan alam termasuklah evolusi alam.

3.1.6 Ayat 6: Bumi yang paling dekat atau paling rendah

Allah berfirman: "Orang-orang Rom telah dikalahkan. Di negeri yang dekat sekali, dan mereka sesudah kekalahannya itu akan mengalahkan lawannya". [al-Quran, 30:2-3]

Analisis ayat:

Ayat ini menerangkan bahawa bangsa Rom telah dikalahkan di suatu tempat yang disebut "*adna al-Ard*", namun akan kembali menang dalam beberapa tahun akan datang. Fokus utama fakta saintifik dalam pengkhabaran ini ialah pada kalimah "*adna al-Ard*". Kalimah ini secara bahasa mempunyai dua makna iaitu paling dekat dan paling rendah. Ibn Kathir mentafsirkan kalimah ini dengan makna paling dekat iaitu paling dekat dengan wilayah jordan, syria dan palestin [5]. Namun, perkataan '*adna*' juga bermaksud paling rendah yang berasal dari perkataan '*daniy*' yang bermaksud rendah [2]. Justeru, perkataan '*adna al-ard*' juga memberi erti kawasan yang paling rendah di muka bumi. Tafsiran ini dikira bertepatan dengan catatan sejarah dan peristiwa yang berlaku semasa peperangan antara rom dan parsi yang telah berlaku di sekitar Laut Mati yang memiliki ketinggian 260-meter dibawah aras laut. Ini bererti "*adna al-Ard*" yang disebut dalam ayat ini menjelaskan kedudukan geografi kawasan sekitar peperangan itu yang merupakan lembah terendah di muka bumi [2]. Walau bagaimanapun, HAMKA ketika mentafsirkan kalimat "*adna al-Ard*" telah memilih makna "bumi yang paling dekat" iaitu wilayah syam dan Palestin yang

bermaksud dekat dengan wilayah Nabi Muhammad SAW iaitu Mekah. HAMKA juga ketika membicarakan peristiwa kemenangan Rom ke atas Parsi ini lebih memfokuskan kepada fakta sejarah melibatkan bila dan bagaimana peristiwa ini berlaku. Bahkan, beliau sama sekali tidak mengaitkan kalimat "*adna*" dengan maksud paling rendah. Kesimpulannya, HAMKA ketika mentafsirkan kalimah "*adna al-Ard*" lebih mengutamakan makna yang selari dengan fakta-fakta sejarah iaitu "paling dekat" berbanding makna dari sudut geografi iaitu "paling rendah" walaupun kedua-dua makna adalah boleh diterima dari sudut bahasa. Ini bermakna, HAMKA tidak mengaitkan ayat ini sebagai bukti keberadaan tapak paling rendah di muka bumi.

3.1.7 Ayat 7: Kewujudan gunung yang berwarna-warni

Allah berfirman: "Tidakkah engkau melihat bahawa Allah menurunkan hujan dari langit, lalu Kami keluarkan dengan air hujan itu buah-buahan yang berlainan jenis dan rupanya, dan di antara gunung-ganang pula ada yang mempunyai jalur-jalur serta lorong-lorong putih dan merah, yang berlainan warnanya (tua dan muda), dan ada juga yang hitam legam". [al-Quran, 35:27]

Analisis ayat:

Fakta saintifik dalam ayat ini berkisar pada potongan ayat "*Dan di antara gunung-ganang pula ada yang mempunyai jalur-jalur serta lorong-lorong putih dan merah, yang berlainan warnanya (tua dan muda) dan ada juga yang hitam legam*". Ketika menjelaskan ayat ini, HAMKA mengaitkan garis putih, merah dan hitam yang terdapat pada gunung berwarna-warni dengan keadaan fizikal setiap gunung, meliputi perbezaan jenis tanah, perbezaan mineral dan logam yang terdapat di dalam gunung, termasuk emas, besi, perak, timah dan lain-lain. HAMKA seterusnya mengajak pembaca memahami konsep gunung warna-warni dengan keadaan muka bumi yang berbeza lokasi dan fenomena alam seperti gunung hijau kerana tumbuhan hijau, gunung berapi merah dan hitam kerana lahar dan api sebagaimana di Indonesia, gunung hitam pekat kerana batu granit di tanah Arab, gunung putih kerana salji di Eropah dan fenomena ketika tenggelamnya matahari yang menyebabkan gunung kelihatan berwarna-warni di Grand Canyon, Amerika. HAMKA menegaskan bahawa ayat ini merupakan seruan kepada kajian ilmu pengetahuan yang mendalam dan perbagai. Ayat ini juga merupakan ayat motivasi untuk para pengkaji bilamana beliau merumuskan ayat dengan tajuk "Ulama Merenung Alam". Kesimpulannya, HAMKA mengiktiraf ayat ini sebagai bukti saintifik kewujudan gunung berwarna-warni di bumi, serta bukti keagungan penciptaan Allah di alam ini. Seterusnya, HAMKA menyatakan ayat ini menjadi pendorong kepada kajian mendalam yang melibatkan semua ilmu pengetahuan, khususnya geologi dan geografi.

3.1.8 Ayat 8: Benih lelaki adalah penentu jantina bayi

Allah berfirman: "Dan bahawa sesungguhnya Dialah yang menciptakan pasangan – lelaki dan perempuan, Dari (setitis) air mani ketika dipancarkan (ke dalam Rahim)". [al-Najm, 53:45-46]

Analisis ayat:

Fakta saintifik di dalam ayat ini berkisar kepada sebaris ayat "*Dari (setitis) air mani ketika dipancarkan (ke dalam Rahim)*" yang telah digunakan oleh Allah SWT ketika mengkhabarkan proses kejadian dan pembentukan jantina bayi. Ketika mentafsirkan fenomena ini, HAMKA hanya menyatakan secara ringkas dengan satu penyataan "*Daripada nuthfah apabila dia menimbulkan mani*" tanpa membicarakan apakah yang dimaksudkan dengan "apabila dipancarkan", sama ada ia dikaitkan dengan lelaki atau wanita. Seterusnya, HAMKA menjelaskan bahawa *Nuthfah* ialah percampuran antara mani lelaki yang berasal daripada *Sulbi* iaitu tulang punggung lelaki dan

mani wanita yang berasal daripada *Taraib* iaitu tulang dada wanita sebagaimana yang dijelaskan oleh Allah dalam ayat 6 surah al-Tariq. Manakala, Kasmo [2] mengiktiraf ayat ini sebagai bukti bahawa lelaki adalah penentu jantina kerana perkataan "*Iza Tumna*" yang bermaksud "apabila dipancarkan" menunjukan bahawa penentuan jantina berlaku melalui proses pancaran yang hanya melibatkan benih lelaki sahaja iaitu sperma. Perkara ini disokong Zainal Abidin [1] yang menegaskan bahawa proses penentuan ini bukan semata-mata kerana hujah "apabila dipancarkan" tetapi juga pada kalimah "*Nufhfah*" yang memiliki tiga makna berbeza tetapi maksudnya saling melengkapi iaitu air mani yang sedikit atau air mani lelaki atau sperma. Kesimpulannya, HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini tidak menyatakan adakah benih lelaki menjadi penentu kepada pembentukan jantina bayi. Sebaliknya HAMKA hanya menjelaskan secara ringkas bahawa bayi terbentuk melalui perpaduan antara benih lelaki dan wanita bersesuaian dengan kaedah tafsir ayat dengan ayat dan disesuaikan pula dengan pengetahuan semasa yang beliau miliki pada zamannya. Bahkan, fokus utama HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini ialah seruan kepada ilmu dan kekuasaan Allah Yang Maha Luas.

3.1.9 Ayat 9: Cap jari adalah perekod khas untuk diri manusia

Allah berfirman: "Patutkah manusia (yang kafir) menyangka bahawa Kami tidak akan dapat mengumpulkan tulang-tulangnya (dan menghidupkannya semula)? Bukan sebagaimana yang disangka itu, bahkan Kami berkuasa menyusun (dengan sempurnanya segala tulang) jarinya (tulang yang lebih halus dari yang lain)". [al-Qiyamah, 75:3-4]

Analisis ayat:

Ayat ini menerangkan bahawa Allah akan menghidupkan semula manusia dengan mengumpulkan tulang belulang termasuklah jari jemari mereka. Fokus utama fakta saintifik dalam pengkhabaran ini ialah pada potongan ayat "*bahkan Kami berkuasa menyusun (dengan sempurnanya segala tulang) jarinya, (tulang yang lebih halus dari yang lain)" yang menggambarkan* hujung jari menjadi asas dalam proses menghidupkan semula manusia secara sempurna. Kasmo [2] mengiktiraf ayat ini sebagai bukti bahawa hujung jari mempunyai fungsi pengenalan diri yang sangat baik, melebihi tulang yang lain. HAMKA pula, ketika menafsirkan ayat ini, menyatakan bahawa hujung jari manusia tersusun, sangat halus ciptaannya, sempurna, dan berbeza. Setiap manusia, dahulu hingga sekarang akan memiliki rekod peribadi tersendiri yang berbeza berdasarkan keunikan hujung jari masing-masing yang dikenali sebagai "Sidiq Jari". Namun, ketika membicarakan bagaimana keunikan ini boleh berlaku, HAMKA menyatakan ini adalah sebahagian daripada rahsia Allah yang tidak mampu difahami oleh manusia. Bahkan HAMKA meletakkan ayat ini secara bersama dibawah tajuk "*Kekuasaan Allah Yang Maha Berkuasa*" sebagai fokus ayat dan seruan kembali kepada Allah sebagai pengatur hidup. Kesimpulannya, HAMKA mengakui bahawa ayat ini menjadi hujah bahawa hujung jari manusia memiliki fungsi yang tersendiri dan unik berkait dengan rekod peribadi manusia. Oleh kerana hujung jari manusia merupakan rahsia dan tanda keagungan ciptaan Allah SWT tidak mampu difahami sepenuhnya, maka HAMKA ketika mentafsirkan ayat ini berpada dengan dapatan sains yang sesuai dan muktamad sahaja.

Secara keseluruhannya, kajian terhadap Metodologi Tafsir HAMKA ke atas sembilan ayat-ayat saintifik ini menunjukkan bahawa beliau mengamalkan pendekatan tafsir saintifik yang berhati-hati, seimbang dan tidak melampaui kaedah yang muktamad. Beberapa ciri metodologi, fokus dan kaedah utama yang digunakan oleh HAMKA ketika mentafsirkan ayat-ayat saintifik ini dapat dirumuskan seperti berikut:

(i) Keutamaan makna menurut bahasa (linguistik Arab) sebagai asas tafsiran

HAMKA sering menjadikan makna menurut bahasa Arab, sebagaimana yang boleh dilihat pada analisis kalimah “Diya'an” dan “Nuuran” perihal sifat matahari dan bulan, kalimah “Ittakhizi”, “Fasluki” dan “Butuniha” yang dikaitkan dengan jantina lebah, serta kalimah “adna al-Ard” yang membicarakan perihal kedudukan muka bumi dalam peristiwa peperangan Rom dan Parsi, sebagai asas utama sebelum menyesuaikannya dengan dapatan sains. Ini menunjukkan bahawa sains bagi HAMKA bersifat menyokong dan mengukuhkan makna bahasa, bukan sebaliknya.

(ii) Sikap berhati-hati dan tidak berlebihan terhadap perkara ghaib atau tidak pasti

Ketika mentafsirkan ayat yang melibatkan perkara ghaib atau ayat yang mengandungi teori saintifik yang tidak boleh difahami secara nyata seperti proses pertukaran kulit di neraka, proses terperinci pemisahan langit dan bumi, dan rahsia keunikan cap jari, HAMKA secara konsisten mengelakkan spekulasi berlebihan. Beliau lebih memilih untuk berpada dengan dapatan sains yang muktamad sahaja dan menyerahkan perkara yang tidak mampu difahami akal kepada kekuasaan dan rahsia Allah SWT.

(iii) Penolakan terhadap teori sains yang bercanggah dengan akidah

HAMKA meletakan syarat penerimaan teori sains untuk dikaitkan dengan mana-mana ayat saintifik adalah tidak bercanggah dengan tauhid. Perkara ini boleh dilihat ketika beliau menerima konsep evolusi haiwan daripada air, namun menolak secara tegas teori evolusi Darwin kerana ia berteraskan naturalisme dan menafikan peranan Allah sebagai Pencipta dan Pengatur.

(iv) Memilih makna ayat atau kalimah dengan mengutamakan konteks, tujuan dan fokus ayat

Perkara ini boleh dilihat apabila HAMKA memilih makna “paling dekat”, iaitu konteks sejarah yang dikira lebih utama berbanding “paling rendah”, iaitu konteks geografi, ketika mentafsirkan peristiwa peperangan antara Rom dan Parsi kerana ia lebih sesuai dengan tujuan dan fokus ayat tersebut.

(v) Fokus dan orientasi tafsir adalah berpaksikan pendidikan dan peneguhan akidah

Semua sembilan ayat yang dianalisis menunjukkan fokus akhir HAMKA bukan sekadar mengesahkan ayat dengan teori atau fakta sains, tetapi menjadikan tafsir saintifik sebagai wasilah untuk mengagungkan kekuasaan Allah, menyeru manusia kepada keimanan, serta menggalakkan penerokaan ilmu pengetahuan.

Secara kesimpulannya, metodologi tafsir HAMKA boleh dirumuskan sebagai satu pendekatan integratif yang menggabungkan ketelitian bahasa, penerimaan sains yang selektif dan muktamad, kewaspadaan terhadap perkara ghaib, penolakan terhadap teori yang bercanggah dengan akidah, serta penekanan kepada matlamat pendidikan, peneguhan iman dan pengiktirafan kekuasaan Allah SWT berbanding sekadar pengesahan fakta sains semata-mata.

4. Cadangan Kajian

Akhir sekali, adalah dicadangkan satu kajian lanjutan dilakukan untuk membandingkan pandangan HAMKA dan tokoh lain dalam bidang tafsir saintifik antaranya ialah Dr. Mahmud Yunus menerusi kitab beliau iaitu tafsir Qur’an Karim yang menfokuskan kepada tajuk “Metodologi tafsir saintifik HAMKA dan Mahmud Yunus: Satu analisis perbandingan terhadap ayat-ayat al-Kauniyyah”.

Rujukan

[1] D. Zainal Abidin, *Quran saintifik*. PTS Publication, 2014.

[2] M. A. Kasmo, *Pengukuhan akidah menerusi penghayatan sains dalam al-Quran*. Penerbitan Awan Biru, 2007.

[3] M. R. Ismail, *Bicarawara Sains Islam*. Karya Bestari, 2016.

[4] M. W. Sempo, *Tafsir saintifik al-Quran*. Penerbit USIM, 2019.

[5] Hamka. *Tafsir al-Azhar*. Pustaka Nasional, 1982.

[6] A. H. Abdullah Basmeih, *Tafsir Pimpinan al-Rahman kepada pengertian al-Quran*. Darul Fikir, 2010.

OPERATIONAL AMPLIFIERS: A CONCEPTUAL OVERVIEW FOR ELECTRONIC ENGINEERING EDUCATION

Sharipah binti Daud*, Zunainah binti Hamid

Electrical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: sharipah@ptsb.edu.my

Abstract

This paper presents a comprehensive conceptual overview of operational amplifiers (op-amps) within electronic engineering practice and education. Fundamental principles of op-amp operation, core circuit configurations including amplification, summation, integration, and differentiation, as well as their diverse applications in signal conditioning, control systems, medical instrumentation, audio engineering, precision measurement, and industrial sectors are discussed. The paper emphasises practical understanding suitable for polytechnic-level instruction while maintaining theoretical rigour and relevance to contemporary engineering challenges. The applications highlighted encompass Malaysia's manufacturing industry, automotive systems, renewable energy, medical devices, environmental monitoring, smart instrumentation, and communications engineering.
Keywords: engineering; operational amplifiers; manufacturing; polytechnic.

1. Introduction

The operational amplifier represents one of the most versatile building blocks in modern electronic engineering [1], [2], [3]. Since its introduction in the 1960s, the operational amplifier has evolved from discrete transistor implementations to highly integrated circuits, fundamentally shaping analogue electronics design practice across diverse fields [4]. In polytechnic curricula, understanding operational amplifiers is essential because their principles apply across process control, power conversion, signal processing, medical instrumentation, and industrial automation —industries critical to global and Malaysian economic development.

This conceptual survey covers the core theoretical foundations of op-amp behaviour, practical circuit configurations, and applications in biomedical engineering, audio signal processing, precision measurement, environmental monitoring, and power systems [1], [5]. The paper targets electronics engineering instructors and advanced technical students, providing frameworks for classroom instruction while maintaining sufficient depth for practical problem-solving in laboratories, research, and industrial environments.

2. Operational Amplifier Fundamentals

2.1 Basic Operating Principle

An operational amplifier is a differential voltage amplifier integrated circuit with very high voltage gain (typically 100,000 to 1,000,000 V/V in open-loop configuration) [1]. The device has two input terminals—the inverting input (−) and non-inverting input (+)—and one output terminal. In practical applications, negative feedback is applied to establish a closed-loop configuration with well-defined gain characteristics.

The fundamental input-output relationship for an ideal op-amp is expressed as:

$V_{out} = A_{OL} (V^+ - V^-)$

where V_out is the output voltage, A_{OL} is the open-loop voltage gain, V+ is the non-inverting input voltage, and V− is the inverting input voltage. This equation represents the ideal open-loop relationship of an operational amplifier [1].

2.2 Ideal Op-Amp Characteristics

For pedagogical purposes, the ideal op-amp model possesses: (1) infinite voltage gain; (2) infinite input impedance; (3) zero output impedance; (4) zero input offset voltage; and (5) infinite bandwidth. While real op-amps deviate from these ideals, the model provides accurate analysis for most practical circuits operating below bandwidth limitations. However, finite gain-bandwidth product (GBP) also affects practical performance, particularly in high-frequency amplifier and integrator circuits [6]. The virtual short concept—where the voltage difference between inputs approaches zero under negative feedback—greatly simplifies circuit analysis and enables systematic design of complex analogue functions [2], [4].

3. Circuit Configurations and Applications

3.1 Inverting Amplifier Configuration

In the inverting configuration (Fig. 1), the signal is applied to the inverting input through resistor R_{in}, while the non-inverting input is grounded. The feedback resistor R_f connects from the output to the inverting input, yielding:

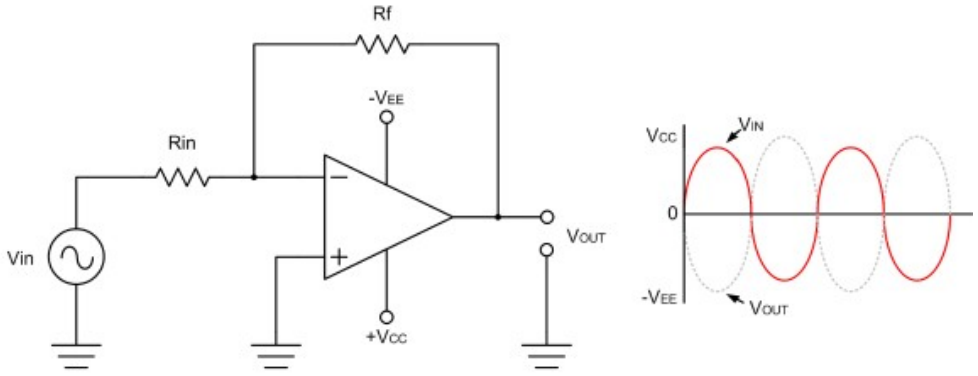


Fig. 1. Circuit configuration and phase relationship of an inverting amplifier

The gain for this amplifier is: Gain, $A_v = -R_f / R_{in}$

The gain depends only on resistor ratios, making the configuration robust for analogue signal processing. Applications include sensor signal conditioning, audio mixing consoles, and precision measurement systems [1].

3.2 Non-Inverting Amplifier Configuration

The non-inverting configuration (Fig. 2) applies input to the non-inverting terminal, yielding:

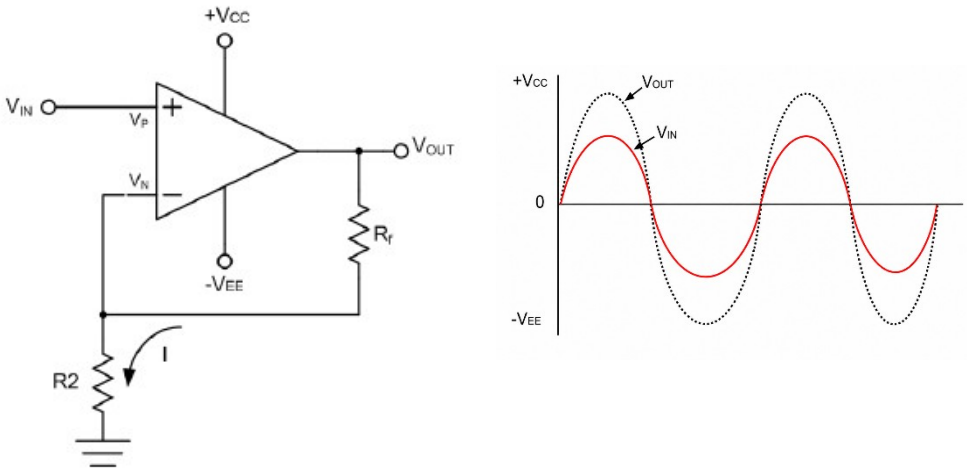


Fig. 2.

Circuit configuration and phase relationship of a non-inverting amplifier

The gain for this amplifier is: $A_v = 1 + (R_f / R_{in})$

Higher input impedance makes this configuration preferable when loading effects must be minimised. The voltage follower (unity-gain buffer) uses this topology to provide impedance isolation in multi-stage signal-conditioning chains [1].

3.3 Summing Amplifier Configuration

The summing amplifier processes multiple input signals, producing a weighted sum:

$$V_{out} = -(R_f/R_1 \times V_1 + R_f/R_2 \times V_2 + R_f/R_3 \times V_3 + ...) \text{ [4]}$$

Applications include multi-sensor data fusion, audio mixing, signal combining in measurement systems, and digital-to-analogue conversion (DAC) implementations. In biomedical engineering, summing amplifiers combine multiple physiological sensor outputs for integrated vital sign monitoring.

3.4 Integrator Circuit

The integrator replaces the feedback resistor with a capacitor, producing output proportional to the integral of the input:

$V_{out} = -(1/(R_{in} \times C_f)) \int V_{in}\, dt$ [2].

Integrators are critical in control systems (implementing the integral term in PID controllers), cumulative charge measurement, motion tracking from acceleration sensors, and charge-mode sensor interfaces. In environmental monitoring, integrators accumulate pollutant measurements over time. Medical devices employ integrators in electrocardiograph (ECG) signal processing and oxygen saturation monitoring [7].

3.5 Differentiator Circuit

The differentiator swaps resistor and capacitor positions, producing output proportional to the rate of change:

$V_{out} = -(R_f \times C_{in})\ (dV_{in}/dt)$

Differentiators enable edge detection, motion sensing from position data, and transient monitoring. In audio engineering, differentiators shape instrument responses. Practical implementations include a series input capacitor and a parallel feedback resistor to limit bandwidth and suppress noise amplification [2].

Table 1. Comparison of common operational amplifier configurations

Configuration	Voltage Gain	Phase Relationship	Typical Applications
Inverting	−Rf/Rin	180° phase shift	Signal conditioning, audio amplifiers
Non-inverting	1 + (Rf/Rin)	In phase	Buffer amplifier, impedance matching
Summing	Weighted sum	180° phase shift	Audio mixer, sensor fusion
Integrator	Output proportional to ∫Vin dt	90° lag	PID controllers, waveform generation
Differentiator	Output proportional to dVin/dt	90° lead	Edge detection, pulse shaping

Note. Compiled and adapted by the authors based on Sedra and Smith [1], Jung [4], and Horowitz and Hill [2].

The configurations summarised in Table 1 are fundamental building blocks for numerous analogue circuit applications across engineering disciplines discussed in the following section.

4. Applications Across Engineering Disciplines

4.1 Biomedical and Medical Engineering

Operational amplifiers form the analogue front-end of virtually all patient monitoring equipment [7]. In electrocardiography (ECG), precision instrumentation amplifiers (which employ op-amps as core building blocks) amplify millivolt-scale cardiac signals while rejecting common-mode noise and powerline interference. Integrators accumulate ECG derivatives to compute rates [8], [9]. In pulse oximetry, op-amps condition photodiode signals from red and infrared light-emitting diodes. Blood pressure monitors use op-amps to condition signals from pressure transducers. Implantable medical devices—pacemakers, neurostimulators, drug delivery pumps—use ultra-low-power op-amp variants (such as the OPAx333 family) [10] that consume microamps during standby. Neural recording systems employ specialised high-impedance op-amp input stages to interface with microelectrode arrays.

4.2 Audio Engineering and Acoustics

Professional audio systems depend extensively on op-amp circuit design. Microphone preamplifiers use non-inverting configurations with carefully selected devices (such as the NE5532) that have very low noise floors, which are essential for recording applications [4]. Audio mixing consoles employ summing amplifiers to combine signals from multiple microphone channels. Equalisation circuits [2] use active filters that shape first-, second-, and higher-order responses, with op-amps as core elements. Compressors and limiters employ op-amps in signal path and control circuitry. Phase shifters, delay lines, and spatial processing effects rely on op-amp integrators and differentiators. Modern digital audio interfaces employ precision op-amps in anti-aliasing filters before analogue-to-digital conversion and reconstruction filters after digital-to-analogue conversion.

4.3 Precision Measurement and Instrumentation

Laboratory and industrial instrumentation systems demand precision op-amps with very low input offset voltage (microvolts), extremely low input bias currents (picoamps), and high gain-bandwidth products. Bridge amplifiers employing instrumentation amplifier topologies (built from precision op-amps) interface with resistance temperature detectors (RTDs), strain gauges, and pressure transducers [9]. Precision current-to-voltage converters (transimpedance amplifiers) employ very high-value feedback resistors with op-amps, enabling measurement of picoamp-scale photodiode currents in optical instruments. Integrating analogue-to-digital converters employ op-amp integrators for accurate charge integration [11]. Lock-in amplifiers use precision op-amps in synchronous demodulation stages to extract small signals buried in noise. High-resolution digital multimeters use op-amp-based signal conditioning stages before delta-sigma analogue-to-digital converters.

4.4 Environmental and Industrial Monitoring Systems

Environmental monitoring networks employ distributed sensor nodes with op-amp signal conditioning. pH sensors require logarithmic amplifier stages that use op-amps with diodes in feedback paths to convert millivolt-scale electrochemical potentials into digital-friendly signal levels [12]. Dissolved oxygen sensors, conductivity probes, and turbidity sensors all employ op-amp-based transducer interfaces. Air quality monitoring stations use op-amp signal conditioning for electrochemical gas sensors that detect nitrogen oxides, ozone, and particulate matter. Water quality monitoring systems integrate op-amp summing amplifiers to combine outputs from multiple sensor elements. Long-distance transmitter circuits use current-mode op-amp outputs to drive four-to-twenty mA loops standard in industrial process control.

4.5 Power Supply and Voltage Regulation

Op-amps serve critical functions in power supply design beyond simple linear regulators. Error amplifiers in switching power supplies compare the feedback voltage to a reference and drive PWM (pulse-width modulation) circuits [5]. Programmable power supplies employ op-amp digital-to-analogue converter (DAC) output stages and summing feedback networks to implement precision voltage and current programming. Battery management systems employ op-amp current-sense amplifiers to monitor charge and discharge currents, enabling accurate state-of-charge estimation. Precision current sources employ op-amps with precision current-setting resistors to implement Howland pump circuits and related topologies. Uninterruptible power supply (UPS) systems use op-amps in inverter feedback control circuits and voltage-regulation loops.

4.6 Communications and Signal Processing

In communications systems, op-amps perform critical analogue signal-processing functions. Baseband filter circuits employ active filters (Sallen-Key topology and multiple-feedback configurations) built from op-amps for channel selection and anti-aliasing [13]. Transceiver circuits use op-amp front-end stages for received-signal amplification and automatic gain control (AGC). Quadrature mixers use summing amplifiers and integrators to generate and demodulate I/Q (in-phase/quadrature) signals. Phase-locked loops (PLLs) use op-amps in voltage-controlled oscillator (VCO) integrator stages and loop-filter implementations. Software-defined radio (SDR) systems use precision op-amps in anti-aliasing and reconstruction filter stages that interface with analogue-to-digital and digital-to-analogue converters.

4.7 Malaysian Industrial and Manufacturing Applications

Malaysia's manufacturing and technology sectors extensively employ op-amp-based circuits. Semiconductor fabrication facilities use precision analogue front-ends with summing amplifiers for wafer inspection and process-parameter monitoring. Automotive component suppliers use op-amps in engine control units and advanced driver assistance systems for sensor signal conditioning, integrators that compute cumulative acceleration, and differentiators that detect velocity changes. Renewable energy systems (solar inverter control and energy management) utilise op-amps for voltage/current sensing and feedback regulation, with integrators tracking cumulative charge transfer and differentiators monitoring instantaneous power flow. Industrial IoT applications use op-amp signal-conditioning stages integrated with microcontroller analogue-to-digital conversion, reflecting the continuing importance of analogue front-end circuits in modern sensing and data-conversion systems [14], [3]. Chemical and petrochemical facilities use op-amp instrumentation for pH sensing, temperature measurement, and flow-rate computation, with integrators performing mass-balance calculations in continuous production systems.

5. Practical Considerations and Limitations

Real operational amplifiers deviate from ideal models in several important ways. Finite bandwidth limits frequency response; slew rate limitations affect high-frequency signal fidelity; input offset voltage produces output errors (particularly problematic in integrators and precision measurement applications); output impedance creates loading effects; input bias currents cause drift in integrators requiring compensation [4]. Instructors should guide students to consult device datasheets and evaluate whether ideal assumptions hold for specific applications [8].

Device selection [8], [10] depends critically on application requirements. Single-supply op-amps (LM358, TL072, OPA2333 families) suit low-power and portable applications. Precision op-amps (OPA2277, OP07, LT1013) with microvolt offset voltage enable high-accuracy measurement. Rail-to-rail input/output devices maximise dynamic range in single-supply systems. Chopper-stabilised amplifiers (OPA2333, ADA4051) eliminate offset-voltage drift with temperature. Very low noise amplifiers (NE5532, OPA2134) serve audio and sensitive measurement applications. Transimpedance amplifiers (OPA128, TIA topology devices) interface with photodiodes and other high-impedance sensors. Instrumentation amplifiers (INA128, AD8221) provide integrated precision differential amplification with common-mode rejection [8], [10].

6. Conclusion

Operational amplifiers remain fundamental building blocks across electronic engineering disciplines [1], [2]. From biomedical instrumentation to audio processing, from precision

measurement to power systems, from environmental monitoring to communications—op-amp circuits provide essential analogue signal processing functionality. A comprehensive understanding of op-amp fundamentals, circuit configurations, and practical device characteristics prepares polytechnic graduates for technical careers spanning diverse industries.

This survey outlined theoretical frameworks and identified key application domains across biomedical, audio, measurement, environmental, power, communications, and manufacturing engineering sectors. Students progressing from introductory instruction should engage in hands-on laboratory work to validate theoretical predictions through measurement, optimise circuit performance through component selection, and develop intuition for real-device behaviour. Such grounded technical education aligns polytechnic missions with industry needs and supports career development across multiple engineering specialisations [4], [5].

References

[1] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronic circuits* (8th ed.). Oxford University Press, 2020.

[2] P. Horowitz and W. Hill, *The art of electronics* (3rd ed.). Cambridge University Press, 2015.

[3] Y. Chae, C. Mora Lopez, K. A. A. Makinwa, M. Ortmanns, and W. Sansen, “A glimpse of the history of analog ICs: A tale of amplifiers, data converters, and sensor interfaces,” *IEEE Solid-State Circuits Magazine,* vol. 15, no. 3, pp. 43–52, 2023 (DOI: 10.1109/MSSC.2023.3282557).

[4] W. Jung, *Op amp applications handbook* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann, 2018.

[5] M. H. Rashid, *Power electronics handbook* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann, 2017

[6] P. V. A. Mohan, “On the effect of operational amplifier gain-bandwidth product on the performance of basic building blocks,” *IETE Journal of Education,* vol. 63, no, 1, pp. 38–49, 2022 (DOI: 10.1080/09747338.2021.2008276).

[7] J. Grout and D. Donovan, “Medical device design and biomedical signal processing,” *IEEE Biomedical Engineering Magazine,* vol. 23, no. 4, pp. 34–48, 2019.

[8] Texas Instruments. *LM358 low power dual operational amplifier* (Datasheet No. SNOSC27J, Rev. J), 2018, October, https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf

[9] C. Kitchin and L. Counts, *A designer's guide to instrumentation amplifiers* (3rd ed.). Analog Devices, 2026.

[10] Analog Devices, *OPA2333 precision, rail-to-rail input/output operational amplifier* (Rev. D), 2019, https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/opa2333.pdf

[11] Analog Devices, *Op amp signal conditioning for photodiode transimpedance amplifiers* (Application Note MT-057, Rev. B), 2017 https://www.analog.com/media/en/training/tutorials/MT-057.pdf

[12] B. U. Perera, “Smart sensor networks for environmental monitoring: Design and implementation challenges,” *International Journal of Environmental Science and Technology,* vol. 16, no.12, pp. 7891–7906, 2019.

[13] L. D. Paarmann, *Design and analysis of analog filters: A signal processing perspective* (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers, 2001.

[14] A. Srivastava and R. Trivedi, “Sensor signal conditioning with op-amps for industrial IoT applications,” *IEEE Industrial Electronics Magazine,* vol. 14, no. 2, pp.45–56, 2020.

PEMBANGUNAN SISTEM KAWALAN HIBRID IOT–PLC MENGGUNAKAN RASPBERRY PI IRIV DAN PLC OMRON BAGI RUMAH PENGERINGAN Q-DRY

Khairul Azhar bin Abd Aziz[1]*, Ahmad Sabri bin Mohamed[1], Imran bin Ismail[1], Muhd Muslim bin Abu Bakar[2], Mohamad Hafaif bin Murad[2]

[1]Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah
[2]Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Seberang Perai, 13500 Permatang Pauh, Pulau Pinang

*Corresponding author e-mail address: khairulazhar@ptsb.edu.my

Abstrak

Naskhah Al-Quran yang rosak akibat banjir perlu dikeringkan dalam keadaan bersih dan terkawal sebelum pelupusan mengikut prosedur taharah. Kertas ini menumpukan sistem kawalan hibrid IoT–PLC bagi Rumah Pengeringan Q-DRY yang telah dilaksanakan di Maahad Tahfiz Ibnu Sina. Pi Industrial Controller (IRIV) mengesan suhu dan kelembapan melalui penderia *Humid-Temp* perindustrian serta menjalankan Node-RED, yang mengalirkan bacaan melalui HTTP ke perkhidmatan awan/web dan pangkalan data SQL (jadual Sensors dan Setpoints); satu peringkat pemprosesan AI membaca pangkalan data dan menghantar arahan, manakala PLC Omron melaksanakan kawalan berketentuan menerusi logik tangga bagi memacu dua pemanas 800 W, dua kipas 60 W dan satu kipas ekzos keselamatan. Titik set (System_Enabled, Heater1/2_Enabled, Fan1_Enabled, Exhaust_fan, Fan_On_After, Threshold) boleh ditetapkan melalui papan pemuka IoT. Data eksperimen daripada lima penderia menunjukkan sistem meningkatkan suhu purata ruang daripada 28.07 °C kepada 37.99 °C dan menurunkan kelembapan relatif daripada 73.36 % kepada 46.40 %, seterusnya melanjutkan jam pengeringan berkesan daripada 4.39 kepada 9.43 jam/hari (+115 %; ujian-t Welch, $t = 6.441$, $p < 0.001$, $d = 1.76$). Seni bina ini menggabungkan penyeliaan IoT yang telus dengan penggerakan PLC yang berketentuan dan boleh diulang.
Kata Kunci: *Internet of Things*; kawalan; PLC; pengeringan.

1. Pengenalan

Bencana banjir kerap merosakkan naskhah Al-Quran, meninggalkan helaian yang basah, tercemar dan rapuh. Undang-undang Islam membenarkan pelupusan naskhah yang rosak tidak dapat dipulihkan melalui pengebumian atau pembakaran terkawal, tetapi pengeringan yang menyeluruh diperlukan terlebih dahulu bagi memastikan pengendalian yang selamat dan menepati prinsip kebersihan (taharah). Kaedah pengeringan tradisional yang bergantung pada dedahan udara terbuka terdedah kepada perubahan cuaca dan tidak mempunyai kawalan terhadap suhu serta kelembapan.

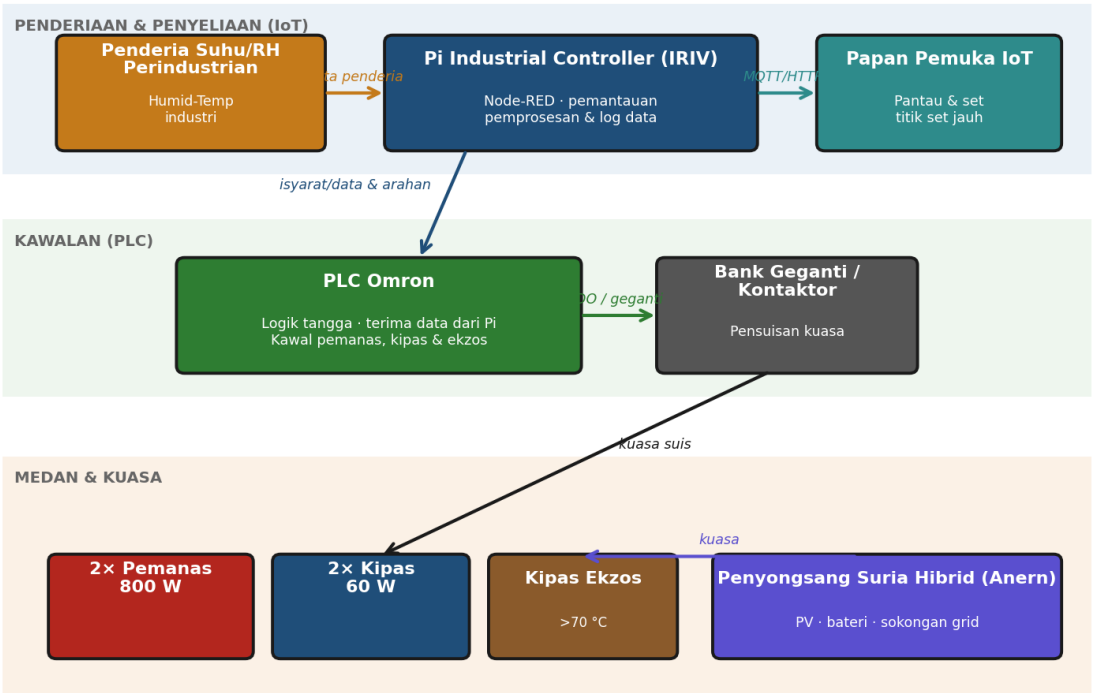
Kemajuan dalam penderiaan dan kawalan berasaskan Internet Benda (IoT) telah banyak diterapkan dalam pengeringan suria. Kebanyakan sistem sedia ada menumpukan pemantauan dan pengelogan data melalui protokol seperti MQTT dan Node-RED [1], pemantauan kualiti bersepadu PV [2], serta pemantauan jarak jauh menggunakan pengawal mikro dan LoRa [3]. Sebahagiannya turut memodelkan kandungan lembapan bagi ramalan proses [4] dan memilih titik set menerusi pembelajaran mendalam [5]. Walaupun sistem ini menyerlahkan nilai pemantauan masa nyata, kebanyakannya menekankan pemerhatian dan bukan penggerakan berketentuan (deterministik) yang boleh dipercayai [6].

Kertas ini memfokuskan sub-sistem kawalan Rumah Pengeringan Q-DRY, iaitu seni bina hibrid yang mana Pi Industrial Controller (IRIV) bertindak sebagai pengawal penyelia untuk penderiaan, pemantauan dan pengelogan berasaskan Node-RED, manakala PLC Omron melaksanakan pensuisan geganti yang berketentuan bagi pemanas dan kipas [7]. Objektif kajian ialah untuk (i) mereka bentuk seni bina kawalan hibrid IoT–PLC serta aliran datanya; (ii) melaksanakan strategi kawalan berasaskan ambang suhu dan kelembapan menerusi logik tangga PLC; (iii) menilai keupayaan sistem meregulasi suhu dan kelembapan serta melanjutkan jam pengeringan berkesan; dan (iv) mengesahkan penambahbaikan prestasi secara statistik.

2. Metodologi

2.1 Seni Bina Kawalan Hibrid IoT–PLC

Seni bina sistem kawalan ditunjukkan dalam Rajah 1. Pada lapisan penderiaan dan penyeliaan, penderia suhu/kelembapan perindustrian (*Humid-Temp*) disambungkan kepada Pi Industrial Controller (IRIV) yang menjalankan Node-RED untuk pemerolehan, pemprosesan dan pengelogan data. Pada lapisan kawalan, PLC Omron menerima isyarat/data suhu daripada Pi Industrial Controller dan melaksanakan pensuisan geganti secara berketentuan. Pada lapisan medan, dua pemanas elektrik 800 W, dua kipas edaran dinding 16 inci (60 W) dan satu kipas ekzos keselamatan dipasang di dalam ruang bata 10 × 10 × 5 m (500 m³), dengan kuasa dibekalkan oleh penyongsang suria hibrid Anern. Sistem ini telah dilaksanakan di Maahad Tahfiz Ibnu Sina. Spesifikasi utama diringkaskan dalam Jadual 1.



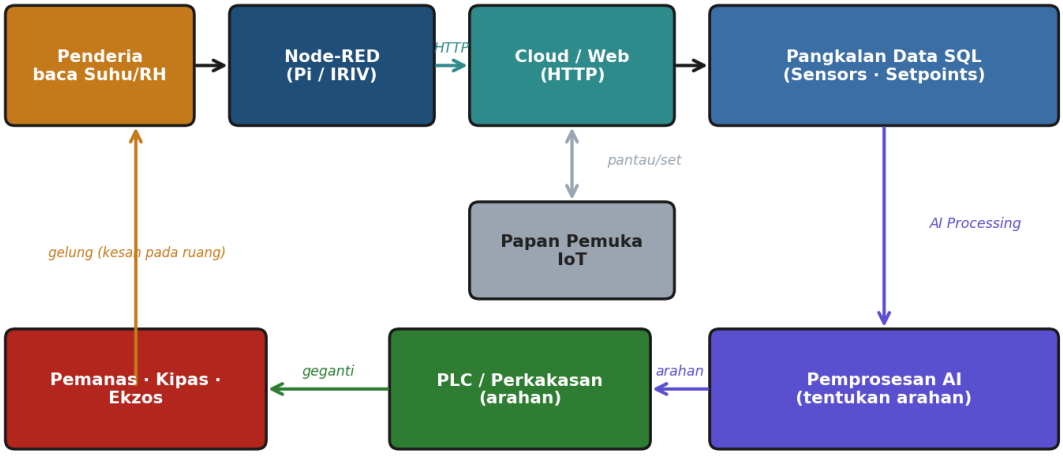
Rajah 1. Seni bina kawalan hibrid IoT–PLC rumah pengeringan Q-DRY (Pi Industrial Controller/IRIV sebagai penyelia; PLC Omron sebagai pengawal berketentuan)

Jadual 1. Spesifikasi utama sistem kawalan hibrid IoT–PLC

Komponen	Spesifikasi
Pengawal penyelia dan IoT	Pi Industrial Controller (IRIV) — penderia *Humid-Temp* perindustrian, menjalankan Node-RED, pemantauan dan pengelogan data
Pengawal kawalan (PLC)	Omron — logik tangga (*ladder*), pensuisan geganti pemanas, kipas dan ekzos
Middleware dan data	Node-RED, perkhidmatan *Cloud/Web* (HTTP), pangkalan data SQL (jadual Sensors dan Setpoints), pemprosesan AI
Penderia	Penderia suhu/kelembapan perindustrian (jenis TEMP_HUMID), 5 lokasi teragih, sela rakaman 1 jam
Penggerak	2× pemanas elektrik 800 W; 2× kipas edaran 16 inci, 60 W; 1× kipas ekzos keselamatan
Kuasa	Penyongsang suria hibrid Anern (PV, bateri, sokongan grid)
Ruang pengeringan	Struktur bata, 10 × 10 × 5 m (500 m^3), bumbung melengkung
Lokasi pelaksanaan	Maahad Tahfiz Ibnu Sina
Strategi kawalan	Julat suhu 39–70 °C (FAN_ON); ambang ekzos 75 °C; *Heater Cycle* 15 min; *Fan On After Heater* 10 min; kelembapan 15–30 % (DEHUMIDIFIER_ON)
Syarat pengeringan berkesan	T ≥ 35 °C dan RH ≤ 45 %

2.2 Aliran Data dan Integrasi IoT

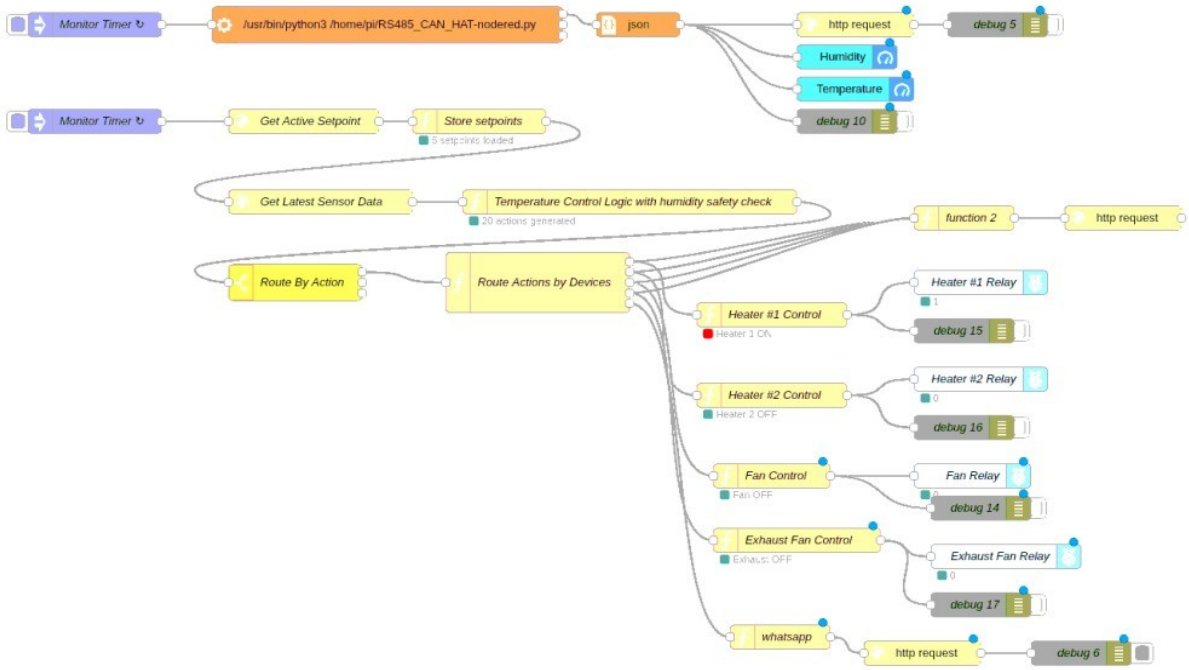
Aliran data sistem ditunjukkan dalam Rajah 2 dan beroperasi sebagai gelung tertutup: (1) penderia membaca suhu/kelembapan yang dibaca oleh Node-RED pada Pi Industrial Controller; (2) Node-RED mengalirkan bacaan melalui HTTP ke perkhidmatan awan/web dan menyimpannya ke pangkalan data SQL; dan (3) peringkat pemprosesan AI membaca pangkalan data dan menghantar arahan kepada perkakasan, yang dilaksanakan oleh PLC. Pangkalan data mengandungi jadual Sensors dan Setpoints seperti diringkaskan dalam Jadual 2. Titik set dan bendera kawalan — System_Enabled, Heater1_Enabled, Heater2_Enabled, Fan1_Enabled, Exhaust_fan, Fan_On_After dan Threshold — boleh dipantau dan ditetapkan dari jarak jauh melalui papan pemuka IoT. Pengaturcaraan aliran kawalan dilakukan dalam Node-RED menggunakan nod berasingan bagi *Heater #1*, *Heater #2*, Fan dan *Exhaust Fan* (Rajah 3), manakala paparan pemantauan dan penetapan titik set ditunjukkan dalam Rajah 4.



Rajah 2. Aliran data dan gelung kawalan IoT: penderia → Node-RED → *Cloud/Web* (HTTP) → pangkalan data SQL → pemprosesan AI → arahan PLC → penggerak

Jadual 2. Skema pangkalan data SQL sistem Q-DRY

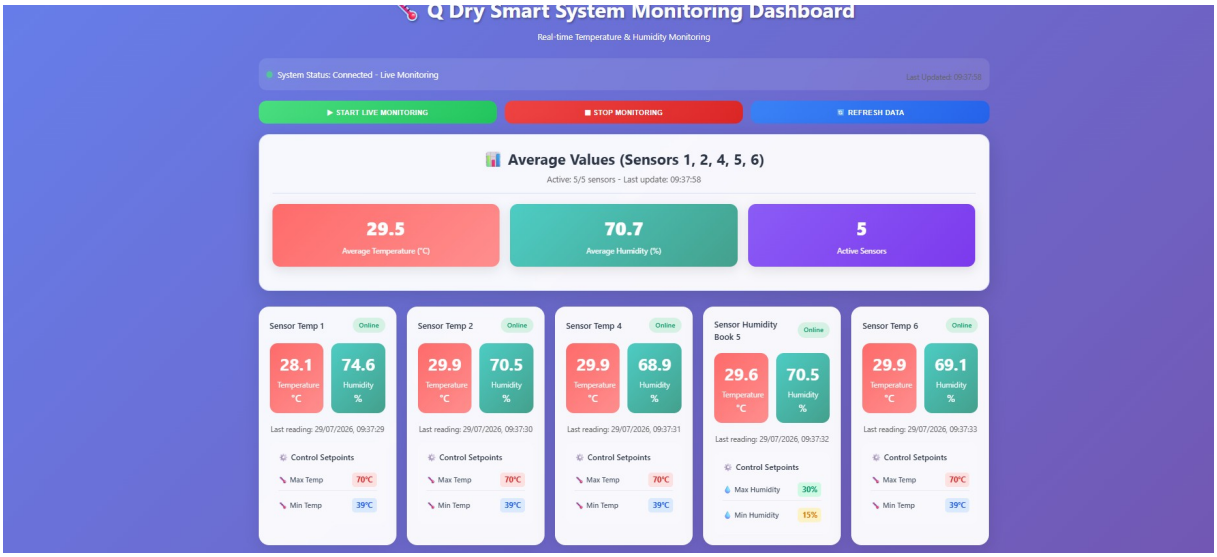
Jadual	Medan utama	Keterangan
Setpoints	System_Enabled, Heater1_Enabled, Heater2_Enabled, Fan1_Enabled, Exhaust_fan, Fan_On_After, Threshold, created_at	Titik set dan bendera kawalan yang boleh ditetapkan melalui papan pemuka IoT
Sensors	sensor_id, sensor_name, sensor_location, sensor_type (TEMP_HUMID), is_active, created_at, updated_at	Metadata dan status penderia suhu/kelembapan teragih



Rajah 3. Aturcara Node-RED bagi kawalan *Heater #1*, *Heater #2*, Fan dan *Exhaust Fan*

2.2.1 Antara Muka Pemantauan dan Kawalan IoT

Antara muka atas talian dilaksanakan sebagai aplikasi web (Q Dry Smart System) yang boleh diakses melalui pelayar web. Papan pemuka pemantauan (Rajah 4) memaparkan status sistem, suhu dan kelembapan setiap penderia secara masa nyata, nilai purata, serta titik set kawalan (Max/Min Temp) bagi setiap kad penderia, dengan butang untuk memulakan, menghentikan dan menyegarkan semula pemantauan secara langsung. Enam penderia jenis TEMP_HUMIDITY digunakan (lima aktif; Sensor Temp 3 tidak aktif), diletakkan di lokasi berbeza dalam ruang pengeringan seperti disenaraikan dalam Jadual 3.



Rajah 4. Papan pemuka pemantauan IoT Q Dry Smart System (suhu/kelembapan masa nyata bagi setiap penderia)

Jadual 3. Senarai dan lokasi penderia (dari modul *admin* Sensors)

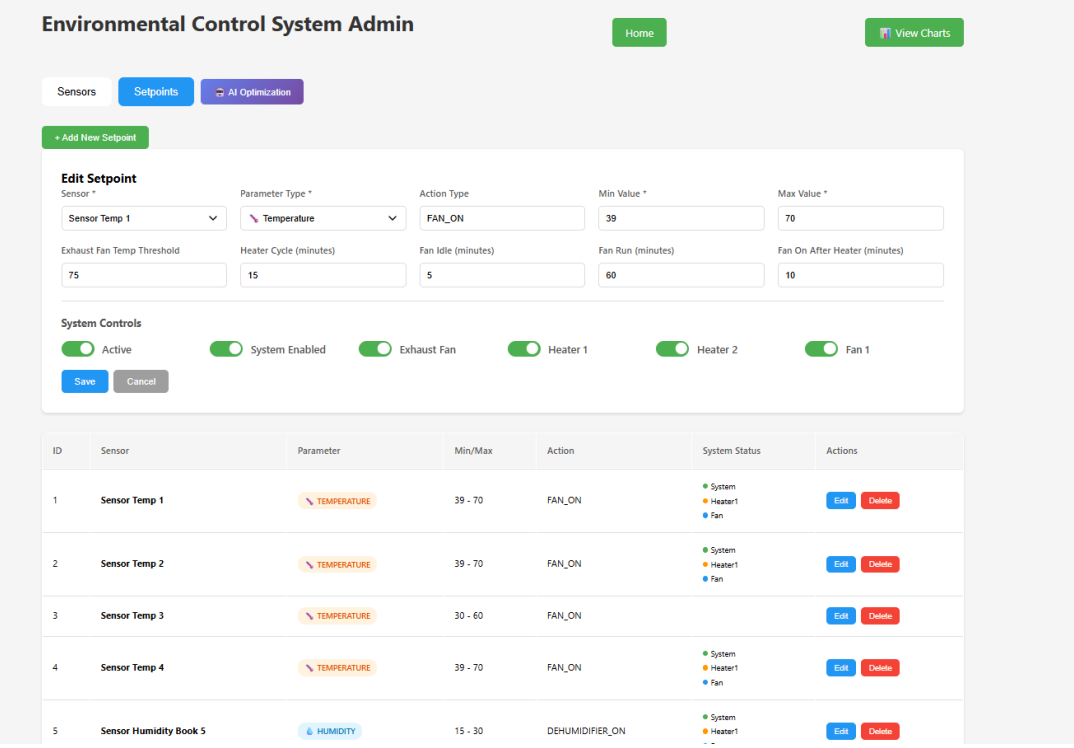
ID	Nama penderia	Lokasi	Status
1	Sensor Temp 1	*Drying Chamber* 1 – *Top Right*	Aktif
2	Sensor Temp 2	*Drying Chamber* 1 – *Centre*	Aktif
3	Sensor Temp 3	*Drying Chamber* 1 – *Bottom Left*	Tidak aktif
4	Sensor Temp 4	*Drying Chamber* 1	Aktif
5	Sensor Humidity Book 5	*Drying Chamber* 2 – *Humidity/Inside Book*	Aktif
6	Sensor Temp 6	*Drying Chamber* 1	Aktif

Jadual 4. Parameter titik set dan kawalan sebenar (dari sistem *Edit Setpoint*)

Parameter kawalan	Nilai (dari antara muka *admin*)
Julat suhu (Min–Max)	39–70 °C — FAN_ON
Julat kelembapan (Book 5)	15–30 % — DEHUMIDIFIER_ON
Ambang suhu kipas ekzos	75 °C
Kitaran pemanas (*Heater Cycle*)	15 minit
Fan Idle	5 minit
Fan Run	60 minit
Fan On After Heater	10 minit
Kawalan sistem (toggle)	*System Enabled*, *Exhaust Fan*, *Heater 1*, *Heater 2*, *Fan 1*

Modul *admin* (*Environmental Control System Admin*) membenarkan pengguna menetapkan titik set dan kawalan sistem dari jarak jauh, serta menyediakan tab AI *Optimization*. Bagi penderia

suhu, tindakan FAN_ON dicetuskan dalam julat 39–70 °C, manakala bagi penderia kelembapan (Book 5) tindakan DEHUMIDIFIER_ON dicetuskan dalam julat 15–30 %. Borang tetapan (Rajah 5) turut mendedahkan parameter masa kawalan dan suis kawalan sistem, seperti diringkaskan dalam Jadual 4.



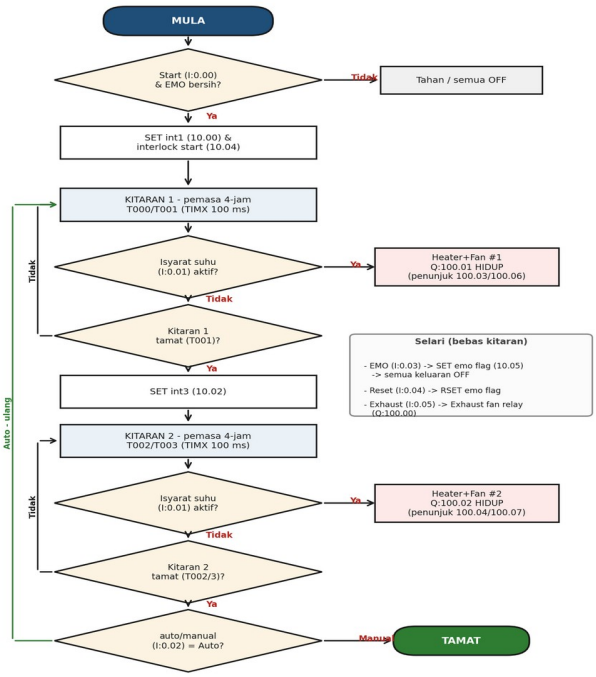
Rajah 5. Modul *admin* — borang *Edit Setpoint* dan kawalan sistem (titik set, ambang, dan suis Heater/Fan/Exhaust)

2.3 Logik Kawalan PLC

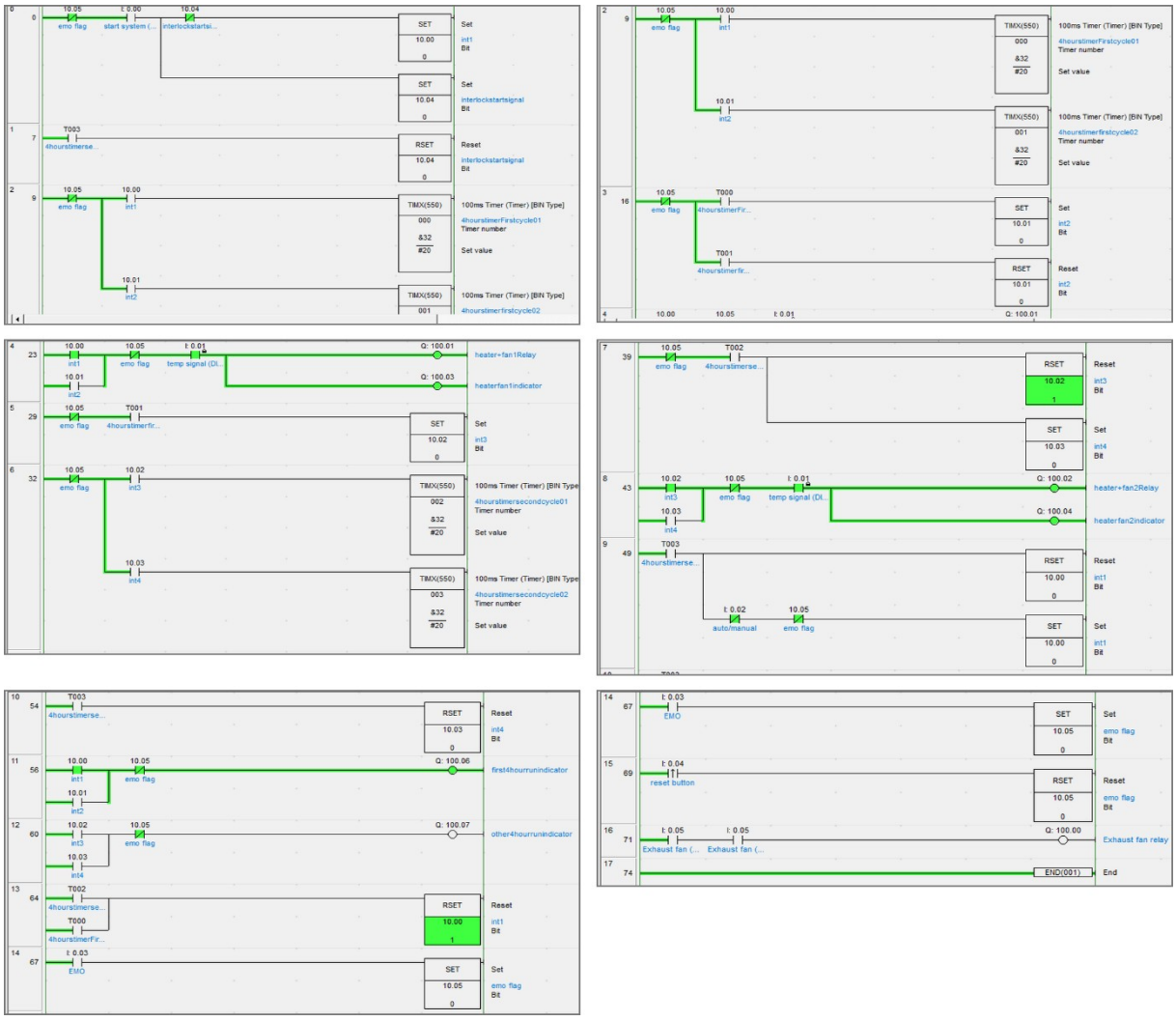
Program tangga (*ladder*) sebenar yang dibangunkan untuk PLC (dipasang di Maahad Tahfiz Ibnu Sina) ditunjukkan dalam Rajah 7 dan diringkaskan sebagai carta alir dalam Rajah 6. Apabila butang *start* (I:0.00) ditekan dan isyarat kecemasan (EMO) bersih, *relay* dalaman int1 (10.00) dan isyarat selak-mula *interlock* (10.04) di-SET untuk memulakan urutan. Sistem beroperasi dalam dua kitaran pemanasan 4 jam yang berselang-seli: kitaran pertama dikawal oleh pemasa T000/T001 dan menghidupkan *relay* pemanas+kipas kumpulan 1 (Q:100.01) apabila isyarat suhu (I:0.01) aktif, manakala kitaran kedua dikawal oleh pemasa T002/T003 dan menghidupkan *relay* pemanas+kipas kumpulan 2 (Q:100.02). Peralihan antara kitaran diuruskan oleh *relay* dalaman int2–int4 (10.01–10.03) dan pemasa TIMX(550) berasaskan 100 ms, dengan penunjuk larian Q:100.06 dan Q:100.07 menandakan kitaran yang aktif. Isyarat suhu (I:0.01) dan cetusan kipas ekzos (I:0.05) diperoleh daripada penilaian ambang — pemanas dalam julat suhu 39–70 °C dan ekzos apabila suhu melebihi 75 °C — berdasarkan data penderia. Keselamatan dikendalikan secara bebas kitaran: menekan EMO (I:0.03) meng-SET bendera EMO (10.05) dan mematikan semua keluaran, manakala butang reset (I:0.04) meng-RSET bendera tersebut; kipas ekzos (Q:100.00) dikawal terus oleh isyarat I:0.05, dan suis auto/manual (I:0.02) menentukan sama ada kitaran diulang secara automatik. Pemetaan lengkap isyarat I/O diberikan dalam Jadual 5.

Jadual 5. Pemetaan isyarat I/O PLC Omron

Isyarat	Jenis	Alamat	Fungsi
Start system	Input	I:0.00	Mulakan kitaran kawalan
Isyarat suhu (*temp signal*)	Input	I:0.01	Benarkan pemanas+kipas apabila suhu di bawah titik set
Auto / Manual	Input	I:0.02	Pilih mod ulangan kitaran automatik
EMO (kecemasan)	Input	I:0.03	Hentikan sistem (SET emo *flag*)
Reset button	Input	I:0.04	RSET emo *flag* (mula semula)
Exhaust fan (isyarat)	Input	I:0.05	Cetus kipas ekzos apabila suhu tinggi
Heater+Fan #1 relay	Output	Q:100.01	Pemanas dan kipas kumpulan 1
Heater+Fan #2 relay	Output	Q:100.02	Pemanas dan kipas kumpulan 2
Penunjuk *Heater/Fan 1*	Output	Q:100.03	Penunjuk kumpulan 1
Penunjuk *Heater/Fan 2*	Output	Q:100.04	Penunjuk kumpulan 2
Penunjuk kitaran pertama	Output	Q:100.06	*first 4-hour run indicator*
Penunjuk kitaran kedua	Output	Q:100.07	*Other 4-hour run indicator*
Exhaust fan relay	Output	Q:100.00	Kipas ekzos keselamatan
int1 – int4	Dalaman	10.00–10.03	*Relay* dalaman urutan kitaran
interlock start signal	Dalaman	10.04	Selak permulaan (SET/RSET)
emo *flag*	Dalaman	10.05	Bendera kecemasan
T000 – T003 (TIMX 550)	Pemasa	—	Pemasa kitaran 4-jam (asas 100 ms)



Rajah 6. Carta alir logik kawalan dua-kitaran berketentuan PLC Omron (berdasarkan program tangga sebenar)



Rajah 7. Gambar rajah tangga (*ladder*) program PLC Omron — Maahad Tahfiz Ibnu Sina (dibaca kiri→kanan, atas→bawah; *rung* 0–17)

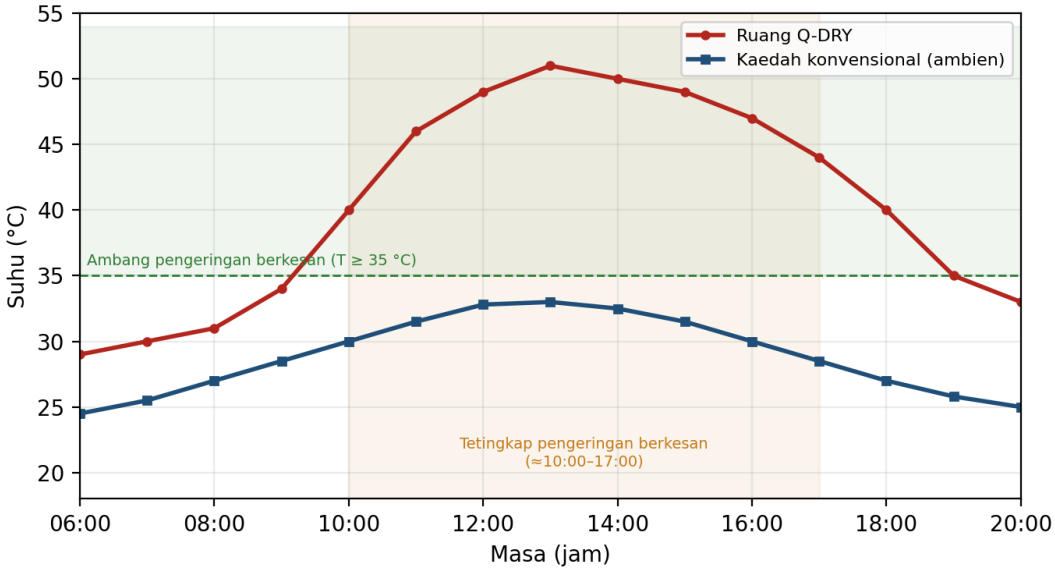
2.4 Takrif Pengeringan Berkesan dan Pemerolehan Data

Pengeringan berkesan ditakrifkan berdasarkan keadaan ambang T ≥ 35 °C dan RH ≤ 45 %; tempoh pengeringan berkesan harian dikira dengan menjumlahkan bilangan jam yang memenuhi kedua-dua syarat ini. Data suhu dan kelembapan relatif dikumpul menggunakan lima penderia yang tersebar dan direkodkan setiap jam sepanjang tempoh pemantauan pada Januari 2026. Prestasi sistem kawalan kemudian dinilai dengan membandingkan tingkah laku suhu, kelembapan dan jam pengeringan berkesan antara mod konvensional (pasif) dan mod Q-DRY (kawalan IoT–PLC).

3. Keputusan dan Perbincangan

3.1 Regulasi Suhu

Rajah 8 memaparkan profil suhu setiap jam bagi ruang Q-DRY berbanding persekitaran ambien konvensional. Dalam keadaan konvensional, suhu ambien meningkat beransur pada waktu pagi dan mencapai maksimum kira-kira 31–33 °C sebelum menurun semula, kekal dalam julat tropika biasa dan tidak mencapai paras yang sesuai untuk pengeringan cekap. Sebaliknya, apabila kitaran pemanasan diaktifkan oleh PLC, suhu ruang meningkat pantas sekitar 09:00–10:00 dan mencapai puncak antara 47 °C dan 51 °C pada tengah hari. Secara keseluruhan, sistem kawalan mengekalkan suhu purata ruang pada 37.99 ± 1.69 °C berbanding 28.07 ± 0.46 °C bagi ambien (peningkatan kira-kira 35 %), iaitu 10–20 °C lebih tinggi daripada ambien sepanjang kebanyakan tempoh pengeringan.



Rajah 8. Perbandingan profil suhu setiap jam antara ruang Q-DRY dengan kaedah konvensional

3.2 Regulasi Kelembapan

Selari dengan peningkatan suhu, sistem menurunkan kelembapan relatif kepada kira-kira 25–35 % semasa tempoh pemanasan, dengan purata 46.40 ± 3.31 % dan minimum menghampiri 23 % pada fasa pengalihudaraan, berbanding purata 73.36 ± 4.57 % dalam keadaan konvensional (penurunan kira-kira 37 %). Gabungan suhu yang lebih tinggi dan kelembapan yang lebih rendah ini mewujudkan tetingkap pengeringan yang berkesan pada waktu tengah hari, lazimnya antara 10:00 hingga 17:00.

3.3 Jam Pengeringan Berkesan

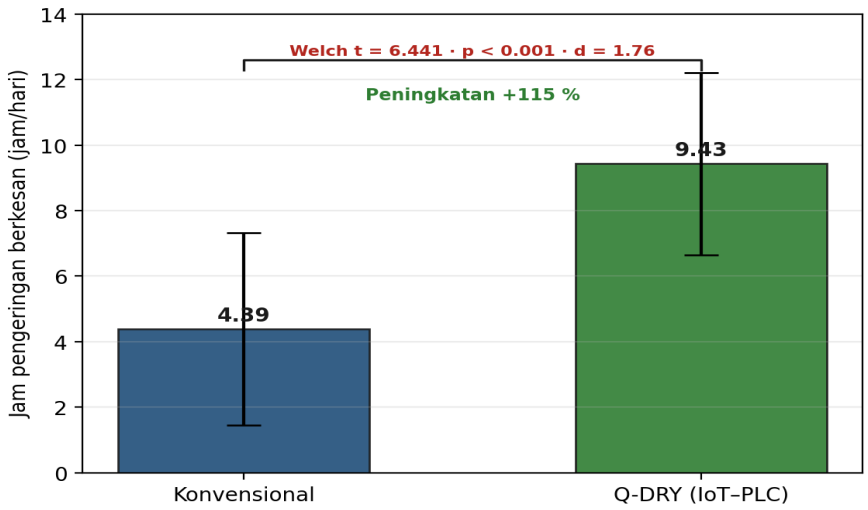
Sistem Q-DRY mencapai purata 9.43 ± 2.78 jam pengeringan berkesan sehari, berbanding hanya 4.39 ± 2.94 jam/hari dalam keadaan konvensional (peningkatan lebih 100 %). Akibatnya, anggaran jumlah masa pengeringan berkurang daripada kira-kira 48–72 jam kepada 24–30 jam (pengurangan kira-kira 50 %). Sebagai petunjuk pengeringan bahan, kandungan lembapan awal 25.6 % menurun kepada 12.87 % selepas lapan jam dalam keadaan terkawal. Ringkasan perbandingan prestasi diberikan dalam Jadual 6.

Jadual 6. Perbandingan prestasi antara kaedah konvensional dengan sistem kawalan Q-DRY

Parameter	Konvensional	Q-DRY (IoT–PLC)	Penambahbaikan
Suhu purata (°C)	28.07 ± 0.46	37.99 ± 1.69	+35.4 %
Kelembapan relatif purata (%)	73.36 ± 4.57	46.40 ± 3.31	−36.7 %
Jam pengeringan berkesan (jam/hari)	4.39 ± 2.94	9.43 ± 2.78	+115 %
Masa pengeringan berkesan (%)	≈ 18 %	≈ 39 %	+116 %
Anggaran jumlah masa pengeringan	48–72 jam	24–30 jam	≈ −50 %
Prinsip operasi	Pasif (bergantung cuaca)	Aktif (kawalan IoT–PLC)	—

3.4 Pengesahan Statistik

Ujian-t Welch dijalankan untuk membandingkan purata jam pengeringan berkesan antara kedua-dua kaedah. Keputusan menunjukkan peningkatan signifikan daripada 4.39 kepada 9.43 jam/hari, dengan $t = 6.441$, $p < 0.001$ dan saiz kesan $d = 1.76$, sebagaimana digambarkan dalam Rajah 9. Nilai-t yang jauh daripada pusat taburan dan kawasan nilai-p yang sangat kecil mengesahkan bahawa penambahbaikan yang diperhatikan adalah signifikan secara statistik. Ini menunjukkan bahawa seni bina kawalan hibrid IoT–PLC — bukan sekadar keadaan persekitaran — yang menghasilkan tetingkap pengeringan yang stabil dan boleh diulang.



Rajah 9. Perbandingan jam pengeringan berkesan dengan pengesahan statistik ujian-t Welch

3.5 Batasan

Kajian ini mempunyai beberapa batasan. Pertama, pengesahan eksperimen dijalankan dalam bilangan hari cerapan yang terhad. Kedua, prestasi dinilai berdasarkan parameter persekitaran, bukan kinetik pengeringan yang khusus untuk bahan. Ketiga, sistem diuji pada skala prototaip dan pengesahan lanjut diperlukan untuk pelaksanaan berskala besar.

4. Kesimpulan

Kertas ini membentangkan sistem kawalan hibrid IoT–PLC bagi Rumah Pengeringan Q-DRY yang dilaksanakan di Maahad Tahfiz Ibnu Sina, dengan Pi Industrial Controller (IRIV) menjalankan Node-RED untuk penderiaan, pemantauan dan pengelogan, dan PLC Omron melaksanakan kawalan berketentuan menerusi logik tangga bagi pensuisan geganti pemanas, kipas dan ekzos. Aliran data sensor → Node-RED → *Cloud/Web* (HTTP) → pangkalan data SQL → pemprosesan AI → arahan PLC membentuk gelung kawalan yang telus dan boleh ditetapkan melalui papan pemuka IoT. Melalui strategi kawalan berasaskan ambang (pemanas < 45 °C, kipas selepas Fan_On_After, ekzos > 70 °C) dan takrif pengeringan berkesan T ≥ 35 °C dan RH ≤ 45 %, sistem meningkatkan suhu purata ruang daripada 28.07 °C kepada 37.99 °C dan menurunkan kelembapan relatif daripada 73.36 % kepada 46.40 %. Jam pengeringan berkesan meningkat daripada 4.39 kepada 9.43 jam/hari (melebihi 100 %), dan jumlah masa pengeringan berkurang daripada 48–72 jam kepada 24–30 jam, dengan penambahbaikan disahkan signifikan secara statistik ($t = 6.441$, $p < 0.001$). Kerja masa hadapan boleh menumpukan kawalan ramalan lanjutan berasaskan AI dan ruang pengeringan berskala lebih besar.

Rujukan

[1] S. Choosumrong, R. Hataitara, G. Panumonwatee, V. Raghavan, C. Nualsri, T. Phasinam, and K. Phasinam, “Development of IoT based smart monitor and control system using MQTT protocol and Node-RED for parabolic greenhouse solar drying,” *International Journal of Information Technology,* vol. 15, pp. 2089–2098, 2023 (DOI: 10.1007/s41870-023-01237-3).

[2] A. Elwakeel, D. Wapet, W. Mahmoud, S. Abdallah, M. Mahmoud, S. Ardjoun, and A. Tantawy, “Design and implementation of a PV-integrated solar dryer based on Internet of Things and date fruit quality monitoring and control,” *International Journal of Energy Research, 2023*, 7425045, 2023 (DOI: 10.1155/2023/7425045).

[3] N. Ortíz-Rodríguez, J. León, M. Lucero-Tenorio, and J. Correa, “Remote monitoring and control system for solar drying based on ATMega 2560 and LoRa technology,” *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria,* vol. 3, no. 2, 2025 (DOI: 10.53591/easi.v3i2.1901).

[4] B. López-Velasco, A. Ruiz-Garcia, J. Cebada-Reyes, and C. Villaseñor-Perea, “IoT-based environmental monitoring and prediction of banana moisture content in a solar greenhouse dryer,” *IEEE Latin America Transactions,* vol. 22, pp. 881–890, 2024 (DOI: 10.1109/tla.2024.10705969).

[5] B. Sharma, G. Gupta, P. Vaidya, S. Basheer, F. Memon, and R. Thakur, “Internet of Things-based crop classification model using deep learning for indirect solar drying,” *Wireless Communications and Mobile Computing, 2022*, 1455216, 2022 (DOI: 10.1155/2022/1455216).

[6] N. Roy, N. Tasnim, J. Khatun, and C. Saha, “A comprehensive review on solar dryers for perishable agro-products: Aspects of technological advancements, techno-economic performance, and environmental impacts,” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* vol.24, no.3, e70186, 2025 (DOI: 10.1111/1541-4337.70186).

[7] N. Hidra, M. Lehmad, S. Doubabi, and N. Abdenouri, “Design and implementation of an intelligent remote monitoring and control system for enhancing hybrid solar-electric dryer (HSED) performance,” Drying Technology*,* vol. *43*, pp. 1855–1878, 2025 (DOI: 10.1080/07373937.2025.2553356).

[8] B. Sharma, P. Vaidya, N. Kumar, A. Tiwari, S. Bansal, M. Faruque, and K. Al-Mugren, “Enhancing post-harvest sustainability in temperate crops through smart IoT-integrated indirect solar dryer,” *Scientific Reports,* vol.15, 2024 (DOI: 10.1038/s41598-025-13499-x).

PERANAN PASUKAN INSTITUSI PERTAHANAN AWAM (PISPA) DALAM MEMPERKASA BUDAYA KESELAMATAN KAMPUS: KAJIAN KES DI POLITEKNIK TUANKU SULTANAH BAHIYAH

Faizatulhaida binti Md Isa[1]*, Muhamad Sujairi bin Yusof[2], Muhammad Danish Aikhwan bin Muhamad Sujairi[3]

[1]Jabatan Matematik, Sains dan Komputer, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah
[2]Unit Teknologi Penyejukan dan Penyaman Udara, Kolej Komuniti Tasek Gelugor, 13300 Tasek Gelugor, Seberang Perai Utara, Pulau Pinang
[3]Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor

*Corresponding author e-mail address: faizatul@ptsb.edu.my

Abstrak

Keselamatan kampus merupakan salah satu aspek penting yang menyokong kelancaran proses pengajaran dan pembelajaran di institusi pengajian tinggi. Persekitaran kampus yang selamat bukan sahaja dapat mengurangkan risiko kemalangan dan kecemasan, malah membantu membentuk warga institusi yang lebih peka terhadap kepentingan keselamatan. Dalam usaha meningkatkan tahap kesiapsiagaan pelajar, Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) berperanan menyediakan latihan dan pendedahan berkaitan pertolongan cemas, pengurusan bencana serta tindakan kecemasan. Walaupun pelbagai aktiviti keselamatan telah dilaksanakan melalui PISPA, kajian yang meneliti sumbangannya terhadap pembentukan budaya keselamatan kampus masih terhad. Oleh itu, kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti tahap penglibatan ahli PISPA dalam aktiviti keselamatan kampus serta tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahlinya. Kajian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbentuk tinjauan yang melibatkan 109 orang ahli PISPA di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah. Data dikumpulkan menggunakan soal selidik dan dianalisis secara deskriptif menggunakan perisian SPSS. Hasil kajian menunjukkan bahawa tahap penglibatan ahli PISPA dalam aktiviti keselamatan kampus berada pada tahap sangat tinggi dengan purata skor min 4.65, manakala budaya keselamatan kampus turut mencatatkan tahap yang tinggi dengan purata skor min 4.60. Dapatan ini memberikan gambaran bahawa ahli PISPA mempunyai tahap penglibatan yang sangat tinggi dalam aktiviti keselamatan kampus serta menunjukkan amalan budaya keselamatan yang positif. Secara keseluruhannya, kajian ini menonjolkan peranan PISPA sebagai salah satu platform pembangunan kompetensi, kesedaran dan kesiapsiagaan keselamatan dalam kalangan pelajar, khususnya dalam menyokong usaha memperkukuh budaya keselamatan di peringkat institusi.
Kata Kunci: pasukan institusi pertahanan awam (PISPA); budaya keselamatan kampus; kesiapsiagaan bencana; kesedaran keselamatan.

1. Pengenalan

Budaya keselamatan kampus merupakan elemen penting dalam mewujudkan suasana pembelajaran yang harmoni, selesa dan bebas daripada risiko yang boleh mengancam kesejahteraan warga institusi pengajian tinggi. Dalam konteks semasa, institusi pendidikan sering berhadapan dengan pelbagai ancaman seperti kebakaran, banjir, kemalangan dan kecemasan lain yang memerlukan tahap kesiapsiagaan yang tinggi dalam kalangan warga kampus. Oleh itu, budaya keselamatan perlu diterapkan secara berterusan bagi memastikan pelajar mempunyai kesedaran, pengetahuan dan kemahiran asas dalam menghadapi situasi kecemasan. Budaya

keselamatan merujuk kepada sikap, nilai dan amalan individu terhadap aspek keselamatan dalam organisasi atau institusi. Pembentukan budaya keselamatan yang positif dapat membantu mengurangkan risiko kemalangan serta meningkatkan tahap kesiapsiagaan terhadap sebarang ancaman keselamatan. Kajian oleh Dlamini dan Olanrewaju [1] mendapati bahawa kelemahan dalam sistem keselamatan dan komunikasi kecemasan boleh menjejaskan persepsi keselamatan warga institusi serta melemahkan budaya keselamatan kampus. Selain itu, Ramli et al. [2] menyatakan bahawa polisi keselamatan dan prosedur kecemasan yang jelas mampu meningkatkan tahap kesedaran keselamatan dalam kalangan warga institusi pendidikan tinggi. Oleh itu, institusi pendidikan perlu memainkan peranan aktif dalam memperkukuh budaya keselamatan melalui pelaksanaan latihan, kempen kesedaran dan program keselamatan secara sistematik dan berterusan.

Sehubungan dengan itu, Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) dilihat sebagai salah satu medium penting untuk membantu institusi pengajian tinggi memperkukuh budaya keselamatan di kampus. PISPA merupakan pasukan beruniform yang memberi pendedahan kepada pelajar berkaitan pengurusan bencana, pertolongan cemas, kawad kaki dan tindakan kecemasan. Melalui penglibatan dalam latihan dan aktiviti yang dijalankan, pelajar dapat meningkatkan tahap disiplin, keyakinan diri dan kemahiran kerja berpasukan [3]. Selain itu, latihan simulasi kecemasan dan pengurusan risiko yang dilaksanakan dalam PISPA turut membantu pelajar memahami prosedur keselamatan dengan lebih berkesan. Menurut Myers [4], kajian berkaitan keselamatan kampus menunjukkan bahawa latihan keselamatan yang dijalankan secara konsisten mampu meningkatkan kesiapsiagaan individu dalam menghadapi situasi kecemasan serta membentuk sikap yang lebih bertanggungjawab terhadap keselamatan diri dan orang di sekeliling. Oleh itu, penglibatan aktif pelajar dalam PISPA bukan sahaja memberi manfaat dari segi pembangunan sahsiah dan kepimpinan, malah turut menyumbang kepada pembentukan budaya keselamatan yang lebih kukuh di persekitaran kampus.

Selain itu, penglibatan pelajar dalam aktiviti keselamatan dan pasukan beruniform juga memainkan peranan penting dalam meningkatkan tahap kesedaran dan kefahaman terhadap aspek keselamatan. Penyertaan dalam latihan simulasi, program keselamatan dan aktiviti berkumpulan memberi peluang kepada pelajar untuk mengaplikasikan pengetahuan yang dipelajari dalam situasi sebenar. Kajian oleh Mufimah dan Kamaludin [5] mendapati pelajar yang aktif dalam aktiviti keselamatan mempunyai tahap keyakinan dan kesiapsiagaan yang lebih tinggi berbanding pelajar yang kurang terlibat dalam latihan keselamatan. Aktiviti yang dijalankan turut membantu membentuk disiplin, semangat kerjasama dan kemahiran komunikasi yang baik dalam kalangan pelajar. Walau bagaimanapun, Ibrahim dan Burhanuddin [6] menumpukan kepada aspek pembangunan sahsiah, kepimpinan dan kokurikulum secara umum, manakala penyelidikan yang meneliti secara khusus peranan PISPA dalam memperkasa budaya keselamatan kampus masih kurang mendapat perhatian, khususnya dalam konteks institusi pengajian tinggi di Malaysia. Selain itu, masih terdapat pelajar yang kurang memahami prosedur keselamatan dan tindakan sewajarnya ketika berlakunya kecemasan di kampus. Situasi ini menunjukkan bahawa terdapat jurang penyelidikan yang perlu diberi perhatian bagi menilai sejauh mana penglibatan PISPA mampu membantu memperkukuh budaya keselamatan dalam kalangan warga institusi.

Berdasarkan isu keselamatan kampus yang semakin diberi perhatian dalam institusi pengajian tinggi, kajian ini dijalankan bagi meneliti peranan PISPA dalam memperkasa budaya keselamatan kampus dalam kalangan pelajar. Penglibatan aktif pelajar dalam aktiviti keselamatan dilihat penting dalam meningkatkan tahap kesiapsiagaan, kesedaran terhadap pengurusan risiko serta kefahaman berkaitan tindakan kecemasan di kampus. Sehubungan itu, kajian ini memberi fokus kepada dua objektif utama, iaitu mengenal pasti tahap penglibatan ahli PISPA dalam aktiviti

keselamatan kampus dan mengenal pasti tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahli PISPA. Melalui kajian ini, pengkaji berusaha menilai sejauh mana penglibatan dalam aktiviti keselamatan seperti latihan simulasi kecemasan, pengurusan bencana dan program keselamatan kampus dapat mempengaruhi pembentukan budaya keselamatan dalam kalangan pelajar institusi pengajian tinggi. Hasil kajian ini diharapkan dapat membantu pihak pengurusan institusi dalam merancang program keselamatan yang lebih berkesan dan sistematik. Di samping itu, dapatan kajian juga berpotensi menjadi rujukan kepada pihak berkaitan dalam usaha meningkatkan kesiapsiagaan pelajar serta memperkukuh amalan keselamatan kampus secara berterusan.

2. Sorotan Kajian

2.1 Konsep dan Kepentingan Budaya Keselamatan Kampus

Budaya keselamatan kampus merujuk kepada nilai, kepercayaan, sikap dan tingkah laku yang dikongsi oleh warga institusi dalam usaha memastikan keselamatan menjadi sebahagian daripada amalan harian dan bukannya sekadar pematuhan terhadap peraturan yang ditetapkan. Dalam konteks institusi pengajian tinggi, budaya keselamatan tidak hanya melibatkan aspek perlindungan fizikal daripada kemalangan, kebakaran atau bencana tetapi turut merangkumi tahap kesedaran, kepekaan terhadap risiko serta kesediaan individu untuk bertindak secara bertanggungjawab ketika berhadapan dengan situasi kecemasan. Menurut Ali [7] organisasi yang mempunyai budaya keselamatan yang positif lazimnya menunjukkan tahap kesedaran risiko yang tinggi, komunikasi yang berkesan dan komitmen berterusan terhadap penambahbaikan amalan keselamatan. Seiring dengan perkembangan persekitaran pendidikan yang semakin kompleks, institusi pengajian tinggi kini berhadapan dengan pelbagai cabaran keselamatan termasuk kemalangan makmal, kebakaran bangunan, bencana alam, ancaman kesihatan awam dan insiden kecemasan yang memerlukan tindakan segera. Keadaan ini menjadikan budaya keselamatan sebagai satu elemen strategik yang perlu diterapkan dalam kalangan pelajar bagi memastikan mereka bukan sahaja memahami prosedur keselamatan, tetapi mampu bertindak secara rasional dan berkesan apabila berhadapan dengan risiko sebenar [8].

Perbincangan mengenai budaya keselamatan dalam institusi pendidikan sering dikaitkan dengan pendekatan pengurusan risiko dan pembentukan tingkah laku selamat dalam kalangan warga kampus. Walau bagaimanapun, menurut Nyansa et al. [9] kebanyakan inisiatif keselamatan di institusi pengajian tinggi masih tertumpu kepada penyediaan infrastruktur, penguatkuasaan peraturan dan pelaksanaan prosedur operasi standard, sedangkan aspek pembentukan sikap dan nilai keselamatan sering diberikan perhatian yang lebih terhad. Guldenmund [10] menegaskan bahawa budaya keselamatan yang berkesan tidak dapat dibentuk melalui peraturan semata-mata, tetapi memerlukan penglibatan aktif individu dalam aktiviti keselamatan yang mampu mempengaruhi cara mereka berfikir dan bertindak terhadap risiko. Dalam konteks ini, budaya keselamatan perlu dilihat sebagai proses pembelajaran berterusan yang melibatkan pengalaman, latihan dan interaksi sosial dalam persekitaran kampus. Pendekatan sedemikian amat penting khususnya dalam institusi TVET yang melibatkan penggunaan mesin, peralatan teknikal dan aktiviti amali yang mempunyai tahap risiko lebih tinggi berbanding persekitaran pembelajaran konvensional [11]. Oleh itu, pembentukan budaya keselamatan yang kukuh bukan sahaja dapat mengurangkan kejadian kemalangan dan kecederaan, malah berupaya melahirkan graduan yang lebih berdisiplin, bertanggungjawab dan mempunyai keupayaan membuat keputusan yang tepat dalam situasi berisiko.

2.2 Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) sebagai Agen Kesiapsiagaan dan Pengurusan Bencana

Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) merupakan salah satu platform kokurikulum beruniform yang diwujudkan untuk memberikan pendedahan kepada pelajar berkaitan aspek keselamatan, pengurusan bencana dan tindakan kecemasan. Penubuhannya mencerminkan keperluan institusi pendidikan untuk melahirkan generasi pelajar yang bukan sahaja cemerlang dalam bidang akademik, tetapi juga mempunyai tahap kesiapsiagaan yang tinggi dalam menghadapi pelbagai bentuk risiko dan kecemasan [12]. Melalui latihan yang merangkumi pertolongan cemas, pengurusan pusat pemindahan sementara, kawad kaki, operasi menyelamat dan simulasi bencana, ahli PISPA didedahkan kepada situasi yang memerlukan tindakan pantas, kepimpinan dan kerjasama berpasukan. Pengalaman pembelajaran yang diperoleh melalui aktiviti tersebut berbeza daripada pembelajaran bilik kuliah kerana pelajar berpeluang mengaplikasikan pengetahuan dalam situasi yang hampir menyerupai keadaan sebenar. Menurut Ghorai [13], pengalaman langsung dalam sesuatu aktiviti merupakan faktor penting yang mempengaruhi pembentukan pengetahuan, kemahiran dan perubahan tingkah laku individu. Oleh itu, latihan yang dijalankan dalam PISPA berpotensi membentuk individu yang lebih yakin, responsif dan berupaya membuat keputusan secara efektif ketika berhadapan dengan kecemasan.

Dalam era yang menyaksikan peningkatan kekerapan kejadian bencana dan kecemasan di pelbagai peringkat, peranan PISPA semakin relevan sebagai medium pembangunan kapasiti keselamatan dalam kalangan pelajar institusi pengajian tinggi. Walaupun banyak program kokurikulum memberi penekanan kepada pembangunan kepimpinan dan kemahiran insaniah, PISPA menawarkan dimensi yang lebih khusus melalui pembangunan kompetensi keselamatan dan pengurusan risiko. Kajian berkaitan kesiapsiagaan bencana menunjukkan bahawa individu yang menerima latihan keselamatan secara berstruktur mempunyai tahap keyakinan, kesedaran risiko dan keupayaan bertindak yang lebih tinggi berbanding mereka yang tidak pernah terlibat dalam latihan seumpamanya [14]. Namun demikian, penyelidikan berkaitan PISPA masih banyak tertumpu kepada aspek penyertaan pelajar dan pembangunan sahsiah, manakala sumbangannya terhadap pembentukan budaya keselamatan kampus masih kurang diberi perhatian secara empirikal. Jurang ini menunjukkan keperluan untuk menilai peranan sebenar PISPA dalam mempengaruhi amalan keselamatan dan kesiapsiagaan pelajar di institusi pengajian tinggi. Justeru, PISPA boleh dianggap bukan sekadar sebuah pasukan beruniform, tetapi sebagai agen perubahan yang berpotensi memperkukuh budaya keselamatan kampus melalui proses pendidikan, latihan dan pengalaman yang berterusan.

3. Metodologi Kajian

Kajian ini dijalankan di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah dan melibatkan seramai 109 orang responden yang terdiri daripada ahli Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) daripada Sesi II 2025/2026 dan Sesi II 2024/2025 Pemilihan responden dilakukan menggunakan kaedah persampelan bertujuan bagi memastikan hanya responden yang berkaitan dengan kajian dipilih.

3.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini bertujuan untuk mengenal pasti peranan PISPA dalam memperkasa budaya keselamatan kampus dalam kalangan pelajar institusi pengajian tinggi. Kajian berbentuk kuantitatif ini menggunakan kaedah tinjauan bagi memperoleh maklumat berkaitan tahap penglibatan pelajar dalam aktiviti PISPA serta kesedaran terhadap budaya keselamatan kampus. Lokasi kajian dipilih di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah kerana institusi ini mempunyai

penglibatan aktif pelajar dalam aktiviti PISPA serta pelaksanaan program keselamatan yang dapat membantu mencapai objektif kajian.

3.2 Populasi dan Sampel Kajian

Kajian ini memberi fokus kepada pelajar yang terlibat dalam Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah. Responden kajian terdiri daripada pelajar semester satu dan semester dua Sesi II 2025/2026 dan Sesi II 2024/2025. Seramai 109 orang responden telah terlibat dalam kajian ini. Pemilihan sampel dilakukan menggunakan kaedah persampelan bertujuan bagi memastikan hanya responden yang mempunyai kaitan dengan kajian dipilih.

3.3 Instrumen Kajian

3.3.1 Soal Selidik

Dalam kajian ini, soal selidik dipilih sebagai instrumen utama bagi mendapatkan maklumat berkaitan peranan PISPA dalam memperkukuh budaya keselamatan kampus. Penggunaan soal selidik adalah sesuai bagi kajian berbentuk tinjauan kerana kaedah ini mampu menghasilkan data yang sistematik dan mudah dianalisis. Instrumen kajian ini diubah suai daripada kajian-kajian terdahulu yang berkaitan dengan budaya keselamatan dan penglibatan pelajar dalam aktiviti keselamatan. Soal selidik dibahagikan kepada beberapa bahagian, iaitu Bahagian A berkaitan demografi responden, Bahagian B berkaitan penglibatan pelajar dalam aktiviti PISPA dan Bahagian C berkaitan budaya keselamatan kampus. Maklum balas responden diukur menggunakan skala Likert lima mata iaitu (1 = Sangat Tidak Setuju, 2 = Tidak Setuju, 3 = Neutral, 4 = Setuju dan 5 = Sangat Setuju).

3.3.2 Kebolehpercayaan

Kajian rintis dijalankan sebelum kajian sebenar dilaksanakan bagi menguji tahap kesahan dan kebolehpercayaan instrumen kajian. Tujuan utama kajian rintis adalah untuk memastikan item soal selidik mudah difahami serta sesuai digunakan dalam penyelidikan sebenar. Kebolehpercayaan instrumen diuji menggunakan pekali *Alpha* Cronbach. Menurut kajian terdahulu, pelaksanaan kajian rintis penting dalam memastikan kualiti data penyelidikan kuantitatif berada pada tahap yang baik. Dalam kajian ini, seramai 20 orang responden telah terlibat dalam kajian rintis. Nilai pekali *Alpha* Cronbach yang diperoleh bagi Bahagian B ialah 0.880 manakala Bahagian C ialah 0.780. Nilai-nilai ini menunjukkan bahawa instrumen kajian mempunyai tahap kebolehpercayaan yang tinggi dan sesuai digunakan dalam kajian sebenar berkaitan peranan PISPA dalam memperkasa budaya keselamatan kampus.

3.3.3 Teknik Pengumpulan

Data yang diperoleh daripada borang soal selidik dianalisis menggunakan SPSS Statistics versi 21.0 bagi memastikan proses analisis dijalankan secara sistematik dan tepat. Analisis deskriptif digunakan untuk menghuraikan profil responden serta mengenal pasti tahap penglibatan pelajar dalam aktiviti PISPA dan tahap budaya keselamatan kampus melalui penggunaan nilai min, peratusan dan sisihan piawai.

4. Keputusan dan Perbincangan

Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan sebagai pendekatan awal untuk menjelaskan corak dan kecenderungan respons ahli Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) terhadap konstruk yang dikaji, iaitu penglibatan dalam aktiviti keselamatan kampus dan budaya keselamatan kampus. Penggunaan skor min membolehkan tahap kecenderungan responden dikenal pasti secara kuantitatif serta memberikan gambaran yang lebih jelas tentang sejauh mana elemen keselamatan telah dihayati dan diamalkan dalam persekitaran kampus. Dalam kajian ini, skor min bukan sekadar berfungsi sebagai ukuran statistik, tetapi turut menjadi petunjuk kepada tahap keberkesanan penglibatan PISPA dalam membentuk amalan keselamatan yang konsisten dalam kalangan pelajar. Pendekatan ini penting kerana budaya keselamatan merupakan konstruk yang kompleks dan dipengaruhi oleh interaksi antara pengetahuan, sikap serta tingkah laku individu terhadap aspek keselamatan. Oleh itu, interpretasi skor min digunakan bagi menilai kekuatan setiap konstruk yang dikaji serta mengenal pasti dimensi yang mempunyai pengaruh paling dominan dalam memperkukuh budaya keselamatan kampus. Jadual 1 menunjukkan julat interpretasi skor min bagi skala Likert lima mata yang digunakan sebagai asas untuk menentukan tahap setiap konstruk sama ada rendah, sederhana atau tinggi.

Jadual 1. Jadual interpretasi skor min

Min Skor	Tahap
1.00-2.33	Rendah
2.34-3.66	Sederhana
3.67-5.00	Tinggi

4.1 Dapatan Kajian

Jadual 2. Latar belakang responden

Bil	Kategori	Kumpulan	Frekuensi (f)	Peratus (%)
1.	Jantina	Lelaki	67	61.5
		Perempuan	42	38.5
2.	Bangsa	Melayu	105	96.3
		Cina	0	0
		India	4	3.7
		Lain-lain	0	0
3.	Jabatan	Jabatan Kejuruteraan Elektrik (JKE)	45	41.3
		Jabatan Kejuruteraan Awam (JKA)	20	18.4
		Jabatan Kejuruteraan Mekanikal (JKM)	28	25.7
		Jabatan Perdagangan (JP)	16	14.7

Kajian ini melibatkan seramai 109 orang responden yang terdiri daripada pelajar di beberapa jabatan di Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah. Berdasarkan Jadual 2, majoriti responden terdiri daripada pelajar lelaki iaitu seramai 67 orang (61.5%), manakala pelajar perempuan seramai 42 orang (38.5%). Dari aspek jabatan, Jabatan Kejuruteraan Elektrik (JKE) mencatatkan bilangan responden tertinggi iaitu seramai 45 orang, diikuti Jabatan Kejuruteraan Mekanikal (JKM) seramai 28 orang, Jabatan Kejuruteraan Awam (JKA) seramai 20 orang dan Jabatan Perdagangan (JP) seramai 16 orang. Dari segi bangsa, majoriti responden terdiri daripada pelajar Melayu iaitu seramai 105 orang (96.3%), manakala pelajar India seramai 4 orang (3.7%). Tiada responden daripada bangsa Cina dan lain-lain direkodkan dalam kajian ini.

Dapatan ini menunjukkan bahawa penglibatan pelajar dalam kajian lebih didominasi oleh pelajar lelaki, khususnya daripada bidang kejuruteraan. Situasi ini berkemungkinan dipengaruhi oleh penglibatan aktif pelajar lelaki dalam aktiviti beruniform dan keselamatan seperti PISPA. Selain itu, pelajar daripada bidang kejuruteraan juga lazimnya lebih terdedah kepada latihan

keselamatan dan pengurusan risiko semasa pengajian, sekali gus mempengaruhi tahap penglibatan mereka dalam aktiviti berkaitan keselamatan kampus.

Jadual 3. Analisis objektif pertama

Mengenal pasti tahap penglibatan ahli PISPA dalam aktiviti keselamatan kampus

Bil.	Pernyataan	Skor Min	Tahap
B1	Saya aktif menyertai aktiviti keselamatan yang dianjurkan oleh PISPA.	4.27	
B2	Saya menghadiri latihan keselamatan yang dijalankan oleh PISPA secara konsisten.	4.09	
B3	Saya melibatkan diri dalam program simulasi kecemasan di kampus.	4.50	
B4	Saya mengambil bahagian dalam aktiviti pengurusan bencana yang dianjurkan oleh PISPA.	4.64	Tinggi
B5	Saya memberi kerjasama semasa program keselamatan dijalankan di kampus.	4.69	
B6	Saya sentiasa bersedia menyertai aktiviti keselamatan anjuran PISPA.	4.81	
B7	Aktiviti PISPA membantu meningkatkan penglibatan saya dalam aspek keselamatan kampus.	4.91	
B8	Saya melibatkan diri secara aktif dalam aktiviti pertolongan cemas dan kecemasan.	4.86	
B9	Saya menunjukkan komitmen yang baik semasa aktiviti keselamatan dijalankan.	4.82	
B10	Saya berusaha menyumbang kepada keselamatan warga kampus melalui penglibatan dalam PISPA.	4.90	
	Purata Skor Min	4.65	Tinggi

(i) Objektif 1: Mengenal pasti tahap penglibatan ahli PISPA dalam aktiviti keselamatan kampus.

Analisis deskriptif menunjukkan bahawa tahap penglibatan ahli Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) dalam aktiviti keselamatan kampus berada pada tahap yang sangat tinggi dengan purata skor min keseluruhan sebanyak 4.65 (Jadual 3). Item berkaitan peranan aktiviti PISPA dalam meningkatkan penglibatan pelajar terhadap aspek keselamatan kampus mencatatkan skor min tertinggi iaitu 4.91, diikuti item berkaitan usaha menyumbang kepada keselamatan warga kampus melalui penglibatan dalam PISPA dengan skor min 4.90. Selain itu, item berkaitan penglibatan aktif dalam aktiviti pertolongan cemas dan kecemasan turut merekodkan skor min yang tinggi iaitu 4.86. Dapatan ini menunjukkan bahawa penglibatan pelajar dalam PISPA bukan sekadar memenuhi keperluan kokurikulum, tetapi berfungsi sebagai medium latihan praktikal yang membentuk kesiapsiagaan, disiplin dan tanggungjawab sosial terhadap keselamatan kampus. Dalam konteks pendidikan TVET yang melibatkan aktiviti amali dan penggunaan peralatan teknikal berisiko tinggi, latihan keselamatan yang berterusan menjadi elemen penting dalam mengurangkan risiko kemalangan dan meningkatkan keupayaan pelajar menghadapi situasi kecemasan. Menurut Luo [15] budaya keselamatan yang kukuh dalam sesebuah organisasi dipengaruhi secara langsung oleh tahap komitmen individu, latihan keselamatan dan penglibatan aktif anggota organisasi dalam aktiviti berkaitan keselamatan. Selain itu, budaya keselamatan dapat diperkukuh melalui penyertaan aktif anggota organisasi dalam program keselamatan secara konsisten. Dapatan ini juga menyokong pandangan Grote [16] bahawa

budaya keselamatan yang berkesan terbentuk melalui penglibatan aktif individu dalam amalan keselamatan dan bukan hanya bergantung kepada pematuhan prosedur organisasi semata-mata. Oleh itu, kajian ini memperlihatkan bahawa PISPA mempunyai peranan yang lebih luas daripada fungsi kokurikulum tradisional, iaitu sebagai platform pembangunan kompetensi keselamatan dan mekanisme strategik dalam memperkukuh budaya keselamatan kampus secara lebih mampan dan holistik. Sekali gus, dapatan kajian turut mengesahkan bahawa ahli PISPA mempunyai tahap penglibatan yang tinggi dalam aktiviti keselamatan kampus dan secara tidak langsung menyokong peranan PISPA sebagai platform strategik dalam melahirkan pelajar yang berpengetahuan, berkemahiran dan bersedia menghadapi sebarang situasi kecemasan.

Jadual 4. Analisis objektif kedua

Mengenal pasti tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahli PISPA

Bil.	Pernyataan	Skor Min	Tahap
C1	Saya memahami prosedur keselamatan yang ditetapkan di kampus.	4.46	Tinggi
C2	Saya mengetahui tindakan yang perlu diambil semasa berlaku kecemasan.	4.40	
C3	Saya sentiasa peka terhadap aspek keselamatan di kawasan kampus.	4.32	
C4	Saya mematuhi arahan dan peraturan keselamatan yang ditetapkan oleh institusi.	4.72	
C5	Saya mengutamakan keselamatan diri berada di kampus.	4.48	
C6	Saya bersedia membantu sekiranya berlaku kecemasan di kampus.	4.68	
C7	Saya memperoleh peningkatan kesedaran keselamatan melalui program keselamatan kampus yang dijalankan.	4.78	
C8	Saya mendapati warga kampus mengamalkan sikap prihatin terhadap keselamatan bersama.	4.81	
C9	Saya menyokong pelaksanaan aktiviti keselamatan secara berkala di kampus.	4.75	
C10	Saya berpendapat budaya keselamatan yang diamalkan di kampus berada pada tahap yang baik.	4.55	
	Purata Skor Min	4.60	Tinggi

(ii) Objektif 2: Mengenal pasti tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahli PISPA.

Analisis deskriptif menunjukkan bahawa tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahli Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) berada pada tahap yang tinggi dengan purata skor min keseluruhan sebanyak 4.60 (Jadual 4). Dapatan ini menjawab objektif kedua kajian, iaitu mengenal pasti tahap budaya keselamatan kampus dalam kalangan ahli PISPA. Item yang mencatatkan skor min tertinggi ialah *"Warga kampus menunjukkan sikap prihatin terhadap keselamatan bersama"* dengan min iaitu 4.81, diikuti *"Program keselamatan kampus membantu meningkatkan kesedaran keselamatan saya"* dengan min iaitu 4.78 dan *"Aktiviti keselamatan perlu dijalankan secara berkala di kampus"* min 4.75. Dapatan ini menunjukkan bahawa ahli PISPA mempunyai tahap kesedaran, pematuhan dan komitmen yang tinggi terhadap amalan keselamatan di kampus. Selain itu, skor min yang tinggi bagi item pematuhan terhadap arahan keselamatan institusi iaitu 4.72 dan kesediaan membantu semasa kecemasan dengan skor min 4.68 membuktikan bahawa budaya keselamatan telah diterjemahkan kepada tingkah laku dan

tindakan sebenar. Menurut Novatsis [17] budaya keselamatan yang positif terbentuk apabila individu mengamalkan sikap bertanggungjawab dan terlibat secara aktif dalam aktiviti keselamatan. Oleh itu, dapatan kajian ini mengesahkan bahawa penglibatan dalam PISPA menyumbang secara signifikan kepada pembentukan budaya keselamatan kampus yang proaktif, mampan dan berdaya tahan.

5. Kesimpulan dan Cadangan

Secara keseluruhannya, kajian ini menunjukkan bahawa ahli Pasukan Institusi Pertahanan Awam (PISPA) mempunyai tahap penglibatan yang tinggi dalam aktiviti keselamatan kampus, manakala budaya keselamatan dalam kalangan ahli turut berada pada tahap yang memberangsangkan. Dapatan ini menggambarkan bahawa pengalaman yang diperoleh melalui latihan, simulasi kecemasan, aktiviti pertolongan cemas dan pengurusan bencana berupaya membentuk kefahaman serta amalan keselamatan yang lebih mantap dalam kalangan pelajar. Penglibatan yang berterusan dalam aktiviti tersebut bukan sahaja meningkatkan kesedaran terhadap kepentingan keselamatan, malah mendorong pembentukan sikap bertanggungjawab dan kesediaan untuk bertindak apabila berdepan situasi kecemasan. Dalam konteks institusi pengajian tinggi yang semakin berhadapan dengan pelbagai cabaran keselamatan, kewujudan platform seperti PISPA dilihat berpotensi menjadi mekanisme sokongan yang mampu memperkukuh usaha institusi dalam mewujudkan persekitaran pembelajaran yang selamat dan kondusif. Dapatan kajian ini turut memberikan petunjuk bahawa aktiviti keselamatan yang dilaksanakan secara tersusun dan berterusan boleh dijadikan sebahagian daripada strategi pembangunan pelajar yang holistik. Oleh yang demikian, usaha memperluaskan penglibatan pelajar dalam program keselamatan serta memperkukuh kerjasama antara institusi dan agensi berkaitan wajar diberi perhatian bagi memastikan budaya keselamatan terus diperkasakan. Bagi penyelidikan akan datang, skop kajian boleh diperluaskan kepada pelbagai institusi dan latar pendidikan bagi mendapatkan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai faktor yang mempengaruhi pembentukan budaya keselamatan dalam kalangan pelajar.

Rujukan

[1] N. Dlamini and O. A. Olanrewaju, “An Investigation into Campus Safety and Security,” in Proc. Int. Conf. Industrial Engineering and Operations Management, 2021 (DOI: 10.46254/an11.20210045).

[2] F. B. Ramli, S. N. B. Mokhtar, M. H. Jamaluddin, M. N. Harun, M. A. B. M. Salim, M. N. B. Lokman, A. R. B. Zailan, N. B. Md. Yunus, and N. H. B. Mohd Nor, “Awareness Among Students and Staff on Occupational Safety and Health (OSH) in Universiti Teknologi Malaysia,” pp. 13–18, 2020 (DOI: 10.2991/ASSEHR.K.200921.003).

[3] U. K. Umayah, M. Husni, R. Idayu, M. F. Komarudin, R. I. Afriani, and D. M. Lestari, “Pelatihan Kepemimpinan Melalui Paskibra Untuk Meningkatkan Disiplin Dan Kerja Sama Tim Untuk Siswa Mtsn Kota Serang,” *Indonesian Collaboration Journal of Community Services*, vol.4, no.4, pp. 211–218, 2024 (DOI: 10.53067/icjcs.v4i4.181).

[4] K. A. Myers, “Changing the Mindset in Higher Education: The Critical Need for Active Shooter Training in Campus Communities,” pp. 115–134, 2021 (DOI: 10.4018/978-1-7998-4072-5.CH006).

[5] M. Mufimah and R. Kamaludin, “Pelatihan manajemen bencana terhadap kesiapsiagaan pada mahasiswa: A literature review,” *Holistik*, vol. 19, no.2, pp. 228–237, 2025 (DOI: 10.33024/hjk.v19i2.604).

[6] Z. H. Ibrahim and M. A. Burhanuddin, “A confirmatory factor analysis of safety performance in technical and vocational institutions in Malaysia,” *International Journal of Advanced Research in Education and Society*, vol. 5, no.3, pp. 232–240, 2023.

[7] A. A. A. A. Ali, “Improving Organizational Culture: High Reliability Organization,” 2022 (DOI: 10.2118/210918-ms).

[8] H. Zhang, X. Y. Zhai, X. Wang, and X. Jin, “Investigating Risk Preference and Its Effect on the Laboratory Safety Attitude of First-Year Graduate Students,” *Journal of Chemical Health and Safety*, 2024 (DOI: 10.1021/acs.chas.4c00065).

[9] M. M. S. Nyansa, N. L. Burrows, A. J. Galerneau, A. P. Bekkala, and K. Hungwe, “Beyond Intentions: Understanding the Gap between Safety Education and Student Behaviors,” *Journal of Chemical Education*, 2024 (DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00620).

[10] F. W. Guldenmund, “Are Safety Culture Assessments Really Necessary,” pp. 101–110, 2017 (DOI: 10.1007/978-3-319-60525-8_11).

[11] A. N. Ayob, C. R. C. Hassan, and M. D. Hamid, “Determination of elements for technical and vocational education and training (TVET) safety culture maturity measurement preliminary framework,” *AIJR Proceedings*, 2022 (DOI: 10.21467/proceedings.141.24).

[12] E. Alburo, “Emergency Preparedness in Higher Education: A Literature Review on Institutional Readiness and Disaster Response,” vol.2, no.3, pp. 87–99, 2025 (DOI: 10.70847/632222).

[13] B. Ghorai, “Learning through Experience: A Practical Approach,” International Journal for Multidisciplinary Research, vol. 7, no.5, 2025 (DOI: 10.36948/ijfmr.2025.v07i05.58675).

[14] B. N. Virgiani, W. N. Aeni, and S. Safitri, “Pengaruh Pelatihan Siaga Bencana dengan Metode Simulasi terhadap Kesiapsiagaan Menghadapi Bencana: Literature Review,” *Bima Nursing Journal*, vol.3, no. 2, pp. 156–156, 2022 (DOI: 10.32807/bnj.v3i2.887).

[15] T. Luo, “Safety climate: Current status of the research and prospects,” Journal of Safety Science and Resilience, vol. 1, no. 2, pp. 106–119, 2020.

[16] G. Grote, “On the Importance of Culture for Safety: Bridging Modes of Operation in Adaptive Safety Management,” pp. 93–103, 2018.

[17] E. Novatsis, “Safety culture and behavior,” in Human Factors in the Chemical and Process Industries, Elsevier, 2016, pp. 311–334.

PEMBANGUNAN MESIN RUMPUT SOLAR BERASASKAN BATERI 12 V DAN PENUKAR RANGSANG DC-DC UNTUK PEMOTONGAN RUMPUT BERSKALA KECIL

Adam bin Yusoff, Muhammad Aiman Irfan bin Anuar, Kalsom binti Salleh*

Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: kalsom@ptsb.edu.my

Abstrak

Mesin rumput berasaskan petrol menghasilkan asap, bunyi bising dan kos bahan api yang meningkat, manakala mesin rumput tanpa wayar (*cordless*) lazimnya dicas menggunakan bekalan grid. Kajian ini membangunkan sebuah mesin rumput solar berbentuk beg galas yang menggabungkan panel solar 15 W, pengawal pengecas solar, bateri 12 V 7 Ah dan penukar rangsang DC-DC (*DC-DC boost converter*) bagi membekalkan kuasa kepada motor mesin rumput *cordless*. Tiga konsep reka bentuk dinilai menggunakan matriks keputusan dan konsep pengubahsuaian mesin rumput *cordless* dipilih. Prestasi sistem diuji pada tiga tetapan voltan keluaran penukar, iaitu 21 V, 25 V dan 30 V. Tempoh operasi sehingga bateri habis ialah 60 minit pada 21 V, 42 minit pada 25 V dan 30 minit pada 30 V, manakala keadaan motor berubah daripada normal kepada panas apabila voltan dinaikkan. Berdasarkan penggunaan petrol 0.6 L/jam dan harga RON95 bersubsidi RM1.99/L, kos tenaga operasi mesin petrol dianggarkan RM1.19 sejam berbanding RM0.00 bagi mesin solar semasa operasi. Kos bahan prototaip ialah RM357.53. Sistem yang dibangunkan sesuai untuk pemotongan rumput berskala kecil dan tetapan 21 V memberikan tempoh operasi paling lama, namun pengurusan haba penukar rangsang perlu ditambah baik.
Kata Kunci: mesin rumput solar; tenaga boleh diperbaharui; panel solar; penukar rangsang DC-DC; bateri.

1. Pengenalan

Rumput daripada keluarga Poaceae banyak tumbuh di kawasan perumahan, taman rekreasi, padang permainan dan kawasan institusi. Rumput berfungsi sebagai penutup bumi yang mengurangkan hakisan tanah, menyerap air hujan dan menurunkan suhu persekitaran [1]. Namun, rumput yang tidak dipotong secara berkala akan menjadi rumput liar yang menjejaskan kebersihan dan keselamatan kawasan [2]. Rumput yang panjang boleh menjadi tempat persembunyian haiwan berbisa seperti ular dan kala jengking, justeru kerja pemotongan perlu dilakukan secara berkala.

Pada masa kini, kerja pemotongan rumput masih bergantung kepada mesin petrol atau elektrik. Mesin petrol menghasilkan bunyi yang kuat dan asap serta memerlukan kos bahan api yang berubah mengikut harga pasaran. Mesin elektrik pula terhad oleh panjang kabel atau kapasiti bateri, dan bateri mesin *cordless* lazimnya dicas menggunakan bekalan elektrik grid. Keadaan ini kurang sesuai di kebun, dusun, taman rekreasi dan kawasan lapang yang sukar mendapatkan sumber elektrik.

Tenaga solar berpotensi menjadi sumber alternatif bagi mengecas bateri mesin rumput tanpa bergantung kepada grid atau bahan api fosil. Oleh itu, kajian ini bertujuan:

(i) mereka bentuk dan membangunkan mesin rumput berkuasa solar bagi mengurangkan kebergantungan terhadap petrol; dan
(ii) menguji prestasi sistem berdasarkan tempoh operasi, penggunaan tenaga dan keupayaan memotong rumput pada tetapan voltan keluaran yang berbeza.

Skop kajian terhad kepada pembangunan sistem bekalan kuasa solar (panel solar, pengawal pengecas, bateri 12 V dan penukar rangsang DC-DC) serta pengujian prestasi operasi mesin, tanpa melibatkan sistem kawalan automatik atau navigasi.

2. Kajian Literatur

2.1 Perkembangan dan Jenis Mesin Rumput

Mesin pemotong rumput pertama dicipta oleh Edwin Budding pada tahun 1827 bagi menggantikan sabit di kawasan sukan dan taman, dan dipatenkan pada tahun 1830. Pada tahun 1842, James Shanks memperkenalkan mesin yang lebih besar dan serupa dengan reka bentuk Budding [3]. Kini terdapat pelbagai jenis mesin rumput, antaranya mesin rumput galas (*brush cutter*), mesin rumput tolak (*lawn mower*) dan mesin rumput bateri (*cordless*) [4], [5]. Kebanyakan reka bentuk di pasaran menggunakan petrol yang merupakan bahan api tidak boleh diperbaharui dan menyumbang kepada pencemaran udara [4].

Mesin rumput *cordless* terdiri daripada unit pemotong (*trimmer*), bateri boleh cas semula, pengecas, bilah (plastik atau logam) dan pemegang [6]. Struktur yang ringkas dan motor elektrik yang sedia ada menjadikannya sesuai diubah suai untuk digabungkan dengan sistem tenaga solar.

2.2 Kajian Terdahulu

Jadual 1 meringkaskan tiga kajian terdahulu yang dirujuk dalam projek ini.

Jadual 1. Ringkasan kajian terdahulu mengenai mesin rumput

Pengkaji	Reka bentuk dan cara operasi	Kelebihan	Kekurangan
Prateek (2025) [7]	Mesin empat segi (20 cm × 50 cm) dengan ESP8266 dan L298N; empat motor roda dan satu motor bilah; kos RM150	Mudah digunakan dan dibawa	Saiz terlalu kecil; tidak sesuai untuk kawasan besar
Nur Asma Nadiah Mohamad Arshad (2020) [8]	Berasaskan basikal dengan bilah *reel*; dikayuh atau menggunakan motor	Mesra alam kerana menggunakan tenaga kinetik	Tidak dinyatakan
Amrutha et al. (2016) [9]	Bilah *rotary* sepanjang 400 mm dengan sayap angkat yang menghasilkan vakum; kira-kira 3000 rpm	Memotong dengan kemas dan pantas	Risiko meningkat apabila terkena objek keras (cth. batu) pada kelajuan tinggi

Kajian-kajian ini tertumpu kepada struktur mesin, mekanisme pemotongan atau sumber tenaga kinetik. Kajian ini pula memberi fokus kepada sistem bekalan kuasa solar bateri 12 V yang

digabungkan dengan mesin rumput *cordless*, dan kesan tetapan voltan penukar rangsang terhadap tempoh operasi.

3. Metodologi

3.1 Pemilihan Konsep Reka Bentuk

Tiga konsep dipertimbangkan berdasarkan kesesuaian penggunaan, kos, sumber tenaga, saiz dan kebolehbangunan. Konsep 1 ialah mesin rumput *cordless* yang diubah suai dengan sistem solar pada beg galas dan dikendalikan secara manual. Konsep 2 ialah *lawn mower* tanpa motor yang menggerakkan pisau melalui gear apabila ditolak dan menjana tenaga tambahan melalui dinamo; konsep ini bersaiz besar, hanya sesuai untuk kawasan rata dan berkos tinggi. Konsep 3 ialah *lawn mower* solar beroda yang dikawal melalui modul WiFi ESP8266; ia memerlukan lima motor (satu untuk pemotong dan empat untuk roda), menyebabkan keperluan kuasa dan kos yang tinggi serta penyelenggaraan yang sukar.

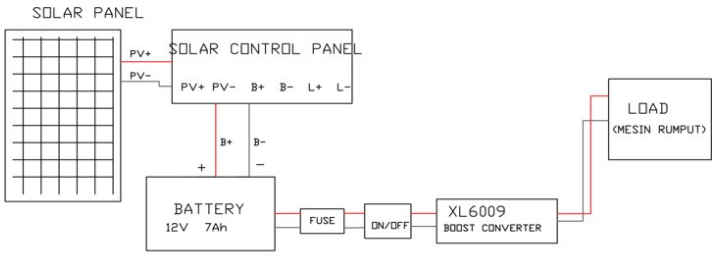
Konsep dinilai menggunakan matriks keputusan dengan skala 1 (sangat tidak berpuas hati) hingga 5 (sangat berpuas hati) seperti dalam Jadual 2. Konsep 1 memperoleh jumlah markah tertinggi dan dipilih untuk dibangunkan.

Jadual 2. Matriks keputusan pemilihan konsep

No.	Kriteria	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
1	Keutuhan	5	5	3
2	Kecekapan memotong rumput	5	4	3
3	Kos bahan	3	4	3
4	Penjimatan penggunaan tenaga manusia	2	2	5
5	Reka bentuk komersial	4	5	3
6	Mudah alih	5	3	5
	Jumlah	24	23	22

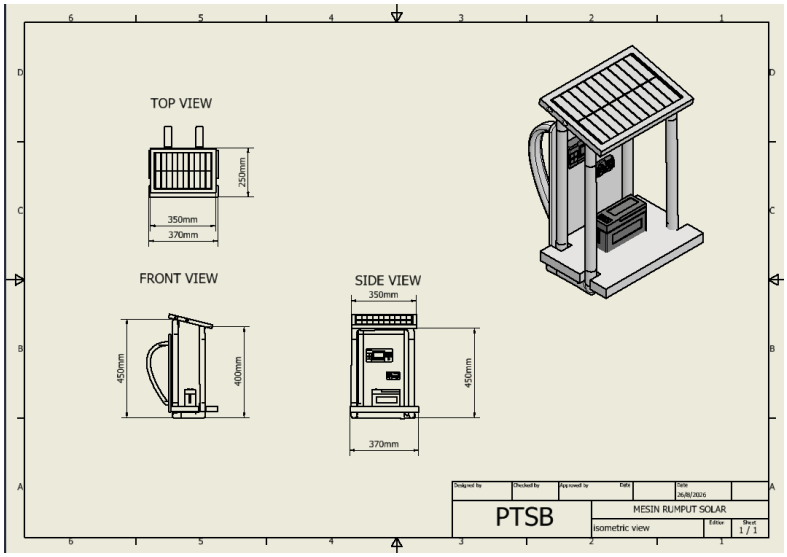
3.2 Reka Bentuk Sistem dan Litar

Sistem terdiri daripada panel solar, pengawal pengecas solar (*solar charge controller*), bateri 12 V 7 Ah, penukar rangsang DC-DC dan motor DC mesin rumput sebagai beban, seperti dalam Rajah 1. Panel solar 15 W mempunyai voltan litar terbuka (V_{oc}) 22 V, arus litar pintas (I_{sc}) 0.92 A dan arus pada kuasa maksimum (I_{mp}) 0.84 A. Panel disambungkan kepada terminal PV+ dan PV− pengawal pengecas, manakala terminal BAT+ dan BAT− disambungkan kepada bateri. Bateri membekalkan kuasa kepada penukar rangsang DC-DC melalui fius dan suis *ON/OFF* pada kabel positif, dan keluaran penukar dilaraskan mengikut voltan yang diperlukan oleh motor.



Rajah 1. Litar sambungan sistem mesin rumput solar

Suis *ON/OFF* hanya memutuskan laluan bateri ke penukar. Laluan pengecasan daripada panel solar melalui pengawal pengecas ke bateri kekal bersambung, maka bateri terus dicas semasa mesin tidak digunakan. Butang keselamatan pada pemegang mesin mengawal operasi motor. Struktur beg galas dilukis menggunakan perisian *Inventor* seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2. Lukisan pandangan atas, depan, sisi dan isometrik beg galas mesin rumput solar

3.3 Fabrikasi

Fabrikasi dijalankan di Bengkel Projek, Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah. Rangka beg galas dibina daripada paip PVC yang disambung menggunakan penyambung *elbow* dan *tee* serta gam PVC, manakala kepingan *plywood* 8 mm digunakan sebagai tapak komponen elektrik dan dicantum pada paip menggunakan skru selepas lubang panduan digerudi. Bahagian tapak menggunakan paip 20 cm dan 30 cm, bahagian penggalas menggunakan paip 37 cm dan 15 cm, dengan *plywood* 26 cm × 37 cm sebagai tapak dan 25 cm × 34 cm sebagai bahagian penggalas. Rangka dicat hitam dua lapisan. Tali galas diambil daripada mesin rumput petrol, dan helaian akrilik digunakan untuk melindungi wayar daripada bendasing. Bateri, pengawal pengecas dan penukar rangsang kemudian dipasang pada tapak, wayar disambung mengikut kekutuban yang betul dan diikat pada rangka.

3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur pengendalian ialah menekan suis *ON*, menekan butang keselamatan pada pemegang supaya motor beroperasi, memotong rumput di kawasan sasaran, melepaskan butang keselamatan, mematikan suis dan meletakkan beg galas di bawah cahaya matahari bagi mengecas semula bateri. Kelajuan bilah ditentukan oleh voltan keluaran penukar rangsang. Ujian dilakukan pada tiga tetapan voltan, iaitu 21 V, 25 V dan 30 V. Bagi setiap tetapan, direkodkan tempoh operasi sehingga mesin berhenti, keadaan motor, voltan bateri sebelum dan selepas ujian, julat voltan semasa memotong dan penilaian kualitatif kuasa pemotongan. Perbandingan kos tenaga dengan mesin petrol dan *cordless* dikira menggunakan penggunaan petrol 0.6 L/jam [10], harga RON95 bersubsidi RM1.99/L [11] dan tarif domestik TNB 21.8 sen/kWh bagi penggunaan 1–200 kWh [12].

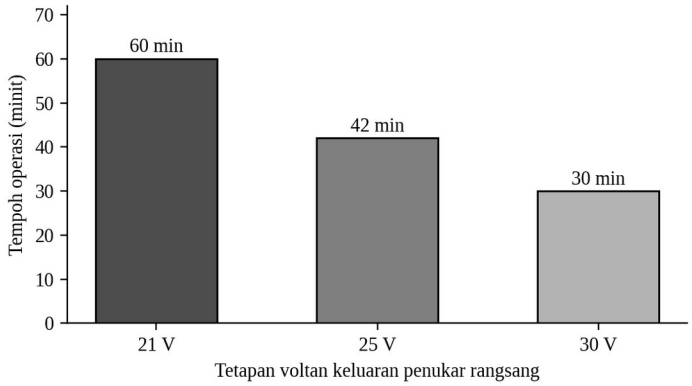
4. Keputusan dan Perbincangan

4.1 Tempoh Operasi dan Kesan Tetapan Voltan

Mesin berjaya dibangunkan dan berfungsi memotong rumput menggunakan tenaga yang disimpan dalam bateri. Jadual 3 dan Rajah 3 menunjukkan keputusan ujian pada tiga tetapan voltan.

Jadual 3. Keputusan ujian pada tetapan voltan yang berbeza

Parameter	21 V	25 V	30 V
Tempoh operasi	60 minit	42 minit	30 minit
Keadaan motor	Normal	Sederhana	Panas
Voltan bateri sebelum ujian	12.3 V	12.6 V	12.5 V
Voltan bateri selepas ujian	0 V	0 V	0 V



Rajah 3. Tempoh operasi mengikut tetapan voltan keluaran penukar rangsang

Pada 21 V, mesin beroperasi selama 60 minit, iaitu tempoh paling lama. Apabila voltan dinaikkan kepada 25 V, tempoh operasi berkurang 18 minit (30%) kepada 42 minit, dan pada 30 V berkurang 30 minit (50%) berbanding 21 V, iaitu 30 minit. Keadaan motor turut berubah daripada normal kepada sederhana dan seterusnya panas. Tren ini selaras dengan peningkatan kuasa yang diperlukan apabila voltan dinaikkan, di samping kehilangan tenaga dalam bentuk haba pada penukar rangsang. Bacaan voltan bateri 12.3–12.6 V sebelum ujian dan 0 V selepas ujian menunjukkan bateri dinyahcas sehingga sistem berhenti. Beban semasa pemotongan juga

mempengaruhi penggunaan tenaga: rumput yang tebal dan tinggi menaikkan arus motor dan memendekkan tempoh operasi.

4.2 Prestasi Pemotongan

Jadual 4 menunjukkan julat voltan yang direkodkan semasa pemotongan dan penilaian kuasa pemotongan pada setiap tetapan. Kuasa pemotongan meningkat daripada rendah (21 V) kepada tinggi (30 V). Oleh itu, terdapat keseimbangan antara kuasa pemotongan dan tempoh operasi: tetapan rendah memanjangkan tempoh operasi, manakala tetapan tinggi sesuai untuk rumput yang lebih tebal tetapi memendekkan tempoh operasi dan meningkatkan haba. Prestasi juga bergantung kepada jenis dan ketinggian rumput serta tahap cas bateri; apabila cas bateri berkurang, putaran bilah menjadi kurang stabil.

Jadual 4. Prestasi pemotongan rumput mengikut tetapan voltan

Tetapan voltan	Julat voltan semasa memotong (*voltage drop*)	Kuasa memotong rumput
21 V	17–18 V	Rendah
25 V	20–21 V	Sederhana
30 V	24–25 V	Tinggi

4.3 Analisis Tenaga

Kapasiti tenaga bateri (E), kuasa elektrik (P) dan tenaga yang dijana panel solar dikira menggunakan persamaan berikut:

$$E = V \times Ah \tag{1}$$

$$P = V \times I \tag{2}$$

$$E_{PV} = P_{PV} \times t \tag{3}$$

Bagi bateri 12 V 7 Ah, $E = 12 \times 7 = 84$ Wh. Panel 15 W yang menerima kira-kira 6 jam cahaya matahari berkesan secara teori menjana $15 \times 6 = 90$ Wh (0.09 kWh) sehari, iaitu hampir setara dengan kapasiti bateri. Contoh pengiraan kuasa pada 21 V dan 7 A memberikan 147 W; nilai ini ialah contoh ilustrasi dan bukan bacaan terukur. Oleh sebab bateri 84 Wh menyokong operasi selama 60 minit pada 21 V, purata kuasa maksimum teori ialah kira-kira 84 W (84 Wh ÷ 1 jam) tanpa mengambil kira kehilangan pada penukar dan had nyahcas bateri, maka kuasa sebenar lebih rendah daripada 147 W. Dengan kehilangan pengecasan, satu hari cahaya matahari secara praktikal hanya cukup untuk kira-kira satu sesi operasi, dan anggaran ini perlu disahkan melalui pengukuran arus dan masa pengecasan sebenar.

4.4 Perbandingan Kos Operasi

Jadual 5 membandingkan kos tenaga bagi tempoh rujukan 1 jam. Mesin petrol menggunakan 0.6 L/jam [10] pada RM1.99/L [11], iaitu $0.6 \times 1.99 \approx$ RM1.19 sejam. Kos elektrik mesin *cordless* dianggarkan RM0.03–RM0.15 sejam bergantung kepada model. Mesin solar tidak menggunakan petrol atau elektrik grid semasa operasi, maka kos tenaga operasi ialah RM0.00, iaitu penjimatan 100% kos tenaga operasi berbanding kedua-dua mesin. Penjimatan ini tidak mengambil kira kos pelaburan awal panel solar dan bateri. Bagi pembeli yang tidak layak menerima subsidi, harga RON95 tanpa subsidi ialah RM4.67/L mulai 8 Oktober 2026 [13], yang menjadikan kos petrol kira-kira RM2.80 sejam pada penggunaan yang sama.

Jadual 5. Perbandingan kos penggunaan mesin rumput (tempoh rujukan 1 jam)

Perkara	Mesin solar	Mesin *cordless*	Mesin petrol
Sumber tenaga	Solar + bateri	Elektrik + bateri	Petrol
Penggunaan petrol	0 L	0 L	0.6 L/jam
Kos tenaga	RM0.00	RM0.03–RM0.15	RM1.19
Pelepasan asap	Tiada	Tiada	Ada
Bunyi operasi	Perlahan	Perlahan	Bising
Penyelenggaraan	Rendah	Rendah	Lebih tinggi

4.5 Kos Pembangunan

Jadual 6 menyenaraikan kos bahan prototaip yang dibeli secara dalam talian dan di kedai perkakasan. Jumlah kos bahan ialah RM357.53.

Jadual 6. Kos bahan pembinaan mesin rumput solar

Bil.	Komponen	Kuantiti	Jumlah (RM)	Sumber
1	Mesin rumput *cordless*	1	98.84	Shopee
2	Panel solar 15 W dan pengawal pengecas	1	30.19	Shopee
3	Penukar rangsang XL6009	1	10.50	Shopee
4	*Plywood* 3′ × 6′	1	38.00	Kedai perkakasan
5	Paip PVC 4′	3	48.00	Kedai perkakasan
6	Penyambung *elbow*	10	15.00	Kedai perkakasan
7	Penyambung *tee*	6	9.00	Kedai perkakasan
8	Penyambung *end cap*	2	3.00	Kedai perkakasan
9	Skru	70	5.00	Kedai perkakasan
10	Akrilik 80 cm × 80 cm	1	100.00	Pengiklanan E’art
	Jumlah		357.53	

4.6 Pengurusan Haba dan Keselamatan

Semasa percubaan pada tetapan voltan tinggi (sekitar 30 V), penukar rangsang diperhatikan berhenti berfungsi selepas kira-kira 10 minit apabila suhunya mencapai had maksimum 85 °C, dan mesin hanya boleh digunakan semula selepas suhu penukar menurun. Pemerhatian ini menunjukkan bahawa pengurusan haba ialah faktor pengehad pada voltan tinggi dan spesifikasi arus penukar perlu disemak semula terhadap arus beban sebenar. Risiko lain yang dikenal pasti ialah litar pintas akibat kesilapan penyambungan, ketidakpadanan spesifikasi panel, bateri dan penukar, bekalan kuasa yang tidak mencukupi untuk motor, serta risiko kebakaran kerana rangka menggunakan *plywood* yang mudah terbakar. Langkah pencegahan termasuk memeriksa kekutuban sebelum sistem dihidupkan, memastikan pengudaraan penukar, memadankan spesifikasi komponen dan menggunakan fius serta sambungan yang kemas.

4.7 Limitasi Kajian

Keputusan ujian dilaporkan sebagai satu nilai bagi setiap tetapan voltan tanpa ulangan, jadi ralat pengukuran tidak dapat dianggarkan. Kadar pemotongan (m² sejam), arus motor dan masa pengecasan solar sebenar tidak diukur. Jenis dan ketumpatan rumput tidak diseragamkan, dan

perbandingan kos dengan mesin petrol dan *cordless* berdasarkan data kajian dan tarif, bukan ujian bersebelahan. Keputusan ini sesuai untuk kerja pemotongan rumput berskala kecil.

5. Kesimpulan dan Cadangan

Mesin rumput solar berasaskan panel solar 15 W, pengawal pengecas, bateri 12 V 7 Ah dan penukar rangsang DC-DC berjaya dibangunkan dan berfungsi memotong rumput tanpa petrol atau elektrik grid semasa operasi. Tetapan 21 V memberikan tempoh operasi paling lama (60 minit), manakala 25 V dan 30 V memberikan kuasa pemotongan yang lebih tinggi dengan tempoh operasi 42 dan 30 minit serta peningkatan haba motor. Kos tenaga operasi ialah RM0.00 berbanding anggaran RM1.19 sejam bagi mesin petrol, dan kos bahan prototaip ialah RM357.53. Penggunaan tenaga solar mengurangkan pelepasan asap dan bunyi, selari dengan matlamat teknologi hijau.

Cadangan penambahbaikan ialah: (i) menambah kipas atau penyejuk pada penukar rangsang untuk mengurangkan suhu pada voltan tinggi; (ii) menggunakan bahan kalis api dan tidak menyerap haba bagi beg galas; dan (iii) memasang voltmeter atau penunjuk baki bateri supaya pengguna dapat memantau tenaga secara masa nyata. Kajian lanjut disyorkan untuk mengukur arus dan kadar pemotongan dengan ulangan ujian, serta menilai bateri berkapasiti lebih besar atau pengawal pengecas yang lebih cekap.

Rujukan

[1] Encyclopaedia Britannica, “Grass,” *Britannica*. [Dalam talian]. Tersedia: https://www.britannica.com/plant/grass

[2] Compass GM, “Types of invasive grasses and how to get rid of them.” [Dalam talian]. Tersedia: https://compassgm.co.uk/types-of-invasive-grasses-and-how-to-get-rid-of-them/

[3] ezGardenTips, “Sejarah mesin pemotong rumput.” [Dalam talian]. Tersedia: https://id.ezgardentips.com/history-of-lawn-mower-8895

[4] Honda Power Products Indonesia, “Jenis mesin potong rumput.” [Dalam talian]. Tersedia: https://www.hondapowerproducts.co.id/id/berita-informasi/artikel/jenis-mesin-potong-rumput

[5] TechRakyat, “6 mesin potong rumput terbaik – cordless & heavy duty [2025].” [Dalam talian]. Tersedia: https://techrakyat.com/bm/mesin-potong-rumput-terbaik-malaysia/

[6] Jenama Aircond, “Komponen mesin rumput.” [Dalam talian]. Tersedia: https://www.jenamaaircond.my/komponen-mesin-rumput/

[7] Prateek, “Robotic lawn mower with ESP8266,” 2025. [Dalam talian]. Tersedia: https://share.google/9CQ12yJbKOf5fQpRj

[8] N. A. N. Mohamad Arshad, “Mesin pemotong rumput berasaskan basikal,” Universiti Teknologi MARA, 2020. [Dalam talian]. Tersedia: https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/38753/

[9] P. Amrutha, S. Srikari, P. Tanuja dan B. Prashanth, “Rotary blade grass cutter,” 2016. [Dalam talian]. Tersedia: https://share.google/dyyBGE7HnuRH670mJ

[10] “Design and development of a remote-controlled unmanned lawn mowing system,” *ResearchGate*. [Dalam talian]. Tersedia: https://www.researchgate.net/publication/411065988

[11] Kementerian Kewangan Malaysia, “Non-subsidised RON95 retail price set at RM2.60 per litre as BUDI95 commences,” 2025. [Dalam talian]. Tersedia: https://mof.gov.my/portal/en/news/press-release/non-subsidised-ron95-retail-price-set-at-rm2-60-per-litre-as-budi95-commences

[12] Tenaga Nasional Berhad, “Tarif elektrik domestik (Residential tariff),” *myTNB*. [Dalam talian]. Tersedia: https://www.mytnb.com.my/-/media/Project/TNB/myTNBportal/Documents/Residential/Get-Electricity/TNB05041BookletewOinddrevised.pdf

[13] The Vibes, “MOF: Unsubsidised RON95 climbs to RM4.67 as Budi95 price stays frozen,” 7 Okt. 2026. [Dalam talian]. Tersedia: https://www.thevibes.com/articles/news/128080/mof-unsubsidised-ron95-climbs-to-rm4.67-as-budi95-price-stays-frozen

TEACHING DIGITAL ELECTRONICS COURSES TO ENGINEERING STUDENTS AT MALAYSIAN POLYTECHNICS: CHALLENGES AND EFFECTIVE APPROACHES

Siti Mariam binti Hussain*, Mafuzah Nor binti Radzi

Electrical Engineering Department, Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Kulim Hi-Tech Park, 09000 Kulim, Kedah

*Corresponding author e-mail address: siti.mariam@ptsb.edu.my

Abstract

Electronics is a core discipline underpinning electrical and electronics engineering programmes at polytechnics throughout Malaysia. Despite its important place in the curriculum, lecturers and students often describe this course as conceptually challenging, which in turn makes it harder to attract students to the diploma programme. This paper brings together findings from the literature on engineering education and experiences from polytechnic classrooms to examine the recurring challenges that hinder the effective teaching and learning of digital electronics, including the abstract nature of binary logic and combinational logic circuits, laboratory resource constraints, diverse student readiness, pedagogical tendencies centred on lectures and digital pedagogical competency gaps among lecturers. In response, this paper proposes a conceptual framework for an effective approach that includes teaching methods that start with simple, hands-on examples before introducing abstract concepts; low-cost or simulation-based laboratories; active and problem-based learning strategies; assessment redesign based on learning outcomes; and structured continuing professional development for lecturers. The framework is derived through a narrative synthesis of the literature, prioritising studies published between 2021 and 2026, and is distinguished from generic educational frameworks by explicitly linking subject-specific challenges to interdependent approaches. This paper offers a practical reference point for polytechnic lecturers, curriculum developers, and researchers seeking to strengthen digital electronics teaching and learning in Technical and Vocational Education and Training (TVET). It outlines directions for future empirical validation of the proposed framework.
Keywords: digital electronics; engineering pedagogy; polytechnic education; TVET.

1. Introduction

Digital electronics encompasses the study of binary logic, combinational logic circuits and the design of digital systems using gates, flip-flops, and counters [1]. This field plays an important role in the electrical, electronic, mechatronics, and computer engineering diploma programmes offered by Politeknik Malaysia. This course is a critical foundation subject, as mastery of digital logic underpins advanced courses such as microprocessor systems, embedded programming, and industrial automation, and directly relates to the skills employers in Malaysia's electronics and semiconductor sectors demand.

However, lecturers in most polytechnics often observe that students find digital electronics difficult to master, and it is hard to maintain their interest. Students who take this course often have uneven mathematical foundations and problem-solving skills because they enter polytechnics through different routes, such as SPM, vocational certificates, and other equivalent qualifications. At the same time, this subject requires a shift in thinking from concrete, observable phenomena to abstract binary reasoning [2]. At the same time, polytechnics also operate within practical constraints in terms of laboratory capacity, equipment allocation and relatively large numbers of

students, which determines the extent to which practical training can realistically be provided by a lecturer.

This paper is conceptual in nature. Rather than reporting new empirical data, it synthesises findings from the Malaysian engineering education and TVET literature, combined with common experiences in polytechnic classrooms, to identify recurring challenges in teaching and learning digital electronics and to propose structured, practice-oriented approaches to address them. The intended contribution is a synthesis that polytechnic lecturers, curriculum designers, and educational researchers can use as a starting point for course redesign and further empirical studies.

1.1 Objectives of the Paper

The objectives of this paper are: (i) to identify the recurring challenges in the teaching and learning of digital electronics at Malaysian polytechnics; (ii) to synthesise recent literature, with emphasis on studies published between 2021 and 2026, on simulation and virtual laboratories, active and problem-based learning, assessment and lecturers' digital pedagogical readiness in engineering and TVET contexts; and (iii) to propose a conceptual framework that links each identified challenge to a corresponding teaching approach and to outline directions for its empirical validation.

1.2 Literature Identification, Selection and Synthesis

This paper adopts a narrative literature synthesis rather than a formal systematic review. We identified relevant sources through keyword searches of academic databases and indexing services using combinations of terms such as digital electronics education, digital logic, engineering education, virtual laboratory, simulation, active learning, problem-based learning, assessment, digital pedagogy, TVET, and polytechnic Malaysia. Priority was given to peer-reviewed journal articles and conference papers published between 2021 and 2026 that address digital electronics or comparable engineering subjects, or that investigate TVET and polytechnic contexts in Malaysia. Earlier or foundational sources were retained only where they underpin core concepts of digital logic or provide otherwise unavailable evidence, and a small number of practitioner sources were used to describe the Malaysian digital teaching context.

We then synthesised the selected sources thematically in three steps. First, the difficulties reported in the literature were grouped into six challenge domains (Section 3). Second, we compared and consolidated the interventions reported for each domain into six corresponding approaches (Section 4). Third, we mapped the challenge–approach pairs and cross-checked them against common experiences in polytechnic classrooms and the structure of a representative Digital Electronics course, resulting in the framework presented in Section 5 (Table 1). Because the synthesis is interpretive, it is presented as a hypothesis for empirical testing rather than as a validated model.

1.3 Novelty and Contribution of the Framework

Several established frameworks already inform technology-enhanced teaching in higher education. The Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework describes the knowledge teachers need to integrate technology into subject teaching [3]. In contrast, constructive alignment emphasises coherence among intended learning outcomes, teaching activities, and assessment tasks [4]. Neither framework, however, addresses the specific combination of difficulties that characterise digital electronics at the polytechnic level: abstract

state-based reasoning, hardware-limited laboratories, mixed-entry student cohorts, and uneven lecturer readiness. The framework proposed in this paper draws on both perspectives but differs in three respects. It begins with the challenges reported for digital electronics rather than a general model of teaching; it links each challenge to a literature-supported approach (Table 1); and it treats tools, pedagogy, lecturer development, and assessment as interdependent components that must be addressed together. Its contribution is therefore a subject-specific and context-specific synthesis intended to guide course redesign and subsequent empirical validation.

2. Background and Context

Malaysian polytechnics operate under the Department of Polytechnic and Community College Education and practise an Outcome-Based Education (OBE) model, whereby courses are designed based on measurable Programme Learning Outcomes (PLO) and Course Learning Outcomes (CLO) and are aligned with the Malaysian Qualifications Framework. Digital Electronics is typically delivered as a full-semester course that combines lectures and structured laboratory components, with continuous and final assessments mapped to specific cognitive and psychomotor learning outcomes.

Malaysia's broader digital education policy landscape, including national initiatives linking technology with pedagogy, has pushed polytechnics to use information and communication technologies (ICT) more in teaching [5]. However, a narrative review of digital teaching in Malaysian higher education indicates that educators' digital competence remains uneven, with many still at a basic level and persistent gaps between technical training and its translation into subject-specific teaching practice [6]. Digital pedagogy in Malaysian TVET has also been examined at the policy level [7], and a recent qualitative study of Malaysian TVET educators found that effective digital integration depends on aligning technology with pedagogical intent, disciplinary knowledge and vocational context rather than on access to tools alone [8].

Despite the availability of digital learning platforms and OBE-oriented reforms, the traditional teacher-centred teaching and learning paradigm remains widespread across Malaysian TVET institutions, including engineering departments at polytechnics, a pattern that reflects both the practical nature of engineering learning and the abstract nature of subjects such as digital logic that are less familiar to new students [9]. This context underpins the challenges discussed in the next section. Digital electronics courses sit at the intersection of conceptually challenging content, resource-limited laboratory environments, and an institutional push toward digital pedagogy that has yet to translate into subject-specific practice fully. As a general point of reference, the discussion in this paper is loosely informed by the structure of a representative Digital Electronics course (DEE20153) offered within electrical and electronics engineering diploma programmes at Malaysian polytechnics.

3. Common Challenges in Digital Electronics Teaching and Learning

3.1 Abstract and Discrete Nature of Digital Logic

Essentially, digital circuits are an abstraction imposed on the physical behaviour of continuous voltages: real circuits operate over a continuous range of voltages, but digital design requires students to interpret these values strictly as binary ones and zeros [2]. New students often struggle to maintain this abstraction consistently, especially when moving between levels such as Boolean algebra, gate diagrams, timing diagrams, and actual physical circuit behaviour. Studies on student conceptions of state in digital logic also find that learners hold persistent, often subtle misconceptions about how state changes over time, which underlie difficulties with topics such as

finite state machines, asynchronous counters, and timing diagrams [10]. This difficulty is often reflected in the structure of a typical digital electronics syllabus, where students must progress within a single semester from static number-system and Boolean-algebra content to the time-dependent behaviour of flip-flops and counters, including their timing diagrams.

3.2 Limited Laboratory Access and Outdated Equipment

Practical lab work is essential for digital electronics, yet most polytechnic labs have limited training boards, discrete components, and measurement tools relative to class size. In labs that rely on breadboards, jumper wires, and small- or medium-scale integrated chips, students often report confusion because dense, cluttered wiring in limited bench space obscures the underlying logic that should be taught, rather than reinforcing it. Equipment that is not updated to match industry practice also risks producing graduates whose skills are out of step with current design practices.

3.3 Diversity of Student Readiness

Polytechnic student intakes come from a variety of academic paths, resulting in significant variation in students' mathematical fluency, early exposure to electronics, and problem-solving confidence. For subjects such as digital electronics, where each topic (number systems, Boolean simplification, combinational design, and sequential design) builds on the last, this diversity means lectures delivered at a single pace using a single method risk leaving weaker students behind while failing to challenge more capable students. This risk is heightened by the typical progression of a digital electronics syllabus, which generally opens with number systems, codes, and arithmetic operations. These topics assume students can work with positional notation and place-value arithmetic before moving on to Boolean simplification, sequential logic, and register design later in the semester.

3.4 Passive or Lecture-Centred Delivery

Large class sizes and heavy lecturer workloads continue to drive lecture-centric, chalk-and-talk methods in most polytechnics, even though students report that technology-assisted practical approaches are more appealing. A study of a related engineering cohort found that when a technical course was treated as a separate set of exercises rather than as an integrated, hands-on practical component, students showed a marked reluctance to engage. This pattern only subsided once the course was reorganised around active, computerised workshop practices [11].

3.5 Lecturers' Digital Pedagogical Readiness

A review of digital teaching readiness among Malaysian educators indicates that most teaching staff remain at a basic level of digital competence, and technical familiarity with a tool does not necessarily translate into the ability to integrate it meaningfully into subject-specific teaching [12]. For technically intensive subjects such as digital electronics, this gap is significant because simulation software, virtual labs, or online circuit design platforms can improve learning outcomes only if lecturers are supported to redesign their pedagogy around them, rather than simply adding new tools to unchanged lecture content. The TPACK framework [3] captures this distinction, and a recent qualitative study of Malaysian TVET educators reported that effective digital integration required educators to align technology use with pedagogical intent, disciplinary knowledge and vocational realities [8].

3.6 Assessment Not Aligned with Design Proficiency

When continuous assessment relies too heavily on memorising truth tables, Boolean identities, or standard circuit diagrams, students can pass without developing the applied design and problem-solving competencies demanded by both the OBE framework and industry. This discrepancy becomes apparent later, when graduates are asked to design or debug circuits in the open, rather than simply reproducing memorised solutions. Evidence from engineering education supports this concern: in a design-based study of an authentic assessment, student teams' decision-making performance did not correlate with their performance on traditional assessment, suggesting the two approaches measure different competencies [13].

4. Effective Approach

The approaches discussed below are not proposed as separate interventions but as interrelated responses, each targeting one or more of the identified challenges.

4.1 Transition from Concrete to Abstract

Introduce each new digital logic concept first through a concrete, physically observable demonstration, for example, an LED driven by a simple gate combination, before moving to Boolean notation and then to abstractions based on timing or state, giving students a connection point for the abstractions that follow. This structure of instruction, which moves from a physical representation to a symbolic representation and finally to a temporal representation, is consistent with research showing that students build working mental models of how state evolves, and that addressing their underlying misconceptions directly is more effective than expecting rules to be absorbed through memorisation alone [10].

4.2 Simulation Tools and Low Cost or Virtual Labs

Software such as TinkerCAD or online logic simulators lets students practise unlimited, low-risk circuit design and testing outside scheduled lab sessions, reducing pressure on physical bench time and equipment. For physical labs that are still required, designing labs around a small number of logic devices has been shown to help students bridge the gap between thinking about discrete components and design, while still requiring them to build the modular design skills industry demands. Web-based digital logic experiment platforms that let students design and simulate circuits online, track their own progress, and receive homework directly through the system also extend labs beyond fixed hours and physical seating, helping students who need additional repetition [14]. Within a typical digital electronics syllabus, topics such as Karnaugh map minimisation, gate-level construction exercises and the design of asynchronous and synchronous counter circuits are particularly well suited to this kind of simulation-based practice, since they can be explored, tested and corrected repeatedly without consuming physical components or bench time. Recent evidence supports using simulation as a complement to, rather than a replacement for, physical work. A meta-analysis of 35 studies comparing physical and virtual investigation found no overall difference in conceptual knowledge acquisition, and virtual investigation was more effective for adult learners and where touch provides no relevant information about the concept under study [15], a condition that plausibly holds for the logic-level behaviour of gates and counters. In a Digital Electronics course, students used a web-based circuit simulator for laboratory tasks and individual self-discovery projects to foster independent, creative learning [16]. At the same time, a systematic review of virtual laboratories in engineering technology and vocational education programmes noted that empirical research on their

educational efficacy and pedagogical integration in these programmes remains limited [17], which reinforces the need for local validation of the approach proposed in this paper.

4.3 Active and Problem-Based Learning

Reorganising digital electronics around applied workshops, where students solve increasingly challenging design problems, for example binary addition or subtraction circuits, rather than passively working through solved examples, has been associated with significant reductions in student aversion to a subject and improved engagement across consecutive semesters in a comparable technical course once teaching moved from paper-based to hands-on, computerised methods [11]. Flipped classroom delivery, where basic content is learned before class and class time is allocated for guided problem solving, together with light gamification of formative quizzes, for example, quizzes based on points or limited by time, also has the potential to increase student engagement, especially for subjects that students often approach with initial scepticism. A systematic review of problem-, project-, and challenge-based learning in engineering education recommends that lecturers approach these methods through instructional design, following the stages of analysis, design, development, implementation, and evaluation [18]. This aligns with a recent study of Malaysian TVET educators, in which hands-on, inquiry-based learning situated in real-world problem contexts was a recurring pedagogical practice [8].

4.4 Peer-Assisted and Differentiated Learning

Structured, peer-assisted learning, matching more proficient and weaker students for design exercises, combined with brief diagnostic checks at the beginning of each major topic, allows lecturers to identify and address mathematical or conceptual readiness gaps before they accumulate throughout the semester, thereby addressing the issue of varying student readiness levels.

4.5 Authentic Assessment Based on Learning Outcomes

Align continuous assessment more closely with applied design and problem-solving assignments, such as mini-projects that require students to design, simulate, and justify combinational or sequential circuits based on specific specifications. This approach better reflects the Course Learning Outcomes (CLO) required by the OBE framework and more accurately indicates graduate readiness than assessments based solely on rote memorisation. This recommendation broadly aligns with how digital electronics courses are typically structured, where practical work and its associated generic-skill component already carry substantial weight in continuous assessment, indicating that such courses are generally designed to reward applied circuit construction, such as building counters, registers, and flip-flop circuits, rather than memorisation alone. Constructive alignment provides a further rationale, since it requires intended learning outcomes, teaching activities and assessment tasks to be designed so that they reinforce one another [4].

4.6 Structured Continuing Professional Development for Lecturers

Because digital competence alone does not guarantee effective digital pedagogy, continuing professional development courses for polytechnic lecturers should focus on subject-specific applications, such as workshops on integrating simulation software directly into digital electronics lesson plans, rather than generic ICT skills training. Mentoring and communities of practice among lecturers teaching the same course can sustain the adoption of new methods beyond the initial training period, addressing the reported decline in tool usage among Malaysian educators

[12]. A recent study of Malaysian TVET educators similarly found that peer collaboration to share resources and resolve technical difficulties supported meaningful digital integration [8].

5. Proposed Conceptual Framework

Table 1 summarises the mapping between the identified challenges and the corresponding proposed approaches. This framework is intended as a practical planning reference for polytechnic lecturers and curriculum teams. It is not a fixed prescription; instead, the relative emphasis of each approach should be tailored to the laboratory resources, class sizes, and student intake profile of a given polytechnic. The final column of Table 1 indicates the principal sources from which each challenge–approach pair is derived.

Table 1. Challenges and corresponding effective approaches

Challenge domain	Main causes (according to literature)	A correspondingly effective approach	Key supporting sources
Abstraction of digital logic concepts	Difficulty relating discrete or binary reasoning to real-world, continuous voltage behaviour.	Progression from concrete to abstract, e.g. physical logic gate kits before symbolic notation.	[2], [10]
Limited laboratory access and outdated equipment	High hardware costs per student, shared training boards, breadboard wiring congestion.	Low-cost training boards, virtual and remote labs (e.g., TinkerCAD, Logisim, Multisim, EDA simulators).	[14], [15], [16], [17]
Variety of mathematical foundations and existing knowledge	Variety of entry routes (SPM, SKM, vocational certificates) to polytechnic programmes,	Diagnostic pre-assessment, interactive modules, peer-assisted learning.	[8]
Passive delivery centred on the lecturer.	Large class sizes, lecturer workload, reliance on chalk-and-talk methods.	Flipped classroom, problem-based learning (PBL), gamified formative quizzes.	[8], [9], [11], [18]
Lecturers' digital pedagogical readiness	The gap between technical mastery and pedagogical use of digital tools.	Structured continuing professional development courses, communities of practice, mentoring.	[3], [6], [8], [12]
Assessment not aligned with Outcome-Based Education (OBE)	Assessment emphasises memorisation over design proficiency.	Project-based authentic assessment mapped to Programme or Course Learning Outcomes.	[4], [13]

Overall, this framework suggests that no single intervention is likely to resolve the reported difficulties associated with digital electronics teaching. Difficulties related to abstraction, resource constraints and pedagogical readiness are interrelated. This means that improvements in one area, for example, introducing simulation software, generally require complementary changes,

such as continuing professional development for lecturers or revised assessments, to translate into improved learning outcomes.

6. Discussion and Implications

For polytechnic lecturers, the framework offers a diagnostic starting point: rather than adopting new tools or techniques in isolation, lecturers can first identify the most limiting challenges in their classrooms, then select corresponding approaches as initial interventions. For curriculum developers and department heads, the framework highlights that investing in laboratory equipment alone is insufficient without parallel investment in lecturers' continuing professional development and assessment redesign. For researchers, the framework identifies several questions that have not yet been fully researched, particularly in the Malaysian polytechnic context, including how the entry route of SPM graduates versus vocational certificate holders interacts with achievement in digital electronics and whether flipped or blended delivery models produce measurable improvements in this context comparable to those reported elsewhere.

As a conceptual synthesis, this paper does not report primary empirical data from Malaysian polytechnics; the challenges and approaches described are based on a combination of international digital logic education literature and Malaysian TVET and digital teaching studies in general, which may not capture every local variation across polytechnic systems. The proposed framework should therefore be seen as a hypothesis to be tested further, rather than as a validated model. In addition, the authors identified and selected the literature through a narrative rather than a formal systematic process, so future work could apply a structured review protocol, such as PRISMA, to strengthen the completeness and replicability of the synthesis.

7. Conclusion and Future Work

Digital electronics remains a challenging yet important course in Malaysian polytechnic engineering programmes. This paper has synthesised recurring challenges, including the abstract nature of digital logic, laboratory resource constraints, diverse student readiness, delivery centred on lectures, lecturers' digital pedagogy gaps and assessment inconsistencies, and proposed an integrated framework of effective approaches comprising practical teaching, simulated laboratories that are low in cost, active and problem-based learning, differentiated support, authentic assessment and structured continuing professional development for lecturers. Future work should empirically test elements of this framework in specific polytechnic programmes, for example by comparing performance and engagement before and after the introduction of simulated laboratories or flipped classroom delivery and by examining how the framework needs to be adapted for different engineering disciplines, like electrical, electronics and mechatronics, and different polytechnic campuses across Malaysia.

References

[1] R. Tokheim and P. E. Hoppe, *Digital Electronics: Principles and Applications*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2022.

[2] G. Even and M. Medina, *Digital Logic Design: A Rigorous Approach*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2012.

[3] P. Mishra and M. J. Koehler, “Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge,” *Teach. Coll. Rec.*, vol. 108, no. 6, pp. 1017–1054, 2006.

[4] J. Biggs, “Enhancing teaching through constructive alignment,” *High. Educ.*, vol. 32, no. 3, pp. 347–364, 1996.

[5] S. D. A. Bujang, A. Selamat, O. Krejcar, P. Maresova, and N. T. Nguyen, “Digital learning demand for future education 4.0: Case studies at Malaysian education institutions,” *Informatics*, vol. 7, no. 2, p. 13, 2020.

[6] A. Azman, A. M. Ahmad, T. Widiastuti, H. Kholidah, and H. B. Sa’aid, “Toward inclusive digital teaching in Malaysia: Challenges, strategies, and future directions,” *Int. J. Res. Innov. Soc. Sci.*, vol. 9, no. 10, 2025.

[7] M. R. M. Jamil, A. T. M. Hashim, M. S. Othman, A. M. Ahmad, N. M. Noh, and M. F. M. Kamal, “Digital pedagogy policy in Malaysian TVET: A fuzzy Delphi approach,” *J. Tech. Educ. Train.*, vol. 15, no. 2, 2023 (DOI: 10.30880/jtet.2023.15.02.001).

[8] F. L. Chan and F. S. M. H. Joblie, “Teaching STEM with meaning: Digital pedagogical practices in Malaysian TVET,” *Jurnal Pemikir Pendidikan*, vol. 13, no. 1, pp. 328–339, 2025 (DOI: 10.51200/jpp.v13i1.7098).

[9] R. Mustapha, Sadrina, I. Mat Nashir, M. N. A. Azman, and K. A. Hasnan, “Assessing the implementation of the Project-Based Learning (PjBL) in the Department of Mechanical Engineering at a Malaysian polytechnic,” *J. Tech. Educ. Train.*, vol. 12, no. 1, pp. 100–118, 2020.

[10] J. Henry, B. Dumas, A. Vescan, and A. M. Pasca, “Student misconceptions about finite state machines: Identify them to create a concept inventory,” in *Proc. 4th Int. Workshop Educ. Through Adv. Softw. Eng. Artif. Intell. (EASEAI)*. New York, NY, USA: ACM, 2022, pp. 2–9.

[11] M. Lopez-Rosenfeld, “‘Tell me and I forget, teach me and I may remember, involve me and I learn’: Changing the approach of teaching Computer Organization,” arXiv:1703.02944, 2017.

[12] Hive Educators, “Rethinking teacher training for Malaysia’s digital future,” May 2025. [Online]. Available: https://hive-educators.org/2025/05/16/rethinking-teacher-training-for-malaysias-digital-future/

[13] M. D. Koretsky, C. J. McColley, J. L. Gugel, and T. W. Ekstedt, “Aligning classroom assessment with engineering practice: A design-based research study of a two-stage exam with authentic assessment,” *J. Eng. Educ.*, vol. 111, no. 1, pp. 185–213, 2022 (DOI: 10.1002/jee.20436).

[14] Y. Ding, S. Li, J. Liu, and X. Wu, “DCLab: A web-based system for digital logic experiment teaching,” arXiv:1811.03010, 2018.

[15] S. E. Muilwijk and A. W. Lazonder, “Learning from physical and virtual investigation: A meta-analysis of conceptual knowledge acquisition,” *Front. Educ.*, vol. 8, Art. no. 1163024, 2023 (DOI: 10.3389/feduc.2023.1163024).

[16] Y. Zhu and S. Howell, “Independent and creative learning in a Digital Electronics course using a web-based circuit simulator,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 31, no. 3, pp. 634–641, May 2023 (DOI: 10.1002/cae.22605).

[17] K. Frady, “Use of virtual labs to support demand-oriented engineering pedagogy in engineering technology and vocational education training programmes: A systematic review of the literature,” *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 48, no. 5, pp. 822–841, 2023 (DOI: 10.1080/03043797.2022.2141610).

[18] V. Sukackė *et al.*, “Towards active evidence-based learning in engineering education: A systematic literature review of PBL, PjBL, and CBL,” *Sustainability*, vol. 14, no. 21, Art. no. 13955, 2022 (DOI: 10.3390/su142113955).

NJIEA 2026

ISSN 2976-2766

