



Journal of Advanced Research in Social and Behavioural Sciences

Journal homepage:
<https://karyailham.com.my/index.php/jarsbs/index>
ISSN: 2462-1951



Sinergi Pengaturcaraan Scratch dan Automasi UAV: Satu Pendekatan Baharu dalam Kurikulum Mekatronik Sekolah Menengah *Synergy of Scratch Programming and UAV Automation: A New Approach in the Secondary School Mechatronics Curriculum*

Fayyadhathul Alyaa Ahmad Misnun¹, Nurul Nazirah Mohd Imam Ma'arof^{1,*}, Suhazlan Suhaimi², Irdyanti Mat Nashir¹, Azizul Qayyum Basri¹, Siti Fatimah Mohd Ghazali³

¹ Fakulti Teknikal dan Vokasional, Universiti Pendidikan Sultan Idris, 35900 Tanjong Malim, Perak, Malaysia

² Fakulti Komputeran dan Meta-Teknologi, Universiti Pendidikan Sultan Idris, 35900 Tanjong Malim, Perak, Malaysia

³ Sekolah Menengah Kebangsaan Alam Damai, Persiaran Bestari, Cheras, 56000 Kuala Lumpur, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, Malaysia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 May 2026

Received in revised form 6 Jun 2026

Accepted 20 July 2026

Available online 26 August 2026

ABSTRACT

Integrasi teknologi Revolusi Industri 4.0 (IR4.0) seperti Kenderaan Udara Tanpa Pemandu (UAV) ke dalam kurikulum sangat penting untuk memupuk literasi digital. Walau bagaimanapun, guru menghadapi kekangan pedagogi dan teknikal disebabkan kekurangan bahan terstruktur serta kesuntukan masa mengajar. Kajian ini bertujuan untuk menggabungkan pengaturcaraan visual Scratch dengan kawalan dron fizikal di sekolah, sekali gus memudahkan pendidikan pengaturcaraan awal. Kajian ini menggariskan pembangunan dan pengesahan pakar terhadap e-modul interaktif yang menggabungkan pengaturcaraan visual Scratch dengan kawalan dron fizikal bagi subjek Reka Bentuk dan Teknologi (RBT) Tahun 4 dan Tingkatan 3. Menggunakan reka bentuk kajian pembangunan kualitatif berpandukan model instruksional ADDIE lima fasa, kajian ini melibatkan tiga pakar bidang melalui persampelan bertujuan. Data dikumpul menggunakan protokol temu bual separa struktur untuk fasa analisis keperluan dan penilaian kesahan. Analisis keperluan mengesahkan kurangnya modul pengaturcaraan RBT. Fasa penilaian membuktikan e-modul sedia ada selaras sepenuhnya dengan Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP). Integrasi grafik langkah demi langkah, video pendek melalui kod QR, dan skrip automatik didapati mengurangkan masa pengajaran secara signifikan di samping memenuhi pelbagai gaya belajar murid.

The integration of Industrial Revolution 4.0 (IR4.0) technologies such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) into the curriculum is crucial to foster digital literacy. However, teachers face pedagogical and technical constraints due to the lack of structured materials and limited teaching time. This study aims to combine Scratch visual programming with physical drone control in schools, thus facilitating early programming education. This study outlines the development

* Corresponding author.

E-mail address: nnazirah@ftv.upsi.edu.my

<https://doi.org/10.37934/arsbs.45.1.317326>

Keywords:

Modul Interaktif; reka cipta; ADDIE; CTML;
vokasional
Interactive module; instructional design; ADDIE;
CTML; vocational

and expert validation of an interactive e-module that combines Scratch visual programming with physical drone control for the Design and Technology (RBT) subject in Year 4 and Form 3. Using a qualitative developmental research design guided by the five-phase ADDIE instructional model, this study involved three subject experts through purposive sampling. Data were collected using a semi-structured interview protocol for the needs analysis and validity assessment phases. The needs analysis confirmed the lack of RBT programming modules. The evaluation phase proved that the existing e-modules were fully aligned with the Curriculum and Assessment Standard Document (DSKP). The integration of step-by-step graphics, short videos via QR codes, and automated scripts has been found to significantly reduce teaching time while also catering to a variety of student learning styles.

1. Pengenalan

Kemajuan pesat Revolusi Industri Keempat (IR 4.0) telah memberi tekanan hebat kepada sistem pendidikan moden untuk melengkapkan pelajar muda dengan literasi digital, pemikiran komputasional, dan kemahiran reka bentuk kejuruteraan yang canggih [1]. Dalam konteks Pendidikan Teknikal dan Latihan Vokasional (TVET) serta laluan vokasional menengah, peralihan ini telah memangkin reformasi kurikulum di seluruh dunia. Di Malaysia, transformasi ini dipacu oleh Anjakan 7 (Memanfaatkan ICT bagi meningkatkan kualiti pembelajaran) dalam Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM 2013-2025). Salah satu hasil ketara daripada pelan tindakan ini ialah penggantian rasmi mata pelajaran Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK) lama dengan mata pelajaran Reka Bentuk dan Teknologi (RBT) yang lebih moden di sekolah rendah dan menengah. Di bawah kerangka RBT, pengaturcaraan visual berasaskan blok peringkat awal telah ditetapkan sebagai standard teras bermula dari Tahun 4 [6].

Walau bagaimanapun, pelaksanaan praktikal standard pengkodan ini menghadapi kekangan pedagogi dan logistik yang kritikal di dalam bilik darjah. Pertama, guru sekolah kebangsaan menghadapi kekangan masa yang teruk, di mana sesi RBT biasanya terhad kepada satu jam sahaja seminggu [5]. Kedua, terdapat kekurangan ketara terhadap alat bantu mengajar (ABM) yang standard, interaktif, dan berstruktur [3]. Buku teks sedia ada dikritik hebat kerana mengandungi teks yang sangat padat dan tidak interaktif serta tangkapan skrin monokromatik statik yang gagal menarik minat pelajar [9]. Akibatnya, pelajar sering bergelut untuk memahami struktur kawalan asas dan logik pengaturcaraan, yang membawa kepada kemerosotan minat dalam bidang STEM [10,12]. Ketiga, ramai guru RBT menghadapi kebimbangan teknologi (technological apprehension), bimbang untuk memperkenalkan perkakasan fizikal atau koordinat pengkomputeran kerana ketiadaan latihan formal dan dokumentasi langkah demi langkah yang jelas [7].

Bagi menangani cabaran ini, pengkomputeran fizikal—iaitu proses menghubungkan algoritma komputer pada skrin dengan peranti perkakasan fizikal yang nyata di dunia sebenar—menawarkan satu jambatan pendidikan yang revolusioner [11]. Dron atau Kenderaan Udara Tanpa Pemandu (UAV) menyediakan platform yang sangat menarik, berciri visual, dan spatial untuk mengajarkan logik pengaturcaraan [11,19]. Apabila pelajar melihat kod Scratch maya mereka dilaksanakan serta-merta sebagai pergerakan pelepasan fizikal dron atau putaran koordinat di dalam bilik darjah, algoritma abstrak diubah menjadi maklum balas fizikal konkrit yang serta-merta.

Walau bagaimanapun, masih wujud lompong yang besar dari segi ketiadaan modul instruksional yang berstruktur, sah, dan sejajar dengan kurikulum untuk membimbing guru dan pelajar dalam menyepadukan Scratch dengan penerbangan UAV. Kajian ini secara langsung menangani jurang penyelidikan tersebut. Dengan menggunakan reka bentuk penyelidikan pembangunan kualitatif, kami memperincikan reka bentuk sistem, pembangunan, dan pengesahan pakar terhadap e-modul

penerbangan dron berasaskan Scratch dwibahasa yang sejajar dengan Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) RBT kebangsaan [6].

2. Tinjauan Literatur

2.1 Pengaturcaraan Visual Berasaskan Blok dalam TVET Peringkat Awal

Pendidikan pengenalan sains komputer telah beralih daripada sintaks pengkodan berasaskan teks (yang sering mengecewakan pengaturcara baharu dengan ralat sintaks) kepada persekitaran pengaturcaraan visual berasaskan blok, terutamanya Scratch [4,8]. Dibangunkan oleh MIT Media Lab, Scratch membolehkan pengguna menyusun blok berkod warna yang mewakili struktur kawalan, operator matematik, pemboleh ubah, dan parameter watak (sprite). Antarmuka visual ini mengurangkan beban kognitif (cognitive load) dan membolehkan pelajar fokus sepenuhnya kepada struktur algoritma, aliran logik, dan strategi penyahpejatan (debugging). Dalam TVET dan pendidikan vokasional, pengaturcaraan blok berfungsi sebagai batu loncatan yang penting sebelum beralih ke bahasa berasaskan teks yang lebih kompleks. Ismail *et al.*, [4] menunjukkan bahawa murid sekolah rendah mempunyai keupayaan kognitif untuk menerokai algoritma visual yang kompleks apabila dibimbing oleh sistem tutorial multimodal yang responsif.

2.2 Kenderaan Udara Tanpa Pemandu (UAV) sebagai Alat Pengkomputeran Fizikal

Dalam tetapan pendidikan, pengkomputeran fizikal menghubungkan koordinat perisian maya dengan jentera fizikal [11]. UAV atau dron, seperti DJI Tello, semakin popular dalam program STEM dan TVET kerana reka bentuknya yang ringan, parameter keselamatan dalam bangunan, dan SDK sumber terbuka [11,12]. Menghubungkan Scratch dengan DJI Tello membolehkan pelajar mengekod laluan penerbangan koordinat fizikal menggunakan blok arahan untuk berlepas (takeoff), mendarat (landing), berputar 90 darjah, dan melaksanakan aksi akrobatik fizikal secara automatik. Kajian oleh Ramli dan Ismail [11] membuktikan bahawa struktur pembelajaran berasaskan dron memupuk penglibatan bilik darjah yang tinggi, membantu pelajar mengkonseptualisasikan koordinat matematik spatial, dan meningkatkan kerjasama interpersonal.

2.3 Kerangka Teori: Konstruktivisme dan Kecerdasan Pelbagai

Kajian ini berlandaskan Teori Pembelajaran Konstruktivisme dan Teori Kecerdasan Pelbagai Howard Gardner [14,15]. Pendekatan konstruktivisme menegaskan bahawa pembelajaran aktif berlaku apabila individu membina skema kognitif peribadi melalui penerokaan aktif dan interaksi fizikal langsung dengan persekitaran mereka [15]. Pengkomputeran fizikal menzahirkan gelung ini dengan sempurna: pelajar menulis skrip visual, memerhati penerbangan fizikal dron, mengenal pasti ketidakselarasan struktur (penyahpejatan), dan membina pemahaman logik yang lebih mendalam [2].

Teori Kecerdasan Pelbagai pula mengiktiraf bahawa pelajar memiliki profil kognitif yang berbeza, merangkumi aspek logik-matematik, spatial, jasmani-kinestetik, dan interpersonal [18]. Kurikulum pengaturcaraan visual berasaskan dron secara semula jadi menyantuni kecerdasan kepelbagaian ini: kecerdasan logik-matematik dirangsang semasa penyusunan blok kod, kecerdasan spatial semasa pemetaan koordinat penerbangan 3D, jasmani-kinestetik semasa ujian penerbangan fizikal, dan interpersonal semasa cabaran penerbangan kumpulan secara koperatif.

3. Metodologi

Kajian ini menggunakan reka bentuk penyelidikan pembangunan kualitatif yang memanfaatkan fasa fasa dalam Model ADDIE secara sistematik untuk mereka bentuk, membina, dan mengesahkan e-modul tersebut [14].

3.1 Persampelan dan Pemilihan Pakar

Selaras dengan prinsip penyelidikan pembangunan kualitatif, kaedah persampelan bertujuan (purposive sampling) telah digunakan untuk memilih tiga orang pakar pengesah yang mempunyai pengalaman luas dan khusus dalam sektor TVET, multimedia pendidikan, dan pengajaran RBT sekolah [17]. Profil kelayakan para pakar diringkaskan dalam Jadual 1.

Jadual 1

Profil kelayakan pakar e-modul

Pakar	Pengalaman	Bidang Kepakaran dan Kelayakan Akademik / Industri
Pakar 1	8 tahun	Guru RBT. Kepakaran khusus dalam STEM, reka bentuk robotik. Dilantik sebagai Pegawai Teknikal Negeri bagi pertandingan robot tempur di Negeri Selangor.
Pakar 2	17 tahun	Penyelaras ICT Bestari dan Guru RBT. Berpengalaman tinggi dalam pendigitalan sekolah, pendidikan pengkodan kanak-kanak, serta penglibatan pertandingan inovasi di Bangkok dan Korea.
Pakar 3	17 tahun	Pensyarah Kanan di IPTA. Pakar dalam bidang multimedia digital, reka bentuk permainan serius (serious game), dan pengendalian bengkel pengkodan guru kebangsaan.

3.2 Model ADDIE

3.2.1 Fasa analisis (Analysis)

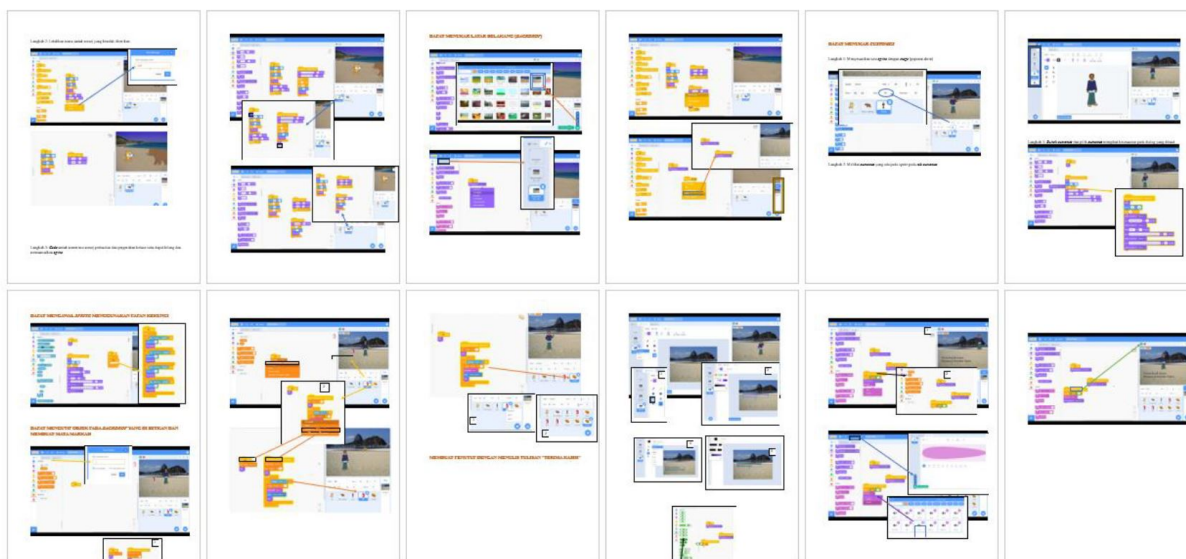
Tinjauan diagnostik penerokaan dan analisis literatur menunjukkan terdapat kekurangan yang serius bagi sumber pendidikan berstruktur untuk standard pengkodan RBT yang disemak semula [13]. Guru-guru menghadapi kekangan masa yang ekstrem serta kebimbangan teknologi yang tinggi. Fasa analisis ini merumuskan keperluan yang jelas terhadap e-modul modular yang dilengkapi anotasi visual serta bersifat pembelajaran sendiri bagi mengurangkan beban demonstrasi guru di samping membolehkan murid belajar mengikut kadar kemampuan sendiri.

3.2.2 Fasa reka bentuk (Design)

Rangka tindakan struktur e-modul direka bentuk untuk diselaraskan dengan DSKP RBT Tahun 4 Sekolah Rendah Malaysia (Standard Kandungan 6.2: Pembangunan Kod Arahan) dan standard mekatronik RBT Tingkatan 3 [6]:

- Unit Modular: Lima unit progresif direka bentuk, iaitu Unit 1 (Suai Kenal dan Pemasangan), Unit 2 (Navigasi Antarmuka), Unit 3 dan 4 (Reka Bentuk Permainan Asas), dan Unit 5 (Automasi Penerbangan Dron).
- Keseragaman Visual: Bagi mengelakkan kelesuan visual, templat latar belakang direka bentuk menggunakan Adobe Illustrator dengan tema tekno-industri yang kemas dan profesional. Skim warna yang unik dan bertenaga diperuntukkan bagi setiap unit.
- Perancangan Multimedia: Reka letak merancang penyisipan tangkapan skrin antarmuka Scratch beresolusi tinggi secara strategik, anak panah visual, butang navigasi, dan kod QR yang dipautkan ke video demonstrasi.

Struktur e-modul disusun mengikut hierarki kognitif dari tahap mudah ke tahap sukar menggunakan nisbah ruang saiz kertas A4 standard bagi mengoptimumkan ruang visual seperti dalam Rajah 1.



Rajah 1. Draft e-modul pengaturcaraan scratch untuk mengawal dron

3.2.3 Fasa pembangunan (Development)

Pembangunan digital modul ini merangkumi beberapa peringkat [14]:

- i. Sokongan Pedagogi: Arahan langkah demi langkah yang komprehensif ditulis untuk memperkenalkan penyediaan desktop Scratch dan operasi luar talian.
- ii. Pembangunan Logik Scratch: Pengkaji mengekod, melakukan penyahpejatan, dan mengoptimumkan skrip permainan asal dalam Scratch. Ini termasuk permainan pengesanan pelanggaran yang lengkap di mana watak (sprite) mengumpul makanan sihat (menambah parameter markah) sambil mengelak snek tidak sihat (mencetuskan paparan skrin 'Game Over').
- iii. Skrip Automasi Dron: Dengan menggunakan aplikasi lanjutan Scratch Tello, pengkaji membangunkan dan menguji skrip autonomi bagi pelepasan (takeoff), pendaratan (landing), pergerakan standard, putaran 3D, formasi automatik, dan gelung koordinat.
- iv. Kompilasi Canva: Semua arahan, tangkapan skrin blok kod, dan koordinat visual dikompilasi dalam Canva. Demonstrasi penerbangan dron dan simulasi permainan dimuat naik ke Google Drive, dengan pautan akses ditukar kepada kod QR.

3.2.4 Fasa pelaksanaan (Implementation)

Dokumen Canva yang telah siap dikompilasi ditukar kepada buku selak (flipbook) digital interaktif yang responsif melalui pelayan hos Heyzine [2]. Buku selak digital ini mempunyai fungsi peralihan halaman selak, hiperbautan aktif, pemicu mainan video terbina dalam, dan kod QR yang mudah diimbas untuk pengujian pada tablet dan skrin mudah alih. Pautan URL tersebut kemudiannya diedarkan kepada pakar pengesah untuk tujuan pengujian.

3.2.5 Fasa penilaian (Evaluation)

Penilaian e-modul dijalankan melalui temu bual pengesahan kualitatif berstruktur bersama ketiga-tiga pakar [17]. Protokol temu bual menilai aspek kesahan kandungan (Bahagian A), penyampaian dan persembahan (Bahagian B), serta kebolehgunaan fizikal dan prestasi fungsi dron (Bahagian C). Semua sesi pengesahan dirakam, ditranskrip secara verbatim, dan dianalisis menggunakan analisis bertema.

4. Keputusan dan Perbincangan

4.1 Bahagian A: Penjajaran Kurikulum dan Kesahan Pedagogi

Transkrip kualitatif mendedahkan bahawa ketiga-tiga pakar sangat menyokong kesahan kandungan dan penjajaran standard bagi e-modul yang dibangunkan:

i. Penyelarasan Kurikulum: Pakar 1 dan Pakar 3 mengesahkan bahawa e-modul menunjukkan penjajaran penuh dengan DSKP kebangsaan, merapatkan jurang antara pengkodan asas sekolah rendah dan mekatronik sekolah menengah. Pakar 1 menyatakan: "E-modul ini sangat lengkap dan memenuhi kedua-dua silibus sekolah... sekolah rendah memulakan Scratch di Tahun 4 dan 5, manakala sekolah menengah beralih kepada pengaturcaraan mekatronik di Tingkatan 3."

ii. Pemampatan Masa: Pakar 2 menekankan bahawa langkah bertulis yang sangat terperinci dan dianotasi mempercepat pengajaran kelas secara dramatik, membolehkan pelajar menyiapkan projek dalam satu sesi berbanding kebiasaan dua sesi. Beliau menyatakan: "Ia memendekkan masa pengajaran guru. Dengan e-modul langkah-demi-langkah ini, apa yang biasanya mengambil masa dua pertemuan kelas kini boleh diselesaikan dalam satu sahaja, menjimatkan masa dan sangat membantu guru."

iii. Adaptasi Audiens Terbeza: Pakar 2 mengetengahkan bahawa walaupun unit pengkodan asas (Unit 1–4) sangat sesuai untuk pelajar Tahun 4, penyediaan koordinat teknikal dan pengendalian fizikal dron dalam Unit 5 adalah agak mencabar (advanced). Beliau memerhati: "Ia sangat sesuai untuk guru dan pelajar pintar/maju. Bagi murid biasa sekolah rendah, Unit 5 agak advanced... tetapi ia adalah panduan terbaik untuk guru atau pasukan pertandingan peringkat tinggi."

4.2 Bahagian B: Persembahan, Kontras, dan Penambahbaikan Antarmuka Pengguna (UI)

Walaupun memuji estetika profesional buku selak Canva, para pakar mengenal pasti beberapa isu reka bentuk visual kritikal yang memerlukan pembetulan:

i. Mengurus Kepadatan Maklumat: Pakar 1 memerhati bahawa sesetengah halaman kelihatan terlalu padat dengan perenggan yang tebal. Beliau mencadangkan penggunaan senarai bulet dan jarak yang lebih luas: "Kandungan e-modul ini sangat bagus, tetapi reka letaknya agak padat. Saya cadangkan beri lebih ruang (spacing) bagi setiap info... gunakan bentuk bulet agar maklumat lebih ringkas dan jelas."

ii. Meningkatkan Kontras: Pakar 3 menyatakan bahawa teks hitam nipis yang diletakkan di atas blok berwarna cerah tidak memberikan kontras yang mencukupi. Beliau mengingatkan: "For block explanation functions, you must make the text color darker against the light background... we need strong color contrast because low contrast will cause eye strain."

iii. Konsistensi Butang UI: Pakar 3 menunjukkan bahawa butang navigasi digital berubah kedudukan koordinatnya di halaman yang berbeza. Beliau menyarankan agar antarmuka diselaraskan secara konsisten: "Dalam reka bentuk e-modul profesional, butang 'Utama' (Home) dan 'Tutup' (Close) mestilah kekal di bahagian atas skrin sepanjang masa, manakala anak panah navigasi

'Seterusnya' (Next) dan 'Kembali' (Back) berada di bahagian bawah... pastikan butang-butang ini juga hadir secara konsisten pada setiap halaman."

4.3 Bahagian C: Kebolehgunakan dan Prestasi Fungsi Dron

Penilaian terhadap penyepaduan antara perkakasan dan perisian adalah sangat positif, mengesahkan kesahan teknikal bagi kawalan dron menggunakan Scratch:

i. Kejayaan Berfungsi: Semua pakar mengesahkan bahawa skrip Scratch Tello—termasuk pelepasan asas, pendaratan, gerakan putaran, formasi automatik, dan arahan gelung koordinat—beroperasi dengan cemerlang. Pakar 1 menyatakan: "Saya setuju dron fizikal berfungsi dengan sempurna berdasarkan demonstrasi lisan dan video anda."

ii. Kebolehlaksanaan Kod Lanjutan: Pakar 3 mengesahkan tahap kerumitan algoritma gelung automasi dan formasi penerbangan: "Saya setuju skrip auto-formasi and auto-looping anda berfungsi dengan sempurna... sangat kreatif bagaimana anda menggabungkan blok-blok kod ini."

iii. Ketepatan Bahasa: Pakar 2 memerhati bahawa disebabkan blok Scratch sedia ada dalam bahasa Inggeris, naratif arahan penerangan dalam Bahasa Melayu memerlukan perbezaan yang jelas. Beliau mencadangkan agar semua istilah blok kod bahasa Inggeris (cth: takeoff, land) di-italik-kan atau diletakkan dalam tanda petikan bagi mengekalkan standard penulisan akademik.

4.4 Tindakan Pembetulan

Berdasarkan maklum balas kualitatif daripada para pakar penilai, tindakan penambahbaikan dan pembetulan yang komprehensif telah dilaksanakan ke atas e-modul seperti yang dibentangkan dalam Jadual 2.

Jadual 2

Cadangan penambahbaikan pakar dan tindakan pembetulan

Aspek Reka Bentuk	Ulasan dan Kritikan Pakar	Tindakan Pembetulan
Aspek A: Pedagogi dan Kurikulum	Modul sangat sejajar dengan kurikulum. Walau bagaimanapun, Unit 5 adalah agak advanced untuk murid biasa dan sesuai sebagai aktiviti pengayaan atau kelab (Pakar 2).	Penerangan unit modular dikekalkan, namun ditambah nota panduan khusus untuk guru bagi mengklasifikasikan Unit 5 sebagai unit 'Penerangan Tahap Tinggi / Pengayaan' dalam PdPc.
Aspek B: Persembahan dan Visual	Visual sangat estetik tetapi kepadatan maklumat di beberapa skrin Canva terlalu tinggi (Pakar 1). Kontras teks blok kurang jelas (Pakar 3). Butang UI berubah tempat (Pakar 3).	Teks penjelasan diringkaskan menggunakan senarai bulet. Warna teks penjelasan fungsi blok digelapkan bagi meningkatkan kontras visual. Kedudukan butang navigasi (Home, Close, Next, Back) diselaraskan pada koordinat tetap.
Aspek C: Kefungsian dan Bahasa	Kefungsian drone fizikal DJI Tello menggunakan Scratch adalah sangat baik (Pakar 1 & 3). Istilah blok Scratch bahasa Inggeris perlu jelas dibezakan daripada bahasa Melayu (Pakar 2).	Pengaturcaraan dron diuji semula dan disahkan stabil. Semua istilah teknikal blok Scratch bahasa Inggeris (seperti takeoff, land, loop) di-italik-kan sepenuhnya dalam keseluruhan draf modul.

4.4 Perbincangan

4.4.1 Sumbangan Teoretikal: Mengaktifkan Kecerdasan Pelbagai

Penyelidikan ini menyumbang kepada teori instruksional TVET dengan menunjukkan bagaimana pengkomputeran fizikal merapatkan jurang antara pengkodan digital dan kejuruteraan fizikal [14]. Kaedah pengkodan tradisional, yang hanya berfokus kepada watak (sprite) di atas skrin, sering gagal menarik minat pelajar yang sangat bergantung kepada gaya pembelajaran jasmani-kinestetik atau spatial-visual [16]. Melalui integrasi kuadkopter yang boleh diprogramkan, anjakan koordinat abstrak dan arahan logik diterjemahkan secara serta-merta kepada pergerakan fizikal di dunia nyata. Gelung maklum balas fizikal yang pantas ini mempercepat proses pembelajaran konstruktivis [15]. Apabila dron gagal melaksanakan formasi segi empat sama yang dikodkan, pelajar digesa untuk menyiasat, menyahpepijat, dan membina semula model kognitif mereka terhadap pemboleh variable spatial [2].

4.4.2 Kontekstualisasi Perbandingan dengan Kajian Terdahulu

Dapatan kajian ini menyokong dan memperluas literatur teknologi pendidikan sedia ada. Keputusan kami sejajar dengan kajian Sharif *et al.*, [16], yang membuktikan bahawa pengintegrasian robotik dan gamifikasi berasaskan praktikal berjaya meningkatkan minat pelajar serta mempelbagaikan kaedah pengajaran guru. Walau bagaimanapun, berbanding Sharif *et al.*, [16] yang menumpukan penilaian kepada aplikasi visual berasaskan skrin sahaja, kajian ini melangkah lebih jauh dengan membuktikan bahawa platform dron kos rendah seperti DJI Tello boleh disepadukan dengan jayanya ke dalam kurikulum kebangsaan. Dapatan kami juga menyokong kajian Ramli dan Ismail [11] berkaitan manfaat pembelajaran koperatif menerusi teknologi dron. Mengemudi dan mengekod dron memerlukan pembahagian peranan yang jelas dalam kalangan pasukan murid (cth: pengkod, pemerhati keselamatan, dan pencatat log penerbangan), yang secara semula jadi memupuk kerjasama interpersonal yang erat.

Akhir sekali, analisis keperluan kami mengesahkan rumusan Roslee *et al.*, [13] berkenaan isu ketiadaan sumber digital yang sejajar dengan kurikulum di sekolah-sekolah kebangsaan. Melalui pembangunan e-modul langkah demi langkah yang berstruktur ini, kajian ini menyediakan jalan penyelesaian yang boleh dipercayai dan diulang bagi mengatasi lompang sumber pendidikan, yang sebelum ini sering memaksa guru mencari tutorial tidak berstruktur secara dalam talian [13].

5. Kesimpulan

Kajian ini telah berjaya mereka bentuk, membangun, dan mengesahkan e-modul interaktif yang menyepadukan pengaturcaraan blok visual Scratch dengan kawalan dron fizikal, khusus untuk kurikulum TVET dan RBT peringkat sekolah di Malaysia. Berpandukan model ADDIE, buku selak digital yang dibangunkan menangani cabaran utama bilik darjah secara terus, termasuk kekangan masa, ketiadaan bahan interaktif piawai, dan kebimbangan guru terhadap teknologi. Penilaian pakar daripada bidang akademik, reka bentuk instruksional, dan pakar multimedia mengesahkan bahawa e-modul ini mempamerkan kesahan kandungan yang tinggi, mematuhi standard DSKP RBT, dan menyokong pembelajaran aktif murid secara kolaboratif. Kejayaan menghubungkan blok kod maya dengan penerbangan dron fizikal membuktikan bahawa pengkomputeran fizikal mampu menjadikan konsep pengkodan abstrak lebih mudah diakses dan menarik bagi pelajar.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan ucapan terima kasih yang tulus ikhlas kepada Universiti Pendidikan Sultan Idris atas sokongan institusi dan kemudahan yang disediakan sepanjang kajian ini dijalankan. Penghargaan khas juga ditujukan kepada semua pakar penilai yang telah meluangkan masa dan memberikan sumbangan pandangan yang sangat berharga sepanjang fasa penilaian data.

Rujukan

- [1] Cahyati, Sri Supiah, and Nanda Saputra. "How to Improve the quality of learning for early childhood? An implementation of education management in the industrial revolution era 4.0." *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini* 6, no. 5 (2022): 5437-5446. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i5.2979>
- [2] Dewi, Made Sri Astika, and Nyoman Ayu Putri Lestari. "E-modul interaktif berbasis proyek terhadap hasil belajar siswa." *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Pembelajaran* 4, no. 3 (2020): 433-441. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Pembelajaran*, 4(3), 433–441.
- [3] Saidin, Nur Faizah, Nur Azimah Mohd Bukhari, and Wong Seng Yue. "Penggunaan teknologi multimedia terhadap keberkesanan pengajaran dan pembelajaran dalam sistem pendidikan di Malaysia." *Journal of Issue In Education* 46 (2023): 44-57.
- [4] Ismail, Azniah, Maizatul Hayati Mohamad Yatim, Noor Azida Sahabudin, and Nor Zuhaidah Mohamed Zain. "Keupayaan Murid Sekolah Rendah Mempelajari dan Menerokai Bahasa Pengaturcaraan Visual: Capability of Primary School Pupils in Learning and Exploring Visual Programming Language." *Journal of ICT in Education* 3 (2016): 89-97.
- [5] Kamary, Norfaizah Md, and Mahizer Hamzah. "Kesediaan guru matematik Daerah Kuala Langat dalam melaksanakan pembelajaran abad ke 21." In *Seminar Antarabangsa Isu-Isu Pendidikan (ISPEN 2019)*, pp. 110-130. 2019.
- [6] Kementerian Pendidikan Malaysia. (2018). Kurikulum Standard Sekolah Rendah Reka Bentuk dan Teknologi (DSKP) Tahun 4.
- [7] Khairi, M. Abdullah, Malik Ubaidillah, Eka Julia Putri, Icha Natasya Aulia, Lilis Astika, Nurul Sufn, and Salsabila Yasmin. "Kemampuan Keprofesionalan Guru Dalam Menghadapi Kemajuan Teknologi di Era 4.0." *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3, no. 1 (2023): 128-136. <https://doi.org/10.47467/elmujtama.v3i1.2298>
- [8] Yusof, Mazlan Muhamad, H. A. Jalil, and Thinagaran Perumal. "Meneroka penggunaan pengaturcaraan berasaskan blok melalui pendekatan pembelajaran multimodaliti untuk projek robotik dalam kalangan murid sekolah rendah." *International Journal of Education and Training* (2023): 1-10.
- [9] RABI, NORZIANA BINTI MAT. "PENGUKURAN ELEMEN KBAT DALAM BUKU TEKS BAHASA MELAYU."
- [10] Poobalan, Nagavalli, Rozniza Zaharudin, and Yeun Ting Voon. "Penggunaan bahan multimedia interaktif 3D animasi ('Scratch') dalam kaedah pembelajaran teradun terhadap minat dan pencapaian murid Tahun 5 bagi mata pelajaran Sains." *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia* 9, no. 1 (2019): 49-56. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol9.1.6.2019>
- [11] Ramli, Aidei, and Yuslan Ismail. "Aplikasi Teknologi Dron Dalam Pengajaran dan Pembelajaran." *Jurnal Dunia Pendidikan* 4, no. 2 (2022): 142-147. <https://doi.org/10.55057/jdped.2022.4.2.13>
- [12] Ramli, Aidei, and Mohd Haniff Osman. "Keberkesanan Penggunaan Dron dalam Pembelajaran Topik Reka Bentuk Elektronik Tingkatan Dua." *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)* 8, no. 4 (2023): e002264-e002264. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i4.2264>
- [13] Roslee, Lialoura Long, Norwaliza Abdul Wahab, and Nordina Alia Nordin. "Membina Modul Mudah Membaca MOA bagi Meningkatkan Kemahiran Membaca Murid Orang Asli." *Asian Pendidikan* 1, no. 2 (2021): 1-10. <https://doi.org/10.53797/aspen.v1i2.1.2021>
- [14] Saad, Muhammad Shakir, Sabariah Sharif, and Muralindran Mariappan. "Pembangunan Modul Robot Permainan topik Respirasi Sel menggunakan Model ADDIE: Development of a respiration Robotic Gaming Module using the ADDIE Model." *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia* 8, no. 1 (2018): 55-73. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol8.1.5.2018>
- [15] Said, N. M., Izuan, M., & Gani, A. (2015). Model ADDIE dalam proses reka bentuk e-modul pengajaran: Bahasa Arab tujuan khas di Universiti Sains Islam Malaysia sebagai contoh. ResearchGate.
- [16] Sharif, S., Mariappan, M., Talin, R., Singh, S., Singh, B., Nurrahmah, U., Noorhassanah, B., Martin, R. I., & Kiok, K. (2021). Pemupukan STEM dalam kalangan pelajar luar bandar. Universiti Malaysia Sabah.
- [17] Shuib, Noor Haslinda. "Penggunaan protokol temu bual dalam menghasilkan dapatan kajian kualitatif yang berkualiti: Satu perkongsian pengalaman." *Jurnal Refleksi Kepemimpinan* JILID I (2019).

- [18] Theam, Lee Siong, Abdul Hadi Mat Dawi, Mathan Balaraman, and Zain Hazmi Zain Baharin. "PUPILS' RESPONSES TO INTRODUCTION TO PROGRAMMING USING COMPUTATIONAL THINKING SKILLS AND BRAIN-BASED TEACHING STRUCTURE." *Jurnal Penyelidikan Dedikasi* 12 (2017): 52-65.
- [19] Virbora, Ny, Un Sokoeun, Meas Saran, Srun Channareth, and Srim Saravuth. "Implementation of matrix drone show using automatic path generator with DJI tello drones." In *2022 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, pp. 1-5. IEEE, 2022. <https://doi.org/10.1109/ICEET56468.2022.10007090>