

Meningkatkan Penguasaan Subnetting Melalui Gamifikasi dan Visualisasi: Kajian Tindakan Inovasi Subnetting Master di Kolej Vokasional

(Enhancing Subnetting Mastery through Gamification and Visualisation: An Action Research on the Subnetting Master Innovation at a Vocational College)

Norsidah binti Hashim^{*}, Nur Diyana binti Mohamad Shukri, Ilham Karimi binti Mat Rof, Farah Afiqah binti Borhannudin

Jabatan Teknologi Maklumat dan Komunikasi, Kolej Vokasional Sungai Buloh, Jalan Kuala Selangor, Seksyen U20, 40160 Shah Alam, Selangor, MALAYSIA

*Pengarang Koresponden: sidashashim@kvsbkpm.edu.my

Received 10 August 2026; Accepted 15 September 2026; Available online 18 September 2026

Abstract

Subnetting is a foundational competency in computer networking, yet many students treat it as a memorisation task and cannot explain why a network begins at a particular address or why the last address in a block becomes the broadcast address. This two-cycle action research evaluated Subnetting Master, an innovation that sequences instruction from concrete to visual, then procedural, then gamified practice. Its components are the Kek Network analogy, a physical Subnet Slider, the Magic Number shortcut, and Subnetting Bingo. The study involved 20 first-semester Diploma in Information Technology students at Kolej Vokasional Sungai Buloh over five weeks, with content limited to Class C subnets from prefix /25 to /28. Data were collected through initial and final diagnostic tests, answering-time records, an observation checklist, document review and short interviews, and were triangulated across these sources. The mean diagnostic score rose from 45 per cent to 88 per cent, the pass rate from 60 per cent to 100 per cent, and observed active participation from 30 per cent to 100 per cent, while the mean time to complete one full subnetting question fell from 6.2 minutes to 2.0 minutes. The four recurring errors identified at baseline declined after the intervention, and students became more willing to explain their working aloud. The findings are reported as practitioner evidence from a single intact class without a comparison group or inferential testing, and the main contribution is a reusable teaching protocol rather than a generalisable claim of effectiveness.

Keywords: Subnetting, gamification, visualisation, manipulatives, action research, vocational college

Abstrak

Subnetting merupakan kemahiran asas dalam bidang rangkaian komputer, namun ramai pelajar menganggapnya sebagai tugas hafalan dan tidak dapat menerangkan mengapa sesuatu rangkaian bermula pada alamat tertentu atau mengapa alamat terakhir dalam sesuatu blok menjadi alamat broadcast. Kajian tindakan dua kitaran ini menilai inovasi Subnetting Master yang menyusun pengajaran secara berperingkat daripada konkrit kepada visual, kemudian kepada prosedur pengiraan dan akhirnya kepada latihan bergamifikasi. Komponennya terdiri daripada analogi Kek Network, Subnet Slider fizikal, teknik Magic Number dan permainan Subnetting Bingo. Kajian melibatkan 20 orang pelajar Semester 1 Diploma Teknologi Maklumat di Kolej Vokasional Sungai Buloh sepanjang lima minggu, dengan skop kandungan dibataskan kepada subnet kelas C bagi prefix /25 hingga /28. Data dikumpulkan melalui diagnostik awal dan akhir, rekod masa menjawab, senarai semak pemerhatian, semakan dokumen serta temu bual ringkas, dan ditriangulasikan antara sumber tersebut. Purata markah diagnostik meningkat daripada 45 peratus kepada 88 peratus, kadar lulus daripada 60 peratus kepada 100 peratus, dan penglibatan aktif yang diperhatikan daripada 30 peratus kepada 100 peratus, manakala purata masa menyiapkan satu soalan subnetting lengkap menurun daripada 6.2 minit kepada 2.0 minit. Empat kesalahan lazim yang dikenal pasti pada peringkat awal berkurangan selepas intervensi, dan pelajar menjadi lebih bersedia menerangkan jalan kerja secara lisan. Dapatan dilaporkan sebagai bukti amalan guru daripada satu kelas utuh tanpa kumpulan perbandingan dan tanpa ujian inferensi, dan sumbangan utamanya ialah protokol pengajaran yang boleh diguna semula.

Kata Kunci: Subnetting, gamifikasi, visualisasi, alat manipulatif, kajian tindakan, kolej vokasional

* Corresponding author: sidashashim@kvsbkpm.edu.my

1. Pengenalan

Topik IP Addressing dan Subnetting merupakan kemahiran asas dalam bidang rangkaian komputer. Pelajar perlu memahami hubungan antara alamat IP, prefix CIDR, subnet mask, saiz blok, Network ID, Broadcast Address dan julat hos yang boleh digunakan. Kemahiran ini menjadi prasyarat kepada konfigurasi rangkaian, penghalauan, VLSM, route summarization dan penyelesaian masalah rangkaian. Oleh sebab itu, subnetting kekal sebagai salah satu topik teras dalam kurikulum rangkaian di peringkat diploma dan dalam program persijilan industri (Allison, 2022).

Walaupun pelajar telah diperkenalkan kepada asas nombor binari, mereka sering menghadapi kesukaran apabila perlu menggabungkan beberapa konsep dalam satu soalan. Sebahagian pelajar dapat menghafal jadual subnet mask atau formula 2^n , tetapi tidak dapat menerangkan mengapa sesuatu rangkaian bermula pada alamat tertentu, mengapa alamat terakhir menjadi broadcast, atau mengapa Network ID tidak boleh diberikan kepada hos. Punca kesukaran ini bersifat kognitif: satu soalan subnetting lengkap menuntut pelajar memproses beberapa elemen yang saling berkait secara serentak, iaitu prefix, mask, saiz blok, sempadan blok dan peranan setiap alamat dalam blok tersebut. Apabila hubungan antara elemen ini belum stabil dalam ingatan, pelajar terpaksa bergantung kepada hafalan prosedur yang mudah berlaku kesilapan apabila nilai prefix diubah.

Pelbagai pendekatan telah dicuba bagi menangani kesukaran ini. Penggunaan perisian simulasi seperti Cisco Packet Tracer dilaporkan membantu pelajar memvisualisasikan topologi dan tingkah laku rangkaian dalam persekitaran yang selamat (Allison, 2022), manakala permainan serius yang dibangunkan khusus untuk kursus rangkaian menunjukkan potensi meningkatkan penglibatan pelajar (Pereira & Viana, 2023). Walau bagaimanapun, kebanyakan pendekatan ini menumpukan konfigurasi peranti dan topologi, dan bukan pembinaan gambaran mental tentang struktur blok alamat yang menjadi punca sebenar kesukaran subnetting.

Elemen gamifikasi, iaitu penggunaan elemen reka bentuk permainan dalam konteks bukan permainan (Deterding et al., 2011), telah banyak diteliti sebagai cara meningkatkan penglibatan dan motivasi. Meta-analisis Sailer dan Homner (2020) melaporkan kesan positif yang kecil hingga sederhana terhadap hasil kognitif, motivasi dan tingkah laku, manakala tinjauan sistematik Zainuddin et al. (2020) mengenal pasti tema positif berkaitan penglibatan, motivasi dan pencapaian akademik. Dalam bidang pendidikan pengaturcaraan dan sains komputer secara khusus, meta-analisis Zhan et al. (2022) turut menunjukkan kesan positif gamifikasi terhadap pencapaian pelajar.

Namun begitu, bukti tersebut tidak seragam dan perlu dibaca dengan berhati-hati. Li et al. (2024) menerusi meta-analisis mendapati bahawa gamifikasi meningkatkan motivasi intrinsik serta persepsi autonomi dan kepunyaan, tetapi kesannya terhadap kompetensi adalah minimum. Yu et al. (2024) pula mendapati bahawa kesan gamifikasi bergantung kepada reka bentuk: kesan lebih baik apabila tempoh pelaksanaan tidak melebihi tiga bulan, apabila struktur aktiviti bersifat kerjasama atau gabungan kerjasama dan persaingan, serta apabila bilangan elemen permainan yang digunakan tidak melebihi empat jenis. Justeru, gamifikasi bukan penyelesaian automatik, dan keberkesanannya bergantung kepada cara elemen permainan diikat kepada objektif pembelajaran.

Selain elemen permainan, cara maklumat dipersembahkan turut penting. Prinsip pembelajaran multimedia menekankan bahawa pelajar membina pemahaman dengan lebih baik apabila maklumat verbal dan visual dipersembahkan secara tersusun (Mayer, 2009). Sintesis terkini oleh Noetel et al. (2022) terhadap 29 tinjauan meta-analitik mengesahkan bahawa prinsip seperti pengisytaran, koheren dan segmentasi kekal memberikan kesan positif, walaupun saiz kesannya berbeza mengikut konteks. Dalam konteks subnetting, penggunaan warna untuk membezakan Network ID, julat hos dan Broadcast Address merupakan satu bentuk pengisytaran visual yang berpotensi mengurangkan masa pencarian maklumat.

Kajian ini berasaskan prinsip pembelajaran daripada perkara konkrit kepada konsep abstrak. Maksudnya, pelajar bermula dengan contoh yang mudah dilihat, disentuh atau dibayangkan sebelum beralih kepada simbol, formula atau konsep. Menurut Chatain et al. (2025), peralihan ini berlaku secara berperingkat dan bukannya melibatkan dua bentuk pembelajaran yang terpisah sepenuhnya. Tepgeç dan Demiraslan Çevik (2025) mendapati bahawa pelajar menunjukkan prestasi penyelesaian algoritma yang lebih baik dan pembelajaran yang lebih cekap apabila bantuan dalam contoh dikurangkan sedikit demi sedikit, berbanding penggunaan contoh biasa. Chen et al. (2023) pula menyokong penggunaan contoh penyelesaian lengkap sebelum pelajar melakukan latihan sendiri, khususnya bagi tugas yang melibatkan banyak langkah. Walau bagaimanapun, kaedah berperingkat ini tidak semestinya memberikan hasil yang lebih baik dalam semua keadaan. Kajian Lichtenberger et al. (2024) terhadap 187 pelajar fizik tidak menemukan perbezaan yang signifikan antara pengajaran yang beralih daripada konkrit kepada abstrak secara berperingkat dengan pengajaran yang memaparkan kedua-duanya secara serentak. Oleh itu, penggunaan kaedah berperingkat dalam kajian ini lebih wajar dijelaskan berdasarkan kesesuaiannya untuk dilaksanakan dalam bilik darjah, tanpa menganggap bahawa kaedah tersebut pasti lebih baik daripada kaedah lain.

Komponen manipulatif dalam kajian ini turut mempunyai sandaran empirikal. Justo et al. (2022) membandingkan alat manipulatif fizikal dan maya dalam pengajaran kejuruteraan struktur dan mendapati kedua-duanya sama berkesan bagi pembelajaran konseptual, dengan kelebihan alat fizikal terletak pada motivasi dan tumpuan pelajar. Dapatan ini menyokong penggunaan Subnet Slider fizikal yang berkos rendah, sambil mengelakkan dakwaan bahawa bentuk fizikal itu sendiri menghasilkan pembelajaran yang lebih baik.

Analogi pula berfungsi sebagai jambatan antara pengalaman harian pelajar dan konsep teknikal yang baharu. Dai et al. (2024) menunjukkan bahawa pendekatan berasaskan analogi membantu murid memahami konsep pengkomputeran yang abstrak. Dalam kajian ini, analogi Kek Network digunakan bagi menggambarkan proses membahagikan satu

rangkaian kepada beberapa blok, dengan hubungan songsang antara bilangan subnet dan saiz setiap subnet dijadikan idea utama yang perlu dilihat pelajar sebelum sebarang formula diperkenalkan.

Komponen terakhir, iaitu latihan berulang melalui permainan, bersandarkan gabungan cabaran, maklum balas dan pengulangan (Garris et al., 2002). Perlu dinyatakan bahawa meta-analisis Kandemir et al. (2026) terhadap 51 kajian mendapati masa penyampaian maklum balas, iaitu segera berbanding tertunda, tidak menghasilkan kesan purata yang bermakna. Justeru, justifikasi bagi maklum balas segera dalam kajian ini bukan terletak pada masa penyampaiannya, tetapi pada keupayaannya meningkatkan jumlah latihan yang dapat diselesaikan dalam satu sesi serta memastikan kesilapan dibetulkan sebelum ia diulang.

Dalam konteks Malaysia, gamifikasi telah diterokai dalam pelbagai bidang, termasuk pembelajaran interaktif berasaskan aplikasi kuiz di politeknik (Nojen, 2021), pembangunan permainan manipulatif bagi topik teknikal yang abstrak (Mohd Zainudin & Wan Salleh, 2024) serta pembelajaran dalam talian di universiti (Othman et al., 2023). Bagi sektor TVET secara khusus, tinjauan sistematik Dahalan et al. (2024) mendapati bahawa gamifikasi semakin banyak digunakan dalam latihan vokasional, khususnya bagi kandungan yang menuntut pengulangan dan ketepatan prosedur. Faktor minat, sikap dan efikasi sendiri turut dilaporkan sebagai peramal penting kepada motivasi pelajar kolej vokasional (Md Yazid & Ali, 2025; Nordin & Omar, 2024).

Sungguhpun demikian, kajian yang meneliti pengajaran subnetting secara khusus menggunakan gabungan analogi, alat manipulatif dan permainan dalam konteks kolej vokasional Malaysia masih sangat terhad. Kebanyakan kajian rangkaian komputer tertumpu kepada simulasi konfigurasi, manakala kajian gamifikasi tempatan jarang menyentuh topik pengiraan rangkaian. Jurang inilah yang cuba dirapatkan oleh kajian ini.

Dari sudut kajian tindakan, guru bertindak sebagai pengamal yang meneliti masalah sebenar dalam kelas, merancang intervensi, memerhati perubahan dan membuat refleksi untuk penambahbaikan seterusnya. Pendekatan ini bertepatan dengan asas kajian tindakan Lewin (1946) serta kitaran merancang, bertindak, memerhati dan merefleksi yang diihuraikan oleh Kemmis dan McTaggart (1988).

1.1 Pernyataan Masalah

Pemerhatian awal menunjukkan bahawa sebahagian pelajar menganggap subnetting sebagai topik yang sukar dan terlalu matematik. Apabila soalan memerlukan penentuan Network ID, Broadcast Address dan usable host range, pelajar cenderung menggunakan hafalan tanpa memahami struktur blok alamat. Kesannya, mereka mudah tersilap apabila nilai prefix atau alamat IP diubah. Ramai pelajar juga menunggu guru menunjukkan jalan kerja sebelum menyalin langkah penyelesaian, yang menunjukkan bahawa isu utama bukan sekadar kelemahan melakukan pengiraan, tetapi kekurangan gambaran mental yang stabil tentang bagaimana satu rangkaian dibahagikan kepada beberapa blok subnet.

Diagnostik awal menunjukkan purata markah hanya 45 peratus dan kadar lulus 60 peratus. Purata masa untuk menyiapkan satu soalan subnetting lengkap ialah 6.2 minit, manakala penglibatan aktif semasa latihan dianggarkan 30 peratus. Semakan hasil kerja mendapati empat kesalahan yang berulang, iaitu keliru menentukan saiz blok, menyamakan Broadcast Address dengan hos terakhir, memasukkan Network ID sebagai alamat hos yang boleh digunakan, dan mengambil masa terlalu lama kerana cuba melakukan pengiraan binari penuh. Ringkasan bukti awal yang menyokong pernyataan masalah ini ditunjukkan dalam Jadual 1.

Jadual 1. Bukti awal yang menyokong pernyataan masalah

Bukti Awal	Dapatan	Interpretasi
Purata markah diagnostik	45%	Penguasaan konsep masih rendah.
Kadar lulus	60%	Sebahagian besar pelajar memerlukan bimbingan tambahan.
Masa satu soalan lengkap	6.2 minit	Prosedur penyelesaian belum cekap.
Penglibatan aktif	30%	Latihan tradisional kurang mendorong penyertaan.

Masalah tersebut memberi kesan kepada kemajuan pelajar dalam topik rangkaian yang seterusnya. Tanpa pemahaman subnetting yang kukuh, pelajar akan terus bergantung pada contoh guru dan sukar membuat keputusan semasa konfigurasi rangkaian sebenar. Oleh itu, kajian ini memberi keutamaan kepada persoalan bagaimana amalan pengajaran dan pembelajaran (PdP) boleh diubah supaya pelajar dapat melihat struktur subnet, membina jalan fikir yang konsisten dan menguasai kemahiran dengan lebih yakin serta pantas.

1.2 Fokus, Persoalan dan Objektif Kajian

Fokus kajian ialah pengiraan subnet kelas C menggunakan prefix /25 hingga /28, dengan penekanan kepada hubungan antara CIDR, subnet mask, saiz blok, Network ID, Broadcast Address dan usable host range. Berdasarkan fokus tersebut, empat persoalan kajian dibentuk:

- (i) Bagaimanakah inovasi Subnetting Master membantu penyelidik menambah baik amalan PdP dalam menerangkan konsep subnetting?
- (ii) Apakah perubahan penguasaan pelajar terhadap konsep CIDR, subnet mask, Network ID, Broadcast Address dan usable host range selepas intervensi?

- (iii) Bagaimanakah penggunaan Subnet Slider, teknik Magic Number dan Subnetting Bingo mempengaruhi kecekapan pelajar menjawab soalan subnetting?
- (iv) Apakah aspek amalan PdP yang perlu dikekalkan atau ditambah baik untuk pelaksanaan kitaran seterusnya?

Selaras dengan persoalan tersebut, objektif kajian adalah untuk:

- (i) mereka bentuk dan melaksanakan inovasi Subnetting Master yang menggabungkan Kek Network, Subnet Slider, teknik Magic Number dan Subnetting Bingo;
- (ii) mengenal pasti perubahan penguasaan pelajar dalam menentukan CIDR, subnet mask, saiz blok, Network ID, Broadcast Address dan usable host range selepas intervensi;
- (iii) mengenal pasti perubahan kecekapan pelajar dari segi masa menjawab satu soalan subnetting lengkap; dan
- (iv) merefleksi amalan PdP bagi menghasilkan protokol pengajaran subnetting yang boleh digunakan semula dan ditambah baik.

Berdasarkan bukti awal yang diuraikan dalam Jadual 1, beberapa indikator kejayaan ditetapkan bagi menilai pelaksanaan intervensi. Indikator ini merangkumi penguasaan konsep, kecekapan menjawab, penglibatan, keyakinan pelajar serta perubahan amalan guru, dan menjadi panduan dalam menilai perubahan sepanjang pelaksanaan kajian. Perincian indikator kejayaan ditunjukkan dalam Jadual 2.

Jadual 2. Indikator kejayaan kajian

Aspek	Indikator
Penguasaan	Peningkatan purata markah dan kadar lulus diagnostik akhir.
Kecekapan	Pengurangan purata masa menjawab satu soalan lengkap.
Penglibatan	Pertambahan pelajar yang menyertai aktiviti, menerangkan jawapan dan menyemak rakan.
Keyakinan	Pelajar berani mencuba serta kurang bergantung pada jawapan guru.
Amalan guru	Terbentuk urutan pengajaran yang jelas dan boleh digunakan semula.

2. Metodologi

Kajian ini menggunakan reka bentuk kajian tindakan dua kitaran (Letchumy et al., 2025). Setiap kitaran melibatkan empat proses utama, iaitu merancang, bertindak, memerhati dan merefleksi. Reka bentuk ini dipilih kerana matlamat kajian ialah menambah baik amalan PdP dalam situasi kelas sebenar, dan bukan mengasingkan pencapaian pelajar daripada proses pengajaran.

2.1 Peserta dan Skop Kajian

Kajian melibatkan 20 orang pelajar Semester 1 Diploma Teknologi Maklumat di Kolej Vokasional Sungai Buloh, terdiri daripada 16 orang pelajar lelaki dan 4 orang pelajar perempuan. Kumpulan ini dipilih secara bertujuan kerana sedang mempelajari asas IP Addressing dan menunjukkan keperluan sokongan dalam memahami subnetting. Kajian dilaksanakan dalam kelas teori dan makmal komputer sepanjang lima minggu.

Skop kandungan dibataskan kepada subnet kelas C menggunakan prefix /25, /26, /27 dan /28. Kajian tidak meliputi VLSM, route summarization, IPv6 prefix atau pengiraan subnet kelas A dan B. Batasan ini bertujuan memastikan intervensi dapat diteliti secara mendalam dalam tempoh yang tersedia.

2.2 Tinjauan Awal dan Teori Tindakan

Tinjauan awal dilakukan menggunakan empat sumber utama, iaitu diagnostik bertulis, rekod masa menjawab, semakan lembaran kerja dan pemerhatian tingkah laku semasa PdP. Diagnostik mengandungi tugas menentukan CIDR, subnet mask, saiz blok, Network ID, Broadcast Address dan usable host range. Rekod masa digunakan untuk melihat kecekapan, manakala semakan dokumen membantu mengenal pasti pola kesalahan. Pemerhatian pula meneliti tahap penyertaan, ketergantungan kepada guru dan keyakinan menerangkan jawapan.

Dapatan tinjauan menunjukkan pelajar belum mempunyai model mental yang konsisten tentang blok subnet. Walaupun sesetengah pelajar mengingat nilai mask, mereka masih meneka Network ID atau broadcast berdasarkan contoh yang pernah dibuat. Pelajar juga kurang bersedia menerangkan jalan kerja secara lisan dan lebih selesa menunggu penyelesaian guru. Analisis terhadap pola kesalahan yang berulang dalam tinjauan awal ditunjukkan dalam Jadual 3.

Jadual 3. Analisis kesalahan lazim dalam tinjauan awal

Kesalahan / Isu	Bukti Tinjauan	Analisis
Keliru saiz blok	Meneka berdasarkan hafalan jadual.	Tidak dapat menghubungkan mask dengan lompatan alamat.
Tersalah Broadcast Address	Broadcast ditulis sama seperti host terakhir.	Peranan alamat terakhir setiap blok belum difahami.

Kesalahan / Isu	Bukti Tinjauan	Analisis
Keliru Network ID dan host	Network ID dimasukkan sebagai host boleh guna.	Fungsi alamat rangkaian belum jelas.
Masa menjawab panjang	Menggunakan binari penuh bagi setiap soalan.	Tiada strategi ringkas yang stabil.
Penglibatan pasif	Menyalin jalan kerja guru.	Latihan kurang memberi peluang mencuba dan menerangkan.

Berdasarkan bukti tinjauan awal dan sorotan literatur, teori tindakan berikut dibentuk: sekiranya konsep subnetting dipersembahkan secara bertahap daripada analogi konkrit kepada visual manipulatif, diikuti prosedur pengiraan ringkas dan latihan permainan berulang, maka pelajar dijangka dapat membina gambaran blok subnet yang lebih stabil, menjawab dengan lebih pantas dan berani menerangkan jalan kerja.

Teori tindakan ini menggabungkan tiga sandaran. Pertama, prinsip peralihan konkrit kepada abstrak yang mencadangkan pelajar digerakkan secara berperingkat di sepanjang kontinum representasi (Chatain et al., 2025; Tepgeç & Demiraslan Çevik, 2025). Kedua, prinsip pembelajaran multimedia yang menyokong penggabungan representasi verbal dan visual secara tersusun (Mayer, 2009; Noetel et al., 2022). Ketiga, elemen cabaran, maklum balas dan pengulangan melalui permainan (Deterding et al., 2011; Garri et al., 2002). Persoalan yang diberi keutamaan ialah bagaimana urutan pengajaran konkrit–visual–prosedural–gamifikasi dapat membantu pelajar membina pemahaman subnetting dan mengurangkan kebergantungan kepada hafalan serta jawapan guru.

2.3 Inovasi Subnetting Master

Berdasarkan teori tindakan tersebut, satu inovasi PdP yang dinamakan Subnetting Master dibangunkan. Inovasi ini menggabungkan empat komponen yang dirancang untuk membantu pelajar mengenal pasti struktur subnet, mengikuti langkah pengiraan secara konsisten dan mengaplikasikan pengetahuan dalam situasi konfigurasi rangkaian. Bilangan elemen permainan sengaja dihadkan kepada empat jenis, selaras dengan dapatan Yu et al. (2024) bahawa kesan gamifikasi cenderung menurun apabila terlalu banyak elemen permainan digabungkan. Perincian komponen inovasi ditunjukkan dalam Jadual 4.

Jadual 4. Komponen inovasi Subnetting Master

Komponen	Fungsi PdP	Nilai Tambah
Kek Network	Menganalogikan rangkaian sebagai kek yang dipotong kepada subnet.	Menunjukkan bahawa lebih banyak subnet menghasilkan saiz host yang lebih kecil.
Subnet Slider	Memaparkan prefix, subnet mask, blok lompatan dan host boleh guna.	Mengurangkan hafalan jadual dan membina hubungan visual.
Magic Number	Menggunakan 256 – nilai mask untuk menentukan saiz blok.	Mempercepat pengiraan tanpa bergantung pada binari penuh.
Subnetting Bingo	Latihan pantas berperingkat melalui permainan.	Meningkatkan penglibatan, persaingan sihat dan maklum balas segera.

Keempat-empat komponen tersebut disusun dalam satu protokol pengajaran lima fasa yang bergerak daripada konkrit kepada refleksi. Protokol ini ditunjukkan dalam Jadual 5.

Jadual 5. Protokol pengajaran Subnetting Master

Fasa	Kaedah	Hasil Pembelajaran Disasarkan
1. Konkrit	Kek Network	Pelajar melihat rangkaian sebagai satu keseluruhan yang boleh dibahagikan.
2. Visual / manipulatif	Subnet Slider	Pelajar menggerakkan penanda dan melihat perubahan prefix, mask dan blok.
3. Prosedural	Magic Number	Pelajar membina langkah kira yang pendek dan konsisten.
4. Pengukuhan	Subnetting Bingo	Pelajar mengulang kemahiran dalam situasi cabaran dan kerjasama.
5. Refleksi	Penerangan jalan kerja	Pelajar menerangkan sebab jawapan, bukan hanya menyatakan nombor.

Bahan yang disediakan terdiri daripada bahan analogi Kek Network dalam bentuk kad atau paparan visual; Subnet Slider fizikal yang menunjukkan prefix /25 hingga /28, nilai mask, saiz blok dan bilangan hos; lembaran kerja berstruktur untuk menentukan Network ID, Broadcast Address dan usable host range; kad Subnetting Bingo yang dibezakan mengikut tahap Novice, Intermediate dan Boss; serta senarai semak pemerhatian, borang rekod masa, item temu bual dan rubrik penguasaan.

2.4 Prosedur Pelaksanaan

Pelaksanaan dijalankan secara sistematik melalui dua kitaran. Setiap kitaran melibatkan empat fasa utama, iaitu perancangan, tindakan, pemerhatian dan refleksi. Pelaksanaan berperingkat ini membolehkan pengkaji menilai perubahan yang berlaku, mengenal pasti kelemahan pelaksanaan serta membuat penambahbaikan bagi kitaran seterusnya. Reka bentuk kedua-dua kitaran diringkaskan dalam Jadual 6, manakala pelan pelaksanaan lima minggu ditunjukkan dalam Jadual 7.

Jadual 6. Reka bentuk dua kitaran kajian tindakan

Kitaran	Merancang	Bertindak	Memerhati	Merefleksi
Kitaran 1	Kenal pasti kekeliruan CIDR, mask dan host.	Kek Network, Subnet Slider dan Magic Number.	Respons, hasil kerja dan masa menjawab.	Perbaiki arahan, lembaran kerja dan tahap soalan.
Kitaran 2	Susun aktiviti pengukuhan berasaskan permainan.	Subnetting Bingo Level Novice hingga Boss.	Markah, masa, penglibatan dan temu bual.	Rumusan protokol dan cadangan gelungan seterusnya.

Jadual 7. Pelan pelaksanaan lima minggu

Minggu	Aktiviti	Eviden
1	Mengenal pasti masalah dan menyediakan instrumen.	Soal selidik awal, item diagnostik, slider dan kad Bingo.
2	Diagnostik awal dan rekod masa menggunakan kaedah biasa.	Markah, masa awal dan kesalahan lazim.
3	Kek Network, Subnet Slider dan Magic Number.	Lembaran kerja, pemerhatian dan refleksi Kitaran 1.
4	Subnetting Bingo Level Novice hingga Boss.	Kad Bingo, rekod penglibatan dan penerangan jawapan.
5	Diagnostik akhir, temu bual dan refleksi.	Skor akhir, masa, respons pelajar dan rumusan protokol.

2.5 Instrumen dan Pengumpulan Data

Lima sumber data digunakan bagi menyokong triangulasi dapatan, iaitu diagnostik awal dan akhir, rekod masa menjawab, senarai semak pemerhatian, semakan dokumen serta temu bual ringkas. Perincian setiap instrumen, tujuannya dan bukti yang dikumpul ditunjukkan dalam Jadual 8.

Jadual 8. Instrumen dan kaedah pengumpulan data

Sumber Data	Tujuan	Bukti Dikumpul
Diagnostik awal dan akhir	Menilai perubahan penguasaan konsep.	Skor item, kadar lulus dan kesalahan lazim.
Rekod masa menjawab	Menilai kecekapan menyelesaikan soalan.	Masa bagi Network ID, Broadcast ID dan usable host.
Senarai semak pemerhatian	Menilai penglibatan, keyakinan dan kerjasama.	Catatan guru dan tanda pemerhatian.
Semakan dokumen	Menilai kualiti jalan kerja.	Lembaran kerja, kad Bingo dan latihan bertulis.
Temu bual ringkas	Mendapatkan suara pelajar.	Respons selepas aktiviti dan cadangan penambahbaikan.

2.6 Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif melalui purata markah, peratus kadar lulus, peratus penglibatan aktif dan purata masa menjawab. Perubahan sebelum dan selepas intervensi dibandingkan dalam bentuk jadual dan graf. Data kualitatif daripada pemerhatian, temu bual dan refleksi guru dianalisis melalui pengelompokan tema seperti kefahaman visual, keyakinan, kebimbangan pengiraan dan penglibatan aktif. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan markah, masa, dokumen pelajar, pemerhatian dan respons temu bual. Kajian ini tidak menggunakan ujian inferensi kerana reka bentuknya melibatkan satu kumpulan utuh tanpa kumpulan perbandingan; justeru istilah “signifikan” tidak digunakan dalam pelaporan dapatan.

2.7 *Pertimbangan Etika*

Pelajar diberi penerangan bahawa aktiviti merupakan sebahagian daripada usaha menambah baik PdP dan tidak menjejaskan hak mereka untuk menerima bimbingan. Identiti individu tidak dinyatakan dalam laporan; data dilaporkan secara kumpulan atau menggunakan petikan tanpa nama. Foto atau video aktiviti hanya digunakan untuk dokumentasi pendidikan dengan kebenaran yang sesuai. Skor diagnostik digunakan untuk tujuan refleksi dan bimbingan, dan bukan untuk melabel kebolehan pelajar. Data disimpan secara terkawal dan hanya digunakan bagi tujuan kajian tindakan serta perkongsian amalan profesional.

3. *Dapatan Kajian*

3.1 *Pelaksanaan Kitaran Pertama dan Kedua*

Kitaran pertama dimulakan dengan aktiviti Kek Network. Satu rangkaian dianalogikan sebagai sebuah kek yang dibahagikan kepada beberapa bahagian, dan pelajar diminta meramalkan kesan apabila bilangan bahagian bertambah. Aktiviti ini membantu pelajar menyebut sendiri bahawa pertambahan subnet akan mengurangkan bilangan hos dalam setiap subnet.

Seterusnya, pelajar menggunakan Subnet Slider untuk melihat hubungan antara prefix /25 hingga /28, subnet mask, saiz blok dan hos boleh guna. Guru memberikan alamat IP contoh dan pelajar menggerakkan slider sebelum menandakan Network ID, Broadcast Address serta usable host range pada lembaran kerja. Teknik Magic Number diperkenalkan hanya setelah pelajar memahami blok secara visual, iaitu pelajar menggunakan formula 256 tolak nilai mask pada oktet berkaitan untuk mendapatkan lompatan subnet.

Semasa aktiviti kitaran pertama, pelajar yang sebelumnya pasif mula menggunakan istilah subnet dan hos dengan bahasa sendiri, dan lebih cepat menghubungkan /26 dengan saiz blok 64 serta 62 hos boleh guna. Walau bagaimanapun, arahan pada lembaran kerja didapati terlalu panjang bagi beberapa pelajar. Oleh itu, arahan dipendekkan, warna digunakan untuk membezakan Network ID, hos dan broadcast, serta soalan disusun daripada satu komponen kepada soalan lengkap.

Dalam kitaran kedua, latihan dilaksanakan melalui Subnetting Bingo dengan soalan disusun dalam tahap Novice, Intermediate dan Boss. Setiap kumpulan perlu menentukan jawapan dan menandakan kad yang sepadan. Jawapan hanya diterima apabila wakil kumpulan dapat memberikan alasan ringkas atau menunjukkan jalan kira, dan syarat ini mengelakkan permainan menjadi aktiviti meneka semata-mata. Elemen “denda ilmu” digunakan apabila jawapan salah, iaitu pelajar perlu membetulkan jawapan, menerangkan konsep kepada rakan atau menyelesaikan satu soalan tambahan. Guru merekod masa, penglibatan dan jenis kesalahan, manakala pelajar menyemak jawapan rakan sebelum bergerak ke tahap seterusnya.

Beberapa kekangan muncul sepanjang pelaksanaan dan ditangani secara berperingkat. Perincian kekangan serta tindakan mengatasinya ditunjukkan dalam Jadual 9.

Jadual 9. Kekangan pelaksanaan dan tindakan mengatasinya

Kekangan	Tindakan Mengatasi
Masa menerangkan peraturan permainan terlalu panjang.	Peraturan diringkaskan kepada kad panduan satu halaman dan demonstrasi satu pusingan.
Pelajar lemah tertinggal semasa Boss Mode.	Kad dibezakan mengikut tahap dan kumpulan dibentuk secara campuran.
Sebahagian pelajar terlalu fokus untuk menang.	Setiap jawapan diwajibkan bersama alasan atau jalan kerja.
Rekod masa sukar dibuat serentak bagi semua kumpulan.	Seorang pencatat masa dilantik dan rekod kumpulan disahkan oleh guru.
Risiko hafalan jawapan kad.	Set soalan dan susunan kad ditukar pada pusingan berikutnya.

3.2 *Perubahan Indikator Utama*

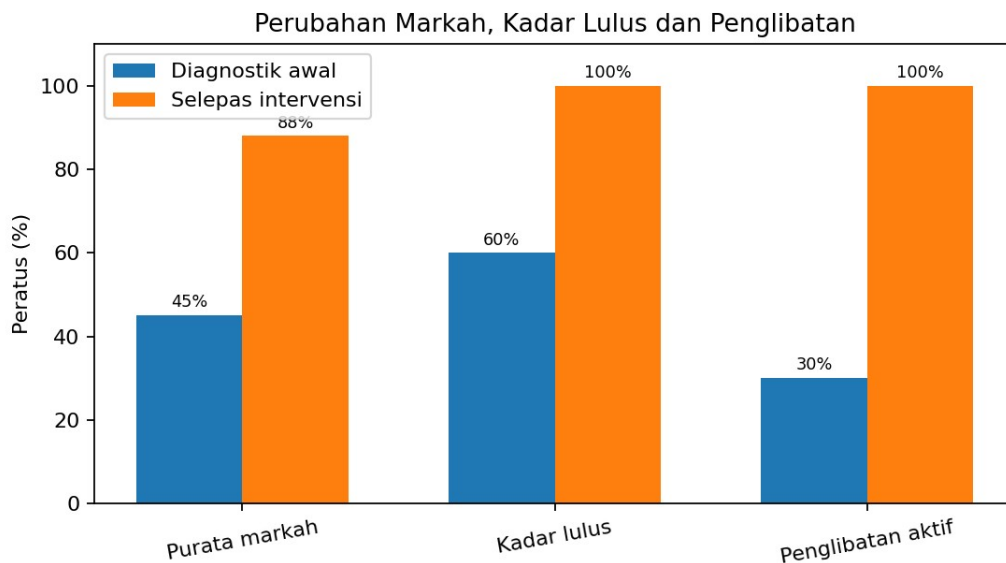
Perbandingan indikator utama sebelum dan selepas intervensi ditunjukkan dalam Jadual 10. Purata markah meningkat daripada 45 peratus kepada 88 peratus, kadar lulus daripada 60 peratus kepada 100 peratus, dan penglibatan aktif daripada

30 peratus kepada 100 peratus, manakala purata masa menyiapkan satu soalan lengkap menurun daripada 6.2 minit kepada 2.0 minit.

Jadual 10. Perubahan indikator utama sebelum dan selepas intervensi

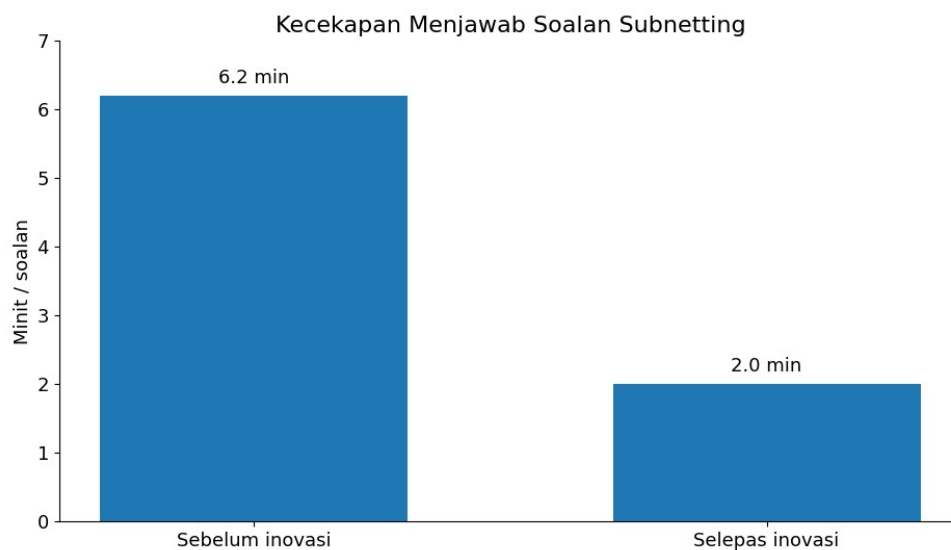
Indikator	Diagnostik Awal	Selepas Intervensi	Perubahan
Purata markah	45%	88%	+43 mata peratusan
Kadar lulus	60%	100%	+40 mata peratusan
Purata masa satu soalan lengkap	6.2 minit	2.0 minit	4.2 minit lebih cepat
Penglibatan aktif semasa PdP	30%	100%	+70 mata peratusan

Perbandingan purata markah, kadar lulus dan penglibatan aktif dipaparkan secara grafik dalam Rajah 1.



Rajah 1. Perubahan purata markah, kadar lulus dan penglibatan aktif

Perubahan kecekapan menjawab pula dipaparkan dalam Rajah 2. Penurunan purata masa sebanyak 4.2 minit menunjukkan bahawa jalan kerja pelajar menjadi lebih pendek dan lebih konsisten selepas penggunaan Subnet Slider dan teknik Magic Number.



Rajah 2. Penurunan purata masa menjawab satu soalan subnetting lengkap

3.3 *Perubahan Kesalahan Lazim*

Semakan dokumen selepas intervensi menunjukkan pengurangan bagi keempat-empat kesalahan lazim yang dikenal pasti dalam tinjauan awal. Perbandingan kesalahan sebelum dan selepas intervensi bersama refleksi guru ditunjukkan dalam Jadual 11.

Jadual 11. Perbandingan kesalahan lazim sebelum dan selepas intervensi

Kesalahan Awal	Perubahan Selepas Intervensi	Refleksi Guru
Keliru saiz blok	Pelajar menggunakan 256 – mask dengan lebih konsisten.	Subnet Slider perlu dikekalkan pada awal latihan.
Tersalah Broadcast Address	Pelajar menyebut broadcast sebagai alamat terakhir setiap blok.	Penggunaan warna pada blok subnet membantu.
Keliru Network ID dan hos	Kesilapan berkurang selepas aktiviti Kek Network.	Analogi konkrit sesuai digunakan sebelum formula.
Lambat menyiapkan soalan	Magic Number mempercepat keputusan awal.	Latihan masa perlu dibuat secara berkala.

3.4 *Dapatan Temu Bual dan Pemerhatian*

Bagi melengkapkan dapatan kuantitatif, data temu bual ringkas dan pemerhatian dianalisis mengikut tema. Data ini digunakan untuk memahami perubahan dari segi keyakinan, penglibatan, cara pelajar menerangkan langkah penyelesaian serta kesukaran yang masih dihadapi. Ringkasan tema, bukti dan interpretasi PdP ditunjukkan dalam Jadual 12.

Jadual 12. Tema refleksi berdasarkan temu bual dan pemerhatian

Tema	Bukti / Respons	Interpretasi PdP
Konsep menjadi nampak	“Bila guna slider, saya nampak kenapa /26 lompat 64.”	Visual dan manipulatif membina gambaran mental.
Kurang takut kepada kiraan	Pelajar menggunakan 256 – mask tanpa menunggu guru.	Magic Number mengurangkan beban pengiraan.
Latihan lebih aktif	Semua kumpulan mahu menjawab dan menyemak rakan.	Gamifikasi menjadikan pengulangan lebih bermakna.
Berani menerangkan	Pelajar yang biasanya diam membentangkan jalan kira.	Maklum balas segera meningkatkan keyakinan.

4. *Perbincangan*

Peningkatan purata markah daripada 45 peratus kepada 88 peratus menunjukkan bahawa lebih ramai pelajar dapat menghubungkan komponen subnetting secara lengkap, manakala kadar lulus yang meningkat kepada 100 peratus memberi petunjuk bahawa intervensi turut menjangkau pelajar yang pada awalnya memerlukan bimbingan tambahan. Pengurangan purata masa daripada 6.2 minit kepada 2.0 minit pula menunjukkan bahawa jalan kerja pelajar menjadi lebih pendek dan konsisten. Arah dapatan ini selari dengan meta-analisis gamifikasi dalam pendidikan sains komputer (Zhan et al., 2022) dan dengan tinjauan sistematik gamifikasi dalam sektor TVET (Dahalan et al., 2024).

Mekanisme yang paling munasabah menjelaskan perubahan ini ialah urutan peralihan daripada representasi konkrit kepada abstrak. Pelajar tidak diperkenalkan kepada formula Magic Number sehingga mereka dapat melihat dan menggerakkan blok subnet pada Subnet Slider. Susunan ini selari dengan hujah Chatain et al. (2025) bahawa representasi konkrit dan abstrak terletak pada satu kontinum, serta dengan dapatan Tepgeç dan Demiraslan Çevik (2025) bahawa pengurangan sokongan secara beransur-ansur meningkatkan kecekapan instruksional dalam pembelajaran prosedur pengaturcaraan.

Walau bagaimanapun, hujah tersebut perlu dikemukakan dengan berhati-hati. Lichtenberger et al. (2024) tidak menemui perbezaan yang bermakna antara urutan peralihan konkrit dan persembahan serentak dalam kajian bereksperimen terhadap 187 pelajar. Justeru, kajian ini tidak boleh mendakwa bahawa urutan berperingkat itu sendiri lebih unggul daripada susunan lain. Yang dapat dinyatakan ialah urutan tersebut memberikan struktur pengajaran yang jelas dan mudah diulang oleh guru, dan struktur inilah yang mungkin menyumbang kepada konsistensi jalan kerja pelajar.

Komponen manipulatif turut memerlukan tafsiran yang seimbang. Justo et al. (2022) mendapati bahawa alat manipulatif fizikal dan maya sama berkesan bagi pembelajaran konseptual, dengan kelebihan alat fizikal terletak pada motivasi dan tumpuan. Dalam kajian ini, Subnet Slider fizikal dipilih atas pertimbangan kos dan kebolehcapaian dalam bilik darjah kolej vokasional, dan bukan atas andaian bahawa bentuk fizikal menghasilkan pembelajaran yang lebih baik. Dapatan temu bual bahawa pelajar “nampak kenapa /26 lompat 64” selepas menggunakan slider menyokong peranannya dalam membina gambaran mental, tetapi tidak membuktikan keunggulan medium fizikal.

Penggunaan warna untuk membezakan Network ID, julat hos dan Broadcast Address merupakan bentuk pengisyarat visual yang disokong oleh sintesis Noetel et al. (2022). Namun, Skulmowski (2022) menunjukkan bahawa

pengekodan warna boleh menghasilkan kesan songsang apabila pelajar berlatih dengan warna tetapi diuji tanpa warna. Pemerhatian ini mempunyai implikasi praktikal yang langsung kepada kajian ini, memandangkan notasi CIDR dalam peperiksaan dan dalam persekitaran kerja sebenar tidak berwarna. Oleh itu, kitaran seterusnya wajar mengurangkan penggunaan warna secara beransur-ansur sebelum pentaksiran akhir supaya pelajar tidak bergantung kepada isyarat yang tidak akan wujud dalam situasi sebenar.

Elemen permainan dalam Subnetting Bingo pula direka dengan syarat akademik yang jelas. Kewajipan menerangkan jawapan, elemen denda ilmu dan semakan rakan menjadikan permainan sebagai latihan pembelajaran dan bukan sekadar hiburan. Reka bentuk ini bertepatan dengan dapatan Yu et al. (2024) bahawa gamifikasi lebih berkesan apabila struktur aktiviti bersifat kerjasama atau gabungan kerjasama dan persaingan, dan apabila bilangan elemen permainan dihadkan. Perlu dinyatakan juga bahawa Li et al. (2024) mendapati kesan gamifikasi terhadap kompetensi adalah minimum walaupun kesannya terhadap motivasi jelas, justeru peningkatan markah dalam kajian ini berkemungkinan berpunca daripada jumlah latihan yang bertambah dan bukan daripada elemen permainan itu sendiri.

Berkaitan dengan maklum balas segera, meta-analisis Kandemir et al. (2026) mendapati bahawa masa penyampaian maklum balas tidak menghasilkan kesan purata yang bermakna. Dapatan tersebut tidak menafikan nilai maklum balas dalam kajian ini, tetapi mengalihkan justifikasinya: kelebihan format Bingo terletak pada bilangan percubaan yang dapat diselesaikan dalam satu sesi dan pada jaminan bahawa setiap kesilapan dibetulkan sebelum diulang, dan bukan pada kepantasan maklum balas itu sendiri.

Perubahan paling ketara dalam amalan PdP ialah peralihan daripada terus menunjukkan formula kepada membina konsep secara bertahap. Sebelum kajian, penerangan penyelidik banyak tertumpu pada langkah kira dan jadual. Selepas intervensi, pelajar didapati lebih bersedia menerima formula apabila mereka terlebih dahulu melihat dan menggerakkan blok subnet. Sumbangan utama kajian ini justeru bukan terletak pada mana-mana satu komponen, tetapi pada protokol konkrit–visual–prosedural–gamifikasi yang boleh diguna semula oleh guru lain dengan bahan berkos rendah seperti kad, slider berlamin dan papan putih mini.

Beberapa batasan perlu diambil kira. Pertama, kajian melibatkan satu kumpulan utuh seramai 20 orang tanpa kumpulan perbandingan, justeru peningkatan yang diperhatikan tidak dapat dipisahkan daripada faktor lain seperti pendedahan berulang kepada kandungan, kesan guru atau kesan kebaruan aktiviti. Kedua, empat komponen dilaksanakan serentak sebagai satu pakej, maka sumbangan setiap komponen tidak dapat diasingkan. Ketiga, penglibatan aktif diukur melalui senarai semak pemerhatian oleh guru yang juga merupakan penyelidik, dan angka 100 peratus perlu difahami sebagai penyertaan yang diperhatikan dalam aktiviti dan bukan ukuran kualiti pembelajaran. Keempat, tempoh lima minggu tidak membenarkan sebarang kesimpulan tentang pengekalangan jangka panjang, dan skop kandungan terhadap kepada subnet kelas C /25 hingga /28.

Berdasarkan batasan tersebut, kitaran seterusnya wajar melibatkan kumpulan perbandingan yang menerima pengajaran konvensional, melaporkan skor min dan sisihan piawai serta saiz kesan, mentadbir ujian tertunda beberapa minggu selepas intervensi bagi menilai pengekalangan, dan menggunakan pemerhati bebas bagi mengurangkan bias penyelidik. Kajian lanjutan juga boleh menguji komponen secara berasingan bagi mengenal pasti sumbangan sebenar setiap elemen, serta memperluaskan skop kepada VLSM, route summarization dan IPv6 prefix.

5. Kesimpulan dan Cadangan

Kajian tindakan ini menunjukkan bahawa pelajar Semester 1 dalam bidang rangkaian komputer memerlukan pendekatan yang visual, konkrit dan aktif untuk menguasai subnetting. Inovasi Subnetting Master membantu menukar amalan PdP daripada keadaan guru menunjukkan formula dan pelajar menyalin, kepada pengalaman yang membolehkan pelajar melihat, menggerakkan, mengira, bermain dan menerangkan konsep. Gabungan Kek Network, Subnet Slider, teknik Magic Number dan Subnetting Bingo dikaitkan dengan perubahan positif pada penguasaan, kecekapan dan penglibatan.

Data kuantitatif menunjukkan peningkatan purata markah daripada 45 peratus kepada 88 peratus, kadar lulus daripada 60 peratus kepada 100 peratus, serta pengurangan purata masa menjawab daripada 6.2 minit kepada 2.0 minit. Data kualitatif pula menunjukkan pelajar lebih yakin, kurang takut kepada pengiraan dan lebih berani menerangkan jalan kerja. Walaupun dapatan terbatas kepada satu kelas dan tanpa kumpulan perbandingan, triangulasi pelbagai sumber data memberikan asas yang munasabah untuk mengekalkan dan menambah baik protokol ini dalam kitaran seterusnya.

Implikasi terhadap amalan ialah guru rangkaian komputer boleh menggunakan urutan Kek Network, Subnet Slider, Magic Number dan Subnetting Bingo sebagai protokol pengajaran bertahap. Bahan kos rendah seperti kad, slider berlamin dan papan putih mini boleh digunakan berulang kali bagi kohort yang berbeza. Aktiviti gamifikasi perlu sentiasa diikat kepada objektif, penerangan jalan kerja dan maklum balas supaya pembelajaran kekal menjadi fokus. Rancangan bagi kitaran seterusnya adalah seperti berikut.

- (i) membangunkan versi digital Subnet Slider untuk telefon dan komputer makmal, sekali gus membolehkan perbandingan antara medium fizikal dan maya;
- (ii) menyediakan bank soalan berperingkat bagi tahap Novice, Intermediate, Boss dan Boss 2;
- (iii) menambah rubrik komunikasi teknikal untuk menilai keupayaan pelajar menerangkan konsep kepada rakan;
- (iv) mengurangkan penggunaan warna secara beransur-ansur sebelum pentaksiran akhir supaya pelajar tidak bergantung kepada isyarat yang tiada dalam notasi sebenar;
- (v) melaksanakan dua kitaran baharu bagi topik VLSM dan route summarization dengan kumpulan perbandingan; dan

(vi) merekod video pelaksanaan sebagai bukti amalan baik dan bahan perkongsian profesional.

Subnetting Master bukan sekadar permainan. Ia merupakan protokol PdP yang menghubungkan konsep konkrit, representasi visual, prosedur pengiraan dan latihan berulang untuk membantu pelajar membina kefahaman subnetting yang lebih stabil.

Penghargaan

Syukur ke hadrat Allah SWT kerana kajian ini dapat disiapkan. Setinggi-tinggi penghargaan diberikan kepada pihak pengurusan Kolej Vokasional Sungai Buloh atas kebenaran dan sokongan yang diberikan, kepada rakan-rakan pensyarah Jabatan Teknologi Maklumat dan Komunikasi atas perkongsian pandangan dan maklum balas terhadap reka bentuk bahan inovasi, serta kepada 20 orang pelajar Semester 1 Diploma Teknologi Maklumat atas kerjasama dan maklum balas sepanjang pelaksanaan kajian ini. Terima kasih turut diberikan kepada semua pihak yang membantu secara langsung atau tidak langsung dalam menjayakan kajian ini. Kajian ini tidak menerima sebarang geran atau pembiayaan khusus daripada mana-mana agensi pembiayaan awam, komersial atau bukan untung.

Konflik Kepentingan

Penulis mengisytiharkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan berhubung penerbitan artikel ini.

Rujukan

- Allison, J. (2022). Simulation-based learning via Cisco Packet Tracer to enhance the teaching of computer networks. Dalam *Proceedings of the 27th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (Vol. 1, hlm. 68–74). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3502718.3524739>
- Chatain, J., Müller, C., Chatain, K., Calabrese, L., & Kapur, M. (2025). Concreteness and abstraction in mathematics education: A taxonomy of the semantic landscape. *Educational Psychology Review*, 37(4), Article 92. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10073-9>
- Chen, O., Retnowati, E., Chan, B. K. Y., & Kalyuga, S. (2023). The effect of worked examples on learning solution steps and knowledge transfer. *Educational Psychology*, 43(8), 914–928. <https://doi.org/10.1080/01443410.2023.2273762>
- Dahalan, F., Alias, N., & Shaharom, M. S. N. (2024). Gamification and game based learning for vocational education and training: A systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1279–1317. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11548-w>
- Dai, Y., Lin, Z., Liu, A., Dai, D., & Wang, W. (2024). Effect of an analogy-based approach of artificial intelligence pedagogy in upper primary schools. *Journal of Educational Computing Research*, 61(8), 1695–1722. <https://doi.org/10.1177/07356331231201342>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. Dalam *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference* (hlm. 9–15). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441–467. <https://doi.org/10.1177/1046878102238607>
- Justo, E., Delgado, A., Llorente-Cejudo, C., Aguilar, R., & Cabero-Almenara, J. (2022). The effectiveness of physical and virtual manipulatives on learning and motivation in structural engineering. *Journal of Engineering Education*, 111(4), 813–851. <https://doi.org/10.1002/jee.20482>
- Kandemir, E. N., Esposito, E., Gurgand, L., & Ramus, F. (2026). A meta-analysis of the impact of feedback timing on learning outcomes in computer-assisted learning. *Educational Psychology Review*, 38(1), Article 13. <https://doi.org/10.1007/s10648-026-10117-8>
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). *The action research planner* (3rd ed.). Deakin University Press.
- Letchumy, V. B., Salleh, R. N., & Horsi, N. S. M. (2025). Keberkesanan templat RPH pembelajaran autentik dalam meningkatkan pengajaran sains berunsur KBAT di sekolah rendah: Satu kajian tindakan. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*, 15(2), 31–44. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol15.2.3.2025>
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34–46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>
- Li, L., Hew, K. F., & Du, J. (2024). Gamification enhances student intrinsic motivation, perceptions of autonomy and relatedness, but minimal impact on competency: A meta-analysis and systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72(2), 765–796. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10337-7>
- Lichtenberger, A., Kokkonen, T., & Schalk, L. (2024). Learning with multiple external representations in physics: Concreteness fading versus simultaneous presentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(9), 2258–2290. <https://doi.org/10.1002/tea.21947>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.

- Md Yazid, N. A., & Ali, A. (2025). Pengaruh minat dan sikap terhadap motivasi pelajar di Kolej Vokasional zon selatan. *Online Journal for TVET Practitioners*, 10(2), 92–100. <https://doi.org/10.30880/ojtp.2025.10.02.009>
- Mohd Zainudin, N. S., & Wan Salleh, W. M. N. H. (2024). Pembangunan dan kebolegunaan permainan Catterpillar Bond bagi topik ikatan kimia terhadap pelajar Tingkatan 4. *Asian Pendidikan*, 4(2), 10–15. <https://doi.org/10.53797/aspn.v4i2.2.2024>
- Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Harris, N. R., Sanders, T., Parker, P., del Pozo Cruz, B., & Lonsdale, C. (2022). Multimedia design for learning: An overview of reviews with meta-meta-analysis. *Review of Educational Research*, 92(3), 413–454. <https://doi.org/10.3102/00346543211052329>
- Nojen, E. (2021). The effectiveness of interactive learning based on Quizziz applications among students of tourism and hospitality marketing. *Asian Pendidikan*, 1(1), 22–27. <https://doi.org/10.53797/aspn.v1i1.3a.2021>
- Nordin, D. N., & Omar, M. K. (2024). Factors influencing TVET readiness among students at public secondary school: Exploring interest, motivation, and self-efficacy. *Asian Journal of Vocational Education and Humanities*, 5(1), 10–19. <https://doi.org/10.53797/ajvah.v5i1.2.2024>
- Othman, N. A. F., Jaini, A., Ismail, M., Zainoddin, A. I., Mohamad Radzi, S. F., & Kaliani Sundram, V. P. (2023). Gamification in online learning: A case study among university students in Malaysia. *Asian Journal of University Education*, 19(2), 282–293. <https://doi.org/10.24191/ajue.v19i2.22239>
- Pereira, R. R., & Viana, W. (2023). A serious game for teaching computer networks: A comparison between remote and in-person scenarios. Dalam 2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (hlm. 1–9). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10343285>
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32(1), 77–112. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w>
- Skulmowski, A. (2022). When color coding backfires: A guidance reversal effect when learning with realistic visualizations. *Education and Information Technologies*, 27(4), 4621–4636. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10796-6>
- Tepgeç, M., & Demiraslan Çevik, Y. (2025). An experimental evaluation of worked example strategies for efficient programming instruction. *Technology, Knowledge and Learning*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09901-2>
- Yu, Q., Yu, K., & Li, B. (2024). Can gamification enhance online learning? Evidence from a meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 29(4), 4055–4083. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11977-1>
- Zainuddin, Z., Chu, S. K. W., Shujahat, M., & Perera, C. J. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. *Educational Research Review*, 30, Article 100326. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100326>
- Zhan, Z., He, L., Tong, Y., Liang, X., Guo, S., & Lan, X. (2022). The effectiveness of gamification in programming education: Evidence from a meta-analysis. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, Article 100096. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100096>