

P21 sebagai Kerangka Asas Kemahiran Abad Ke-21 Guru Matematik: Satu Tinjauan Konseptual Kritis

P21 as a Core Framework for Mathematics Teachers' 21st-Century Skills: A Critical Conceptual Review

Phey S. Ling^{1*}, Fadzilah Amzah & Aziah Ismail

Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia

*email: pheysling@student.usm.my

Diterima: 10 Julai 2025; **Disemak semula:** 25 Oktober 2025; **Diterima:** 21 November 2025; **Diterbitkan:** 20 Disember 2025

To cite this article (APA): Ling, P. S., Amzah, F., & Ismail, A. (2025). P21 sebagai Kerangka Asas Kemahiran Abad Ke-21 Guru Matematik: Satu Tinjauan Konseptual Kritis. *Perspektif Jurnal Sains Sosial Dan Kemanusiaan*, 17(Isu Khas), 144-160. <https://doi.org/10.37134/perspektif.vol17.sp.10.2025>

To link to this article: <https://doi.org/10.37134/perspektif.vol17.sp.10.2025>

Abstrak

Kertas konsep ini meneliti secara kritis Kerangka *Partnership for 21st Century Skills* (P21) sebagai asas untuk membangunkan kemahiran guru matematik dalam menghadapi cabaran abad ke-21. Transformasi global menuntut guru matematik perlu mengajar bukan sahaja kandungan matematik tetapi juga kemahiran abad ke-21 seperti pemikiran kritis, kreativiti, kolaborasi dan komunikasi (4C). P21 adalah kerangka yang paling praktikal dan holistik berbanding model lain seperti *OECD Learning Compass 2030*, *ATC21S*, dan *DigComp 2.2*, serta memberikan panduan operasional yang jelas dan mudah diterjemah ke dalam pedagogi dan pentaksiran matematik serta integrasi literasi digital, selari dengan aspirasi kurikulum Matematik. Pelaksanaan P21 menghadapi cabaran seperti tahap kesediaan guru, sistem peperiksaan berpusat yang ketat, dan jurang digital antara kawasan bandar dan luar bandar. Namun, P21 menyediakan asas praktikal yang boleh disesuaikan dengan keadaan Malaysia, diperkukuhkan melalui komuniti pembelajaran profesional (PLC) dan diselaraskan dengan dasar pendidikan. Pendekatan ini dapat membantu merealisasikan aspirasi kurikulum matematik negara dengan pelaksanaan sebenar di sekolah.

Kata Kunci: Guru Matematik; Kemahiran Abad ke-21; Kerangka P21; Pemikiran Kritis; Kreativiti; Kolaborasi; Komunikasi; Literasi Digital; Komuniti Pembelajaran Profesional (PLC)

Abstract

This conceptual paper critically examines the Partnership for 21st Century Skills (P21) Framework as a foundation for developing mathematics teachers' skills in addressing 21st-century challenges. Global transformations demand that mathematics teachers not only teach mathematical content but also cultivate 21st-century skills such as critical thinking, creativity, collaboration, and communication (4Cs). P21 proves to be the most practical and holistic framework compared to other models like OECD Learning Compass 2030, ATC21S, and DigComp 2.2, providing clear operational guidance that can be easily translated into mathematics pedagogy, assessment, and digital literacy integration, aligning with Mathematics curriculum aspirations. The implementation of P21 faces challenges including teacher readiness levels, a rigid centralized examination system, and the digital divide between urban and rural areas. However, P21 offers a practical foundation that can be adapted to the Malaysian context, strengthened through professional learning communities (PLCs) and aligned with educational policies. This approach may help bridge the gap between the national mathematics curriculum's aspirations and actual implementation in schools.

Keywords: Mathematics Teachers; 21st-Century Skills; P21 Framework; Critical Thinking; Creativity; Collaboration; Communication; Digital Literacy; Professional Learning Community (PLC)

PENGENALAN

Dunia pendidikan global, termasuk Malaysia, sedang berhadapan dengan gelombang transformasi yang didorong oleh revolusi industri ke-4, globalisasi, dan ledakan maklumat. Transformasi ekonomi dan sosial yang berubah dengan pantas ini menuntut satu set kemahiran abad ke-21 yang melangkaui penguasaan kandungan disiplin semata-mata (Saienko & Shevchenko, 2021). Dalam konteks ini, peranan guru matematik menjadi semakin kompleks kerana mereka tidak lagi hanya bertanggungjawab untuk memindahkan pengetahuan tentang algebra atau kalkulus, tetapi juga perlu membentuk pelajar yang mampu berfikir secara kritis, menyelesaikan masalah kompleks, berkolaborasi, dan berkomunikasi dengan efektif. Semua kemahiran ini merupakan teras kepada kemahiran abad ke-21 (Jamil et al., 2023).

Khusus dalam konteks matematik, kemahiran abad ke-21 perlu diterjemahkan kepada pemodelan, penaakulan, perwakilan, dan komunikasi matematik. Bukti empirikal terkini menunjukkan bahawa pemodelan matematik mempunyai korelasi positif dengan kreativiti pelajar dan sikap ingin tahu, di samping disokong oleh pedagogi inkuiri. Tambahan pula, intervensi projek juga diperhatikan memperkukuh kemahiran pembelajaran dan inovasi 4C yang merangkumi *Critical Thinking* (Pemikiran Kritis), *Creativity* (Kreativiti), *Collaboration* (Kolaborasi), dan *Communication* (Komunikasi) dalam konteks pendidikan menengah. Walau bagaimanapun, isu kritikalnya ialah bagaimana guru disokong untuk mereka bentuk tugas autentik, menilai kemahiran 4C secara adil, dan membina budaya wacana matematik yang bermakna dan bukan sekadar mengisytiharkan "kemahiran abad ke-21" dalam dokumen kurikulum (Wang et al., 2023; Rehman et al., 2024; Kain et al., 2024; Herlinawati et al., 2024).

Walaupun hasrat negara dalam Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM) 2013-2025 dan Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) Matematik jelas menyentuh kepentingan kemahiran ini, terdapat jurang yang semakin besar antara aspirasi dan realiti di bilik darjah. Hal ini berlaku kerana majoriti guru matematik dilatih dalam sistem pendidikan yang berpusatkan peperiksaan dan penguasaan kandungan, sehingga menyebabkan mereka kurang terdedah dan kurang mahir dalam pedagogi yang mengutamakan kemahiran abad ke-21 (Nordin & Muhammad, 2021). Oleh itu, terdapat keperluan mendesak untuk satu kerangka yang jelas, menyeluruh, dan boleh dilaksanakan bagi membimbing pembangunan kemahiran abad ke-21 guru matematik Malaysia.

KAEDAH TINJAUAN KONSEPTUAL

Kertas ini mengikuti panduan metodologi yang lazim digunakan dalam tinjauan konseptual seperti yang dihuraikan oleh Torraco (2005), Gilson dan Goldberg (2015) serta Snyder (2019). Tinjauan konseptual tidak bertujuan mensintesis saiz kesan empirikal, sebaliknya menganalisis, mengintegrasikan dan menyusun semula konstruk teori sedia ada untuk menghasilkan penjelasan konseptual yang lebih tuntas. Sejajar dengan pendekatan tersebut, tinjauan ini dilaksanakan melalui tiga fasa utama.

Fasa pertama melibatkan pemilihan literatur secara bertujuan untuk mengenal pasti kerangka asas berkaitan kemahiran abad ke-21 dan kompetensi guru matematik. Dokumen utama yang dirujuk termasuk Kerangka P21, *OECD Learning Compass 2030*, *ATC21S* dan *DigComp 2.2*, termasuk dokumen dasar kurikulum Malaysia seperti DSKP Matematik dan PPPM 2013–2025. Pendekatan ini selaras dengan saranan bahawa tinjauan konseptual perlu memfokuskan karya teori yang berpengaruh dan relevan, bukannya berusaha meliputi semua sumber secara menyeluruh tanpa diskriminasi (Torraco, 2005).

Fasa kedua melibatkan analisis perbandingan kerangka. Setiap kerangka dianalisis menggunakan tiga lensa analitik yang sering digunakan dalam penyelidikan konseptual, iaitu (i) andaian teori yang mendasarinya, (ii) koheren dan kejelasan konstruk, serta (iii) kebolegunaan operasional dalam amalan

pedagogi matematik (Gilson & Goldberg, 2015). Melalui proses ini, pertindihan konstruk, jurang konsep, dan titik perbezaan antara kerangka dikenal pasti dan dinilai secara kritis dengan memberi tumpuan khusus kepada implikasi terhadap reka bentuk PdPc matematik.

Fasa ketiga merangkumi sintesis dan pembinaan semula kerangka konseptual. Berlandaskan Snyder (2019), sintesis dilakukan dengan menyusun semula literatur bagi membangunkan justifikasi konseptual yang lebih jelas mengapa P21 dipilih sebagai kerangka teras kompetensi abad ke-21 guru matematik. Dalam fasa ini, pemetaan sistematik dilaksanakan bagi menunjukkan penjajaran antara konstruk P21 dengan (a) proses pemikiran matematik, (b) tuntutan pedagogi pemodelan dan inkuiri, serta (c) ekspektasi semasa kurikulum matematik Malaysia.

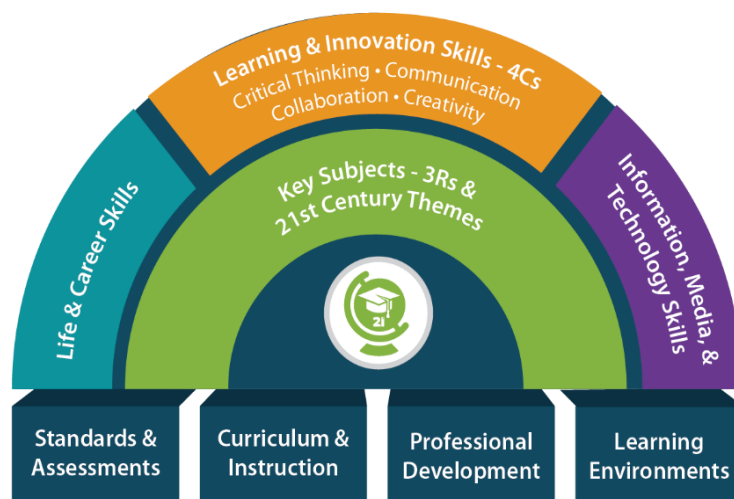
Pendekatan tiga fasa ini memastikan ketelitian konseptual, ketelusan langkah analisis, dan rasional yang dapat dipertahankan bagi pemilihan P21 sebagai kerangka asas dalam tinjauan konseptual kritikal ini.

MODEL PARTNERSHIP FOR 21ST CENTURY SKILLS (P21) DAN PERBANDINGAN DENGAN KERANGKA LAIN

Kerangka *Partnership for 21st Century Skills* (P21) telah melalui evolusi yang signifikan sejak penubuhannya. Pada awalnya, P21 ditubuhkan sebagai perkongsian antara sektor pendidikan dan industri pada tahun 2002 dengan matlamat utama untuk membangunkan visi bersama mengenai kemahiran yang diperlukan untuk abad ke-21. Perkembangan ini melibatkan kolaborasi antara organisasi terkemuka termasuk *U.S. Department of Education*, *Apple*, *Cisco*, *Microsoft*, dan beberapa organisasi pendidikan (Kay & Greenhill, 2011).

Pada tahun 2016, P21 secara rasmi digabungkan di bawah organisasi *Battelle for Kids*, sebuah pertubuhan bebas yang berfokus pada transformasi sistem pendidikan. Peralihan ini menandakan perubahan dari fasa pembangunan konsep kepada implementasi praktikal dalam sistem pendidikan. *Battelle for Kids* terus menyebarkan dan mengembangkan kerangka P21 melalui pelbagai inisiatif, termasuk *21st Century Learning Exemplars* dan *P21 Network* yang menghubungkan daerah sekolah yang komited kepada pendidikan abad ke-21 (Battelle for Kids, 2019).

Walaupun perubahan organisasi ini berlaku, kerangka P21 kekal relevan dan terus digunakan secara meluas. Malah, *Battelle for Kids* telah memperkukuh kerangka tersebut dengan menambah sumber dan alat praktikal untuk membantu guru dan pentadbir sekolah dalam melaksanakan kemahiran abad ke-21. Antara sumbangan penting mereka termasuk pembangunan *Framework for 21st Century Learning* yang lebih menyeluruh dan penyediaan contoh amalan terbaik dari sekolah-sekolah seluruh dunia (Battelle for Kids, 2021).



Rajah 1 Kerangka *Partnership for 21st Century Skills* (2019)

Nota. Diadaptasi daripada *Framework for 21st Century Learning* oleh *Partnership for 21st Century Learning* (P21), Battelle for Kids, 2019 (<http://www.battelleforkids.org/networks/p21>). Hak cipta @ 2019 oleh Battelle for Kids.

Dalam konteks Malaysia, perkembangan ini mengukuhkan lagi kedudukan P21 sebagai kerangka yang sesuai kerana ia bukan sahaja mengekalkan asas konseptual yang kukuh tetapi juga terus berkembang dengan penyelidikan dan amalan terbaru. Kestabilan kerangka ini walaupun melalui perubahan organisasi menunjukkan ketahanan dan nilai berterusannya dalam bidang pendidikan (Trilling & Fadel, 2009).

Kesinambungan P21 di bawah *Battelle for Kids* memastikan bahawa kerangka ini terus relevan dengan keperluan pendidikan kontemporari sambil mengekalkan konsistensi dalam pendekatan dan implementasi. Perkembangan ini juga menyediakan lebih banyak bukti empirikal dan contoh kejayaan pelaksanaan yang boleh dijadikan rujukan oleh guru matematik Malaysia dalam mengintegrasikan kemahiran abad ke-21 dalam pengajaran dan pemudahcaraan (PdPc) mereka.

Kerangka P21 dibina atas tiga komponen utama: pertama, Kemahiran Pembelajaran dan Inovasi 4C; kedua, Kemahiran Maklumat, Media dan Teknologi yang meliputi literasi maklumat, literasi media, dan literasi digital; dan ketiga, Kemahiran Hidup dan Kerjaya yang termasuk fleksibiliti, adaptasi, inisiatif, kemahiran sosial, produktiviti, dan kepimpinan (P21, 2015).

Keistimewaan kerangka P21 terletak pada pendekatannya yang mengintegrasikan ketiga-tiga fokus ini ke dalam PdPc mata pelajaran teras, termasuk matematik. Nilai tambah utama P21 berbanding kerangka lain ialah kejelasan istilahnya yang dekat dengan amalan pengajaran harian dan kebolehgunaannya merentasi pelbagai mata pelajaran. P21 kekal relevan kerana kandungannya yang konkrit dan telah digunakan secara meluas dalam pelbagai konteks pendidikan.

Dalam perbandingan dengan kerangka lain, *OECD Learning Compass 2030* lebih menekankan pembentukan pelajar yang mempunyai keupayaan menentukan hala tuju sendiri (student agency) dan menyumbang kepada kesejahteraan bersama (OECD, 2018). Walaupun relevan untuk dasar makro, kerangka ini kurang memberikan garis panduan praktikal yang spesifik untuk guru matematik berbanding P21 (Lucas, 2022).

Assessment and Teaching of 21st Century Skills (ATC21S) pula memberi tumpuan khusus kepada dua domain: penyelesaian masalah secara kolaboratif (CPS) dan pembelajaran dalam rangkaian digital (Griffin & Care, 2015). Walaupun kerangka ini mempunyai kelebihan dalam pentaksiran, skopnya yang sempit menjadikannya kurang holistik sebagai kerangka asas berbanding P21 yang merangkumi dimensi lebih luas (Scoular & Duckworth, 2021).

DigComp 2.2 menyediakan lima domain kompetensi digital dengan 250 contoh pengetahuan, kemahiran dan sikap, termasuk dimensi kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI). Bagi guru matematik, *DigComp 2.2* memperincikan standard ketelitian data, etika digital, dan amalan reka bentuk digital yang boleh dipadankan dengan 4C dalam P21 (Vuorikari et al., 2022).

Bagi menentukan kerangka yang paling sesuai untuk membimbing pembangunan kemahiran abad ke-21 guru matematik, analisis perbandingan antara kerangka global perlu dilakukan. Jadual 1 disusun untuk menilai keselarasan empat kerangka utama iaitu kerangka P21, OECD Learning Compass 2030, ATC21S dan *DigComp 2.2* dengan tuntutan pedagogi matematik seperti penaakulan, pemodelan, komunikasi matematik dan literasi digital. Setiap kerangka dianalisis dari segi kejelasan konstruk, keterangkuman domain, tahap operasionalisasi dalam reka bentuk pengajaran, serta kesesuaiannya untuk pembangunan profesional guru. Perbandingan kritikal ini menyediakan asas kukuh dalam menjustifikasikan pemilihan P21 sebagai kerangka paling relevan dan aplikatif untuk PdPc matematik abad ke-21.

Jadual 1 Tinjauan menyeluruh kerangka kemahiran abad ke-21

Kerangka	Fokus utama/ tujuan	Domain/ konstruk teras	Orientasi konseptual & tahap operasional	Relevan kepada pendidikan matematik & konteks Malaysia
P21 Framework for 21st Century Learning (P21, 2015; Battelle for Kids, 2019, 2021)	Menyediakan kerangka praktikal dan holistik untuk mengintegrasikan kemahiran abad ke-21 ke dalam mata pelajaran teras, termasuk matematik; memberi panduan operasional yang jelas kepada guru dan sekolah.	Tiga kluster utama: (i) Kemahiran Pembelajaran dan Inovasi (4C: pemikiran kritis, kreativiti, kolaborasi, komunikasi); (ii) Kemahiran Maklumat, Media dan Teknologi (literasi maklumat, media, digital); (iii) Kemahiran Hidup dan Kerjaya (fleksibiliti, inisiatif, kemahiran sosial, produktiviti, kepimpinan).	Kerangka berorientasikan amalan dengan konstruk yang konkrit, bahasa yang dekat dengan bilik darjah, dan contoh pelaksanaan serta pentaksiran; menawarkan bahasa operasi yang mudah dipetakan kepada objektif, tugas autentik dan rubrik penilaian.	Paling mudah diterjemah kepada PdPc matematik melalui pemodelan, penaakulan, perwakilan dan komunikasi matematik; sejajar dengan hasrat DSKP Matematik dan keperluan melatih guru mengintegrasikan 4C dan literasi digital; boleh disesuaikan dengan isu tempatan

OECD Learning Compass 2030 (OECD, 2018; Lucas, 2022)	Menggambarkan visi makro pendidikan abad ke-21 yang menekankan agensi pelajar, kesejahteraan individu dan sosial, serta sumbangan kepada kesejahteraan bersama.	Elemen utama: agensi pelajar, pengetahuan, kemahiran, sikap dan nilai; kompetensi transformatif dan konsep perkongsian agensi antara pelajar, guru dan komuniti.	Kerangka normatif dan visi jangka panjang; sangat kuat dari segi falsafah dan nilai, tetapi kurang spesifik pada tahap reka bentuk tugas dan rubrik bilik darjah; memerlukan penterjemahan lanjut untuk menjadi panduan praktikal guru matematik.	Relevan sebagai payung dasar untuk merangka hala tuju kurikulum dan pembentukan nilai, tetapi tidak menyediakan garis panduan operasional terperinci untuk mereka bentuk aktiviti pemodelan, inkuiri atau pentaksiran 4C dalam kelas matematik; lebih berfungsi sebagai lapisan “visi besar” yang boleh disepadukan dengan P21.
ATC21S Assessment and Teaching of 21st Century Skills (Griffin & Care, 2015; Scoular & Duckworth, 2021)	Memfokuskan pembangunan dan pengukuran beberapa kemahiran abad ke-21 yang terpilih, khususnya dalam konteks persekitaran digital dan kolaboratif.	Dua domain teras yang sering ditekankan: (i) penyelesaian masalah secara kolaboratif; (ii) literasi Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK)/ pembelajaran dalam rangkaian digital; disertai model reka bentuk pentaksiran berasaskan bukti.	Kerangka sangat berorientasikan pentaksiran (assessment-driven) dengan penekanan kepada reka bentuk tugas dan sistem skor untuk kemahiran tertentu; skop relatif sempit berbanding P21 kerana tidak meliputi spektrum penuh kemahiran hidup dan kerjaya.	Memberi rujukan teknikal yang berguna untuk mereka bentuk item dan tugas pentaksiran kolaboratif serta penyelesaian masalah dalam persekitaran digital; namun kurang sesuai sebagai kerangka asas menyeluruh bagi latihan guru matematik kerana fokusnya terhad kepada beberapa dimensi kemahiran.
DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens	Menyediakan standard kompetensi digital yang terperinci untuk warganegara,	Lima domain: (i) literasi maklumat dan data; (ii) komunikasi dan	Kerangka berbutir halus dengan deskriptor terperinci dan tahap	Sangat relevan untuk memetakan kecekapan digital guru matematik dan murid, termasuk

(Vuorikari et al., 2022)	termasuk guru dan pelajar, dalam menghadapi transformasi digital dan AI.	(iii) kolaborasi digital; penciptaan kandungan digital; (iv) keselamatan digital; (v) penyelesaian masalah; disertai contoh pengetahuan, kemahiran dan sikap, termasuk dimensi AI.	penguasaan; sangat kuat untuk audit dan perancangan pembangunan kompetensi digital, tetapi kurang memberi fokus kepada 4C secara menyeluruh atau integrasi dengan kandungan matematik secara eksplisit.	penggunaan hampan, perisian geometri dinamik, pengurusan data dan etika AI; berfungsi melengkapkan P21 dari segi bagaimana mengaplikasikan literasi digital, tetapi bukan kerangka pusat untuk keseluruhan kemahiran abad ke-21 guru matematik di Malaysia.
---------------------------------	--	---	---	---

Jadual 1 menunjukkan bahawa walaupun setiap kerangka menyumbang perspektif unik. OECD menitikberatkan agensi pelajar, ATC21S memfokuskan aspek pentaksiran digital, dan DigComp menawarkan kompetensi digital yang teliti. Hanya P21 menyediakan keseimbangan paling komprehensif antara kemahiran kognitif, interpersonal dan digital yang boleh diterjemahkan secara langsung ke dalam konteks bilik darjah matematik. Struktur P21 yang menggabungkan 4C, literasi maklumat-media-teknologi dan kemahiran hidup menjadikannya lebih operasional untuk mereka bentuk tugas pemodelan, pembelajaran inkuiri, dan pentaksiran autentik yang selari dengan keperluan DSKP Matematik. Oleh itu, analisis ini mengukuhkan bahawa P21 adalah kerangka yang paling praktikal dan koheren untuk dijadikan asas bagi pemahaman dan pembangunan kompetensi abad ke-21 dalam kalangan guru matematik Malaysia. Hal ini berbeza dengan kerangka lain yang cenderung lebih abstrak atau terlalu khusus domainnya.

Dalam konteks Malaysia, Kementerian Pendidikan telah memperkenalkan elemen Kemahiran Berfikir Aras Tinggi (KBAT) dan nilai-nilai global. Namun, pendekatan tempatan bersifat *top-down* dan tersirat dalam kurikulum, berbeza dengan P21 yang menyediakan model bersepadu yang jelas. P21 boleh berfungsi sebagai kerangka penyatu yang memberikan struktur eksplisit kepada elemen sedia ada di Malaysia (Halim et al., 2022).

Berdasarkan perbandingan ini, pemilihan P21 adalah berasaskan justifikasi berikut bahawa ciri-cirinya yang komprehensif dan keseimbangannya yang merangkumi spektrum kemahiran luas; keupayaannya untuk dilaksanakan secara praktikal dan mudah dalam a dalam aktiviti pembelajaran matematik; falsafah integrasinya yang selari dengan hasrat Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) Matematik dan kerelevanannya dengan keperluan industri yang menjamin kesesuaian kemahiran untuk pasaran kerja masa hadapan (P21, 2015).

3.1 Kekuatan dan keterbatasan P21 berbanding kerangka lain

Untuk memastikan kerangka yang dipilih benar-benar menyokong amalan PdPc matematik abad ke-21, penilaian kritikal terhadap keupayaan P21 perlu dilakukan melalui perbandingan langsung dengan kerangka global lain. Jadual 2 menghuraikan kekuatan dan keterbatasan P21 berbanding OECD *Learning Compass 2030*, ATC21S dan DigComp 2.2, khusus dari sudut kejelasan konstruk matematik, sokongan terhadap pemikiran matematik seperti penaakulan, pemodelan dan komunikasi, serta kebolehlaksanaan dalam bilik

darjah sebenar. Melalui penilaian ini, keupayaan P21 sebagai kerangka yang paling operasional dapat dikenal pasti, di samping menilai batasannya yang memerlukan pelengkap daripada kerangka lain bagi menyokong pembangunan profesional guru matematik secara holistik.

Perbandingan dalam Jadual 2 menunjukkan dengan jelas bahawa P21 mempunyai kelebihan operasional yang paling signifikan untuk guru matematik berbanding kerangka global lain. Pertama, P21 merupakan satu-satunya kerangka yang menyediakan pemetaan langsung antara kemahiran abad ke-21 dan proses matematik seperti pemodelan, penaakulan, representasi dan wacana matematik. Hal ini memberikan justifikasi kukuh bahawa P21 bukan sahaja relevan secara umum, tetapi benar-benar boleh diterjemahkan dalam pengajaran topik matematik sekolah menengah di Malaysia.

Kedua, P21 menyediakan bahasa operasi yang mudah digunakan dalam konteks PLC Matematik dan pembangunan profesional guru. Berbanding OECD Learning Compass 2030 yang lebih bersifat aspiratif, ATC21S yang bersifat pentaksiran sempit, serta DigComp 2.2 yang berfokus kepada literasi digital, konstruk P21 lebih dekat dengan keperluan harian seorang guru matematik seperti mereka bentuk tugas modelling, menilai hujah matematik dan memupuk pembelajaran berasaskan inkuiri.

Jadual 2: Kekuatan dan keterbatasan P21 berbanding kerangka lain dalam konteks PdPc matematik

Dimensi untuk PdPc Matematik	Kerangka P21	OECD Learning Compass 2030	ATC21S	DigComp 2.2	Implikasi Langsung untuk Guru Matematik
Penjajaran dengan DSKP Matematik	Sangat selaras dengan pemikiran matematik, penyelesaian masalah, pemodelan, dan komunikasi matematik.	Selaras secara nilai tetapi tiada pemetaan langsung kepada standard pembelajaran matematik.	Fokus terhadap penyelesaian masalah kolaboratif digital, tidak memetakan kandungan matematik.	Menyokong literasi digital dalam statistik tetapi bukan keseluruhan kurikulum matematik.	P21 paling mudah diterjemah ke Rancangan Pengajaran Harian (RPH) dan aktiviti DSKP Matematik.
Kejelasan konstruk untuk topik matematik	Sangat tinggi: 4C boleh dipetakan kepada pemodelan, penaakulan dan perwakilan.	Konstruk abstrak seperti agensi sukar diterjemah kepada instruksi matematik harian.	Berguna untuk penyelesaian masalah digital tetapi tidak menyokong topik kandungan.	Menyokong kemahiran digital tetapi tidak menyediakan panduan matematik.	P21 paling sedia untuk digunakan dari segi kandungan untuk matematik sekolah menengah.
Sokongan kepada tugas pemodelan matematik	Sangat kuat: menyokong penggunaan data dunia sebenar,	Tiada struktur spesifik untuk pemodelan.	Terhad kepada konteks digital CPS.	Menyediakan alat digital (<i>Excel/GeoGebra</i>) tetapi bukan	P21 paling sesuai untuk projek pemodelan dan

	analisis, penaakulan dan pembentangan.			struktur pedagogi pemodelan.	penyiasatan matematik.
Penilaian penaakulan matematik (reasoning)	Tinggi: menyediakan bahasa operasi untuk rubrik penaakulan dan justifikasi.	Tiada contoh rubrik hujah matematik.	Tiada tumpuan khusus kepada penaakulan matematik.	Tidak berkaitan langsung dengan hujah matematik.	P21 membolehkan guru membina rubrik pentaksiran yang berstrukturka n elemen tuntutan, bukti, dan penaakulan.
Penggunaan teknologi matematik	Menyokong TMK secara umum tetapi kurang perincian teknikal.	Menekankan digitalisation secara nilai.	Fokus pada penggunaan TMK untuk CPS.	Sangat kuat pada kemahiran digital kritikal untuk matematik seperti manipulasi data, keselamatan, dan penciptaan kandungan digital.	P21 dengan DigComp ialah kombinasi optimum untuk PdPc matematik berasaskan teknologi.
Keberkesanan untuk PdPc inkuiri matematik	Sangat sesuai: 4C selari dengan inkuiri dengan elemen bertanya, menyiasat, menilai bukti.	Hanya menyokong inkuiri pada tahap nilai.	Menyokong CPS tetapi tidak seluruh proses inkuiri.	Menyokong penggunaan data tetapi bukan inkuiri matematik.	P21 membina budaya inkuiri matematik yang bersepadu dengan proses penyelesaian masalah.
Kemudahan implementasi dalam bilik darjah	Sangat tinggi: struktur jelas, mudah dilaksanakan, dan terus boleh diaplikasi dalam tugas matematik.	Rendah: memerlukan interpretasi mendalam.	Sederhana: memerlukan latihan teknikal.	Sederhana: memerlukan kemahiran digital lanjutan.	P21 paling praktikal untuk guru matematik Malaysia.

Ketiga, analisis menunjukkan bahawa P21 sangat sesuai disesuaikan dengan keperluan tempatan kerana ia dapat dipadankan dengan DSKP Matematik dan rancangan PdPc sedia ada. Hal ini sejajar dengan objektif artikel yang ingin menonjolkan P21 sebagai kerangka asas yang praktikal, bukan sekadar kerangka teori. Kerangka global lain mempunyai kekuatan masing-masing—OECD bagi nilai dan agency, ATC21S bagi pentaksiran digital, DigComp bagi literasi digital—tetapi kesemuanya tidak menyediakan struktur pedagogi yang komprehensif untuk matematik seperti yang ditawarkan oleh P21.

Secara keseluruhan, analisis ini mengesahkan bahawa P21 merupakan kerangka paling holistik, praktikal dan mudah dilaksanakan dalam konteks PdPc Matematik Malaysia, manakala kerangka lain berperanan sebagai pelengkap untuk mengukuhkan elemen nilai, pentaksiran digital, dan literasi teknologi. Perbandingan ini menyokong kesimpulan artikel bahawa P21 adalah kerangka asas kemahiran abad ke-21 yang paling sesuai untuk guru matematik.

P21 SEBAGAI KERANGKA ASAS KEMAHIRAN ABAD KE-21 GURU MATEMATIK

Berdasarkan perbandingan dengan kerangka lain, didapati bahawa P21 merangkumi spektrum kemahiran abad ke-21 yang luas meliputi aspek kognitif, interpersonal dan digital yang diperlukan oleh guru matematik untuk menjadi lebih efektif. Hal ini demikian kerana konstruk-konstruk dalam P21 adalah jelas dan boleh diterjemahkan secara langsung ke dalam amalan PdPc matematik yang spesifik. Sebagai contoh, empat komponen 4C dalam kerangka P21, iaitu pemikiran kritis, kreativiti, kolaborasi dan komunikasi adalah selaras dengan keperluan pembelajaran matematik di mana pemikiran kritis dizahirkan melalui penaakulan dan pembuktian, kreativiti melalui aktiviti pemodelan serta penerokaan pelbagai strategi, kolaborasi melalui penyiasaan secara berkumpulan, dan komunikasi melalui wacana matematik lisan dan bertulis.

Sementara itu, literasi digital mengukuhkan kerangka P21 dalam amalan bilik darjah matematik melalui tiga tumpuan utama: pertama, memperoleh, menilai dan memanipulasi data; kedua, membina artifak digital seperti model dinamik, hamparan dan pengiraan berkomputer; serta ketiga, berkomunikasi dan berkolaborasi secara rangkaian dengan kesedaran keselamatan dan etika. Kejelasan pemetaan ini memudahkan guru matematik mereka bentuk tugas autentik, membina rubrik penilaian serta menjalankan PdPc tanpa perlu menafsir konsep yang terlalu abstrak (P21, 2015; OECD, 2021-2025).

Tambahan pula, kerangka P21 yang mengintegrasikan kemahiran dengan kandungan adalah selari dengan hasrat DSKP Matematik yang menekankan pemikiran matematik dan penyelesaian masalah. Berdasarkan meta-analisis bukti dari tahun 2021 hingga 2024, strategi seperti pembelajaran berasaskan projek dan pemodelan matematik telah menunjukkan keberkesanan dalam meningkatkan kemahiran 4C dan pemahaman konsep. Sehubungan dengan itu, kerangka P21 dikatakan menyediakan sasaran kemahiran abad ke-21 yang jelas untuk mereka bentuk pengalaman pembelajaran tersebut (Rehman et al., 2024; Wang et al., 2023).

Dalam konteks pentaksiran, isu yang paling mencabar ialah memastikan pentaksiran terhadap kemahiran 4C adalah boleh dipercayai dan autentik. Berdasarkan garis panduan pentaksiran kompetensi terkini NCIEA 2025, penilaian perlu berasaskan bukti daripada produk dan proses pembelajaran murid seperti artifak, jejak penaakulan, dan rakaman dialog. Dalam hal ini, kerangka P21 menyediakan struktur indikator yang boleh diselaraskan untuk menilai kedua-dua kemahiran guru dan murid, manakala kerangka lain seperti *OECD Learning Compass 2030* dan *DigComp 2.2* boleh melengkapkan P21 dengan memberikan kriteria khusus untuk menilai nilai, agensi pelajar, dan literasi digital (Brandt et al., 2025; Kain et al., 2024).

Di samping itu, salah satu kelebihan kerangka P21 ialah ia berfungsi sebagai teras operasi praktikal yang boleh ditambah baik dengan elemen terpilih dari kerangka lain. Sebagai contoh, bermula daripada penetapan visi besar dalam *OECD Learning Compass 2030*, beralih kepada pelaksanaan amalan pedagogi melalui P21, dan akhirnya sampai ke penghasilan bukti penguasaan kemahiran melalui *DigComp 2.2* (Vuorikari et al., 2022; UNESCO, 2024; OECD, 2023). Pendekatan berperingkat ini, transformasi pendidikan berlaku secara terancang dan berkesan, dari peringkat perancangan sehingga ke pengesahan pencapaian.

Oleh itu, P21 bukan sahaja selari dengan hasrat DSKP Matematik malah dibangunkan dengan input langsung dari sektor industri, sekaligus menjamin bahawa kemahiran yang dibentuk adalah selari dengan keperluan pasaran kerja masa hadapan (P21, 2015).

APLIKASI KERANGKA P21 DALAM KONTEKS PEDAGOGI MATEMATIK

5.1 Prinsip reka bentuk tugas autentik berasaskan 4C

Bagi melaksanakan kerangka P21 secara berkesan, guru perlu mereka bentuk tugas autentik yang memenuhi lima ciri utama. Pertama, tugas perlu bersifat kontekstual dan relevan dengan mengambil kira isu setempat yang dekat dengan pelajar. Kedua, tugas perlu mementingkan penaakulan matematik dengan memerlukan pelajar memberikan justifikasi bertulis bagi setiap keputusan. Ketiga, tugas perlu berstruktur untuk memudahkan kerjasama berpasukan yang terancang. Keempat, pelajar perlu berkomunikasi menggunakan pelbagai bentuk perwakilan seperti graf, jadual, simbol matematik, dan penerangan lisan. Kelima, tugas perlu melibatkan proses berulang di mana pelajar melalui kitaran semakan untuk menambah baik penyelesaian melalui draf, maklum balas, dan semakan.

Dalam konteks kemahiran 4C, pemikiran kritis boleh dikembangkan melalui aktiviti yang mencabar pelajar untuk menganalisis, menilai, dan membuat inferens, seperti menilai kesahan penyelesaian rakan atau mengenal pasti kesilapan dalam hujah matematik (Widjaja & Dolk, 2021). Bagi meningkatkan kreativiti, guru perlu menggalakkan pelajar mencari pelbagai kaedah penyelesaian untuk satu masalah melalui penggunaan masalah terbuka (open-ended problems) yang membolehkan pemikiran divergen (Sriraman & Dickman, 2021). Kolaborasi boleh dipupuk melalui pembelajaran koperatif seperti teknik *Think-Pair-Share* atau projek kumpulan, dengan guru berperanan sebagai fasilitator yang menguruskan dinamik kumpulan. Manakala untuk komunikasi matematik yang berkesan, guru perlu mahir dalam mendorong pelajar menerangkan cara pemikiran mereka secara lisan dan penulisan dengan menggunakan istilah matematik yang betul (Nordin & Muhammad, 2021).

Berdasarkan kajian empirikal 2021-2024, tugas projek dan pemodelan menunjukkan keberkesanan dalam meningkatkan kemahiran 4C dan kefahaman konsep matematik pelajar (Rehman et al., 2024; Wang et al., 2023). Sebagai contoh, projek Sisa Makanan Kantin Sekolah dan Cadangan Intervensi memerlukan pelajar mengumpul data harian sisa makanan, membina model matematik linear atau polinomial, menilai ketepatan model melalui analisis residual (pemikiran kritis), mereka bentuk intervensi seperti jadual makan atau sistem insentif (kreativiti), bekerjasama dalam peranan khusus (kolaborasi), serta menghasilkan pembentangan menggunakan format tuntutan-bukti-penaakulan (komunikasi).

5.2 Kemahiran Maklumat, Media dan Teknologi dalam Literasi Data dan Digital Matematik

Dari perspektif teknologi, keputusan reka bentuk pengajaran guru melibatkan tiga aspek utama. Pertama, pemilihan alat teknologi dan sumber data yang sesuai seperti hamparan elektronik (Excel, Google Sheets)

untuk analisis regresi dan pembinaan model, perisian geometri dinamik (GeoGebra) untuk visualisasi konsep abstrak, serta sistem algebra komputer dan repositori kod untuk menyokong representasi dan pengesahan model matematik (Calder et al., 2021). Kedua, pelaksanaan amalan etika dalam pengendalian data dan kecerdasan buatan dengan menjelaskan sumber data yang digunakan dan menggunakan AI sebagai alat bantu yang memberikan maklum balas konstruktif tanpa menggantikan proses penaakulan matematik pelajar. Ketiga, pemantauan berterusan kemahiran digital guru yang meliputi aspek komunikasi dan kolaborasi digital, penciptaan kandungan dengan konteks yang betul, keselamatan digital, dan penyelesaian masalah teknikal untuk memastikan penggunaan teknologi yang telus dan bertanggungjawab (Vuorikari et al., 2022; UNESCO, 2024).

5.3 Kemahiran Hidup dan Kerjaya untuk Kelestarian Profesional Guru Matematik

Walaupun Kemahiran Hidup dan Kerjaya dalam kerangka P21 asalnya untuk pelajar, ia sangat relevan sebagai kemahiran teras guru matematik abad ke-21. Guru perlu memiliki fleksibiliti dan adaptasi untuk menyesuaikan pedagogi dengan kemahiran hidup dan kerjaya dan keperluan pelajar yang berubah (P21, 2015). Inisiatif dan kendiri penting untuk pembangunan profesional berterusan dan refleksi amalan (Jamil et al., 2023). Kemahiran sosial dan interkultural membolehkan guru berinteraksi secara efektif dengan komuniti pelbagai latar (Saienko & Shevchenko, 2021). Produktiviti dan akauntabiliti memastikan pengurusan sumber yang cekap dan tanggungjawab terhadap hasil pembelajaran. Kepimpinan pula penting untuk memacu inovasi dalam pedagogi matematik (Nordin & Muhammad, 2021).

Kemahiran ini menjadikan guru bukan sekadar pengajar, tetapi pemimpin pedagogi yang berkelestarian serta dapat memodelkan kemahiran ini kepada pelajar secara autentik. Berdasarkan kajian, pembangunan profesional (PD) yang berasaskan bilik darjah sebenar dan kolaboratif lebih dihargai oleh guru kerana membantu mengintegrasikan kemahiran abad ke-21 secara berterusan melalui komuniti pembelajaran profesional (PLC) yang menilai hasil pembelajaran seperti draf model, log sumbangan dan rubrik 4C (Haug & Mork, 2021; Kain et al., 2024). Pendekatan ini menyediakan pelajar untuk menghadapi cabaran hidup dan kerjaya mereka pada masa hadapan melalui penerapan kemahiran abad ke-21 oleh guru dalam amalan pedagogi harian.

CABARAN PELAKSANAAN KERANGKA P21

Walaupun Kerangka P21 banyak memberikan manfaat, pelaksanaannya tidak terlepas daripada beberapa kritikan dan cabaran. Secara teorinya, Model P21 menerima kritikan kerana berpunca dari perspektif Barat yang mungkin tidak sepenuhnya selaras dengan nilai-nilai kolektif masyarakat Timur yang lebih mementingkan kerohanian dan komuniti. Tambahan pula, terdapat tanggapan bahawa model ini terlalu didorong oleh keperluan industri dan korporat, sehingga berisiko mengabaikan matlamat pendidikan yang lebih holistik seperti pembangunan sahsiah dan kerohanian pelajar (Zhao, 2022).

Dalam konteks Malaysia, pelaksanaan P21 menghadapi beberapa halangan praktikal yang signifikan. Pertama, program latihan guru sedia ada masih belum cukup komprehensif untuk membekalkan guru dengan kemahiran pedagogi abad ke-21 yang diperlukan untuk mengajar kemahiran 4C secara efektif. Kedua, sistem peperiksaan berpusat yang berfokuskan kandungan akademik semata-mata tidak selari dengan keperluan pentaksiran kemahiran insaniah seperti kerjasama dan kreativiti. Ketiga, jurang digital antara kawasan bandar dan luar bandar menghalang pelaksanaan efektif komponen teknologi dalam P21 (Halim et al., 2022).

Walaupun menghadapi kritikan dan cabaran tersebut, P21 masih boleh dipertahankan melalui pendekatan penyesuaian kontekstual yang bijaksana. Kekuatan P21 terletak pada fleksibilitinya yang membolehkan pengintegrasian nilai-nilai tempatan Malaysia seperti kerjasama, hormat-menghormati, dan

semangat berusaha di bawah komponen Kemahiran Hidup dan Kerjaya. Matlamat utama ialah mengambil prinsip teras P21 dan melaksanakannya dengan cara yang sensitif kepada budaya dan konteks Malaysia, bukannya mengaplikasikannya secara tidak kritis (Saienکو & Shevchenko, 2021).

Justeru, kejayaan pelaksanaan P21 di Malaysia memerlukan transformasi sistemik yang menyeluruh meliputi aspek latihan guru, sistem pentaksiran, dan infrastruktur digital. Pendekatan kontekstual ini akan memastikan kerangka P21 dapat disesuaikan dengan nilai-nilai tempatan dan keperluan pendidikan Malaysia yang unik, sekaligus mengatasi kritikan terhadap bias Barat dan memastikan pendidikan yang lebih seimbang dan holistik.

MODEL PELAKSANAAN KERANGKA P21 YANG DICADANGKAN UNTUK GURU MATEMATIK

Model pelaksanaan yang dicadangkan menggunakan pendekatan berlapis dengan P21 sebagai teras utama yang mengandungi tiga komponen penting. Pertama, guru perlu mereka bentuk tugas autentik berasaskan projek pemodelan matematik yang memerlukan pelajar menyelesaikan masalah dunia sebenar melalui proses penaakulan mendalam. Kedua, guru perlu melaksanakan penilaian berterusan menggunakan rubrik yang jelas dan bukti proses pembelajaran seperti draf kerja, rekod sumbangan kumpulan, dan refleksi pelajar untuk menilai perkembangan kemahiran 4C. Ketiga, guru perlu mengintegrasikan teknologi digital secara beretika dengan memahami isu bias data, privasi dan ketelusan, supaya teknologi dapat membantu dan bukan menggantikan proses penaakulan matematik pelajar.

Keberkesanan model ini dipengaruhi oleh kualiti program pembangunan profesional, kecukupan sumber sekolah, dan budaya wacana matematik. Faktor-faktor seperti pengalaman guru, sokongan kepimpinan sekolah, dan komitmen guru juga mempengaruhi kejayaan pelaksanaannya. Hasil yang diharapkan ialah peningkatan serentak dalam kemahiran 4C dan pencapaian matematik pelajar (OECD, 2023; Vuorikari et al., 2022; Haug & Mork, 2021).

Bagi melaksanakan Kerangka P21 dengan berkesan, beberapa usaha transformasi praktikal dicadangkan untuk peringkat berbeza dalam sistem pendidikan guru. Program ijazah pendidikan matematik perlu memasukkan modul khas berasaskan P21 yang: menerangkan teori dan konsep di sebalik kemahiran 4C; memberi pengalaman langsung kepada pelajar guru melalui aktiviti yang menggunakan 4C; dan membolehkan pelajar guru merancang dan mengajar kelas yang mengintegrasikan kemahiran P21 secara nyata.

Bagi guru berpengalaman, program pembangunan profesional perlu beralih daripada bengkel sekali-sekala kepada komuniti pembelajaran profesional (PLC) atau komuniti amalan (Community of Practice - CoP) yang berkesan di mana guru matematik boleh: berkongsi amalan terbaik; merancang pengajaran secara berkumpulan; menjalankan sesi maklum balas antara rakan sejawat mengenai penggunaan P21; dan mendapat bimbingan oleh pakar dalam bidang pendidikan matematik (Widjaja & Dolk, 2021).

Di peringkat sistem, Kementerian Pendidikan dan institusi latihan guru perlu: menyelaraskan kurikulum latihan guru dengan menjadikan P21 sebagai teras; mengkaji semula kaedah pentaksiran untuk program latihan guru; dan menggunakan kaedah pentaksiran seperti portfolio dan penilaian berasaskan projek yang sesuai untuk mengukur kemahiran 4C.

IMPLIKASI

Berdasarkan kajian empirikal terkini, pembangunan profesional (PD) yang berkesan perlu memenuhi beberapa kriteria utama iaitu dilaksanakan dalam jangka masa panjang, berfokuskan konteks bilik darjah sebenar, bersifat kolaboratif, dan mengekalkan koheren dengan keperluan kurikulum semasa. Hasil kajian menunjukkan intervensi khusus seperti *lesson study* yang diikat dengan objektif kemahiran abad ke-21 telah menunjukkan keberkesanan dalam menghasilkan perubahan amalan pengajaran guru matematik serta pengintegrasian kemahiran 4C yang lebih kukuh (Haug & Mork, 2021; Roorda et al., 2024).

Meta-analisis turut mengukuhkan dapatan bahawa program PD memberikan kesan positif yang sederhana terhadap pengetahuan dan amalan pedagogi guru, dengan variasi kesan bergantung kepada faktor-faktor seperti tempoh pendedahan, penglibatan aktif peserta, serta perkaitan langsung dengan konteks pengajaran sebenar. Sebagai contoh, program khusus seperti *Cognitively Guided Instruction* (CGI) dalam bidang matematik telah menunjukkan kesan yang signifikan terhadap pencapaian pelajar apabila dilaksanakan secara sistematik dengan pemantauan yang berterusan (Sims et al., 2021; Schoen et al., 2024).

Komuniti Pembelajaran Profesional (PLC) didapati berfungsi sebagai platform praktikal untuk guru membincangkan bahan pembelajaran autentik, menyelaraskan rubrik penilaian kemahiran 4C, dan menjejaki kesan PdPc terhadap pembelajaran pelajar. Integrasi PLC dalam P21 menyediakan trajektori yang jelas untuk peningkatan kemahiran digital guru secara berperingkat daripada penggunaan alat asas kepada penciptaan kandungan digital yang beretika dan analisis data pembelajaran pelajar (Vuorikari et al., 2022; Kain et al., 2024).

Berdasarkan kerangka *National Center for the Improvement of Educational Assessment* (NCIEA, 2025), penilaian kemahiran abad ke-21 memerlukan takrifan konstruk yang jelas, pengumpulan bukti pelbagai mod yang merangkumi kedua-dua proses dan produk pembelajaran, serta pelaporan yang bermakna melampaui skor numerik semata-mata. Dalam konteks pendidikan matematik, pendekatan ini memerlukan tugas aras kognitif tinggi seperti penyiasatan dan pemodelan matematik, dokumentasi jejak penaakulan melalui draf kerja dan maklum balas rakan sebaya, serta penilaian hujah matematik menggunakan rubrik yang disahkan kesahihannya (Brandt et al., 2025).

Pemetaan sistematik antara konstruk P21 dan literasi digital membantu membezakan dengan jelas antara hasil pembelajaran kemahiran 4C pelajar dengan kecekapan digital yang diperlukan oleh guru dan pelajar. Seperti yang ditekankan oleh OECD, kebanyakan sistem pendidikan masih menghadapi cabaran dalam membangunkan mekanisme sistematik untuk menilai kemahiran seperti kreativiti dan pemikiran kritis, justeru memerlukan gabungan antara penilaian autentik di peringkat bilik darjah dengan ukuran sistem yang munasabah (Vuorikari et al., 2022; OECD, 2023).

Kerangka pelaksanaan yang efektif memerlukan penjajaran yang strategik di semua peringkat sistem pendidikan. Dalam hal ini, kerangka P21 menyediakan bahasa operasi dan indikator praktikal untuk reka bentuk tugas, penilaian, serta program pembangunan profesional. Sementara itu, Kerangka Kecekapan AI UNESCO bagi Guru menetapkan piawaian kecekapan digital dan etika yang diperlukan guru untuk amalan pengajaran yang selamat dan berkesan (OECD, 2021-2025; P21, 2015; UNESCO, 2024). Penjajaran strategik ini berperanan penting dalam menyelaraskan hasrat pendidikan abad ke-21 dengan prosedur operasi di bilik darjah, sekaligus menutup jurang antara retorik dasar dengan realiti pelaksanaan. Melalui pendekatan bersepadu ini, aspirasi pendidikan dapat diterjemah secara efektif ke dalam amalan pedagogi yang konkrit dan terukur.

Bagi agenda penyelidikan masa hadapan, tumpuan perlu diberikan kepada reka bentuk kajian yang komprehensif termasuk analisis pemodelan persamaan struktur (PLS-SEM) untuk menguji hubungan antara konstruk kemahiran guru berasaskan P21 dengan reka bentuk instruksional dan hasil pembelajaran pelajar.

Kajian longitudinal diperlukan untuk menjejaki trajektori perkembangan kemahiran 4C dan kemahiran matematik pelajar serta evolusi kemahiran guru sepanjang masa (Wang et al., 2023). Berdasarkan laporan NCIEA (2025) dan kajian terkini (Kain et al., 2024), terdapat keperluan mendesak untuk lebih banyak penyelidikan mengenai implementasi dan penilaian autentik, khususnya dalam meneroka metodologi pelaporan berasaskan proses yang sesuai untuk konteks pendidikan matematik (Brandt et al., 2025). Selain itu, adalah perlu untuk membuat kajian untuk menyiasat bagaimana tahap kemahiran digital guru mempengaruhi kejayaan pelaksanaan P21 (Vuorikari et al., 2022) dan kajian untuk menguji bagaimana tugas pemodelan matematik autentik dapat meningkatkan kreativiti pelajar melalui rangsangan rasa ingin tahu dan inkuiri (Wang et al., 2023). Kajian untuk meneliti bagaimana kualiti program pembangunan profesional mempengaruhi semua aspek pelaksanaan P21 juga diperlukan (Haug & Mork, 2021; Kain et al., 2024). Akhir sekali, kajian perbandingan mendalam perlu dilaksanakan untuk membina kerangka hibrid yang menggabungkan kekuatan P21 dengan elemen-elemen terbaik daripada *OECD Learning Compass* 2030 serta model-model tempatan yang relevan.

KESIMPULAN

Kerangka Partnership for 21st Century Skills (P21) menawarkan asas konseptual yang kukuh, holistik dan praktikal untuk memajukan kemahiran abad ke-21 guru matematik di Malaysia. Walaupun menghadapi pelbagai cabaran dari segi teori dan praktikal, kerangka ini memberikan hala tuju yang jelas ke arah merealisasikan aspirasi negara dalam memodenkan sistem pendidikan matematik. Peranan utama P21 ialah menyediakan kejelasan operasional yang diperlukan untuk menterjemahkan visi kemahiran abad ke-21 kepada amalan PdPc matematik yang konkrit.

Melalui struktur yang jelas dan praktikal, P21 mengklasifikasikan kemahiran 4C (pemikiran kritis, kreativiti, kolaborasi, komunikasi), literasi digital, dan kemahiran hidup yang boleh diintegrasikan secara langsung dalam pedagogi matematik. Sebagai ilustrasi, guru boleh merancang aktiviti pemodelan matematik yang memerlukan pelajar bekerjasama menyelesaikan masalah autentik (kolaborasi), menganalisis data secara kritis (pemikiran kritis), menyampaikan penyelesaian melalui pelbagai mod perwakilan (komunikasi), dan meneroka pendekatan alternatif (kreativiti). Kejelasan operasional P21 ini memudahkan guru mengaitkan objektif abstrak kemahiran abad ke-21 dengan amalan instruksional spesifik dalam pengajaran topik-topik matematik tertentu (P21, 2015; Vuorikari et al., 2022).

Justeru, P21 bertindak sebagai penghubung utama yang menterjemah visi pendidikan kepada pelaksanaan pedagogi yang praktikal. Kejayaan pelaksanaannya memerlukan penyesuaian kontekstual yang teliti serta komitmen berterusan daripada semua pihak yang terlibat. Dengan demikian, bidang pendidikan matematik Malaysia berpotensi untuk mengalami transformasi signifikan yang bukan sahaja dapat melengkapkan generasi pelajar dengan pengetahuan matematik asas, malah yang lebih penting, membekalkan mereka dengan kemahiran abad ke-21 yang diperlukan untuk menghidupkan dan mengaplikasikan pengetahuan tersebut dalam menangani cabaran kompleks dunia masa kini dan akan datang (OECD, 2021-2025; Brandt et al., 2025).

PENGISYTIHARAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN GENERATIF

Dalam proses penulisan manuskrip ini, penulis telah menggunakan ChatGPT bagi tujuan pemeriksaan bahasa dan peningkatan kejelasan. Penggunaan AI adalah sebagai alat bantu; semua idea, hujah, data, dan analisis kekal sebagai hasil intelek penulis. Penulis telah menyemak, mengesahkan, dan mengawal semua kandungan serta memikul tanggungjawab akademik sepenuhnya terhadap penerbitan ini.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Malaysia atas tajaan dan pembiayaan sepanjang pengajian ini. Penghargaan juga ditujukan kepada Universiti Sains Malaysia atas sokongan akademik dan kemudahan penyelidikan. Ucapan terima kasih yang tulus kepada Prof. Dr. Fadzilah Amzah (penyelia utama) dan Prof. Dr. Aziah Ismail (penyelia bersama) atas bimbingan, dorongan, serta tunjuk ajar yang tidak ternilai sepanjang perjalanan penyelidikan ini. Kami juga menghargai sumbangan intelektual para sarjana dalam bidang pendidikan matematik dan kompetensi abad ke-21. Tidak lupa, penghargaan diberikan kepada pembaca awal atas pandangan konstruktif yang telah memperkukuh kualiti manuskrip ini.

Konflik Kepentingan: Tiada konflik kepentingan dalam kajian ini

RUJUKAN

- Battelle for Kids. (2019). *Framework for 21st century learning*. Partnership for 21st Century Learning. <http://www.battelleforkids.org/networks/p21>
- Battelle for Kids. (2021). *P21 framework resources*. Partnership for 21st Century Learning. <https://www.battelleforkids.org/networks/p21>
- Brandt, S., Mislavy, R., & Wilson, M. (2025). *Assessing 21st century competencies: Processes and products in education*. National Center for the Improvement of Educational Assessment.
- Calder, N., Sinclair, N., & Bargagliotti, A. (2021). Teaching mathematics with digital technologies: Theoretical perspectives and classroom practices. *Educational Studies in Mathematics*, 107(2), 175–193. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10079-2>
- Gilson, L. L., & Goldberg, C. B. (2015). Editors' comment: So, what is a conceptual paper? *Group & Organization Management*, 40(2), 127–130. <https://doi.org/10.1177/1059601115576425>
- Griffin, P., & Care, E. (2015). *Assessment and teaching of 21st century skills: Methods and approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9395-7>
- Halim, L., Zakaria, E., & Meerah, T. S. M. (2022). Integration of higher order thinking skills in Malaysian mathematics curriculum: Issues and challenges. *Journal of Mathematics Education*, 15(3), 45–59. <https://doi.org/10.22342/jme.v15i3>
- Haug, B. S., & Mork, S. M. (2021). Lesson study for professional development in STEM education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00291-8>
- Herlinawati, H., Suharto, S., & Widyastuti, W. (2024). Inquiry-based pedagogy in mathematics classrooms: Enhancing students' creativity and critical thinking. *International Journal of Instruction*, 17(1), 111–126. <https://doi.org/10.29333/iji.2024.1717a>
- Jamil, H., Nordin, A. B., & Razak, N. A. (2023). Preparing mathematics teachers for 21st century classrooms in Malaysia. *Asian Journal of University Education*, 19(2), 34–50. <https://doi.org/10.24191/ajue.v19i2.23456>
- Kain, V., Ahmad, S., & Yusof, M. (2024). Professional learning communities and the integration of 21st century skills in Malaysian schools. *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 21(1), 1–24. <https://doi.org/10.32890/mjli2024.21.1.1>
- Kay, K., & Greenhill, V. (2011). *The 21st century skills movement*. In H. Dumont, D. Istance, & F. Benavides (Eds.), *The nature of learning: Using research to inspire practice* (pp. 89–110). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264086487-8-en>
- Lucas, B. (2022). Re-thinking OECD's Learning Compass 2030: Practical implications for teachers. *European Journal of Education*, 57(4), 589–604. <https://doi.org/10.1111/ejed.12515>
- Nordin, A. B., & Muhammad, M. (2021). Mathematics teachers' readiness for implementing 21st century teaching practices. *Journal of Education and Learning*, 15(2), 177–190. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v15i2>
- OECD. (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/education/2030>

- OECD. (2021–2025). *OECD education working papers*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19939019>
- OECD. (2023). *Measuring student agency: Towards a shared definition*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19939019>
- P21. (2015). *Framework for 21st century learning*. Partnership for 21st Century Learning. <http://www.battelleforkids.org/networks/p21>
- Rehman, R., Ali, S., & Khan, M. (2024). Project-based learning as a driver of 21st century skills: Evidence from secondary mathematics education. *Education and Information Technologies*, 29(2), 2037–2055. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12014-y>
- Roorda, G., de Vries, S., & Smale-Jacobse, A. E. (2024). Using lesson study to help mathematics teachers enhance students' problem-solving skills with teaching through problem solving. *Frontiers in Education*, 9, Article 1331674. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1331674>
- Saienکو, N., & Shevchenko, M. (2021). 21st century competencies and mathematics teachers: A comparative perspective. *Universal Journal of Educational Research*, 9(5), 1000–1009. <https://doi.org/10.13189/ujer.2021.090501>
- Schoen, R. C., LaVenía, M., & Tazaz, A. (2024). Cognitively guided instruction and student achievement in mathematics: A longitudinal study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 55(2), 145–167. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.2024.002>
- Scoular, C., & Duckworth, D. (2021). Assessing collaborative problem-solving in digital environments: Lessons from ATC21S. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 28(5–6), 567–583. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2021.1884043>
- Sims, L., Hillen, A. F., & Doabler, C. T. (2021). Teacher professional development in mathematics: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 91(6), 867–899. <https://doi.org/10.3102/0034654321998076>
- Sriraman, B., & Dickman, B. (2021). Open-ended problems in mathematics education: Cultivating divergent thinking. *ZDM Mathematics Education*, 53(1), 135–148. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01255-3>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- UNESCO. (2024). *AI and the futures of learning*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386281>
- Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/115376>
- Wang, T., Huang, R., & Yang, L. (2023). Mathematical modeling, inquiry pedagogy, and students' 21st century skills: Evidence from secondary classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(3), 567–586. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10367-7>
- Widjaja, W., & Dolk, M. (2021). Lesson study as a vehicle for developing 21st century mathematics teaching skills. *Mathematics Education Research Journal*, 33(4), 573–593. <https://doi.org/10.1007/s13394-020-00327-6>
- Zhao, Y. (2022). *Learners without borders: New learning pathways for all students*. Corwin Press.