

Mekanisme Pedagogi dan Pengukuran Kemahiran Proses Sains dalam Pendidikan Sains Sekolah Rendah

Mohd Yahya Fadzli Jusoh^{1,2*}, Nor Asniza Ishak^{2,3}, Rendi Restiana Sukardi⁴

¹Bahagian Pendidikan Umum, ADTEC JTM Kampus Perai, Pulau Pinang, Malaysia

²Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia

³Pulau Pinang Centre for Institutional & Strategic Planning, Universiti Sains Malaysia

⁴Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

*Corresponding author: Mohd Yahya Fadzli Jusoh (yahyafadzli@jtm.gov.my)

Received: 27 January 2026

Received in revised form: 15 May 2026

Accepted: 22 May 2026

Published: 10 July 2026

ABSTRAK

Kemahiran Proses Sains (KPS) merupakan asas penting dalam pembelajaran sains kerana menyokong murid membina penjelasan berasaskan bukti, dan bukan sekadar mengingat fakta. Walau bagaimanapun, literatur semasa masih menunjukkan ketidakjelasan tentang mekanisme pedagogi yang paling konsisten menyokong pembangunan KPS, di samping wujud heterogeniti dari segi pengukuran, indikator, dan pelaporan dapatan, khususnya dalam konteks sekolah rendah. Sehubungan itu, kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mensintesis bukti kajian terkini berkaitan intervensi pengajaran dan pembelajaran sains serta amalan pengukuran KPS dalam kalangan murid sekolah rendah. Berpandukan protokol PRISMA 2020, carian sistematik dalam pangkalan data Scopus dan Web of Science bagi tempoh 2020 hingga 2025 menghasilkan 18 artikel akhir untuk sintesis tematik. Dapatan menunjukkan empat tema utama, iaitu: (1) teknologi sebagai sokongan terhadap pelaksanaan KPS, (2) pedagogi inkuiri berstruktur untuk mengaktifkan KPS, (3) kontekstualisasi budaya dan komuniti dalam pengukuhan KPS, dan (4) penilaian, diagnostik, dan peluang pembelajaran KPS. Secara keseluruhan, sintesis ini menunjukkan bahawa kekuatan dapatan berkaitan KPS lebih tepat difahami melalui ciri reka bentuk pedagogi, termasuk *scaffolding*, urutan tugas, dan pemodelan langkah inkuiri, serta melalui kejelasan pengukuran dan keterwakilan peluang latihan dalam sistem pembelajaran. Kajian ini menyumbang dengan memperjelas bahawa pengukuhan KPS tidak wajar dinilai berdasarkan label pendekatan semata-mata, tetapi perlu dibaca melalui hubungan antara mekanisme pedagogi, pengukuran, dan konteks pelaksanaan. Implikasinya, pembangunan intervensi dan bahan PdP pada masa hadapan perlu memberi perhatian yang lebih sistematik kepada kejelasan indikator KPS, kesahan instrumen, dan peluang latihan yang seimbang dalam konteks sekolah rendah.

Kata Kunci

Kemahiran proses sains; Pendidikan sains sekolah rendah; Reka bentuk pedagogi; Penilaian KPS; Tinjauan literatur sistematik

ABSTRACT

Science Process Skills (SPS) are fundamental to science learning because they support pupils in constructing evidence-based explanations rather than merely memorising facts. However, current literature still shows uncertainty regarding the pedagogical mechanisms that most consistently support SPS development, alongside heterogeneity in measurement, indicators, and reporting, particularly in primary school contexts. This study employed a Systematic Literature Review (SLR) to synthesise recent research evidence on science teaching and learning interventions and SPS measurement practices among primary school pupils. Guided by the PRISMA 2020 protocol, a systematic search in Scopus and Web of Science databases for the period 2020 to 2025 yielded 18 final articles for thematic synthesis. The findings revealed four main themes: (1) technology as support for SPS implementation, (2) structured inquiry pedagogy for activating SPS, (3) cultural and community contextualisation in strengthening SPS, and (4) assessment, diagnostics, and SPS learning opportunities. Overall, the synthesis indicates that evidence on SPS is better understood through pedagogical design features, including scaffolding, task sequencing, and modelling of inquiry steps, as well as through measurement clarity and the representation of learning opportunities within the instructional system. This study contributes by clarifying that SPS development should not be evaluated based on approach labels alone, but through the relationship between pedagogical mechanisms, measurement, and implementation contexts. The findings imply that future interventions and teaching materials should pay more systematic attention to SPS indicators, instrument validity, and balanced learning opportunities in primary school settings.

Keywords

Science process skills; Primary science education; Pedagogical design; SPS assessment; Systematic literature review

Pengenalan

Kemahiran Proses Sains (KPS) merujuk kepada set kebolehan yang membantu murid berfikir dan bertindak seperti “orang sains”, iaitu membina persoalan, menggunakan bukti, dan membuat penaaakulan daripada data secara sistematik. Dalam pendidikan sains, istilah KPS menghimpunkan kemahiran yang menyokong aktiviti saintifik seperti memerhati, mengelas, mengukur, meramal, membuat inferens, mentafsir data, dan menjalankan eksperimen. Secara konseptual, KPS bukan tambahan sampingan kepada kandungan, sebaliknya mekanisme utama yang memindahkan pembelajaran sains daripada mengingat fakta kepada pembinaan penjelasan berasaskan bukti (Macbeth, 1974; Padilla, 1990). Dari sudut sejarah perkembangan, istilah KPS dipopularkan melalui gerakan “pendekatan proses” dalam kurikulum sains sekolah rendah, khususnya projek *Science A Process Approach* (SAPA) yang dibangunkan di bawah Suruhanjaya Pendidikan Sains, *American Association for the Advancement of Science* (AAAS). Pembangunan SAPA dilaporkan bermula seawal 1962 dan menekankan proses saintifik sebagai teras pengalaman pembelajaran kanak-kanak (Harold, 1970), manakala dokumen pembangunannya memperincikan proses seperti memerhati, mengelas, menggunakan nombor, mengukur, hubungan ruang dan masa, berkomunikasi, meramal, membuat inferens, mentakrif secara operasi, membina hipotesis, dan mentafsir data (Sanderson & Kratochvil, 1971).

Kerangka SAPA turut mengukuhkan perbezaan antara KPS asas dan KPS bersepadu. KPS asas menyediakan landasan kepada KPS bersepadu yang lebih kompleks; dalam ringkasan klasik *National Association for Research in Science Teaching* (NARST), KPS asas merangkumi memerhati, mengelas, mengukur, berkomunikasi, meramal, dan membuat inferens, manakala KPS bersepadu melibatkan mengawal pemboleh ubah, mentakrif secara operasi, membina hipotesis, mentafsir data, dan melaksanakan eksperimen secara menyeluruh (Macbeth, 1974). Perbezaan ini kekal berguna untuk membaca dapatan SLR secara lebih tepat. Namun demikian, literatur antarabangsa mutakhir menunjukkan bahawa dalam konteks pendidikan sains sekolah rendah, KPS juga semakin difahami sebagai sebahagian daripada kerja epistemik murid dalam membina penjelasan, menggunakan representasi, dan menilai bukti, bukan semata-mata sebagai urutan prosedur yang boleh diperhatikan. Dalam kajian tentang inkuiri berasaskan model, Berg dan Hultén (2024) menunjukkan bahawa murid sekolah rendah awal dapat terlibat dalam penaaakulan mekanistik apabila aktiviti dijalankan dengan sokongan guru yang sesuai. Dari sudut pentaksiran pula, Pedaste et al. (2021) menunjukkan bahawa hasil pembelajaran inkuiri pada tahap sekolah rendah dapat diterjemahkan melalui indikator yang jelas dan dapat dinilai mengikut fasa inkuiri. Oleh itu, dalam landskap semasa, perbincangan KPS semakin rapat dengan agenda pembelajaran berasaskan inkuiri yang menuntut kejelasan konstruk, kejelasan indikator, dan justifikasi pentaksiran yang lebih kukuh.

Tinjauan Literatur

KPS sebagai Konstruk Inkuiri dan Penaaakulan Saintifik

Literatur mutakhir menunjukkan bahawa Kemahiran Proses Sains (KPS) tidak wajar ditafsir sebagai kemahiran prosedural yang terpisah daripada pemikiran saintifik, sebaliknya perlu difahami sebagai konstruk inkuiri yang melibatkan keupayaan murid membina persoalan, merancang penyiasatan, mengumpul dan mentafsir bukti, serta membina penjelasan secara beralasan. Dalam konteks sekolah rendah, KPS menjadi asas kepada pembelajaran sains yang bermakna kerana murid tidak hanya mengingat fakta, tetapi belajar menggunakan bukti untuk menyokong inferens dan keputusan saintifik. Pedaste et al. (2021) menunjukkan bahawa keupayaan inkuiri murid sekolah rendah boleh dipetakan kepada item dan skala yang lebih sistematik, sekali gus menegaskan bahawa KPS memerlukan indikator yang jelas supaya dapat dinilai secara sah. Seajar dengan itu, Vo dan Simmie (2025) menegaskan bahawa pentaksiran inkuiri sains masih menjadi isu penting kerana tugas, alat dan teknik pengukuran yang digunakan dalam kajian terdahulu adalah pelbagai, menyebabkan inferens terhadap penguasaan inkuiri dan KPS perlu dibuat secara berhati-hati. Oleh itu, KPS dalam kajian ini difahami sebagai konstruk pembelajaran sains yang menghubungkan tindakan penyiasatan, penaaakulan bukti dan kejelasan indikator pengukuran.

Mekanisme Pedagogi dalam Pembangunan KPS

Dari sudut pedagogi, pembangunan KPS tidak berlaku secara automatik melalui penglibatan murid dalam aktiviti amali atau inkuiri semata-mata. Isu utama bukan sahaja sama ada murid menjalankan aktiviti penyiasatan, tetapi bagaimana aktiviti tersebut distruktur, dibimbing dan disokong oleh guru. Heppt et al. (2023) menunjukkan bahawa sokongan

instruksional dalam kelas sains berasaskan inkuiri mempunyai hubungan dengan perkembangan pengetahuan kandungan sains dan kecekapan bahasa akademik murid sekolah rendah. Dapatan ini memberi implikasi bahawa keberkesanan inkuiri bergantung pada kualiti bimbingan, bukan pada label pendekatan semata-mata. Sasse et al., (2025) turut menegaskan bahawa bimbingan guru dan scaffolding secara responsif semasa pembelajaran inkuiri membantu murid menangani kesukaran ketika membina penjelasan, mentafsir data dan membuat keputusan prosedural. Selari dengan itu, Muhamad Dah et al., (2024) menjelaskan bahawa inkuiri terbuka mempunyai potensi positif terhadap pembelajaran sains, namun pelaksanaannya memerlukan pengurusan bilik darjah, interaksi guru-murid dan sokongan pedagogi yang mencukupi. Oleh itu, pembangunan KPS lebih wajar difahami melalui mekanisme pedagogi seperti scaffolding, urutan tugas, pemodelan langkah inkuiri dan maklum balas guru.

Teknologi sebagai Sokongan Kognitif terhadap KPS

Selain pendekatan inkuiri bersemuka, perkembangan teknologi pendidikan turut memberi ruang baharu kepada pembangunan KPS, khususnya apabila teknologi digunakan sebagai sokongan kognitif dan bukan sekadar medium penyampaian. Dalam konteks pembelajaran digital, teknologi dapat membantu murid melalui arahan berstruktur, prompt, visualisasi, lembaran kerja digital, maklum balas dan simulasi yang memandu mereka menjalankan proses saintifik secara lebih teratur. Chang et al. (2022), melalui meta-analisis berkaitan Augmented Reality (AR) dalam pendidikan, menunjukkan bahawa kesan AR terhadap pembelajaran bergantung pada bagaimana teknologi tersebut direka dan digunakan untuk menyokong hasil pembelajaran, bukan semata-mata pada unsur kebaharuan visual. Thomann dan Deutscher (2025) pula menunjukkan bahawa prompt dalam pembelajaran digital berkesan apabila ia sejajar dengan tuntutan kognitif tugas dan membantu murid melaksanakan langkah penaaakulan tertentu. Dalam konteks KPS, dapatan ini penting kerana teknologi hanya menyumbang secara bermakna apabila ia membantu murid memerhati, mengelas, mengukur, membuat inferens, meramal, mentafsir data dan membina penjelasan berdasarkan bukti. Justeru, teknologi dalam pembangunan KPS perlu dilihat sebagai alat scaffolding yang menyusun proses berfikir dan bertindak secara saintifik.

Pengukuran, Indikator dan Pelaporan KPS

Pada masa yang sama, literatur terkini menunjukkan bahawa isu pengukuran KPS masih memerlukan perhatian khusus. Walaupun banyak kajian melaporkan peningkatan KPS selepas intervensi, kekuatan dapatan bergantung pada sejauh mana konstruk KPS ditakrif, indikatornya dikenal pasti, instrumen dibangunkan secara sah dan dapatan dilaporkan secara telus. Pedaste et al. (2021) menunjukkan bahawa pembangunan ujian inkuiri sains sekolah rendah memerlukan pemetaan item dan skala yang teliti supaya hasil pembelajaran inkuiri dapat dinilai secara lebih kukuh. Vo dan Simmie (2025) pula menegaskan bahawa kajian pentaksiran inkuiri menggunakan pelbagai bentuk tugas, alat dan teknik, yang boleh menimbulkan cabaran terhadap kebolehbandingan dapatan merentas kajian. Dalam pendidikan sains sekolah rendah, isu ini menjadi lebih penting kerana KPS merangkumi kemahiran asas dan kemahiran bersepadu yang tidak semestinya berkembang pada kadar yang sama. Tanpa kejelasan indikator, kesahan instrumen dan pelaporan yang mencukupi, peningkatan skor KPS berisiko ditafsir secara terlalu umum, sedangkan murid mungkin hanya menunjukkan penguasaan pada sebahagian kemahiran tertentu sahaja.

Keperluan Sintesis Sistematis terhadap KPS Sekolah Rendah

Berdasarkan perkembangan tersebut, terdapat keperluan untuk melaksanakan sintesis sistematik yang menghubungkan dua dimensi utama dalam penyelidikan KPS, iaitu dimensi pedagogi dan dimensi pengukuran. Deehan et al. (2024) menunjukkan bahawa penyelidikan intervensi sains sekolah rendah telah berkembang secara meluas merentas pendekatan, konteks dan reka bentuk kajian, namun kepelbagaian tersebut juga menuntut sintesis yang lebih tertumpu agar pola bukti dapat dikenal pasti dengan lebih jelas. Dalam konteks KPS, sintesis sistematik diperlukan bagi menjawab bukan sahaja persoalan pendekatan mana yang berkesan, tetapi juga bagaimana sesuatu pendekatan mengaktifkan KPS, apakah bentuk scaffolding yang digunakan, indikator KPS mana yang dinilai, serta sejauh mana dapatan boleh dibandingkan merentas kajian. Oleh itu, tinjauan literatur sistematik ini penting untuk memperjelas hubungan antara mekanisme pedagogi, aktivasi KPS, pengukuran dan implikasi terhadap amalan pengajaran sains sekolah rendah.

Penyataan Masalah

Walaupun penyelidikan berkaitan KPS di sekolah rendah semakin berkembang, bidang ini masih berdepan sekurang-kurangnya dua isu utama yang mengehadkan kekukuhan rumusan. Pertama, banyak kajian melaporkan kesan positif intervensi, tetapi mekanisme yang menerangkan bagaimana murid dibimbing membina soalan, merancang penyiasatan, mengumpul bukti, mentafsir data, dan membina penjelasan sering tidak dihuraikan dengan setara. Literatur mutakhir tentang pengajaran inkuiri menunjukkan bahawa hasil pembelajaran bukan ditentukan oleh keterbukaan aktiviti atau kebaruan pendekatan semata-mata, tetapi oleh kualiti sokongan pengajaran yang mengiringi pelaksanaan inkuiri (Heppt et al., 2023; Dah et al., 2024). Kedua, pengukuran KPS masih berdepan isu ketidakselarasan dari segi indikator, instrumen, pendekatan penskoran, dan pelaporan, sehingga menjejaskan kebolehbandingan dapatan antara kajian. Tanpa indikator yang dipetakan dengan jelas, variasi instrumen, format tugas, pendekatan penskoran, dan cara pelaporan berisiko menjejaskan perbandingan dapatan dan ketepatan inferens tentang keberkesanan intervensi (Pedaste et al., 2021). Sehubungan itu, walaupun bidang intervensi sains sekolah rendah telah berkembang secara meluas pada peringkat antarabangsa, masih terdapat keperluan terhadap satu sorotan literatur sistematik yang secara khusus mensintesis bukti kajian KPS bagi memperjelas mekanisme pedagogi yang konsisten, menilai amalan pengukuran, dan merumus implikasi yang lebih kukuh untuk amalan bilik darjah dan agenda penyelidikan seterusnya (Deehan et al., 2024).

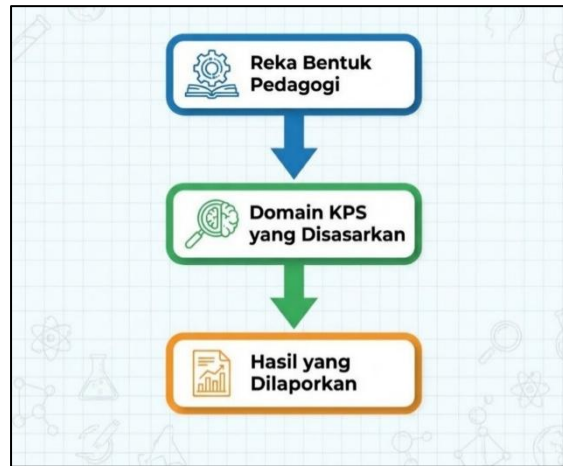
Asas semakan ini bersandar pada dapatan bahawa pentaksiran inkuiri sekolah rendah boleh dipetakan dengan lebih jelas, bahawa kualiti sokongan pengajaran dalam kelas inkuiri berkait dengan hasil pembelajaran, bahawa inkuiri terbuka memerlukan syarat pedagogi tertentu, bahawa murid sekolah rendah mampu terlibat dalam penaakulan penjelasan apabila dibimbing, dan bahawa bidang intervensi sains sekolah rendah kini cukup luas untuk memerlukan sintesis yang lebih tertumpu. Justeru, objektif kajian tinjauan sistematik literatur memfokuskan kepada empat objektif yang dirancang dalam penelitian ini:

1. Mensintesis bukti kajian terkini tentang intervensi pengajaran dan pembelajaran sains yang meningkatkan Kemahiran Proses Sains dalam kalangan murid sekolah rendah.
2. Mengenal pasti ciri reka bentuk pedagogi yang paling konsisten menyokong pembangunan Kemahiran Proses Sains, termasuk bentuk scaffolding, urutan tugas, dan pemodelan langkah inkuiri.
3. Menilai amalan pengukuran dan pelaporan Kemahiran Proses Sains dalam kajian terdahulu daripada segi kejelasan indikator, kesahan instrumen, dan perbandingan dapatan.
4. Merumuskan implikasi kepada amalan bilik darjah, pembangunan bahan PdP, dan agenda kajian seterusnya bagi memperkukuh pembangunan Kemahiran Proses Sains secara lebih sistemik.

Bagi mengorganisasikan sintesis dapatan secara lebih tersusun, kajian ini menggunakan satu kerangka sintesis dapatan yang memetakan domain utama dalam literatur berkaitan Kemahiran Proses Sains (KPS) di sekolah rendah. seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.

Rajah 1

Tafsiran Terhadap Dapatan Sintesis



Berdasarkan Rajah 1, sintesis dapatan dalam kajian ini disusun secara berperingkat bermula daripada reka bentuk pedagogi yang digunakan dalam kajian primer, diikuti domain KPS yang disasarkan, dan seterusnya hasil yang dilaporkan. Melalui susunan ini, dapatan dapat diuraikan dengan lebih sistematik, khususnya dalam meneliti bagaimana pendekatan pengajaran tertentu dikaitkan dengan KPS yang diberi penekanan serta bentuk hasil yang dilaporkan dalam literatur. Pada masa yang sama, tafsiran terhadap dapatan tersebut tidak dipisahkan daripada isu pengukuran dan peluang pembelajaran, kerana kedua-dua aspek ini mempengaruhi bagaimana keberkesanan intervensi dan penguasaan KPS dinilai dalam kajian primer.

Metodologi

Kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mensintesis bukti kajian berkaitan Kemahiran Proses Sains (KPS) dalam pendidikan sains sekolah rendah. Pelaksanaan dan pelaporan semakan ini berpandukan garis panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 bagi meningkatkan ketelusan pelaporan, keterjejukan keputusan semakan, dan kebolehulangan prosedur kajian. PRISMA 2020 menyediakan kerangka pelaporan yang meliputi item utama seperti sumber maklumat, strategi carian, pemilihan kajian, sebab pengecualian, dan aliran semakan melalui rajah alir. Dalam konteks systematic review pendidikan, literatur metodologi terkini juga menekankan bahawa keteguhan semakan tidak hanya bergantung pada penggunaan label PRISMA, tetapi pada kejelasan langkah carian, saringan, pengekodan, sintesis, dan kawalan bias yang dapat diaudit. Oleh itu, rujukan metodologi dalam bahagian ini digunakan untuk membimbing reka bentuk dan pelaporan semakan, dan bukan sebagai sebahagian daripada sampel kajian empirikal yang disintesis (Fromm et al., 2025; Page et al., 2021).

Proses semakan dilaksanakan melalui empat peringkat utama, iaitu *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion*, seperti yang digambarkan dalam Rajah 2 aliran PRISMA. Susunan ini sejajar dengan amalan systematic review yang menekankan penetapan prosedur secara eksplisit sejak peringkat reka bentuk hingga pelaporan akhir, supaya keputusan kemasukan dan pengecualian kajian dapat dijejaki dengan jelas. Bagi *systematic review* dalam penyelidikan pendidikan, langkah-langkah seperti menetapkan parameter carian, membuang duplikasi sebelum saringan, melibatkan lebih daripada seorang penilai, menjalankan pengekodan secara kolaboratif, dan melaporkan rasional keputusan secara jelas dianggap penting untuk mengurangkan bias prosedural dan meningkatkan ulangan semakan (Fromm et al., 2025).

Pada peringkat *identification*, carian artikel dijalankan dalam dua pangkalan data utama, iaitu Scopus dan Web of Science (WoS). Pemilihan kedua-dua pangkalan data ini bertujuan memperoleh liputan jurnal antarabangsa yang luas, rekod bibliografik yang stabil, dan kemudahan carian berstruktur yang sesuai untuk semakan sistematik dalam bidang pendidikan. Strategi carian dibangunkan secara berstruktur menggunakan gabungan kata kunci berkaitan *science process skills* dan *scientific inquiry skills* dalam konteks pendidikan sains sekolah rendah, seperti yang diperincikan

dalam Jadual 1. Selaras dengan keperluan supaya parameter carian dan kriteria kelayakan ditetapkan secara eksplisit, penapisan awal dihadkan kepada artikel jurnal dan prosiding sahaja, diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, dalam bahasa Inggeris, berstatus *final*, dan memenuhi kriteria sumber yang ditetapkan dalam Jadual 2. Penetapan julat tahun 2020 hingga 2025 dibuat untuk memfokuskan semakan kepada bukti kajian yang mutakhir, di samping memastikan parameter carian ditetapkan secara jelas dan boleh diaudit (Fromm et al., 2025; Ghamrawi et al., 2025). Melalui proses ini, sejumlah 216 rekod dikenal pasti, terdiri daripada 166 rekod daripada Scopus dan 50 rekod daripada WoS.

Jadual 1

Ringkasan Set Data Scopus dan WoS yang Dianalisis

Pangkalan data	Keyword
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((("science process skill*" OR "scientific process skill*" OR "science inquiry skill*" OR "scientific inquiry skill*") AND (educat* OR "science education" OR school* OR classroom OR teach* OR learn* OR student*) AND ("primary school*" OR elementary OR "year 5" OR "grade 5")))
WoS	(("science process skill*" OR "scientific process skill*" OR "science inquiry skill*" OR "scientific inquiry skill*") AND (educat* OR "science education" OR school* OR classroom OR teach* OR learn* OR student*) AND ("primary school*" OR elementary OR "year 5" OR "grade 5"))

Jadual 2

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Komponen	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Tempoh penerbitan	2020 hingga 2025	< 2020 atau > 2025
Jenis dokumen	Artikel jurnal dan prosiding sahaja	Note Editor, bab buku, tesis, laporan, editorial, surat, nota, preprint
Status dokumen	Final	<i>Early access</i> , <i>in press</i> , atau bukan final
Bahasa	Bahasa Inggeris	Bahasa selain Inggeris
Sumber	Jurnal dan prosiding terindeks Scopus/WoS	Sumber tidak terindeks atau bukan penerbitan akademik
Populasi	Sekolah rendah	Prasekolah, menengah, pendidikan guru, pendidikan tinggi, atau populasi tidak sepadan dengan sekolah rendah.
Konteks	Pendidikan sains dan PdP sains sekolah rendah	Bukan pendidikan sains atau bukan PdP sains sekolah rendah
Konstruk utama	KPS sebagai hasil atau indikator KPS yang jelas	KPS tidak diukur atau tidak dioperasikan secara jelas dan kukuh.
Ketersediaan teks penuh	Teks penuh boleh diperoleh untuk pengekstrakan data	Teks penuh tidak dapat diperoleh selepas usaha pencarian
Duplikasi	Rekod unik	Rekod duplikasi

Pada peringkat *screening*, semua rekod yang dikenal pasti terlebih dahulu disemak untuk mengeluarkan duplikasi sebelum saringan tajuk dan abstrak dijalankan. Rekod yang tidak relevan dengan skop kajian, khususnya yang tidak melibatkan pendidikan sains sekolah rendah atau tidak menyentuh konstruk KPS, dikeluarkan daripada analisis lanjut. Langkah membuang duplikasi sebelum saringan, diikuti dengan saringan tajuk dan abstrak sebelum penilaian teks penuh, sejajar dengan cadangan amalan terbaik dalam systematic review pendidikan. Hasil saringan ini membawa kepada pengeluaran 163 rekod, manakala 53 artikel dikenal pasti sebagai berpotensi relevan dan diteruskan ke peringkat penilaian kelayakan melalui semakan teks penuh (Fromm et al., 2025).

Pada peringkat *eligibility*, penilaian teks penuh dilakukan secara bebas oleh dua orang pakar dalam bidang pendidikan STEM yang masing-masing mempunyai pengalaman penyelidikan dan pengajaran melebihi 10 tahun. Penilaian dibuat berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan, termasuk kesesuaian populasi, kejelasan pengoperasian konstruk KPS, dan keselarasan konteks kajian dengan pendidikan sains sekolah rendah. Di samping itu, kedua-dua pakar menggunakan Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) sebagai panduan semakan kualiti metodologi bagi menentukan artikel yang layak dimasukkan ke peringkat *included*. MMAT digunakan kerana alat ini membolehkan

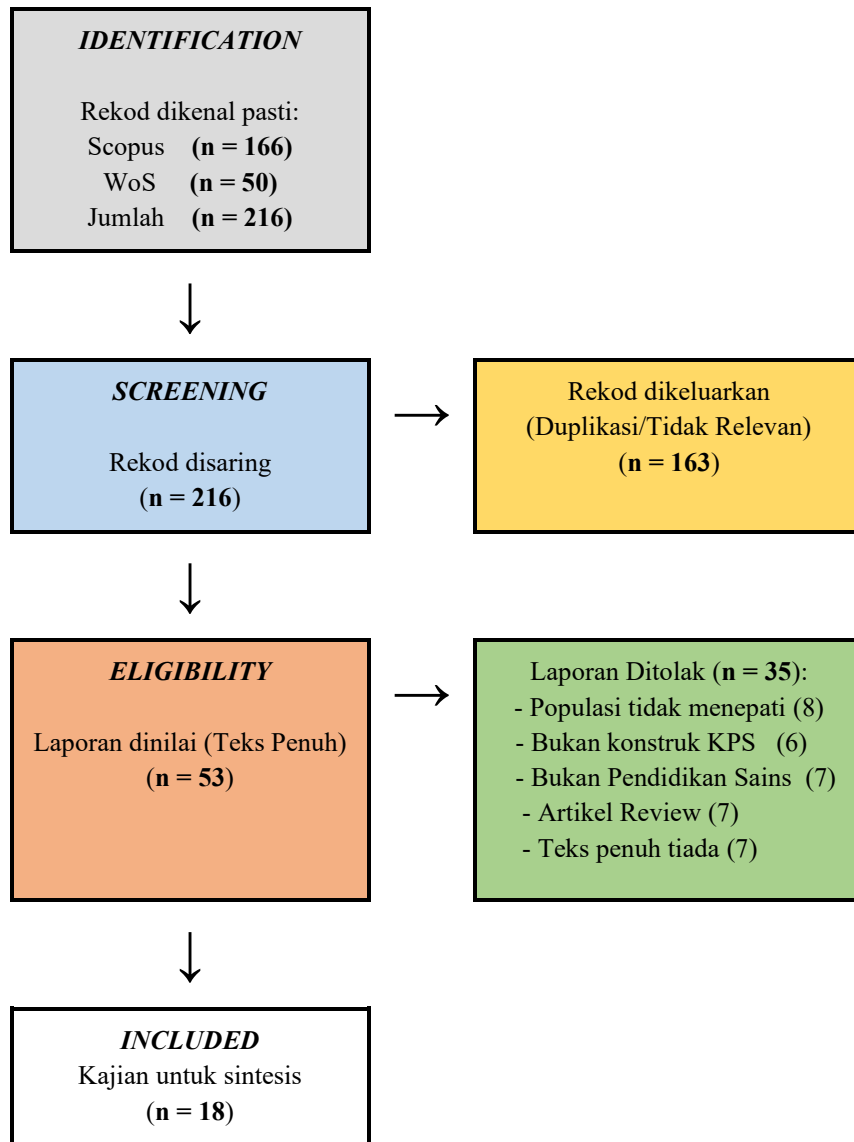
penilaian kualiti bagi pelbagai reka bentuk kajian, termasuk kajian kualitatif, kuantitatif, dan kaedah campuran, melalui kriteria metodologi teras yang jelas. Sebarang perbezaan penilaian antara kedua-dua pakar diselesaikan melalui perbincangan profesional sehingga persetujuan bersama dicapai (Hong et al., 2018; Fromm et al., 2025).

Hasil penilaian pada peringkat ini menunjukkan bahawa 18 artikel memenuhi semua kriteria kelayakan dan kualiti untuk dimasukkan dalam set akhir kajian. Artikel-artikel yang melepasi peringkat included kemudiannya menjalani proses pengekstrakan data dan sintesis tematik. Dalam proses ini, pengekodan awal dan pembentukan tema dilaksanakan oleh dua orang pakar yang sama berdasarkan pembacaan teliti terhadap artikel yang dipilih. Penglibatan lebih daripada seorang penilai dalam proses pengekodan dan sintesis membantu meningkatkan konsistensi tafsiran, khususnya apabila konstruk yang dikaji melibatkan variasi istilah, indikator, dan reka bentuk intervensi. Selaras dengan cadangan metodologi *systematic review* pendidikan, proses pengekodan secara kolaboratif menyokong pembinaan tema yang lebih telus dan boleh dipercayai. Sebarang perbezaan dalam penentuan kod atau tema diselesaikan melalui perbincangan sehingga persetujuan dicapai antara pakar (Fromm et al., 2025; Ghamrawi et al., 2025).

Secara keseluruhan, penggunaan protokol PRISMA 2020, penetapan strategi carian dan kriteria kelayakan secara eksplisit, semakan teks penuh oleh dua penilai bebas, aplikasi MMAT dalam menentukan artikel yang layak dimasukkan, serta penentuan kod dan tema secara kolaboratif bertujuan meningkatkan ketelusan proses semakan dan menyokong keteguhan sintesis yang dihasilkan. Walau bagaimanapun, pendekatan ini tidak menghapuskan sepenuhnya risiko bias. *Meta-review* terkini dalam bidang pendidikan menunjukkan bahawa *systematic review* masih boleh terdedah kepada bias berkaitan prosedur carian, keterbukaan pelaporan, dan kebolehulangan proses jika langkah-langkah tersebut tidak dihuraikan secara mencukupi. Oleh itu, dapatan kajian ini perlu ditafsir dalam batas prosedur semakan yang telah ditetapkan, khususnya kerana carian dihadkan kepada dua pangkalan data, artikel jurnal berbahasa Inggeris, dan dokumen berstatus final (Nordström et al., 2023; Page et al., 2021).

Rajah 2

Peringkat Prisma Adaptasi daripada: (Page et al., 2021)



Keputusan

Terdapat empat tema yang dapat disintesis berdasarkan kandungan yang dinyatakan untuk Tema 1 Teknologi sebagai sokongan terhadap pelaksanaan KPS, Tema 2: Pedagogi inkuiri berstruktur untuk mengaktifkan KPS, Tema 3: Kontekstualisasi budaya dan komuniti dalam pengukuhan Kemahiran Proses Sains (KPS) dan Tema 4: Penilaian, diagnostik, dan peluang pembelajaran KPS yang diuraikan dalam bahagian-bahagian berikut:

Tema 1: Teknologi sebagai sokongan terhadap pelaksanaan KPS

Secara rentas lima kajian yang ditemakan di bawah domain teknologi, dapatan menunjukkan bahawa penggunaan teknologi digital dikaitkan dengan sokongan terhadap pelaksanaan KPS dalam pendidikan sains sekolah rendah, namun bentuk sokongan tersebut tidak seragam antara kajian. Dua kajian berkaitan *Augmented Reality* (AR) memperlihatkan

bahawa teknologi ini terutamanya digunakan untuk meningkatkan pengalaman pembelajaran melalui visualisasi, interaktiviti, minat, dan kepuasan murid, di samping melaporkan dapatan yang melibatkan pencapaian, pemahaman konsep, dan dalam satu kajian turut merangkumi KPS. Abdullah et al. (2022) melaporkan kesan signifikan yang memihak kepada kumpulan AR dari segi pencapaian, minat, dan KPS, manakala Anggara et al. (2024) menekankan kelebihan AR dalam meningkatkan keterlibatan, kefahaman, minat, dan kepuasan murid terhadap pembelajaran sains.

Di samping itu, kajian Halim dan Halim (2024) menunjukkan bahawa penggunaan *Telegram* yang digabungkan dengan pendekatan heutagogi menghasilkan peningkatan signifikan dalam skor pra-pasca KPS, sekali gus menunjukkan potensi platform pemesejan sebagai medium pembelajaran sains dalam talian. Walau bagaimanapun, dapatan kajian tersebut juga menunjukkan bahawa peningkatan lebih ketara berlaku pada KPS asas berbanding KPS bersepadu, dan penguasaan beberapa kemahiran seperti membina hipotesis serta mengawal pemboleh ubah masih rendah selepas intervensi.

Dalam tema 1 ini, bukti yang paling jelas tentang peranan teknologi dalam menstruktur pelaksanaan KPS diperlihatkan oleh Dewi et al. (2022), apabila lembaran kerja digital interaktif berasaskan *Level of Inquiry* digunakan untuk menyokong eksperimen sains dan menilai aspek KPS seperti memerhati, mengelas, berkomunikasi, mengukur, meramal, dan membuat inferens. Kajian ini melaporkan bahawa kumpulan yang menggunakan lembaran kerja digital interaktif memperoleh keputusan ujian pasca KPS yang lebih baik berbanding kumpulan kawalan. Sebaliknya, kajian Tachinamutu et al. (2022) menunjukkan pola yang lebih bercampur: walaupun penerimaan murid terhadap aplikasi mudah alih Mikrob adalah sangat tinggi dan artikel tersebut melaporkan kesan positif pada konstruk seperti KPS, kefahaman, aplikasi, dan pengetahuan, analisis mereka juga menunjukkan bahawa tiada hubungan yang signifikan antara skor keseluruhan ujian pra dan pos serta tiada impak keseluruhan yang jelas ditemui pada analisis utama.

Secara sintesis, tema ini menunjukkan bahawa teknologi dalam literatur yang disemak bukan sekadar berfungsi sebagai medium penyampaian, tetapi lebih bermakna apabila digunakan untuk menyokong visualisasi, interaktiviti, latihan berulang, atau urutan tugas yang membantu murid melaksanakan proses sains secara lebih tersusun. Namun demikian, kekuatan bukti dalam tema ini adalah heterogen kerana hasil yang dilaporkan berbeza antara kajian, daripada minat dan kepuasan sehinggalah kepada pencapaian dan KPS. Jadual 3 menunjukkan Teknologi sebagai sokongan terhadap pelaksanaan KPS:

Jadual 3

Matriks Tema 1: Teknologi sebagai Sokongan Terhadap Pelaksanaan KPS

Pengkaji	Pendekatan	Instrumen	Dapatan & Sumbangan
Anggara et al. (2024)	Pembangunan & pelaksanaan AR (model ADDIE)	Ujian akhir mengandungi komponen KPS; soal selidik minat	AR dilaporkan menyokong minat/kepuasan dan pengukuhan prestasi sains termasuk komponen KPS.
Abdullah et al. (2022)	Kuasi-eksperimen: AR vs kaedah konvensional	Soalan pasca-ujian (pencapaian & KPS) + soal selidik minat/kepuasan	AR dibincang sebagai pemudahcara visualisasi konsep; kajian melaporkan perbezaan pencapaian/minat dan mengukur KPS bersama dapatan lain.
Halim dan Halim (2024)	Heutagogi dalam talian melalui Telegram (pra-eksperimen pra-pos)	Ujian KPS + ujian kemahiran berfikir kreatif	Dilaporkan peningkatan KPS dan kemahiran berfikir kreatif selepas intervensi berasaskan Telegram.
Tachinamutu et al. (2022)	Aplikasi mudah alih “Microb” (pra-ujian & pos-ujian + soal selidik penerimaan)	Prestasi sains dipecahkan kepada konstruk termasuk KPS	Penerimaan aplikasi sangat tinggi; kesan pada prestasi keseluruhan tidak konsisten tetapi KPS sebagai konstruk dilaporkan menunjukkan peningkatan.
Dewi et al. (2022)	Lembar kerja digital interaktif berasaskan Level of Inquiry (kuasi-eksperimen pra-pos)	Ujian KPS (pemerhatian, mengelas, komunikasi, mengukur, inferens, ramalan)	LKS digital LoI menunjukkan perbezaan signifikan KPS berbanding kawalan; menyokong LoI sebagai struktur scaffolding inkuiri.

Tema 2: Pedagogi inkuiri berstruktur untuk mengaktifkan KPS

Untuk tema ini, dapatan menunjukkan bahawa KPS lebih kerap berkembang apabila inkuiri dioperasikan sebagai rutin pedagogi yang memandu murid melalui langkah kerja saintifik yang jelas, termasuk penyoalan, penerokaan, eksperimen, analisis data, dan komunikasi dapatan. Pola ini dapat dilihat dalam pendekatan 5E bersama STEM (5E inquiry-based learning bersama STEM), Pendidikan Sains Berasaskan Inkuiri (Inquiry-Based Science Education, IBSE), Pembelajaran Berasaskan Penyelidikan (research-based learning), contoh kerja berbantuan video (video-worked examples), dan pembelajaran berasaskan masalah (problem-based learning), walaupun kekuatan bukti dan jenis KPS yang ditekankan berbeza antara kajian. Kaewmancee et al. (2024), misalnya, melaporkan bahawa integrasi 5E-STEM dalam topik geseran meningkatkan KPS dan pencapaian murid Tahun 5, sekali gus menunjukkan bahawa rutin yang tersusun melalui fasa Melibatkan (engage), Meneroka (explore), Menerangkan (explain), Mengembangkan (elaborate), dan Menilai (evaluate) dapat menyokong pelaksanaan proses sains dalam konteks bilik darjah sekolah rendah.

Dalam skala pelaksanaan yang lebih besar, Jurečková et al. (2024) menunjukkan bahawa pelaksanaan IBSE dalam pengajaran sains Tahun 3 dikaitkan dengan peningkatan pengetahuan dan KPS, khususnya apabila lembaran kerja dan aktiviti direka untuk membolehkan murid menjalankan penyiasatan mereka sendiri. Walau bagaimanapun, kajian ini juga menunjukkan bahawa intervensi tersebut lebih menumpukan pembangunan KPS asas berbanding keseluruhan spektrum KPS bersepadu. Dalam arah yang lebih khusus, Khumraksa dan Burachat (2022) melaporkan bahawa pembelajaran berasaskan penyelidikan menggalakkan perkembangan Kemahiran Penyoalan Saintifik (scientific questioning skills) dan kemahiran eksperimen (experimental skills), tetapi pencapaian keseluruhan murid masih berada pada tahap memuaskan, yang menunjukkan bahawa penglibatan dalam inkuiri sahaja tidak semestinya membawa kepada penguasaan yang seragam bagi semua komponen KPS.

Dalam tema ini, dua kajian contoh kerja berbantuan video (video-worked examples) yang ditempatkan di bawah sokongan inkuiri memperlihatkan bahawa pemodelan langkah penyiasatan boleh membantu murid melaksanakan kemahiran tertentu dengan lebih tersusun. Bukti yang paling jelas ditunjukkan oleh Solé-Llussà et al. (2022), yang melaporkan bahawa penggunaan contoh kerja berbantuan video (video-worked examples) memberi pengaruh positif terhadap tingkah laku inkuiri murid, dengan penambahbaikan yang lebih konsisten bagi beberapa kemahiran sains merentas dua intervensi berturut-turut berbanding kumpulan kawalan. Dapatan ini menguatkan idea bahawa dalam konteks inkuiri sekolah rendah, sokongan yang memecahkan tugas kepada langkah yang lebih terurus membantu murid melaksanakan proses saintifik yang memerlukan usaha kognitif yang tinggi. Sementara itu, Ngatman et al. (2025) menunjukkan bahawa pembelajaran berasaskan masalah (problem-based learning) dengan multimedia juga boleh menyokong KPS melalui pelaksanaan yang progresif, walaupun dapatan kajian tersebut lebih sesuai dibaca sebagai bukti potensi pelaksanaan bilik darjah berbanding bukti penyebab yang kukuh.

Secara am, tema ini menunjukkan bahawa inkuiri dalam literatur yang disemak menjadi lebih bermakna untuk pengembangan KPS apabila ia dibina sebagai rutin pedagogi yang jelas, berperingkat, dan disokong melalui tugas atau panduan yang membantu murid mengurus proses penyiasatan. Namun demikian, dapatan dalam tema ini tidak seragam sepenuhnya kerana kajian-kajian yang terlibat menilai jenis KPS yang berbeza, menggunakan reka bentuk penyelidikan yang tidak sama, dan menunjukkan bahawa beberapa kemahiran berkembang dengan lebih jelas berbanding yang lain. Oleh itu, tema ini lebih menyokong pandangan bahawa kekuatan inkuiri terletak pada cara ia menstruktur pengalaman penyiasatan murid, dan bukannya pada label pendekatan semata-mata.

Jadual 4

Matriks Tema 2 :Pedagogi Inkuiri Berstruktur untuk Mengaktifkan KPS

Pengkaji	Pendekatan	Instrumen	Dapatan & Sumbangan
Varadarajan dan Sanzgiri (2023)	Cadangan reka bentuk inkuiri & eksperimen untuk peringkat awal	Penekanan pada inkuiri, pemikiran saintifik dan proses sains	Menghujahkan keperluan memperkenalkan inkuiri dan KPS lebih awal; menggariskan kekangan pelaksanaan infrastruktur, keselamatan, sumber) dan prinsip praktikal.

Pengkaji	Pendekatan	Instrumen	Dapatan & Sumbangan
Kaewmanee et al. (2024)	Integrasi 5E + STEM (kajian tindakan kelas)	Ujian KPS dan ujian pencapaian	Dilaporkan peningkatan signifikan KPS dan pencapaian selepas pelaksanaan 5E-STEM.
Jurečková et al. (2024)	IBSE (pedagogical experiment) + ujian didaktik/observasi/soal selidik	Pengukuran KPS bersama tahap pengetahuan	Murid kumpulan eksperimen menunjukkan peningkatan KPS selepas IBSE; menyokong pelaksanaan IBSE untuk literasi saintifik.
Solé-Llussà et al. (2022)	Intervensi video-worked examples untuk inkuiri	Ujian KPS (indikator asas seperti pemerhatian, inferens, ramalan, dsb.)	Video-worked examples dilaporkan meningkatkan KPS berbanding amalan biasa melalui scaffolding prosedur inkuiri.
Ngatman et al. (2025)	Problem-Based Learning + multimedia (kajian tindakan kelas)	Pemerhatian/penilaian KPS sepanjang kitaran tindakan	PBL dengan multimedia dilaporkan meningkatkan KPS; namun reka bentuk kajian tindakan menghadkan inferens kausal yang kuat.
Khumraksa dan Burachat (2022)	Pembelajaran berasaskan penyelidikan(embedded mixed methods; pra-eksperimen)	Kemahiran menyoal saintifik & eksperimen (indikator inkuiri)	RBL digunakan untuk membina kemahiran menyoal dan menjalankan eksperimen; memberi bukti awal peningkatan kemahiran inkuiri dalam sampel kecil.

Tema 3: Kontekstualisasi budaya dan komuniti dalam pengukuhan Kemahiran Proses Sains (KPS)

Dalam tema 3 ini, dapatan menunjukkan bahawa Kemahiran Proses Sains (KPS) cenderung diperkukuh apabila pembelajaran sains diletakkan dalam konteks yang bermakna kepada murid, sama ada melalui budaya tempatan, komuniti setempat, atau persekitaran autentik. Pola ini muncul dalam tiga bentuk pelaksanaan yang berbeza, iaitu model pembelajaran berasaskan etnosains, penilaian berasaskan projek yang diintegrasikan dengan budaya tempatan, dan panduan praktikum berorientasikan persekitaran yang digabungkan dengan kearifan tempatan. Walaupun pendekatan yang digunakan tidak sama, ketiga-tiga kajian menunjukkan bahawa konteks yang dekat dengan kehidupan murid dapat digunakan sebagai asas untuk mengaktifkan tugas saintifik yang menuntut pelibatan proses pemerhatian, pengelasan, komunikasi, eksperimen, dan pentafsiran dapatan.

Dua kajian dalam tema ini memberikan bukti perbandingan yang lebih jelas melalui reka bentuk kuasi-eksperimen. Mudana (2023) melaporkan bahawa model *ethnoscience-based Course Review Horay* memberi kesan signifikan terhadap pemahaman makna budaya dan Kemahiran Proses Sains (KPS), baik secara serentak mahupun berasingan, dengan perbezaan min yang lebih besar pada KPS berbanding pemahaman budaya. Dapatan ini menunjukkan bahawa integrasi budaya dalam aktiviti pembelajaran bukan sahaja mengukuhkan makna budaya, tetapi juga berfungsi sebagai medium untuk memperkukuh pelaksanaan proses saintifik dalam kalangan murid sekolah rendah. Sejajar dengan itu, Parmiti et al. (2021) menunjukkan bahawa pembelajaran sains yang diintegrasikan dengan budaya tempatan melalui penilaian berasaskan projek memberi kesan signifikan secara serentak terhadap sikap saintifik dan Kemahiran Proses Sains (KPS). Dalam kajian ini, projek yang berasaskan budaya tempatan mewujudkan ruang kepada murid untuk merancang, mengumpul data, memproses maklumat, dan membentangkan dapatan, sekali gus menjadikan konteks budaya sebagai sebahagian daripada pengalaman saintifik yang lebih autentik.

Dalam perspektif berbeza, Darmayanti et al. (2025) menunjukkan bahawa panduan praktikum berorientasikan persekitaran yang diintegrasikan dengan *Catur Pramana* juga berkesan meningkatkan Kemahiran Proses Sains (KPS), tetapi peningkatan yang dilaporkan berada pada kategori sederhana. Kajian ini penting kerana ia menambah perincian kepada tema, iaitu konteks bermakna tidak semestinya menghasilkan peningkatan yang seragam pada semua indikator. Walaupun setiap indikator KPS menunjukkan peningkatan, indikator meramal (predicting) dilaporkan sebagai yang paling rendah berbanding indikator lain. Dapatan ini mencadangkan bahawa konteks budaya dan persekitaran boleh

menyokong pengembangan KPS, tetapi sesetengah kemahiran yang lebih bersifat inferensif masih memerlukan sokongan yang lebih khusus dan berterusan.

Secara sintesis, tema ini menunjukkan bahawa konteks budaya dan persekitaran dalam literatur yang disemak berfungsi bukan sekadar sebagai latar pembelajaran, tetapi sebagai wahana yang menjadikan tugas saintifik lebih dekat dengan pengalaman murid dan lebih mudah dioperasikan dalam bentuk projek, aktiviti pembelajaran, dan praktikal. Walau bagaimanapun, kekuatan bukti dalam tema ini tidak seragam sepenuhnya kerana dua kajian menggunakan reka bentuk kuasi-eksperimen dengan kumpulan perbandingan, manakala satu lagi menggunakan reka bentuk ujian pra dan ujian pasca satu kumpulan. Oleh itu, tema ini secara keseluruhan menyokong pandangan bahawa konteks bermakna dapat memperkukuh Kemahiran Proses Sains (KPS) apabila konteks tersebut diterjemahkan ke dalam tugas saintifik yang nyata, meskipun tidak semua komponen KPS berkembang pada tahap yang sama.

Jadual 5

Matriks Tema 3 :Kontekstualisasi Budaya dan Komuniti untuk KPS

Pengkaji	Pendekatan	Instrumen	Dapatan & Sumbangan
Mudana (2023)	<i>Ethnoscience + Course Review Horay</i> (kuasi-eksperimen ujian pos)	Soal selidik KPS (30 pernyataan) + pemahaman konsep budaya	Pendekatan ethnoscience dilaporkan meningkatkan pemahaman konsep budaya dan KPS secara signifikan.
Parmiti et al. (2021)	Project-based assessment berasaskan budaya setempat (ujian pos)	Ujian KPS + pengukuran sikap saintifik	Pembelajaran sains berintegrasi budaya setempat melalui penilaian projek dikaitkan dengan peningkatan KPS dan sikap saintifik.
Darmayanti et al. (2025)	<i>Practicum guide “environment-oriented”</i> + Catur Pramana (intervensi)	Skor KPS sebelum/selepas (instrumen ujian praktikum)	Panduan praktikal berintegrasi kearifan tempatan dilaporkan berkesan membangunkan KPS melalui rutin praktikum yang tersusun.

Tema 4: Penilaian, diagnostik, dan peluang pembelajaran KPS

Dalam Tema 4, perhatian beralih daripada aspek intervensi kepada persoalan yang lebih mendasari tafsiran dapatan, iaitu penilaian, diagnostik, dan ekuiti Kemahiran Proses Sains (KPS). Secara keseluruhan, kajian-kajian yang termasuk dalam tema ini menunjukkan bahawa kekuatan sintesis KPS bukan sahaja ditentukan oleh peningkatan skor, tetapi juga oleh keteguhan pengukuran, perwakilan kemahiran dalam bahan pembelajaran, dan peluang penguasaan yang tersedia kepada kumpulan murid yang berbeza.

Dari sudut penilaian dan diagnostik, Mustafa et al. (2021) menunjukkan bahawa ujian Kemahiran Proses Sains (KPS) bagi murid Tahun 5 memenuhi andaian *model-data fit* dan *unidimensionality* melalui analisis Rasch, sekali gus menyediakan bukti bahawa KPS boleh dinilai secara lebih terperinci mengikut tahap kesukaran item. Dapatan ini juga memperlihatkan bahawa kemahiran memerhati dan berkomunikasi merupakan antara kemahiran yang paling mudah dikuasai, manakala membuat inferens dan mengelas ialah antara kemahiran yang paling mencabar. Oleh itu, artikel ini menunjukkan bahawa penilaian KPS yang kukuh bukan sahaja penting untuk tujuan pengukuran, tetapi juga untuk diagnosis aspek kemahiran yang memerlukan sokongan pedagogi yang lebih khusus.

Dari sudut peluang pembelajaran dalam sistem, Sideri dan Skoumios (2021) menunjukkan bahawa penerapan Kemahiran Proses Sains (KPS) dalam buku teks sains sekolah rendah tidak seimbang. Berdasarkan analisis terhadap 534 aktiviti dalam buku teks sains Tahun 5 dan Tahun 6 di Greece, aktiviti-aktiviti tersebut didapati lebih banyak melibatkan kemahiran berkomunikasi, memerhati, dan membuat inferens, manakala kemahiran lain seperti meramal, mengawal pemboleh ubah, mentakrif secara operasional, mentafsir data, dan mengemukakan soalan sangat terhad atau hampir tidak diwakili. Dapatan ini menunjukkan bahawa kekuatan KPS tidak seharusnya dinilai berdasarkan pencapaian murid sahaja, tetapi juga berdasarkan sejauh mana bahan kurikulum menyediakan peluang yang mencukupi dan seimbang untuk membangunkan spektrum kemahiran tersebut.

Dimensi ekuiti dalam tema ini diperlihatkan dengan lebih jelas oleh Ong et al. (2021), yang meneliti tahap penguasaan Basic Science Process Skills (BSPS) antara murid Melayu dan Orang Asli di sekolah rendah atas. Kajian ini menunjukkan bahawa murid Melayu hanya mencapai tahap penguasaan yang dapat diterima pada kemahiran mengelas dan meramal, manakala murid Orang Asli tidak menunjukkan tahap penguasaan yang boleh diterima merentas semua Basic Science Process Skills (BSPS). Di samping itu, terdapat perbezaan yang signifikan antara kedua-dua kumpulan bagi keseluruhan Basic Science Process Skills (BSPS), memihak kepada murid Melayu. Dapatan ini menegaskan bahawa penguasaan KPS juga perlu dibaca melalui lensa peluang pembelajaran dan ketidaksetaraan konteks, bukan semata-mata sebagai isu pencapaian individu.

Sebagai pelengkap kepada tema ini, Gültekin dan Altun (2022) menunjukkan bahawa aktiviti berasaskan *Scientific Process Skills* (SPS) memberi kesan signifikan terhadap skor ujian pasca *Scientific Process Skills Test* (SPST) dan *Problem Solving Inventory for Children* (PSIC) dalam kalangan murid Tahun 4. Walaupun artikel ini tidak menumpukan pengukuran atau ekuiti secara langsung, dapatan tersebut menunjukkan bahawa nilai Kemahiran Proses Sains (KPS) juga dapat dilihat melalui pemindahannya kepada kemahiran lain, khususnya penyelesaian masalah. Dalam konteks tema ini, artikel tersebut lebih sesuai dibaca sebagai bukti pelengkap bahawa kejelasan ukuran dan pengoperasian KPS turut penting apabila kesannya dibandingkan dengan dapatan yang lebih luas.

Secara sintesis, tema ini menunjukkan bahawa kekuatan dapatan berkaitan Kemahiran Proses Sains (KPS) dalam literatur yang disemak bergantung bukan sahaja pada sama ada sesuatu intervensi atau aktiviti meningkatkan skor, tetapi juga pada sejauh mana KPS diukur secara sah, diwakili secara seimbang dalam bahan pembelajaran, dan dapat diakses secara adil oleh kumpulan murid yang berbeza. Dapatan daripada tema ini juga menunjukkan bahawa kemahiran tertentu cenderung lebih mudah dikuasai atau lebih banyak diwakili dalam bahan, manakala kemahiran lain yang lebih kompleks atau kurang diberi ruang berpotensi menjadi titik kelemahan dalam pengembangan KPS. Oleh itu, tema ini menegaskan bahawa penilaian, diagnostik, dan peluang pembelajaran merupakan komponen penting dalam mentafsir kekuatan sebenar KPS dalam pendidikan sains sekolah rendah.

Jadual 6

Matriks Tema 4 : Penilaian, Diagnostik, dan Peluang Pembelajaran KPS

Pengkaji	Pendekatan	Instrumen	Dapatan & Sumbangan
Mustafa et al. (2021)	Pembangunan/kalibrasi instrumen KPS (Rasch)	Ujian KPS 40 item (MCQ/partial credit) + analisis Rasch	Memberi pemetaan kesukaran item dan bukti kefungsian item untuk tujuan diagnosis dan penambahbaikan ujian KPS.
Gültekin dan Altun (2022)	Aktiviti berasaskan KPS (kuasi-eksperimen pra-pos)	Ujian KPS + ujian kemahiran menyelesaikan masalah	Aktiviti berasaskan KPS dikaitkan dengan peningkatan kemahiran menyelesaikan masalah; menyokong hubungan KPS–kemahiran berfikir aras tinggi.
Sideri dan Skoumios (2021)	Analisis kandungan aktiviti buku teks berasaskan KPS	Pemetaan peluang KPS dalam tugas buku teks	Buku teks dilaporkan tidak menyediakan peluang mencukupi untuk keterlibatan KPS; implikasi kepada perancangan pengajaran dan reka bentuk bahan.
Ong et al. (2021)	Kajian perbandingan (t-test/ANOVA) penguasaan BKPS	Ujian BSPS 36 item (MCQ) – kemahiran asas	Terdapat jurang penguasaan BSPS antara murid Melayu dan Orang Asli; implikasi kepada intervensi berfokus ekuiti dan sokongan berbeza.

Perbincangan

Perbincangan untuk keempat-empat tema diteliti pada bahagian ini untuk menjelaskan hala tuju dan menonjolkan jawapan kepada objektif yang dijelaskan dalam kajian ini.

Tema 1 menunjukkan bahawa teknologi tidak hanya memperkukuh Kemahiran Proses Sains (KPS) secara automatik hanya kerana mediumnya bersifat digital; sebaliknya, nilai pedagoginya lebih bergantung pada cara teknologi tersebut menstruktur pengalaman inkuiri murid. Dalam dua kajian *Augmented Reality* (AR), kesan positif memang dilaporkan,

namun pola dapatan menunjukkan bahawa hasil yang lebih menonjol ialah pencapaian, minat, kepuasan, dan keterlibatan, sedangkan pelaporan KPS masih hadir bersama konstruk-konstruk lain dan tidak sentiasa diasingkan secara analitik (Abdullah et al., 2022; Anggara et al., 2024). Keadaan ini menyebabkan tafsiran tentang pengukuhan KPS perlu dibuat secara lebih berhati-hati, kerana peningkatan yang diperhatikan berkemungkinan sebahagiannya dipengaruhi oleh daya tarikan visual dan unsur kebaruan medium, dan bukan semata-mata oleh pengukuhan prosedur saintifik itu sendiri. Berbanding kajian AR tersebut, kajian *Interactive Digital Worksheets* berasaskan tahap inkuiri memberikan asas penghujahan yang lebih kukuh kerana KPS dihubungkan secara langsung dengan urutan tugas, eksperimen, dan indikator kemahiran yang lebih jelas, sekali gus membolehkan peningkatan KPS ditafsir sebagai kesan daripada bimbingan berstruktur yang dibina ke dalam reka bentuk aktiviti (Dewi et al., 2022). Dalam konteks ini, teknologi tampak lebih bernilai apabila bukan sekadar menyediakan visualisasi, tetapi memandu murid melalui langkah pemerhatian, pengukuran, inferens, dan pelaporan secara tersusun.

Sementara itu, pendekatan heutagogi melalui Telegram dan aplikasi *Microb* menambah dimensi bahawa teknologi mudah alih juga berpotensi menyokong latihan KPS melalui pembelajaran sendiri dan akses yang lebih fleksibel, namun kekuatan bukti bagi kedua-duanya masih lebih terbatas. Kajian Telegram, misalnya, menunjukkan peningkatan pra-pasca yang signifikan, tetapi reka bentuk pra-eksperimen satu kumpulan dan saiz sampel yang kecil mengehadkan generalisasi, di samping beberapa kemahiran bersepadu masih tidak berkembang secara memuaskan (Halim & Halim, 2024). Kajian *Microb* pula lebih menunjukkan penerimaan murid yang tinggi dan potensi penggunaan aplikasi sebagai alat sokongan, tetapi bukti impak terhadap prestasi saintifik keseluruhan masih bercampur (Tachinamutu et al., 2022). Oleh itu, jika dibandingkan secara kritikal, artikel dalam tema ini menunjukkan satu hierarki kekuatan bukti yang agak jelas, iaitu kajian yang mengintegrasikan teknologi dengan struktur tugas inkuiri yang eksplisit dan indikator KPS yang khusus adalah lebih meyakinkan berbanding kajian yang lebih menonjolkan minat, kepuasan, atau penerimaan teknologi secara umum. Jurang utama yang masih jelas dalam tema ini ialah keterbatasan kajian yang menilai Kemahiran Proses Sains (KPS) sebagai hasil yang berdiri sendiri, tanpa digabungkan dengan aspek afektif seperti minat, kepuasan, dan keterlibatan murid. Selain itu, masih terdapat kekurangan kajian yang membandingkan secara langsung keberkesanan pelbagai bentuk *scaffolding* digital, serta meneliti kestabilan kesan teknologi terhadap KPS melalui sampel yang lebih besar, reka bentuk penyelidikan yang lebih mantap, dan tempoh intervensi yang lebih panjang.

Tema pedagogi inkuiri menunjukkan mekanisme yang lebih mudah dijejaki, iaitu KPS meningkat apabila kitaran inkuiri dibiasakan dan disokong oleh struktur pedagogi yang konsisten, bukan sekadar aktiviti amali yang terasing. Integrasi model 5E dan STEM menonjol sebagai kerangka yang menginstitusikan langkah inkuiri serta menyediakan peluang latihan KPS secara berulang sepanjang tempoh intervensi, lalu meningkatkan kebarangkalian perubahan kemahiran dapat dikesan secara lebih stabil (Kaewmanee et al., 2024). Pada skala yang lebih luas, pengajaran dan pembelajaran berasaskan inkuiri menguatkan hujah bahawa KPS dan penguasaan pengetahuan berkembang serentak apabila murid melaksanakan penyiasatan bermakna yang menuntut bukti dan penjelasan, bukan sekadar menerima maklumat (Jurečková et al., 2024). Namun, bukti menjadi lemah apabila penulisan kajian tidak menghuraikan secara terperinci bentuk bimbingan bagi indikator KPS yang lazimnya sukar seperti mengawal pembolehubah dan memberi justifikasi, sedangkan pembelajaran berasaskan penyelidikan dan penggunaan contoh kerja yang dimodelkan menunjukkan bahawa pemodelan langkah berfikir serta fokus kepada kemahiran menyoal dan reka bentuk eksperimen ialah laluan penting ke arah KPS yang lebih autentik (Khumraksa & Burachat, 2022; Solé-Llussà et al., 2019, 2022).

Dapatan pembelajaran berasaskan projek dengan multimedia memberi isyarat keberkesanan, tetapi memerlukan pelaporan pelaksanaan yang lebih ketat agar peningkatan merentas kitaran tidak disalah tafsir sebagai kesan intervensi semata-mata tanpa mengambil kira faktor penyesuaian guru dari masa ke masa (Ngatman et al., 2025). Secara khusus, tema 2 ini memperjelas bahawa pengukuhan KPS cenderung berlaku melalui gabungan dua mekanisme yang saling melengkapi, iaitu pembiasaan kitaran inkuiri melalui struktur seperti 5E dan pengajaran berasaskan inkuiri, serta pemodelan kognitif melalui contoh kerja yang dimodelkan dan amalan penyelidikan yang mengurangkan beban kognitif murid ketika menjalankan kerja saintifik (Jurečková et al., 2024; Solé-Llussà et al., 2019, 2022; Varadarajan & Sanzgiri, 2023).

Analisis tema seterusnya menunjukkan bahawa konteks budaya, komuniti, dan persekitaran sebenar berpotensi memperkuat Kemahiran Proses Sains (KPS) apabila pengalaman saintifik dihubungkan secara langsung dengan dunia yang dekat dengan kehidupan murid. Walau bagaimanapun, kekuatan inferens terhadap kesan tersebut masih

perlu dibaca secara berhati-hati kerana bukti dalam tema ini datang daripada reka bentuk kajian yang tidak seragam, di samping penghuraian mekanisme bagi indikator KPS tertentu masih belum cukup mendalam. Dalam dua kajian yang menggunakan reka bentuk kuasi eksperimen, iaitu Mudana (2023) dan Parmiti et al. (2021), konteks budaya tempatan didapati menyokong peningkatan KPS, namun kedua-duanya beroperasi melalui mekanisme pedagogi yang berbeza. Kajian Mudana menunjukkan bahawa pendekatan berasaskan etnosains melalui Course Review Horay bukan sahaja meningkatkan pemahaman makna budaya, tetapi juga memberi kesan yang lebih ketara terhadap KPS. Sebaliknya, kajian Parmiti et al. memperlihatkan bahawa pengintegrasian budaya tempatan menjadi lebih bermakna apabila digerakkan melalui pentaksiran berasaskan projek, yang membolehkan murid merancang, mengumpul data, dan membentangkan dapatan secara lebih autentik. Perbandingan ini menunjukkan bahawa konteks budaya tidak berfungsi secara automatik, tetapi menjadi lebih berkesan apabila diterjemahkan ke dalam aktiviti dan pentaksiran yang benar-benar menuntut pelaksanaan KPS.

Dalam arah yang lebih kritikal, kajian Darmayanti et al. (2025) menambah perincian penting kepada tema ini dengan menunjukkan bahawa walaupun panduan praktikum berorientasikan persekitaran yang diintegrasikan dengan Catur Pramana meningkatkan KPS, peningkatan tersebut hanya berada pada tahap sederhana dan tidak berlaku secara seimbang bagi semua indikator. Secara khusus, kemahiran meramal didapati paling rendah berbanding indikator lain, yang menunjukkan bahawa konteks bermakna sahaja tidak memadai untuk mengukuhkan kemahiran yang lebih bersifat inferensif. Hal ini menandakan bahawa murid masih memerlukan bimbingan yang lebih khusus, peluang latihan yang lebih kerap, dan tugas yang menuntut justifikasi berasaskan bukti untuk mengembangkan komponen KPS pada aras yang lebih tinggi. Oleh itu, secara kritikal, tema 3 ini menunjukkan bahawa konteks budaya dan komuniti menjadi paling berkesan apabila berfungsi bukan sekadar sebagai latar pembelajaran, tetapi sebagai asas kepada tugas saintifik yang autentik dan pentaksiran yang jelas. Jurang utama yang masih ketara ialah kekurangan penghuraian yang terperinci tentang bagaimana indikator KPS tertentu, khususnya kemahiran inferensif seperti meramal dan membuat inferens, dibimbing secara eksplisit dalam konteks budaya dan komuniti, di samping keterbatasan bukti yang menggunakan reka bentuk penyelidikan yang lebih mantap untuk menyokong inferens sebab-akibat.

Seterusnya, bagi tema 4 menunjukkan bahawa pembangunan Kemahiran Proses Sains (KPS) tidak boleh ditafsir semata-mata melalui peningkatan skor selepas intervensi, tetapi perlu dibaca sebagai isu sistem yang melibatkan keteguhan pengukuran, keluasan peluang latihan dalam kurikulum, dan keadilan akses pembelajaran. Dari sudut pengukuran, analisis Rasch memberikan asas yang paling kukuh dalam tema ini kerana menunjukkan bahawa instrumen KPS bukan sahaja memenuhi keperluan psikometrik yang penting, tetapi juga membolehkan pemetaan tahap kesukaran kemahiran secara lebih terperinci. Dapatan ini memperlihatkan bahawa kemahiran seperti memerhati dan berkomunikasi lebih mudah dikuasai, manakala membuat inferens dan mengelas lebih mencabar, sekali gus menandakan bahawa penilaian KPS yang mantap perlu mampu membezakan tahap kesukaran kemahiran dan bukan sekadar menghasilkan skor umum (Mustafa et al., 2021). Jika dibandingkan dengan dimensi kurikulum, analisis buku teks menunjukkan bahawa peluang latihan KPS dalam bahan pengajaran juga tidak seimbang. Sesetengah kemahiran seperti berkomunikasi, memerhati, dan membuat inferens lebih dominan, manakala kemahiran lain seperti meramal, mengawal pemboleh ubah, mentafsir data, mengemukakan soalan, dan khususnya mentakrif secara operasional sangat terhad atau langsung tidak diwakili (Sideri & Skoumios, 2021). Perbandingan ini penting kerana ia mencadangkan bahawa kesukaran sesetengah kemahiran KPS mungkin bukan sahaja berpunca daripada sifat kemahiran itu sendiri, tetapi juga daripada peluang latihan yang tidak seimbang dalam bahan kurikulum.

Dalam dimensi keadilan, jurang penguasaan Basic Science Process Skills (BSPS) antara kumpulan murid menunjukkan bahawa isu KPS bukan sekadar soal sama ada kemahiran dapat diajar, tetapi juga soal siapa yang benar-benar memperoleh peluang untuk menguasainya. Apabila terdapat kumpulan murid yang tidak mencapai tahap penguasaan boleh diterima merentas semua BSPS, dapatan tersebut perlu dibaca sebagai petunjuk kepada ketidaksamaan peluang pembelajaran, dan bukan semata-mata sebagai kelemahan individu (Ong et al., 2021). Berbanding tiga dimensi utama tersebut, kajian yang mengaitkan KPS dengan penyelesaian masalah berfungsi sebagai bukti pelengkap bahawa apabila KPS dioperasikan dengan jelas, kesannya boleh melangkaui pencapaian sains semata-mata dan menyumbang kepada dapatan yang lebih luas (Gültekin & Altun, 2022). Secara kritikal, tema ini menunjukkan bahawa kekuatan dapatan berkaitan KPS hanya menjadi lebih bermakna apabila pengukuran, kurikulum, dan keadilan bergerak secara selari. Tanpa keselarasan antara ketiga-tiga komponen ini, peningkatan skor KPS mungkin kelihatan positif pada peringkat tempatan, tetapi sukar dibandingkan, sukar ditafsir secara sistemik, dan sukar

diperluas kepada kumpulan murid yang berbeza. Jurang utama yang masih ketara ialah kekurangan kajian yang menghubungkan secara langsung antara tahap kesukaran kemahiran KPS, perwakilan kemahiran tersebut dalam bahan kurikulum, dan jurang penguasaan antara kumpulan murid dalam satu reka bentuk kajian yang sama. Di samping itu, masih terbatas bukti yang meneliti sama ada penambahbaikan instrumen dan peluasan peluang latihan dalam bahan pembelajaran benar-benar dapat mengurangkan ketidakseimbangan penguasaan KPS pada peringkat sistem.

Kesimpulan

Secara keseluruhan, *Systematic Literature Review* (SLR) ini berjaya mensintesis bukti kajian terkini tentang intervensi pengajaran dan pembelajaran sains yang menyokong pembangunan Kemahiran Proses Sains (KPS) dalam kalangan murid sekolah rendah. Sintesis ini menunjukkan bahawa keberkesanan intervensi tidak wajar dinilai berdasarkan label pendekatan semata-mata, tetapi lebih tepat difahami melalui ciri reka bentuk pedagogi yang secara konsisten menyokong pelaksanaan KPS, termasuk bentuk *scaffolding*, urutan tugas, dan pemodelan langkah inkuiri. Dapatan kajian juga menunjukkan bahawa kekuatan rumusan berkaitan KPS sangat bergantung pada amalan pengukuran dan pelaporan yang jelas, khususnya dari segi indikator kemahiran, kesahan instrumen, dan kebolehbandingan dapatan antara kajian.

Pada masa yang sama, sintesis ini menegaskan bahawa pembangunan KPS perlu difahami secara lebih sistemik, dengan mengambil kira hubungan antara reka bentuk pedagogi, konteks pelaksanaan, peluang latihan dalam bahan pengajaran, dan keadilan akses pembelajaran. Sehubungan itu, kajian ini memberi implikasi yang penting kepada amalan bilik darjah, pembangunan bahan PdP, dan agenda kajian seterusnya, khususnya dalam usaha membangunkan intervensi dan penilaian KPS yang lebih jelas, seimbang, sah, dan responsif terhadap kepelbagaian konteks murid sekolah rendah.

Had Kajian dan Cadangan Kajian Lanjutan

Kajian ini mempunyai beberapa had yang perlu dipertimbangkan dalam mentafsir dapatan. Sintesis ini terbatas kepada artikel jurnal dan prosiding yang diindeks dalam pangkalan data Scopus dan WoS sahaja, diterbitkan dalam bahasa Inggeris, dan berada dalam julat tahun yang telah ditetapkan. Selain itu, heterogeniti kajian primer dari segi reka bentuk penyelidikan, jenis intervensi, instrumen Kemahiran Proses Sains (KPS), dan dapatan yang dilaporkan menyebabkan perbandingan langsung antara kajian perlu dibuat secara berhati-hati. Oleh itu, dapatan kajian ini lebih sesuai difahami sebagai pola sintesis tematik berbanding kesimpulan penyebab yang mutlak. Di samping itu, rumusan yang dihasilkan juga bergantung pada kualiti pelaporan kajian-kajian primer yang tersedia dalam literatur.

Sehubungan itu, kajian lanjutan dicadangkan untuk memberi perhatian kepada tiga aspek utama. Pertama, penyelidikan masa depan perlu menilai KPS secara lebih khusus sebagai dapatan tersendiri, tanpa terlalu bergantung pada gabungan dengan konstruk lain seperti minat, kepuasan, atau pencapaian umum. Kedua, kajian akan datang wajar membandingkan secara lebih langsung ciri reka bentuk pedagogi yang menyokong pembangunan KPS, termasuk bentuk *scaffolding*, urutan tugas, dan pemodelan langkah inkuiri. Ketiga, kajian lanjutan juga perlu menghubungkan dengan lebih jelas antara pengukuran KPS, perwakilan kemahiran dalam bahan PdP, dan jurang penguasaan antara kumpulan murid, supaya pembangunan KPS dapat difahami secara lebih sistemik, adil, dan relevan dengan konteks sekolah rendah.

Konflik Kepentingan

Penulis mengisytiharkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan berkaitan dengan penerbitan artikel ini. Kajian ini dijalankan tanpa sebarang hubungan komersial atau kewangan yang boleh ditafsirkan sebagai konflik kepentingan yang berpotensi.

Penghargaan

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia (USM) dan Pengarah ADTEC JTM Kampus Perai atas sokongan dan bantuan yang diberikan sepanjang pelaksanaan

kajian ini. Kajian ini tidak menerima sebarang bantuan kewangan daripada mana-mana agensi awam, komersial, atau organisasi bukan keuntungan.

Rujukan

- Abdullah, N., Baskaran, V. L., Mustafa, Z., Ali, S. R., & Zaini, S. H. (2022). Augmented reality: The effect in students' achievement, satisfaction and interest in Science Education. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(5), 326–350. <https://doi.org/10.26803/ijlter.21.5.17>
- Anggara, O. F., Abidin, Z., Beny, A. O. N., Sujarwanto, Wagino, Pradana, H. D., Windayani, N. R., & Anggraeny, D. (2024). Augmented reality: Its effect on satisfaction and interest in learning Natural Science for elementary school children. *Journal of Engineering Science and Technology*, 19(5), 119–126.
- Berg, A., & Hultén, M. (2024). Children's emergent mechanistic reasoning in chemistry: a case study about early primary students' reasoning about the phenomenon of thermal expansion of air. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(1), 92–114. <https://doi.org/10.1039/D3RP00169E>
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S. W.-Y., & Tsai, C.-C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. In *Computers & Education* 191, 104641). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- Darmayanti, N. W. S., Alsulami, N. M., Pradnyana, P. B., Fitriyana, N. I., Sueca, I. N., & Isnawan, M. G. (2025). The effectiveness of the environment-oriented practicum guide integrated with catur pramana in developing students' science process skills. *Educational Process: International Journal*, 15. <https://doi.org/10.22521/edupij.2025.15.96>
- Dewi, A. K., Slamet, S. Y., Atmojo, I. R. W., & Syawaludin, A. (2022). The influence of interactive digital worksheets based on level of inquiry towards science process skills in elementary school. *Pegem Egitim ve Ogretim Dergisi*, 13(1), 251–258. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.01.27>
- Fromm, Y. M., Martin, F., Gezer, T., & Ifenthaler, D. (2025). Best practices for conducting systematic reviews: Perspectives of Experienced systematic review researchers in educational sciences. *Technology, Knowledge and Learning*, 30(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09819-9>
- Ghamrawi, N., Shal, T., Ghamrawi, N. A. R., Abu-Tineh, A., Alshaboul, Y., & Alazaizeh, M. A. (2025). A step-by-step approach to systematic reviews in educational research. *European Journal of Educational Research*, 14(2), 549–566. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.2.549>
- Gültekin, S. B., & Altun, T. (2022). Investigating the impact of activities based on scientific process skills on 4th grade students' problem-solving skills. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 14(4), 491–500. <https://doi.org/10.26822/iejee.2022.258>
- Halim, A. A., & Halim, N. D. A. (2024). Effects of online heutagogy approach in learning science via Telegram towards pupils' science process skills and creative thinking skills. *Lumat*, 12(4), 1–20. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.12.4.2327>
- Harold, R. (1970). Science - A process approach in Des Moines Elementary Schools. *Iowa Science Teachers' Journal*, 7(4), 24–26. <https://scholarworks.uni.edu/istj/vol7/iss4/10>
- Heppt, B., Henschel, S., Hardy, I., & Gabler, K. (2023). Instructional support in inquiry-based elementary school science classes: how does it relate to students' science content knowledge and academic language proficiency? *European Journal of Psychology of Education*, 38(4), 1377–1401. <https://doi.org/10.1007/s10212-022-00653-6>
- Jurečková, M., Kmeťová, J., & Skoršepa, M. (2024). Science process skills and level of knowledge of primary education pupils. *New Educational Review*, 77(3), 155–166. <https://doi.org/10.15804/ner.2024.77.3.12>
- Kaewmanee, T., Srisenpila, A., & Worapun, W. (2024). Integrating 5E inquiry-based learning and STEM education to enhance grade 5 students' science process skills and achievement in friction. *International Journal of Advanced And Applied Sciences*, 11(12), 207–214. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2024.12.023>
- Khumraksa, B., & Burachat, P. (2022). The scientific questioning and experimental skills of elementary school students: the effects of research-based learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(4), 588–599. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i4.36807>
- Macbeth, D. R. (1974). The extent to which pupils manipulate materials and attainment of process skills in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 11(1), 45–51. <https://doi.org/10.1002/tea.3660110108>
- Mudana, W. (2023). The effect of ethnoscience-based course review horay learning towards cultural concept understanding and science process skills of the elementary school students. *Nurture*, 17(2), 137–148. <https://doi.org/10.55951/nurture.v17i2.253>

- Muhamad Dah, N., Mat Noor, M. S. A., Kamarudin, M. Z., & Syed Abdul Azziz, S. S. (2024). The impacts of open inquiry on students' learning in science: A systematic literature review. *Educational Research Review*, 43, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100601>
- Mustafa, N., Khairani, A. Z., & Ishak, N. A. (2021). Calibration of the science process skills among Malaysian elementary students: A Rasch model analysis. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(4), 1344–1351. <https://doi.org/10.11591/IJERE.V10I4.21430>
- Ngatman, N., Salimi, M., Ulfiana, U., Hidayah, R., Wahyudi, A. B. E., Wahyono, W., Zainnuri, H., Wijayanto, S., Fauziah, M., & Astuti, D. (2025). The implementation of problem-based learning with multimedia for improving scientific process skills. *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 4, 1247. <https://doi.org/10.56294/sctconf20251247>
- Nordström, T., Kalmendal, A., & Batinovic, L. (2023). Risk of bias and open science practices in systematic reviews of educational effectiveness: A meta-review. *Review of Education*, 11(3), e3443. <https://doi.org/10.1002/rev3.3443>
- Ong, E. T., Noor, A. M. H. M., Singh, C. K. S., Yingprayoon, J., Wahab, N. A., Sa'ad, F. M., & Ibrahim, M. H. (2021). The mastery level of basic science process skills between the malay and the orang asli upper primary students in Malaysia. *Review of International Geographical Education Online*, 11(8), 1196–1206. <https://doi.org/10.48047/rigeo.11.08.100>
- Padilla, M. J. (1990). The science process skills. In *Research Matters...To the Science Teacher* (Issue 9004). National Association for Research in Science Teaching. <https://narst.org/research-matters/science-process-skills>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Parmiti, D. P., Rediani, N. N., Antara, I. G. W. S., & Jayadiningrat, M. G. (2021). The effectiveness of local culture-integrated science learning through project-based assessment on scientific attitudes and science process skills of elementary school students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(3), 439–446. <https://doi.org/10.15294/JPII.V10I3.31301>
- Pedaste, M., Baucal, A., & Reisenbuk, E. (2021). Towards a science inquiry test in primary education: Development of items and scales. *International Journal of Stem Education*. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00278-z>
- Sanderson, B. A., & Kratochvil, D. W. (1971). *Science—A process approach: Product development report no. 8*. American Institutes for Research in the Behavioral Sciences.
- Sasse, H., Weber, A. M., Reuter, T., & Leuchter, M. (2025). Teacher guidance and on-the-fly scaffolding in primary school students' inquiry learning. *Science Education*, 109(2), 579–604. <https://doi.org/10.1002/sce.21921>
- Sideri, A., & Skoumios, M. (2021). Science process skills in the greek primary school science textbooks. *Science Education International*, 32(3), 231–236. <https://doi.org/10.33828/sci.v32.i3.6>
- Solé-Llussà, A., Aguilar, D., & Ibáñez, M. (2022a). The Effect of an Instructional Intervention Based on the Use of Video-Worked Examples to Promote Elementary Students' Science Process Skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 10(3), 753–772. <https://doi.org/10.46328/ijemst.2158>
- Solé-Llussà, A., Aguilar, D., & Ibáñez, M. (2022b). The effect of an instructional intervention based on the use of video-worked examples to promote elementary students' Science process skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 10(3), 753–772. <https://doi.org/10.46328/ijemst.2158>
- Tachinamutu, M. A., Said, M. N. H. B. M., Abdullah, Z. B., Ali, M. F. Bin, & Tahir, L. B. M. (2022). The effect of using 'Microb' mobile application in Science learning in primary school. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(2), 82–100. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i02.27307>
- Thomann, H., & Deutscher, V. (2025). Scaffolding through prompts in digital learning: A systematic review and meta-analysis of effectiveness on learning achievement. *Educational Research Review*, 47, 100686. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100686>
- Varadarajan, S., & Sanzgiri, S. (2023). Doing Science. *Resonance*, 28(6), 929–944. <https://doi.org/10.1007/s12045-023-1623-3>
- Vo, D. Van, & Simmie, G. M. (2025). Assessing scientific inquiry: A systematic literature review of tasks, tools and techniques. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(4), 871–906. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10498-8>