

# Penguasaan Kemahiran Proses Matematik: Isu dan Cabaran Pelaksanaan dalam Pendidikan STEM

*(Mastery of Mathematical Process Skills: Issues and Challenges in Implementation within STEM Education)*

Halim Mohiji<sup>1\*</sup>, Siti Mistima Maat<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulti Pendidikan, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malaysia

\*Pengarang Koresponden: [p130153@siswa.ukm.edu.my](mailto:p130153@siswa.ukm.edu.my)

Received: 25 October 2024 | Accepted: 2 December 2024 | Published: 31 December 2024

DOI: <https://doi.org/10.55057/jdpd.2024.6.5.14>

**Abstrak:** Pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Kejuruteraan, dan Matematik) telah mendapat perhatian yang semakin meningkat dari bidang penyelidikan dan amalan pendidikan. Walaupun pendidikan STEM menekankan kesalinghubungan antara disiplin, literatur penyelidikan secara konsisten melaporkan bahawa peranan yang dimainkan oleh matematik kurang ditekankan. Hal ini akan mempengaruhi penguasaan kemahiran proses matematik seperti penyelesaian masalah, penaakulan, komunikasi secara matematik, perwakilan matematik dan membuat perkaitan yang penting dalam pendidikan STEM. Justeru itu, kertas konsep ini berhasrat meneroka kepentingan menguasai kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM. Kertas konsep ini juga mengenal pasti dan menganalisis isu dan cabaran utama pelaksanaan yang dihadapi dalam memupuk penguasaan kemahiran ini dalam pendidikan STEM. Cabaran ini termasuk penyepaduan matematik dalam kurikulum STEM, pengetahuan kandungan guru (PKG) dan pengetahuan pedagogi kandungan guru (PPKG), pentaksiran dan penilaian serta kekurangan sumber. Kertas ini juga mencadangkan penambahbaikan yang berpotensi untuk menangani isu dan cabaran-cabaran tersebut. Menyepadukan dan membangunkan kemahiran proses matematik secara berkesan dalam pendidikan STEM boleh memperkasakan pelajar untuk menjadi pemikir kritis, penyelesaian masalah dan inovator yang bersedia untuk tuntutan abad ke-21.

**Kata Kunci:** kemahiran proses matematik, isu pelaksanaan, cabaran, STEM

**Abstract:** STEM education has garnered increasing attention in both research and educational practice. While STEM education emphasizes the interconnectedness of disciplines, research literature consistently reports that the role played by mathematics is less emphasized. This impacts the mastery of mathematical process skills, such as problem-solving, reasoning, mathematical communication, representation, and making connections, which are crucial in STEM education. Therefore, this concept paper aims to explore the importance of mastering mathematical process skills in STEM education. The paper also identifies and analyzes the main implementation issues and challenges faced in fostering the mastery of these skills within STEM education. These challenges include the integration of mathematics into the STEM curriculum, teacher content knowledge and pedagogical content knowledge, assessment and evaluation, and a lack of resources. The paper also proposes potential improvements to address these issues and challenges. Effectively integrating and developing mathematical process skills in STEM education can empower students to become critical thinkers, problem-solvers, and innovators prepared for the demands of the 21st century.

**Keywords:** mathematical process skills, implementation issues, challenges, STEM

---

## 1. Pengenalan

Dalam dunia yang serba pantas hari ini, integrasi bidang Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik memainkan peranan penting dalam melengkapkan generasi akan datang untuk mengharungi cabaran yang kompleks (Darmawansah et al., 2023; Liu, 2023). Matematik berfungsi sebagai asas, memberikan sokongan penting untuk disiplin lain kerana peranan pentingnya dalam proses pengajaran dan pembelajaran disiplin-disiplin tersebut (Liu, 2020). Namun begitu, literatur penyelidikan secara konsisten melaporkan bahawa peranan yang dimainkan oleh matematik kurang ditekankan (Kristensen et al., 2024). Hal ini akan mempengaruhi penguasaan kemahiran proses matematik seperti penyelesaian masalah, penaakulan, komunikasi secara matematik, perwakilan matematik dan membuat perkaitan yang penting dalam pendidikan STEM (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2018a).

Kemahiran proses matematik merupakan tulang belakang kepada pengajaran dan pembelajaran matematik dan perlu dikuasai oleh pelajar dengan baik (Abd Rahman et al., 2021). Kemahiran-kemahiran tersebut berfungsi sebagai asas untuk pemikiran kritis dan kebolehan menyelesaikan masalah yang mana amat penting dalam bidang STEM. Oleh itu, dalam suasana pendidikan yang ideal, kemahiran proses matematik tersebut akan disepadukan dengan lancar dalam pendidikan STEM. Walau bagaimanapun, terdapat isu dan cabaran pelaksanaan yang ketara dalam mencapai situasi ideal ini. Salah satu isu utama ialah kekurangan strategi pengajaran yang berkesan yang boleh mengintegrasikan kemahiran proses matematik ke dalam kurikulum STEM (Mohd Rasid et al., 2020). Selain itu, terdapat kekurangan sumber dan latihan untuk guru bagi mengajar kemahiran ini dengan berkesan. Hal ini menyebabkan pelajar mempunyai asas yang lemah dalam kemahiran proses matematik yang boleh menghalang keupayaan mereka untuk cemerlang dalam mata pelajaran STEM (Rahman et al., 2021).

Implikasi cabaran ini adalah luas kerana tanpa asas yang kukuh dalam kemahiran proses matematik, pelajar mungkin menghadapi masalah untuk memahami dan menggunakan konsep matematik yang kompleks (Sayin & Orbay, 2024). Hal ini disebabkan pendidikan matematik untuk masa depan perlu menyediakan pelajar dengan kemahiran penting seperti pemikiran komputasional, analisis data, dan penyelesaian masalah yang kompleks, agar mereka dapat berjaya dalam dunia yang semakin dipengaruhi oleh teknologi dan maklumat. Tumpuan baharu ini sesuai dengan matlamat pendidikan STEM, yang sering digambarkan sebagai kemahiran abad ke-21 (Kristensen et al., 2024). Maka, ketidakupayaan menguasai matematik boleh menyebabkan berlakunya kebimbangan matematik dan seterusnya menyebabkan penurunan minat dan prestasi dalam mata pelajaran STEM (Furner, 2024). Tambahan pula, hal ini berpotensi melebarkan jurang pencapaian dalam bidang STEM disebabkan pelajar tidak menguasai kemahiran ini sejak awal.

Justeru itu, kertas konsep ini bertujuan untuk meneroka isu dan cabaran pelaksanaan penguasaan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM dengan lebih mendalam. Kerumitan isu dan cabaran ini tidak boleh dipandang ringan, kerana ia merangkumi pelbagai faktor termasuk reka bentuk kurikulum, kesediaan guru, dan peruntukan sumber (Castle et al., 2024; Goos et al., 2023). Dengan mendalami perkara tersebut, kertas konsep ini berusaha membincangkan selok-belok kejayaan menyepadukan matematik ke dalam rangka kerja STEM yang lebih luas. Seterusnya, cadangan dan penambahbaikan untuk memperkasa pelaksanaan penguasaan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM juga diutarakan. Dapatan

kajian ini boleh digunakan oleh pendidik dan penggubal dasar untuk mengaitkan kemahiran proses matematik secara lebih bersepadu ke dalam kurikulum STEM. Matlamatnya adalah untuk meningkatkan kualiti pendidikan STEM, meningkatkan prestasi pelajar dalam mata pelajaran STEM, dan akhirnya, menyediakan pelajar untuk berjaya dalam kerjaya STEM.

## **2. Kemahiran Proses Matematik dan Kepentingannya**

Disiplin Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik (STEM) adalah penggerak di sebalik inovasi dan kemajuan dalam dunia moden. Walaupun setiap disiplin mempunyai kepentingannya sendiri, namun elemen penting yang menyokong kejayaan mereka adalah kemahiran proses matematik (Gülburnu & Gürbüz, 2022). Kemahiran ini bukan sekadar kebolehan untuk melakukan pengiraan, tetapi merupakan pemangkin kepada pemikiran kritis dan analitis yang penting dalam penyelesaian masalah yang memacu kemajuan merentas STEM (Ling & Mahmud, 2023). Kemahiran proses matematik tersebut merangkumi penyelesaian masalah, penaaakulan, komunikasi secara matematik, perwakilan matematik dan membuat perkaitan.

Penyelesaian masalah melibatkan aplikasi pengetahuan, kemahiran berfikir kritis, kreatif dan inovatif serta pendekatan bersistematik untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dalam konteks dunia sebenar (Ling & Mahmud, 2023; Siswanto & Yulaikah, 2023; Wahab et al., 2021). Pendidik yang melibatkan pelajar dalam aktiviti penyelesaian masalah boleh memupuk keupayaan mereka untuk menganalisis data, membangunkan penaaakulan logik, dan berfikir secara kritis (Astuti et al., 2021). Selain itu, penyelesaian masalah membantu pelajar mengembangkan kemahiran inovasi mereka di mana pelajar digalakkan untuk berfikir di luar kotak dan menghasilkan penyelesaian yang kreatif (Nurmaliah et al., 2021). Tambahan pula, penyelesaian masalah membolehkan pelajar mengembangkan ketabahan dan daya tahan dalam menghadapi cabaran (Iwuanyanwu, 2020; Wahab et al., 2021). Ia juga menggalakkan kerjasama dan kerja berpasukan kerana pelajar sering bekerja dalam kumpulan untuk menyelesaikan masalah. Oleh itu, memasukkan aktiviti penyelesaian masalah ke dalam pendidikan STEM bukan sahaja meningkatkan pemahaman pelajar tentang topik yang dipelajari tetapi juga memperkasakan mereka untuk menjadi pemikir dan penyelesaian masalah yang inovatif (Nurmaliah et al., 2021).

Penyelesaian masalah yang inovatif pula memerlukan kemahiran penaaakulan yang mantap. Penaaakulan dalam matematik melibatkan kebolehan membuat deduksi logik dan membuat kesimpulan berdasarkan fakta dan prinsip matematik yang telah ditetapkan (Marasebessy, 2021). Penaaakulan juga termasuk kemahiran mengenal corak, membuat tekaan, dan menyediakan bukti untuk menyokong atau menyangkal dakwaan matematik (Soffil et al., 2022; Pourdavood et al., 2020). Tanpa pemahaman yang kukuh tentang penaaakulan, pelajar mungkin menghadapi cabaran untuk membuat pertimbangan dan keputusan berdasarkan bukti dan pemikiran logik (Osborne, 2013). Tambahan pula, kemahiran menaaakul adalah penting untuk pelajar menganalisis dan menilai data saintifik dan penemuan penyelidikan dengan berkesan. Tanpa kemahiran ini, pelajar mungkin lebih cenderung untuk membuat andaian palsu atau kesimpulan yang salah, yang boleh menghalang kemajuan mereka dalam bidang STEM (Forawi, 2018). Penaaakulan juga penting bagi pelajar untuk berkomunikasi dan bekerjasama secara berkesan dengan orang lain dalam bidang STEM. Tanpa keupayaan untuk menaaakul dan mengemukakan hujah berasaskan bukti, pelajar mungkin menghadapi kesukaran dalam menyampaikan idea dan penemuan penyelidikan dengan berkesan kepada rakan mereka (Cheng & So, 2020). Hal yang demikian berlaku disebabkan pelajar tersebut menghadapi masalah berkomunikasi secara matematik.

Komunikasi secara matematik ialah proses menyatakan idea dan kefahaman secara lisan, visual atau bertulis menggunakan nombor, tatatanda, simbol, gambar rajah, graf, gambar atau perkataan (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2018a; Ardianti et al., 2021). Komunikasi matematik memainkan peranan penting dalam pendidikan STEM kerana ia berfungsi sebagai jambatan antara minda, membolehkan pelajar meluahkan idea, pemikiran dan pemahaman mereka tentang konsep matematik (Shushuang, 2019). Dengan melibatkan diri dalam komunikasi matematik, pelajar boleh menjelaskan pemikiran mereka sendiri dan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang perkara tersebut (Akkan & Horzum, 2024). Tambahan pula, keupayaan untuk menyampaikan idea matematik secara berkesan adalah penting untuk kerjasama dan penyelesaian masalah dalam bidang STEM. Ia membolehkan pelajar bertukar-tukar dan membincangkan idea, mengkritik penakulan satu sama lain, dan membina pengetahuan baharu bersama-sama (Ardianti et al., 2021; Pourdavood et al., 2020). Sebagai penghubung antara minda, komunikasi matematik yang mantap memerlukan perwakilan matematik yang kukuh untuk membuka jalan kepada pendidikan STEM yang berkesan.

Perwakilan matematik merujuk kepada keupayaan untuk menyatakan idea dan hubungan matematik menggunakan pelbagai alat seperti tatarajah huruf, simbol, rajah, graf, model, garis nombor, susunan objek konkrit atau manipulatif, perkataan bertulis, ungkapan matematik, formula, persamaan dan sebagainya (Goldin, 2020). Perwakilan matematik membantu dalam merapatkan jurang antara bahasa matematik dan bahasa harian, menggalakkan komunikasi dan kerjasama yang berkesan dalam kalangan pelajar dan guru (Saifiyah & Retnawati, 2019). Menggabungkan perwakilan matematik dalam pendidikan STEM juga membantu menarik minat pelajar dan meningkatkan motivasi serta minat mereka. Perwakilan matematik yang berkesan membolehkan pelajar secara visual dan konseptual memahami konsep matematik, hubungan dan strategi penyelesaian masalah (Mainali, 2021). Ini meningkatkan keupayaan mereka untuk menggunakan pengetahuan matematik dalam konteks praktikal, serta membantu mereka membuat perkaitan antara idea matematik abstrak dan situasi dunia sebenar.

Membuat perkaitan melibatkan keupayaan untuk mengenali perhubungan dan perkaitan antara konsep, prosedur dan perwakilan matematik yang berbeza (Siregar & Siagian, 2019). Ia memerlukan pelajar untuk melihat kesalinghubungan pelbagai idea matematik dan memahami bagaimana satu konsep berkaitan dengan konsep yang lain. Apabila pelajar dapat membuat perkaitan antara konsep matematik, mereka lebih bersedia untuk memahami dan menggunakan konsep ini dalam situasi dunia sebenar (Putri & Wutsqa, 2019). Dengan menghubungkan konsep matematik abstrak kepada contoh konkrit dan kehidupan seharian, pelajar dapat melihat perkaitan dan kepraktisan matematik. Tambahan pula, membuat perkaitan membantu pelajar mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam tentang konsep matematik dengan menghubungkannya dengan bidang matematik yang lain. Dengan membuat perkaitan ini, pelajar boleh memindahkan dan menggunakan pengetahuan dan kemahiran matematik mereka untuk menyelesaikan masalah kompleks dalam bidang STEM (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2018a).

### **3. Isu dan Cabaran Pelaksanaan Kemahiran Proses Matematik dalam Pendidikan STEM**

Bidang pendidikan STEM memainkan peranan penting dalam menyediakan pelajar menghadapi tuntutan abad ke-21. Dengan tumpuan untuk membangunkan pemikiran kritis, penyelesaian masalah dan kemahiran antara disiplin, pendidikan STEM bertujuan untuk melengkapkan pelajar dengan pengetahuan dan kebolehan yang diperlukan untuk berjaya dalam dunia yang semakin kompleks dan maju dari segi teknologi. Walau bagaimanapun,

pelaksanaan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM memberikan isu dan cabaran tersendiri. Cabaran ini boleh merangkumi kekurangan penyepaduan matematik dalam kurikulum STEM yang lebih luas, pengetahuan kandungan guru dan pengetahuan pedagogi kandungan guru, pentaksiran dan penilaian dan juga kekurangan sumber (Goos et al., 2023; Widya et al., 2023).

### **Penyepaduan Matematik dalam Kurikulum STEM**

Menurut Liu (2020), sifat bersepadu dan antara disiplin dalam STEM inilah yang benar-benar menjadikan pendidikan STEM pendidikan STEM. Mengintegrasikan disiplin STEM yang berbeza, seperti sains, teknologi, kejuruteraan, dan matematik adalah penting untuk memberikan pelajar pemahaman holistik tentang cara disiplin ini berfungsi bersama dalam menyelesaikan masalah dunia sebenar. Tanpa integrasi yang betul, pelajar mungkin sukar untuk melihat perkaitan antara konsep yang berbeza dan mungkin tidak dapat mengaplikasikan kemahiran proses matematik yang dipelajari dalam mata pelajaran matematik dengan berkesan dalam konteks STEM.

Matematik sering dilihat sebagai subjek yang paling mencabar untuk disepadukan dengan disiplin STEM yang lain (Castle et al., 2024; Goos et al., 2023; Makonye & Moodley, 2023). Menurut Liu (2020) lagi, matematik sebenarnya dijauhi oleh pelajar yang paling memerlukannya, kerana kesukaran yang dirasakan dalam pembelajarannya. Sifat semula jadi matematik, yang selalunya abstrak dan sangat berstruktur, berbeza dengan pendekatan pembelajaran berasaskan projek yang diterapkan dalam disiplin STEM lain (Tezer, 2019). Akibatnya, ramai pendidik cenderung untuk memilih pendekatan yang lebih tradisional untuk mengajar konsep matematik. Mereka memilih untuk menumpukan pada pengajaran bersendirian yang mengutamakan penguasaan individu terhadap kemahiran dan prosedur matematik tertentu (Al Hamad et al., 2024; Goos et al., 2023; Nantschev et al., 2020). Kecenderungan menjauhi metodologi antara disiplin boleh dikaitkan dengan beberapa faktor seperti kekurangan strategi pedagogi mantap yang menggabungkan matematik dengan mata pelajaran lain secara berkesan (Alrwaished, 2024). Cabaran untuk memastikan ketepatan dan pemahaman mendalam matematik tidak terjejas dalam pembelajaran bersepadu juga menyebabkan guru mengajar konsep matematik secara berasingan daripada secara antara disiplin. Hal ini kerana ia menyediakan laluan yang lebih mudah menyelesaikan kurikulum matematik yang luas dan menyelaraskannya dengan kaedah penilaian konvensional yang memberi penekanan kepada penguasaan subjek individu (Al Hamad et al., 2024; Goos et al., 2023).

### **Pengetahuan Kandungan Guru (PKG) dan Pengetahuan Pedagogi Kandungan Guru (PPKG).**

Salah satu cabaran dalam melaksanakan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM ialah pengetahuan kandungan guru (PKG) dan pengetahuan pedagogi kandungan guru (PPKG). Dalam landskap pendidikan yang berkembang pesat, khususnya dalam bidang STEM, kecekapan dan kedalaman pemahaman yang dimiliki oleh guru memberi impak yang mendalam terhadap pembudayaan kemahiran proses matematik dalam kalangan pelajar. Mafa-Theledi (2024) menyatakan bahawa komponen PKG dan PPKG muncul sebagai faktor penting dalam mewujudkan persekitaran bilik darjah yang kondusif kepada kejayaan pelaksanaan kemahiran ini dalam pendidikan STEM.

PKG menjangkau lebih daripada sekadar mengenali fakta dan algoritma matematik tetapi ianya melibatkan kefahaman konsep matematik yang kaya dan saling berkaitan (Hoffmann & Even, 2024). PPKG pula membolehkan pendidik membentangkan bahan pembelajaran dalam cara

yang boleh diakses dan pelbagai serta memupuk suasana bilik darjah yang mampu menarik dan merangsang pemikiran (Fukaya et al., 2024; Goos, 2013). Selanjutnya, seperti yang digariskan oleh Gudmundsdottir dan Shulman (1987), PPKG merangkumi kebolehan seorang pendidik untuk menyelaraskan strategi pengajaran dan penguasaan kandungan dengan berkesan. Ini memerlukan penggunaan teknik pengajaran yang disesuaikan untuk menjelaskan idea yang kompleks, membetulkan salah tanggapan, dan menggalakkan pemahaman pembelajaran yang mendalam. Bagi seorang pendidik, untuk menyampaikan kemahiran proses matematik secara berkesan mereka mesti menguasai pemahaman yang mendalam tentang kemahiran ini terlebih dahulu. Jika pengetahuan dan pemahaman guru sendiri tentang kemahiran proses matematik adalah cetek, ia berpotensi besar menyekat keupayaan pelajar untuk meneroka sepenuhnya dan mengembangkan keupayaan mereka dalam kemahiran ini. Seperti yang ditekankan oleh Liu (2020), kedalaman pengetahuan guru adalah tunjang kritikal yang menentukan sejauh mana pelajar dapat mengembangkan bakat mereka dalam matematik.

Secara konklusif, persilangan antara PKG dan PPKG menyediakan struktur asas di mana pengajaran kemahiran proses matematik yang berkesan dalam pendidikan STEM menjadi budaya. Apabila pendidik dilengkapi dengan pemahaman matematik yang komprehensif serta dilengkapi dengan kebolehan pedagogi yang diperlukan untuk menyampaikan kemahiran ini, mereka melangkaui peranan tradisional sebagai penyampai pengetahuan dan berubah menjadi arkitek yang secara aktif membina dan mencorak pengalaman pembelajaran pelajar (Ortiz-Laso et al., 2023).

### **Pentaksiran dan Penilaian**

Abd Rahman et al., (2021) menyatakan bahawa murid dengan kemahiran proses matematik yang baik boleh mengorganisasikan struktur pengetahuan mereka dengan menghubungkan kait, mewakili, berkomunikasi secara matematik, menaakul serta menyelesaikan masalah. Oleh itu, sebagai pendidik, adalah penting untuk mentaksir dan menilai penguasaan kemahiran proses matematik dalam kalangan pelajar (Biton & Haflon, 2024). Namun begitu, tugas ini bukanlah perkara yang mudah untuk dilakukan disebabkan oleh sifat kompleks kemahiran proses matematik itu sendiri (Abd Rahman et al., 2021). Kemahiran proses matematik boleh menjadi sukar untuk diukur dengan kaedah penilaian tradisional yang cenderung menumpukan pada hafalan dan tugas prosedur (Coronata & Alsina 2014).

Kekurangan alat yang sesuai untuk mengukur kemahiran ini merumitkan proses pentaksiran dan penilaian (Abd Rahman et al., 2021). Ini kerana ujian konvensional sering gagal menggambarkan pemahaman yang mendalam dan aplikasi praktikal kemahiran. Selain itu, guru mungkin kekurangan latihan yang diperlukan untuk mentaksir dan menilai kemahiran ini dengan cekap dalam konteks STEM, yang boleh membawa kepada kemungkinan penilaian subjektif atau salah jajaran (*misalignment*) antara kaedah pengajaran dan teknik penilaian. Isu seterusnya ialah kekurangan masa kerana membina dan mentadbir penilaian komprehensif yang menangkap kerumitan kemahiran ini memerlukan masa yang banyak. Kerumitan bertambah apabila mempertimbangkan penyepaduan matematik dengan disiplin STEM lain, di mana mengasingkan komponen matematik untuk penilaian menjadi mencabar. Masalah tambahan ialah gelung maklum balas yang tidak mencukupi di mana tanpa sistem yang berkesan untuk analisis dan maklum balas, sukar untuk memupuk pembangunan kemahiran proses matematik dalam diri pelajar.

### **Kekurangan Sumber**

Membudayakan pelaksanaan kurikulum STEM bersepadu yang menggabungkan matematik dengan bidang lain dalam keadaan sumber yang terhad memberikan cabaran yang unik.

Merangka kurikulum sedemikian memerlukan bukan sahaja masa dan bahan, tetapi juga usaha bersepadu untuk menekankan penyelesaian masalah, pemikiran kritis, dan aplikasi praktikal konsep matematik kepada senario dunia sebenar. Tanpa pelaburan yang mencukupi dalam bidang ini, aktiviti pendidikan tidak dapat dilaksanakan dengan berkesan, menghalang promosi pendidikan STEM antara disiplin (Goos et al., 2023). Selain itu, kesediaan pendidik adalah yang terpenting iaitu pendidik mesti dilengkapi dengan pengetahuan yang komprehensif dan sumber yang diperlukan untuk memupuk pengalaman pembelajaran bersepadu tersebut. Ini memerlukan akses kepada peluang pembangunan profesional dan sumber pengajaran antara disiplin (Guzey et al., 2020; Liu, 2020). Apabila sumber sukar diakses, kedua-dua kesediaan pendidik dan keupayaan mereka untuk menyampaikan kemahiran proses matematik yang penting akan terjejas dengan ketara (Goos et al., 2023; Kelana et al., 2020; Zakeri et al., 2023).

Sumber seperti kemudahan teknologi dan bahan adalah amat penting di dalam bilik darjah untuk memudahkan pembelajaran *hands-on* (Gür & Karamete, 2015). Ia berfungsi sebagai alat utama untuk menggambarkan dan mempraktikkan teori matematik dalam bidang teknologi, kejuruteraan dan sains. Pada asasnya, sumber ini penting untuk merapatkan jurang antara matematik teori dan aplikasi praktikalnya dalam bidang STEM. Sumber yang terhad boleh menyekat akses kepada alat penting ini, sekali gus membantutkan kemajuan dan inovasi pendidikan. Di samping itu, kekangan sumber sering mendorong pendidik ke arah pedagogi yang lebih tradisional, berasaskan hafalan, dan bukannya membenarkan kaedah kreatif yang meningkatkan pemahaman dan aplikasi matematik dalam STEM. Kekangan sumber juga berpotensi memburukkan lagi jurang pendidikan terutamanya kepada komuniti yang kurang mendapat perhatian. Hal ini boleh membawa kepada ketidakseimbangan peluang kepada pelajar untuk membangunkan kemahiran proses matematik mereka dan seterusnya mengehadkan penglibatan mereka dalam bidang STEM (Zakeri et al., 2023). Akhir sekali, penglibatan pelajar bergantung pada ketersediaan bahan dan pengalaman yang menarik, yang, jika dibataskan oleh sumber yang terhad, boleh melemahkan semangat pelajar dan prestasi akademik dalam mata pelajaran STEM (Goos et al., 2023). Secara ringkasnya, keluasan dan kualiti pendidikan STEM dan penyepaduan kemahiran proses matematik di dalamnya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sumber.

#### **4. Cadangan Kaedah Menangani Isu dan Cabaran Pelaksanaan Kemahiran Proses Matematik dalam Pendidikan STEM**

Penyepaduan pemikiran matematik ke dalam pendidikan STEM membantu membangunkan penyelesaian masalah yang kritis dan adaptif yang boleh mengharungi cabaran dunia moden yang saling berkaitan dan dinamik (English; 2023). Kegagalan untuk menyepadukan kemahiran ini boleh mengakibatkan pelajar kurang bersedia untuk mengaplikasikan pembelajaran mereka dengan cara yang bermakna dan inovatif merentas pelbagai domain dan laluan kerjaya. Oleh itu, mengatasi isu dan cabaran dalam menyepadukan kemahiran proses matematik ke dalam kurikulum STEM adalah penting kerana kemahiran ini adalah asas untuk keupayaan pelajar memahami dan menyelesaikan masalah dunia sebenar yang kompleks.

##### **Penyepaduan Matematik dalam Kurikulum STEM**

Untuk menangani isu dan cabaran secara berkesan dalam pelaksanaan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM, adalah penting untuk mempertimbangkan strategi khusus untuk penyepaduan matematik dalam kurikulum STEM. Satu cara untuk mencapai matlamat ini ialah dengan menyelaraskan kemahiran proses matematik dengan matlamat dan objektif kurikulum STEM (Al Hamad et al., 2024; Goos et al., 2023; Marfuah, 2021). Penjajaran ini memastikan bahawa pembangunan kemahiran proses matematik disepadukan dengan lancar ke

dalam keseluruhan pengalaman pembelajaran STEM. Ini boleh dicapai dengan mereka bentuk rancangan pengajaran antara disiplin yang menggabungkan konsep dan kemahiran matematik dalam konteks sains, teknologi, kejuruteraan dan matematik. Dengan mewujudkan perhubungan merentas kurikulum, pelajar dapat melihat perkaitan dan aplikasi kemahiran proses matematik dalam senario dunia sebenar, sekali gus meningkatkan penglibatan dan pemahaman mereka dalam disiplin STEM.

Salah satu contoh penyepaduan kurikulum yang telah dilaksanakan oleh Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) ialah dengan memperkenalkan topik Pemodelan Matematik dalam mata pelajaran matematik tingkatan lima di bawah Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM) pada tahun 2021 (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2018b). Mengintegrasikan pemodelan matematik ke dalam kurikulum boleh membantu pelajar menggunakan pengetahuan matematik mereka untuk menyelesaikan masalah berkaitan STEM yang kompleks, dengan itu meningkatkan penglibatan dan motivasi mereka. Namun begitu, menyediakan tugas pemodelan matematik adalah suatu tugas yang mencabar dan memakan masa (Bajuri et al., 2018; Tezer, 2019). Cabaran ini boleh diatasi melalui perancangan kolaboratif yang menggalakkan kerjasama dalam kalangan guru daripada disiplin STEM yang berbeza dalam usaha membina modul integrasi STEM. Modul ini berfungsi sebagai bahan bantu pengajaran yang boleh diubah suai dan digunakan oleh guru STEM di Malaysia khususnya dan di dunia amnya.

Modul integrasi STEM berfungsi sebagai rangka kerja komprehensif yang menyokong pengajaran antara disiplin merentas sains, teknologi, kejuruteraan dan matematik, memudahkan pembinaan tugas pemodelan matematik yang mencerminkan masalah dunia sebenar. Pendekatan berstruktur ini bukan sahaja membawa keselarasan kepada kurikulum STEM tetapi juga menekankan aplikasi praktikal prinsip matematik. Pelajar terlibat dalam menyelesaikan isu relevan melalui inkuiri berpandu, meningkatkan pemahaman mereka tentang bagaimana matematik berfungsi dalam pelbagai bidang STEM. Kaedah pembelajaran ini menggalakkan penemuan dan aplikasi konsep matematik dan mengasah kemahiran menyelesaikan masalah dengan cara yang mungkin tidak diperolehi melalui pengajaran tradisional (Al Hamad et al., 2024).

Modul Integrasi STEM juga menyediakan sumber yang luas seperti rancangan pengajaran, panduan aktiviti dan rubrik penilaian yang membuka jalan untuk pelaksanaan pemodelan matematik yang berkesan (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2018b). Bahan-bahan ini, ditambah dengan peluang pembangunan profesional yang disertakan dalam modul, membolehkan guru mengembangkan kedua-dua pengetahuan kandungan dan kemahiran pedagogi mereka yang penting untuk pengajaran pemodelan matematik. Peruntukan untuk latihan berterusan memastikan guru kekal mahir dalam menyampaikan kandungan yang kompleks dan integratif yang seiring dengan kemajuan dalam setiap disiplin STEM.

Selain itu, Modul Integrasi STEM memupuk persekitaran pengajaran kolaboratif di mana pendidik dari pelbagai bidang STEM boleh bekerjasama untuk merangka dan berkongsi kekayaan pengalaman pendidikan mereka (Kasim & Che, 2018). Kerjasama sedemikian bukan sahaja meningkatkan kreativiti tugas pemodelan tetapi juga memastikan semua aspek STEM diwakili. Penekanan modul pada integrasi teknologi membantu dalam memodenkan kurikulum, membenarkan penggunaan simulasi dan alat analisis data yang selaras dengan keperluan pembelajaran pelajar. Dengan strategi untuk pengajaran terbeza, modul ini mengiktiraf kebolehan pelajar yang pelbagai, memastikan guru boleh menyesuaikan tugas untuk memenuhi keperluan semua pelajar. Secara kolektif, komponen ini membantu dalam

memupuk suasana pendidikan di mana pemodelan matematik dijalin dengan lancar dalam kurikulum STEM, akhirnya memberi manfaat kepada usaha akademik dan profesional masa depan pelajar.

### **Pengetahuan Kandungan Guru (PKG) dan Pengetahuan Pedagogi Kandungan Guru (PPKG).**

Goos et al., (2023) menyatakan bahawa menggabungkan matematik secara bermakna ke dalam pendidikan STEM adalah satu tugas yang mencabar. Hal ini demikian kerana program persediaan guru pelatih kurang menangani secara langsung topik-topik matematik berkaitan dengan STEM (Preciado & Friesen, 2021). Ini bermakna guru mungkin berhadapan dengan isu kekurangan pengetahuan kandungan guru (PKG) dan pengetahuan pedagogi kandungan guru (PPKG) yang penting dalam STEM bersepadu.

PKG dan PPKG guru adalah asas kepada penyepaduan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM. PKG berkaitan dengan pemahaman konkrit kandungan matematik yang perlu diajar, satu aspek yang penting bagi pendidik untuk menyampaikan kurikulum dengan berkesan dan memupuk pembelajaran pelajar (Jacob et al., 2017). Sebaliknya, PPKG adalah gabungan antara pedagogi dan pengetahuan kandungan ini. Ia melibatkan strategi yang diperlukan untuk mengajar matematik secara bermakna, dengan mengambil kira pendekatan terbaik untuk menjadikan konsep yang kompleks dapat difahami oleh pelajar (Barut & Wijaya, 2020). Untuk memupuk kemahiran kritikal ini, pelbagai strategi digunakan seperti pembangunan profesionalisme dan latihan dalam perkhidmatan.

Pembangunan profesionalisme dan latihan dalam perkhidmatan merupakan strategi paling berkesan dan penting untuk meningkatkan pemahaman pendidik tentang konsep matematik dan cara mengajarnya (Al Hamad et al., 2024; Jacob et al., 2017; Ortiz-Laso et al., 2023; Wasserman, 2023). Inisiatif ini harus melangkaui kemahiran subjek semata-mata untuk memasukkan teknik pedagogi bersepadu yang sesuai untuk sifat antara disiplin STEM (Ortiz-Laso et al., 2023). Begitu juga, menyediakan sokongan kurikulum melalui sumber yang mempamerkan penerapan kemahiran proses matematik merentasi domain STEM yang berbeza boleh berfungsi sebagai alat bantu mengajar yang berharga (Rahman et al., 2021). Usaha kolaboratif juga boleh membawa kepada pertumbuhan profesional yang ketara, membolehkan guru matematik mendapat pandangan daripada disiplin STEM yang lain, sekali gus menggalakkan pendekatan pengajaran yang sinergi.

Seterusnya, bimbingan dan latihan dalam perkhidmatan berfokus boleh memudahkan aplikasi praktikal kemahiran proses matematik dalam pendidikan. Mentor berpengalaman yang memiliki pengalaman dalam mengintegrasikan matematik dengan lancar ke dalam STEM, menjadi tidak ternilai kepada guru baharu kerana mereka boleh memberikan bimbingan yang boleh digunakan secara langsung dalam tetapan bilik darjah (Al Hamad et al., 2024; Ortiz-Laso et al., 2023). Penyelidikan dan akses kepada literatur profesional menggalakkan guru untuk terus berhubung dengan kemajuan pedagogi terkini. Melalui amalan reflektif pula, guru sentiasa menilai dan memperhalusi kaedah pengajaran mereka, memastikan ia berkesan dalam menyampaikan kemahiran proses matematik. Menggunakan teknologi untuk simulasi dan analisis data juga boleh menguatkan cara konsep matematik diajar dalam konteks STEM (Gür & Karamete, 2015). Pendekatan komprehensif ini, apabila diterapkan secara kohesif, melengkapkan guru dengan kemahiran yang diperlukan dalam usaha meningkatkan pemahaman pelajar dan aplikasi proses matematik dalam pendidikan STEM.

## **Pentaksiran dan Penilaian**

Dalam persekitaran STEM bersepadu, pentaksiran dan penilaian kemahiran proses matematik boleh menjadi transformatif apabila pendidik menggunakan gabungan strategi yang bukan sahaja mengukur pengetahuan pelajar tetapi juga memupuk pengalaman pembelajaran aplikasi yang reflektif. Sebagai contoh, pentaksiran portfolio membentangkan rekod terkumpul perkembangan pelajar dalam satu tempoh, dengan menyepadukan tugas individu, projek dan refleksi untuk mempamerkan aplikasi penerapan matematik mereka dalam tugas STEM (Al Hamad et al., 2024). Teknik ini boleh dikaitkan dengan aktiviti penilaian autentik yang melibatkan pelajar dalam senario penyelesaian masalah dunia sebenar. seperti merekabentuk prototaip seni bina yang menggunakan pemahaman matematik mereka secara langsung kepada cabaran kejuruteraan. Hal ini mengukuhkan lagi pembelajaran kontekstual prinsip STEM, memupuk amalan reflektif pelajar dan mewujudkan budaya pembelajaran kolaboratif.

Dalam usaha memperdalam amalan reflektif ini dan mewujudkan budaya pembelajaran kolaboratif, kaedah penilaian rakan sebaya dan penilaian sendiri boleh berfungsi sebagai penilaian tambahan yang berimpak tinggi (Al Hamad et al., 2024; Popovska et al., 2024). Penilaian rakan sebaya membolehkan pelajar melibatkan diri secara kritis dengan kerja rakan sekelas mereka, mengukuhkan pemahaman mereka tentang proses matematik melalui penilaian strategi penyelesaian masalah orang lain. Begitu juga, penilaian sendiri menggalakkan pelajar membuat refleksi secara dalaman dan memikul tanggungjawab untuk kemajuan pembelajaran mereka sendiri. Pendekatan ini memupuk penglibatan yang lebih mendalam dengan konsep dan proses matematik, menggalakkan pelajar mengenal pasti, memahami dan belajar daripada pengalaman mereka secara holistik. Selain itu, sumber seperti ujian adaptif boleh menyesuaikan proses penilaian, dengan teknologi mengubah suai kesukaran tugas mengikut prestasi pelajar dan dengan itu menawarkan penilaian yang lebih tepat tentang penguasaan mereka dalam kemahiran proses matematik. Ini berlaku dalam sistem maklum balas dan penilaian yang kompleks dan saling berkait.

Penilaian kompleks dengan kaedah tambahan seperti senarai semak, pemerhatian, pemetaan konsep, dan rubrik terperinci, memperhalusi lagi rangka kerja pentaksiran (Biton & Hafion, 2024; Popovska et al., 2024). Pemerhatian, sama ada melalui senarai semak guru atau model *flipped classroom*, menyediakan maklum balas segera tentang cara pelajar mengaplikasikan kemahiran matematik semasa projek interaktif. Peta konsep dan diari pembelajaran pula membolehkan pendidik menilai hubungan kognitif antara konsep matematik dan aplikasinya yang diwujudkan oleh pelajar. Selain itu, rubrik permarkahan menawarkan kriteria eksplisit untuk membimbing kerja pelajar, dan kuiz formatif dengan maklum balas responsif menyokong pembelajaran berterusan dan penghalusan kemahiran proses matematik. Penyepaduan strategi ini membentuk rangkaian teguh yang bukan sahaja mengukur tetapi juga meningkatkan kemahiran proses matematik, memangkin ekosistem pendidikan STEM yang kaya dan lebih dinamik.

## **Kekurangan Sumber**

Menangani cabaran mengintegrasikan kemahiran proses matematik ke dalam pendidikan STEM secara asasnya bermula dengan penyediaan bahan pendidikan penting. Pelajar boleh mengakses pengalaman pembelajaran matematik berkualiti yang penting untuk STEM jika sekolah mempunyai pembiayaan yang diperlukan untuk mendapatkan buku rujukan, teknologi dan bahan lain yang terkini (Hang et al., 2024). Selain itu, pelaburan dalam peralatan makmal dan sumber untuk pembelajaran berasaskan projek boleh memudahkan aplikasi praktikal kemahiran proses matematik. Tindakan ini adalah penting untuk mengajar matematik sebagai

komponen intrinsik pendidikan STEM, di mana projek kolaboratif boleh meningkatkan pemahaman dan menggalakkan inovasi.

Projek kolaboratif sememangnya memerlukan teknologi canggih dalam bilik darjah. Sumber seperti papan putih interaktif, tablet dan komputer memudahkan penggunaan aplikasi dan simulasi berkaitan STEM, yang menjadikan subjek matematik lebih menarik dan menonjol kepada pelajar. Penyepaduan ini tidak seharusnya menjadi tambahan terpercil kepada kurikulum tetapi sebaliknya merupakan gabungan mempromosikan matematik sebagai mata pelajaran yang dinamik dan interaktif. Di samping teknologi, pembangunan profesional pendidik juga mesti diutamakan dengan sumber diperuntukkan untuk bengkel dan latihan yang memberi tumpuan kepada kaedah pengajaran STEM terkini (Al Hamad et al., 2024; Hang et al., 2024). Ini memastikan guru kekal di barisan hadapan dalam kemajuan pendidikan dan membolehkan mereka memberi inspirasi kepada pelajar melalui pendekatan STEM bersepadu yang menekankan penerapan konsep matematik.

Penerapan konsep matematik dalam pendidikan STEM juga boleh dilaksana dengan mewujudkan ruang kerjasama dan menyediakan akses kepada program ekstra kurikulum yang menekankan kepentingan pengalaman praktikal. Sokongan kewangan untuk ruang yang membolehkan interaksi merentas disiplin dan untuk program seperti kelab matematik boleh meningkatkan penglibatan pelajar dengan matematik berhubung dengan bidang STEM yang lain. Persekitaran sebegini menggalakkan pelajar mengaplikasikan konsep matematik secara praktikal, memupuk pemahaman dan penghayatan yang lebih mendalam terhadap subjek tersebut. Di samping itu juga, memastikan pengagihan sumber yang saksama adalah tunjang utama dalam pendekatan ini, kerana ia menangani jurang pendidikan dan memberikan semua pelajar, tanpa mengira latar belakang sosioekonomi mereka, peluang untuk cemerlang dalam STEM (Castle et al., 2024). Secara kolektif, amalan peruntukan sumber strategik ini membentuk sistem sokongan yang komprehensif untuk menyepadukan kemahiran proses matematik ke dalam pendidikan STEM, sekali gus melengkapkan generasi akan datang dengan alat yang diperlukan untuk berjaya dalam dunia yang semakin berteknologi.

## 5. Kesimpulan

Penguasaan kemahiran proses matematik yang berkesan adalah penting kepada kejayaan pendidikan STEM. Namun begitu, pelaksanaannya tidak lari dari isu dan cabaran seperti mengintegrasikan kemahiran ini ke dalam kurikulum STEM, menyediakan latihan guru dan pembangunan profesionalisme yang mencukupi, mentaksir dan menilai kemahiran ini dengan berkesan hinggalah kepada isu pemerolehan dan pengagihan sumber yang menyokong usaha tersebut. Untuk mengatasi isu dan cabaran ini, pendekatan strategik yang melibatkan reka bentuk kurikulum, pembangunan profesionalisme guru, dan inovasi pedagogi diperlukan di mana semua ini memerlukan peruntukan kewangan yang besar. Reka bentuk kurikulum harus menekankan aplikasi dunia sebenar dan penyelesaian masalah untuk melibatkan pelajar dalam pengalaman pembelajaran yang bermakna. Program pembangunan profesionalisme mesti melengkapkan guru dengan kedua-dua pengetahuan kandungan dan strategi pengajaran yang diperlukan untuk memupuk kecekapan matematik dengan berkesan. Selain itu, kaedah pedagogi harus menggalakkan pembelajaran aktif dan sesuai dengan pelbagai keperluan pelajar, membolehkan mereka mengembangkan bukan sahaja kemahiran kognitif tetapi juga kemahiran kolaborasi, komunikasi dan pemikiran kritis yang penting dalam abad ke-21. Dalam usaha memastikan penguasaan kemahiran proses matematik dalam pendidikan STEM, semua pihak berkepentingan seperti pendidik, penggubal dasar, dan masyarakat secara amnya mesti bekerjasama untuk mewujudkan persekitaran pembelajaran yang menyokong yang menangani

isu dan cabaran ini dalam usaha memupuk suasana penambahbaikan dan inovasi yang berterusan.

## Rujukan

- Abd Rahman, N., Mokshein, S. E., & Ahmad, H. (2021). Kerangka prosedur pembinaan instrumen bagi mengukur tahap kemahiran proses matematik murid. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 6(9), 271–281.
- Akkan, S. N., & Horzum, T. (2024). Illuminating the landscape of mathematical resilience: A systematic review. *Journal of Pedagogical Research*, 8(1), 312–338.
- Al Hamad, N. M., Adewusi, O. E., Unachukwu, C. C., Osawaru, B., & Chisom, O. N. (2024). A review on the innovative approaches to STEM education. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 244–252.
- Alrwaished, N. (2024). Mathematics pre-service teachers' preparation program for designing STEM-based lesson plans: Enhanced skills and challenges. *Cogent Education*, 11(1), 2320467. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2320467>
- Ardianti, N., Kusmayadi, T. A., & Fitriana, L. (2021, November). Students' Mathematical Communication Skills in Solving STEM Problems. In *International Conference of Mathematics and Mathematics Education (I-CMME 2021)* (pp. 195-202). Atlantis Press.
- Astuti, N. H., Rusilowati, A., & Subali, B. (2021). STEM-based learning analysis to improve students' problem-solving abilities in science subject: A literature review. *Journal of Innovative Science Education*, 10(1), 79–86. <https://doi.org/10.15294/jise.v9i2.38505>
- Bajuri, M. R., Maat, S. M., & Halim, L. (2018). Mathematical modeling from metacognitive perspective theory: A review on STEM integration practices. *Creative Education*, 9(1), 2203–2214. <https://doi.org/10.4236/ce.2018.914161>
- Barut, M. E. O., & Wijaya, A. (2020). Facilitating pedagogical content knowledge development through professional development intervention. *Journals of Physics: Conference Series*, 1581, 1-8. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012062>
- Biton, Y., & Halfon, E. (2024). Focus on the assessment concerns of in-service and pre-service mathematics teachers. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology*, 12(1), 230–250. <https://doi.org/10.46328/ijemst.3040>
- Castle, S. D., Byrd, W. C., Koester, B. P., Pearson, M. I., Bonem, E., Caporale, N., Cwik, S., Denaro, K., Fiorini, S., Li, Y., Mead, C., Rypkema, H., Sweeder, R. D., Valdivia Medinaceli, M. B., Whitcomb, K. M., Brownell, S. E., Levesque-Bristol, C., Molinaro, M., Singh, C., McKay, T. A., & Matz, R. L. (2024). Systemic advantage has a meaningful relationship with grade outcomes in students' early STEM courses at six research universities. *International Journal of STEM Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00474-7>
- Cheng, Y. C., & So, W. M. W. (2020). Managing STEM learning: a typology and four models of integration. *International Journal of Educational Management*, 34(6), 1063-1078. <https://doi.org/10.1108/ijem-01-2020-0035>
- Coronata, C., & Alsina, À. (2014). Evaluation of the mathematical processes in the practices of teaching and learning in childhood education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 141(1), 1320-1323. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.227>
- Darmawansah, D., Hwang, G.J., Chen, M.R.A., & Liang, J. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: a systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 1-24.

- English, L.D. (2023). Ways of thinking in STEM-based problem solving. *ZDM Mathematics Education*, 55 (7), 1219–1230. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01474-7>
- Forawi, S. (2018). Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: meaningful learning contexts and frameworks. *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*. Khartoum, Sudan, 12-14 August 2018. <https://doi.org/10.1109/icccee.2018.8515885>
- Fukaya, T., Fukuda, M., & Suzuki, M. (2024). Relationship between mathematical pedagogical content knowledge, beliefs, and motivation of elementary school teachers. *Frontiers in Education*, 8:1276439. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1276439>.
- Furner, J. M. (2024). The best pedagogical practices for teaching mathematics revisited: using math manipulatives, children’s literature, and GeoGebra to produce math confident young people for a STEM world. *Pedagogical Research* 9(2): em0193. <https://doi.org/10.29333/pr/14194>
- Goldin, G. A. (2020). Mathematical representations. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (566-572). Springer.
- Goos, M. (2013). Knowledge for teaching secondary school mathematics: what counts?. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 44(7), 972-983. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0020739X.2013.826387>
- Goos, M., Carreira, S. & Namukasa, I. K. (2023). Mathematics and interdisciplinary STEM education: recent developments and future directions. *ZDM Mathematics Education* 55(7), 1199–1217. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01533-z>
- Gudmundsdottir, S., & Shulman, L. (1987). Pedagogical content knowledge in social studies. *Scandinavian Journal of Educational Research* 31(2), 59-70.
- Gülburnu, M., & Gürbüz, R. (2022). Investigation of effects of negotiations of sociomathematical norms on mathematical process skills. *The Journal of Educational Research* 115 (2), 161-172.
- Gür, H., & Karamete, A. E. (2015). A short review of TPACK for teacher education. *Academic Journals* 10(7): 777-789. <https://doi.org/10.5897/err2014.1982>
- Guzey, S. S., Caskurlu, S., & Kozan, K. (2020). Integrated STEM pedagogies and student learning. In C. C. Johnson, M. J. Mohr-Schroeder, T. J. Moore, & L. D. English (Eds.), *Handbook of research on STEM education* (pp. 63-73). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-8>
- Hang, N., Ngoc, M., & Van, H. (2024). Current situation and solutions to improve the quality of teaching in STEM education in general schools: A case study in some northern provinces of Vietnam. *European Journal of Education Studies*, 11(1). <https://doi.org/10.46827/ejes.v11i1.5172>
- Hoffmann, A., & Even, R. (2024). What do mathematicians wish to teach teachers about the discipline of mathematics? *Journal of Mathematics Teacher Education*, 27(4), 479–497. <https://doi.org/10.1007/s10857-023-09577-4>
- Iwuanyanwu, P. N. (2020). Nature of problem-solving skills for 21st century STEM learners: What teachers need to know. *Journal of STEM Teacher Education*, 55(1), 27–40. <https://doi.org/10.30707/jste55.1/mmdz8325>
- Jacob, R., Hill, H. C., & Corey, D. (2017). The impact of a professional development program on teachers' mathematical knowledge for teaching, instruction, and student achievement. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 10(2), 379–407. <https://doi.org/10.1080/19345747.2016.1273411>
- Kasim, N. H., & Che Ahmad, C. N. (2018). PRO-STEM module: The development and validation. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(1), 728–739.

- Kelana, J. B., Wardani, D. S., Firdaus, A., Altaftazani, D. H., & Rahayu, G. D. S. (2020). The effect of STEM approach on the mathematics literacy ability of elementary school teacher education students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1657, 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1657/1/012006>
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2018a). *Dokumen standard kurikulum dan pentaksiran (DSKP) matematik tingkatan 4 dan 5*. Bahagian Pembangunan Kurikulum.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2018b). *Siri bahan sumber sains, teknologi, engineering dan matematik*. Bahagian Pembangunan Kurikulum.
- Kristensen, M. A., Larsen, D. M., Seidelin, L., & Svabo, C. (2024). The role of mathematics in STEM activities: Syntheses and a framework from a literature review. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, 12(2), 418–431. <https://doi.org/10.46328/ijemst.3357>
- Ling, A. N. B., & Mahmud, M. S. (2023). Challenges of teachers when teaching sentence-based mathematics problem-solving skills. *Frontiers in Psychology*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1074202>
- Liu, F. (2020). Addressing STEM in the context of teacher education. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 13(1), 129–134. <https://doi.org/10.1108/JRIT-02-2020-0007>
- Liu, F. (2023). STEM education in Japan, the United States, and China. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*, 13(1), 297–302. <https://doi.org/10.54097/ehss.v13i.7917>
- Mafa-Theledi, O. N. (2024). Teachers' pedagogical content knowledge and subject matter content knowledge: Is the framework still relevant in teaching STEM? *International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS)*, 8(4), 836–846.
- Mainali, B. (2021). Representation in teaching and learning mathematics. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.46328/ijemst.1111>
- Makonye, J. P., & Moodley, N. (2023). Connecting mathematics to STEM education: Interdisciplinary teaching and learning facilitation. *ZDM Mathematics Education*, 55(7), 1365–1373. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01522-2>
- Marasebessy, R. (2021). Study of mathematics reasoning ability for mathematics learning in schools: A literature review. *Indonesian Journal of Teaching in Science*, 1(2), 79–90.
- Marfuah, M. (2021). Embedding STEM in the mathematics classroom: A case study of vocational high school teacher's practice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1957, 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1957/1/012028>
- Mohd Rasid, N. S., Md Nasir, N. A., Singh, P., & Han, C. T. (2020). STEM integration: Factors affecting effective instructional practices in teaching mathematics. *Asian Journal of University Education (AJUE)*, 16(1), 56–69.
- Nantschev, R., Feuerstein, E., González, R., Alonso, I. G., Hackl, W., Petridis, K., Triantafyllou, E., & Ammenwerth, E. (2020). Teaching approaches and educational technologies in teaching mathematics in higher education. *Education Sciences*, 10(12), 354. <https://doi.org/10.3390/educsci10120354>
- Nurmaliah, C., Azmi, T., Safrida, S., Khairil, & Artika, W. (2021). The impact of implementation of STEM integrating project-based learning on students' problem-solving abilities. *Journal of Physics: Conference Series*, 1882, 012162. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012162>
- Ortiz-Laso, Z., Diego-Mantecón, J. M., Lavicza, Z., et al. (2023). Teacher growth in exploiting mathematics competencies through STEAM projects. *ZDM Mathematics Education*, 55(7), 1283–1297. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01528-w>

- Osborne, J. (2013). The 21st century challenge for science education: Assessing scientific reasoning. *Thinking Skills and Creativity*, 10 (1), 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.006>
- Popovska Dimova, H., Popovski, F., & Popovska Nalevska, G. (2024). Using formative assessment to foster confidence and motivation to learn. *International Journal of Research Studies in Education*, 13(1), 113–121.
- Pourdavood, R., McCarthy, K., & McCafferty, T. (2020). The impact of mental computation on children's mathematical communication, problem solving, reasoning, and algebraic thinking. *Athens Journal of Education*, 7(3), 241–254.
- Preciado-Babb, A., & Friesen, S. (2021). Does school mathematics support STEM education? Exploring specialised mathematics knowledge for STEM education. In D. Anderson, M. Milner-Bolotin, R. Santos, & S. Petrina (Eds.), *Proceedings of the 6th International STEM in Education Conference (STEM 2021)* (pp. 331–336). <https://doi.org/10.14288/1.0402129>
- Putri, A. G. E., & Wutsqa, D. U. (2019). Students' mathematical connection ability in solving real-world problems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320, 012066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1320/1/012066>
- Rahman, N. A., Rosli, R., & Rambley, A. S. (2020). Mathematical teachers' knowledge of STEM-based education. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806, 012216. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012216>
- Rahman, N. A., Rosli, R., Rambely, A. S., & Halim, L. (2021). Mathematics teachers' practices of STEM education: A systematic literature review. *European Journal of Educational Research*, 10(3), 1541–1559. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.3.1541>
- Saifiyah, S., & Retnawati, H. (2019). Why is mathematical representation difficult for students? *Journal of Physics: Conference Series*, 1397, 012093. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1397/1/012093>
- Sayin, V., & Orbay, K. (2024). Examining the problems posed by classroom teacher candidates according to mathematical process skills. *Cukurova University Faculty of Education Journal*, 53(1), 299–340.
- Shushuang, L. (2019). Thoughts on the orientation of mathematics education in colleges and universities. *Journal of Physics: Conference Series*, 1187(5), 052090. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052090>
- Siregar, R., & Siagian, M. D. (2019). Mathematical connection ability: Teacher's perception and experience in learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1315(1), 012041.
- Siswanto, & Yulaikah. (2023). Implementation of cognitive learning theory in Polya learning to improve mathematical problem solving ability. *Jurnal Analisa*, 9(1), 48–58.
- Soffil Widadah, D., Juniati, D., & Khabibah, S. (2022). Deductive reasoning of student teacher candidates: A study of number theory. *Journal of Mathematics Education*, 7(2), 31–38.
- Syahmani, Kusasi, M., & Najmiati, I. (2021). Validity of teaching materials for environmentally friendly technology products using STEM-based guided inquiry to improve students' scientific literacy competence. *Journal of Physics: Conference Series*, 2104, 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2104/1/012019>
- Tezer, M. (2019). The role of mathematical modelling in STEM integration and education. In K. G. Fomunyam (Ed.), *Theorizing STEM Education in the 21st Century* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.5772/intechopen.88615>
- Wahab, N. A., Talib, O., Razali, F., & Kamarudin, N. (2021). The big why of implementing computational thinking in STEM education: A systematic literature review. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 6(3), 272–289. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v6i3.706>

- Wasserman, N. H. (2023). Investigating a teacher-perspective on pedagogical mathematical practices: Possibilities for using mathematical practice to develop pedagogy in mathematical coursework. *ZDM Mathematics Education*, 55(1), 807–821. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01468-5>
- Widya, W., Rifandi, R., & Rahmi, Y. L. (2019). STEM education to fulfill the 21st century demand: A literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317, 012208. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012208>
- Zakeri, N. N. B., Hidayat, R., Sabri, N. A. B. M., Yaakub, N. F. B., Balachandran, K. S., & Azizan, N. I. B. (2023). Creative methods in STEM for secondary school students: Systematic literature review. *Contemporary Mathematics and Science Education*, 4(1), ep23003. <https://doi.org/10.30935/conmaths/12601>.