

Adakah Kerangka TPACK Masih Relevan untuk Guru TVET Malaysia? Satu Analisis Konseptual

Is the TPACK Framework Still Relevant for Malaysian TVET Teachers? A Conceptual Analysis

Mohammad Hafiz Salleh^{1*}, Suhaida Abdul Kadir¹, Rahimah Jamaluddin¹, Mohd Hazwan Mohd Puad¹

¹ Universiti Putra Malaysia,
Fakulti Pengajian Pendidikan, 43400, Selangor, MALAYSIA

*Corresponding Author: mohammad.hafiz@moe.gov.my
DOI: <https://doi.org/10.30880/jttr.2026.04.01.005>

Maklumat Artikel

Diserah: 30 April 2026
Diterima: 24 June 2026
Diterbitkan: 30 June 2026

Kata Kunci

TPACK, guru TVET, kompetensi guru, pendidikan teknikal, TVET Malaysia, pedagogi digital

Abstrak

Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) merupakan tunjang penting dalam pembangunan modal insan berkemahiran tinggi serta pemacu utama kepada pertumbuhan ekonomi negara berasaskan kemahiran. Dalam konteks Malaysia, usaha memperkukuh ekosistem TVET diperkasakan melalui pelbagai dasar nasional yang menekankan kebolehpasaran graduan, kerjasama industri, pendigitalan latihan serta pembangunan tenaga pengajar berkualiti (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2022; UNESCO, 2021). Sehubungan itu, guru TVET perlu memiliki kompetensi profesional yang holistik bagi memastikan pengajaran dan pembelajaran kekal relevan dengan perubahan teknologi dan keperluan industri semasa. Salah satu kerangka yang sering digunakan dalam menilai keupayaan guru mengintegrasikan teknologi ialah Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). Walau bagaimanapun, perkembangan pesat Revolusi Industri 4.0 (IR4.0), kecerdasan buatan (AI), automasi dan transformasi digital menimbulkan persoalan sama ada kerangka TPACK masih mencukupi dalam konteks guru TVET masa kini. Oleh itu, artikel ini bertujuan menilai semula kerelevanan kerangka TPACK melalui pendekatan analisis konseptual berasaskan sorotan literatur semasa. Dapatan menunjukkan bahawa TPACK masih signifikan sebagai asas integrasi pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi. Namun demikian, kerangka ini perlu diperluas dengan memasukkan elemen kompetensi industri, literasi digital lanjutan, pedagogi berasaskan simulasi, kemahiran hijau dan kolaborasi industri. Artikel ini mencadangkan model TPACK-TVET+ sebagai kerangka yang lebih kontekstual bagi pembangunan profesional guru TVET Malaysia.

Keywords

TPACK, TVET teachers, teacher competency, technical education, digital pedagogy

Abstract

Technical and Vocational Education and Training (TVET) serve as a fundamental pillar in the development of a highly skilled workforce and act as a key driver of a skills-based national economy. In the Malaysian context, efforts to strengthen the TVET ecosystem have been intensified through various national policies that emphasize graduate employability, industry collaboration, training digitalization, and the development of high-quality educators (Ministry of Education Malaysia, 2022; UNESCO, 2021). Consequently, TVET teachers are required to possess holistic professional competencies to ensure that teaching and learning processes remain relevant and responsive to technological advancements and current industry demands. One of the most widely adopted frameworks used to assess teachers' ability to integrate technology in teaching is the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework. However, the rapid advancement of Industry Revolution 4.0 (IR4.0), artificial intelligence (AI), automation, and digital transformation raise questions regarding whether the TPACK framework remains sufficient in explaining the competencies required of contemporary TVET teachers. In this regard, the current demands of TVET extend beyond mere technological integration in teaching, encompassing a broader understanding of industrial ecosystems, smart technologies, and graduate employability. Therefore, this article aims to re-evaluate the relevance of the TPACK framework through a conceptual analysis based on current literature. The findings indicate that TPACK remains significant as a foundational framework for integrating content, pedagogy, and technology. Nevertheless, the framework is found to be insufficient in addressing the complexities of contemporary TVET without further contextual expansion. Accordingly, this article proposes the TPACK-TVET+ model, which integrates elements of industry competency, advanced digital literacy, simulation-based pedagogy, green skills, and industry collaboration as a more comprehensive framework for the professional development of TVET teachers in Malaysia.

1. Pengenalan

Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) merupakan bidang yang diiktiraf sebagai sektor strategik dalam membangunkan tenaga kerja mahir serta meningkatkan daya saing ekonomi negara (Unit Perancang Ekonomi, 2021; UNESCO, 2021). Dalam landskap global yang semakin kompleks dan dipacu teknologi, negara memerlukan modal insan yang bukan sahaja berpengetahuan, tetapi juga berkemahiran teknikal, adaptif dan mampu menyesuaikan diri dengan perubahan industri. Di Malaysia, pelbagai inisiatif telah dilaksanakan bagi memperkukuh TVET termasuk penstrukturan semula ekosistem TVET melalui Majlis TVET Negara (MTVET), pengukuhan kurikulum berasaskan kompetensi dan peluasan kerjasama industri. Namun demikian, keberhasilan sistem TVET tidak hanya bergantung kepada dasar dan infrastruktur, sebaliknya turut ditentukan oleh kualiti tenaga pengajar (Ahmad & Hamzah, 2022). Guru TVET memainkan peranan penting sebagai fasilitator pembelajaran, jurulatih kemahiran serta penghubung antara institusi pendidikan dan industri (Rahman & Yusof, 2024). Dalam era IR4.0, peranan ini menjadi semakin kompleks kerana guru perlu mengintegrasikan teknologi, pedagogi dan kandungan teknikal secara efektif (OECD, 2023). Sehubungan itu, kerangka TPACK (Koehler & Mishra, 2009) telah digunakan secara meluas bagi memahami integrasi tersebut. Walau bagaimanapun, persoalan timbul sama ada TPACK masih mencukupi dalam konteks TVET yang semakin berorientasikan industri dan teknologi pintar.

Perubahan pesat akibat Revolusi Industri 4.0, kecerdasan buatan (AI), Internet of Things (IoT), automasi pintar dan digitalisasi tempat kerja telah mengubah bentuk pekerjaan serta keperluan kemahiran tenaga kerja. Dalam konteks pendidikan, perubahan ini turut menuntut transformasi kaedah pengajaran dan pembelajaran. Pendekatan konvensional yang berpusatkan guru semakin kurang sesuai sekiranya tidak disokong dengan integrasi teknologi, pembelajaran berasaskan projek, simulasi digital, pembelajaran teradun dan pentaksiran autentik. Oleh yang demikian, guru TVET perlu sentiasa menambah baik kompetensi profesional agar kekal relevan dan responsif terhadap perubahan semasa.

Salah satu kerangka yang sering digunakan dalam menilai kompetensi guru berkaitan integrasi teknologi ialah Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) yang diperkenalkan oleh Koehler dan Mishra

(2009). Kerangka ini menggabungkan tiga domain utama iaitu pengetahuan kandungan (content knowledge), pengetahuan pedagogi (pedagogical knowledge) dan pengetahuan teknologi (technological knowledge), termasuk interaksi antara ketiga-tiganya. TPACK telah digunakan secara meluas dalam pelbagai konteks pendidikan bagi menilai keupayaan guru mengintegrasikan teknologi secara bermakna dalam pengajaran. Walaupun TPACK kekal relevan dalam banyak bidang pendidikan, persoalan timbul sama ada kerangka ini masih mencukupi untuk menjelaskan kompetensi guru TVET masa kini yang berhadapan keperluan industri, teknologi mesin pintar, simulasi digital, pensijilan kemahiran, latihan industri dan kemahiran hijau. Kompetensi kemahiran hijau (green skills) semakin diberi perhatian dalam konteks TVET bagi menyokong pembangunan mampan dan peralihan ke arah ekonomi hijau. Kemahiran ini merangkumi pengetahuan, kemahiran dan nilai yang berkaitan dengan kecekapan sumber, teknologi mesra alam serta amalan lestari dalam industri (Ibrahim et al., 2024; Pal et al., 2023). Dalam hal ini, guru TVET perlu berupaya mengintegrasikan elemen kelestarian dalam kandungan pengajaran bagi memastikan pelajar bukan sahaja kompeten dari segi teknikal, tetapi juga peka terhadap isu alam sekitar dan tanggungjawab sosial. Dalam erti kata lain, guru TVET berdepan tuntutan yang lebih kompleks berbanding guru pendidikan umum kerana mereka perlu menghubungkan dunia pendidikan dengan dunia pekerjaan sebenar.

Sehubungan itu, artikel ini bertujuan menilai semula kerelevanan kerangka TPACK bagi guru TVET Malaysia melalui pendekatan analisis konseptual. Secara khususnya, artikel ini akan membincangkan konsep kompetensi guru TVET, kekuatan TPACK sebagai kerangka profesionalisme guru, limitasi TPACK dalam konteks TVET moden, serta cadangan penambahbaikan model yang lebih sesuai dengan keperluan semasa Malaysia. Dapatan perbincangan ini diharapkan dapat memberi manfaat kepada penggubal dasar, institusi latihan guru, pentadbir TVET dan penyelidik pendidikan teknikal dalam merancang pembangunan profesional guru TVET secara lebih strategik.

2. Tinjauan Literatur

2.1 Konsep Kompetensi Guru TVET

Menurut International Board of Standards for Training, Performance and Instruction (IBSTPI), kompetensi merujuk kepada satu set pengetahuan, kemahiran dan sikap yang membolehkan individu melaksanakan sesuatu tugas dengan berkesan mengikut standard pekerjaan yang ditetapkan (IBSTPI, 2006). Selaras dengan itu, kompetensi juga ditakrifkan sebagai keupayaan individu mengaplikasikan pengetahuan, kemahiran, nilai dan pengalaman secara bersepadu dalam menyelesaikan masalah atau menangani situasi tertentu secara efektif (Mulder, 2014; OECD, 2021). Selain itu, kompetensi secara umum merujuk kepada keupayaan individu melaksanakan sesuatu tugas dengan berkesan melalui gabungan pengetahuan, kemahiran, sikap dan nilai profesional (Shulman, 1987). Dalam konteks pendidikan, kompetensi guru sering dikaitkan dengan kebolehan merancang pengajaran, menyampaikan kandungan, menilai pencapaian pelajar serta mengurus proses pembelajaran secara sistematik. Namun demikian, dalam konteks Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET), skop kompetensi guru adalah lebih luas dan kompleks kerana melibatkan elemen akademik serta latihan kemahiran berasaskan amali.

Guru TVET bukan sahaja perlu menguasai teori dalam bidang tertentu, malah perlu memiliki kemahiran teknikal yang boleh diterjemahkan melalui demonstrasi praktikal, penyeliaan bengkel, pengendalian mesin serta pematuhan kepada standard keselamatan dan industri. Dalam banyak keadaan, guru TVET turut berperanan sebagai jurulatih yang membimbing pelajar menyelesaikan masalah sebenar di tempat kerja. Oleh itu, kompetensi guru TVET haruslah dibentuk daripada gabungan antara kompetensi pedagogi, kompetensi teknikal industri dan kompetensi profesional (UNESCO, 2021). Kajian terdahulu menunjukkan bahawa antara cabaran utama dalam TVET ialah jurang antara latihan di institusi pendidikan dengan keperluan industri sebenar (Rahman & Yusof, 2024). Situasi ini sering berlaku apabila tenaga pengajar kurang terdedah kepada teknologi terkini atau proses kerja semasa dalam industri. Justeru, kompetensi guru TVET perlu bersifat dinamik dan sentiasa dikemas kini melalui pembangunan profesional berterusan serta pendedahan industri.

Dalam era digital, konsep kompetensi guru TVET turut berkembang selari dengan perubahan teknologi global. Guru bukan sahaja perlu menguasai kandungan teknikal dan pedagogi, malah perlu mempunyai literasi digital, keupayaan menggunakan sistem pembelajaran dalam talian, teknologi simulasi serta aplikasi kecerdasan buatan dalam pengajaran (OECD, 2023). Walaupun terdapat peningkatan dalam penggunaan AI dalam pendidikan teknikal dan vokasional, tahap penguasaan guru masih terhad kepada kemahiran asas dan belum melibatkan penggunaan lanjutan seperti reka bentuk pembelajaran berasaskan AI dan analitik data pendidikan (Setiyawan, 2025). Dalam konteks Malaysia, kajian menunjukkan bahawa tahap pengetahuan dan keyakinan guru terhadap penggunaan AI dalam pedagogi masih berada pada tahap sederhana dan memerlukan sokongan latihan profesional yang lebih sistematik bagi meningkatkan keberkesanan integrasi AI dalam pengajaran TVET (Amdan et al., 2024; Mat Yusoff et al., 2025). Hal ini menunjukkan bahawa kompetensi guru TVET pada masa kini tidak

lagi boleh bersifat statik, sebaliknya perlu berkembang secara berterusan mengikut perubahan ekonomi dan teknologi.

2.2 Dimensi Kompetensi Guru TVET

Berdasarkan tinjauan literatur, kompetensi guru TVET boleh diuraikan melalui beberapa dimensi utama yang saling melengkapi. Pertama, kompetensi kandungan teknikal (content knowledge) merujuk kepada penguasaan ilmu teknikal, prinsip operasi, proses kerja dan standard industri dalam bidang pengkhususan masing-masing. Penguasaan ini penting bagi memastikan guru dapat membimbing pelajar ke arah penguasaan kemahiran sebenar yang diperlukan oleh industri. Kedua, kompetensi pedagogi (pedagogical knowledge) merujuk kepada keupayaan guru memilih dan melaksanakan strategi pengajaran yang sesuai seperti demonstrasi, pembelajaran berasaskan projek, latihan amali, simulasi dan pentaksiran autentik. Dalam TVET, pendekatan pedagogi yang berasaskan pengalaman adalah sangat penting kerana pelajar belajar melalui aplikasi praktikal.

Ketiga, kompetensi teknologi (technological knowledge) merangkumi kebolehan menggunakan perisian, platform digital, teknologi simulasi serta peralatan moden dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Penguasaan teknologi ini penting dalam menyokong transformasi pendidikan digital (Redecker, 2022). Keempat, kompetensi profesional dan personal merangkumi aspek komunikasi, kepimpinan, etika kerja, kebolehsuaian dan komitmen terhadap pembelajaran sepanjang hayat. Guru TVET bukan sahaja berfungsi sebagai pengajar, tetapi juga sebagai model profesional kepada pelajar. Kelima, kompetensi hubungan industri merujuk kepada keupayaan guru memahami keperluan majikan, trend pekerjaan serta menjalin hubungan dengan industri. Elemen ini amat penting dalam memastikan latihan yang diberikan selari dengan keperluan pasaran kerja (UNESCO, 2021).

2.3 Kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)

Kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) diperkenalkan oleh Koehler dan Mishra (2009) sebagai peluasan kepada konsep Pedagogical Content Knowledge (PCK) yang diasaskan oleh Shulman (1987). Kerangka ini menekankan bahawa pengajaran yang berkesan dalam era digital memerlukan integrasi antara pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi. TPACK terdiri daripada tiga komponen utama iaitu Content Knowledge (CK), Pedagogical Knowledge (PK) dan Technological Knowledge (TK). CK merujuk kepada penguasaan kandungan subjek, PK merujuk kepada strategi pengajaran, manakala TK merujuk kepada kebolehan menggunakan teknologi dalam pengajaran. Interaksi antara ketiga-tiga komponen ini menghasilkan domain integrasi seperti PCK, TCK, TPK dan akhirnya TPACK sebagai tahap integrasi tertinggi.

TPACK telah digunakan secara meluas dalam pelbagai kajian pendidikan bagi menilai keupayaan guru mengintegrasikan teknologi secara bermakna dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Kerangka ini menekankan bahawa keberkesanan penggunaan teknologi tidak bergantung kepada penguasaan teknologi semata-mata, tetapi memerlukan integrasi yang seimbang antara pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi (Koehler & Mishra, 2009). Dalam konteks ini, TPACK membantu guru membuat keputusan profesional berkaitan pemilihan teknologi yang sesuai, pendekatan pedagogi yang efektif serta strategi penyampaian kandungan yang selari dengan keperluan pelajar. Walau bagaimanapun, penggunaan TPACK dalam kajian pendidikan sering cenderung memberi penekanan kepada aspek integrasi teknologi dalam bilik darjah tanpa menilai secara mendalam konteks sebenar penggunaan teknologi tersebut, khususnya dalam bidang pendidikan teknikal dan vokasional yang berorientasikan amali dan industri. Dalam banyak kajian, TPACK dilihat sebagai kerangka yang bersifat generik dan kurang mengambil kira keperluan spesifik bidang seperti TVET yang memerlukan keselarasan antara pengajaran, teknologi industri dan aplikasi dunia sebenar (Voogt et al., 2013).

Selain itu, walaupun TPACK membantu dalam memahami hubungan antara teknologi, pedagogi dan kandungan, kerangka ini tidak secara eksplisit menekankan dimensi lain yang semakin penting dalam pendidikan masa kini seperti kompetensi industri, literasi digital lanjutan, penggunaan kecerdasan buatan serta kemahiran hijau. Perkembangan teknologi yang pesat dalam era Revolusi Industri 4.0 telah mengubah cara pengetahuan dihasilkan, disampaikan dan diaplikasikan, sekali gus menuntut guru untuk memiliki kompetensi yang lebih kompleks daripada sekadar integrasi teknologi asas (OECD, 2023).

Sehubungan itu, walaupun TPACK masih relevan sebagai kerangka asas dalam memahami kompetensi guru dalam era digital, terdapat keperluan untuk menilai semula kesesuaiannya dalam konteks TVET yang lebih dinamik dan berorientasikan industri. Dalam erti kata lain, TPACK perlu diperluas atau diperkukuh dengan dimensi tambahan yang lebih kontekstual bagi memastikan ia kekal relevan dalam menjelaskan kompetensi guru TVET masa kini.

2.4 Kepentingan TPACK dalam Konteks TVET

Dalam konteks TVET, penggunaan kerangka TPACK dilihat signifikan kerana sifat pengajaran yang berorientasikan amali, demonstrasi serta penggunaan teknologi dalam persekitaran pembelajaran. Berbeza

dengan pendidikan akademik umum, pengajaran TVET melibatkan interaksi langsung dengan peralatan, mesin dan sistem teknologi yang memerlukan kefahaman konseptual serta kemahiran praktikal secara serentak. Dalam hal ini, penggunaan teknologi seperti simulasi digital, perisian reka bentuk berbantu komputer (CAD), realiti maya (VR) dan teknologi automasi berpotensi meningkatkan kefahaman pelajar terhadap konsep teknikal yang kompleks melalui visualisasi dan pengalaman pembelajaran yang lebih autentik.

Melalui kerangka TPACK, guru TVET berupaya membuat keputusan pedagogi yang lebih bermakna dengan memilih teknologi yang sesuai dengan hasil pembelajaran, meningkatkan kejelasan penyampaian konsep serta menyokong pembelajaran yang lebih interaktif dan berpusatkan pelajar. Selain itu, integrasi teknologi juga dapat meningkatkan aspek keselamatan dalam latihan amali, di mana pelajar dapat menjalani simulasi terlebih dahulu sebelum berinteraksi dengan peralatan sebenar, sekali gus mengurangkan risiko kemalangan dan meningkatkan keyakinan pelajar (OECD, 2023). Walau bagaimanapun, keberkesanan TPACK dalam konteks TVET tidak hanya bergantung kepada keupayaan guru mengintegrasikan teknologi dalam pengajaran, tetapi turut dipengaruhi oleh sejauh mana teknologi tersebut mencerminkan amalan sebenar industri. Dalam banyak situasi, teknologi pendidikan yang digunakan di institusi TVET tidak sepenuhnya selari dengan teknologi yang digunakan di tempat kerja sebenar, sekali gus menimbulkan jurang antara pembelajaran dan keperluan industri. Hal ini menunjukkan bahawa walaupun TPACK menyediakan asas yang kukuh dalam integrasi teknologi, kerangka ini masih memerlukan peluasan bagi mengambil kira dimensi industri dan aplikasi dunia sebenar.

Sehubungan itu, TPACK boleh dianggap sebagai kerangka asas yang menyokong transformasi pedagogi TVET ke arah pembelajaran digital dan berasaskan teknologi. Namun, bagi memastikan kerelevannya dalam konteks semasa, kerangka ini perlu diperkukuh dengan elemen tambahan yang lebih kontekstual, khususnya berkaitan kompetensi industri, teknologi lanjutan dan keperluan pasaran kerja

2.5 Jurang Literatur dan Keperluan Penilaian Semula

Walaupun kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) diiktiraf sebagai antara model utama dalam menjelaskan integrasi teknologi dalam pengajaran, kebanyakan kajian terdahulu lebih tertumpu kepada konteks pendidikan umum seperti sekolah rendah dan menengah, serta kurang memberi perhatian kepada konteks Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) yang berorientasikan kemahiran dan industri (Voogt et al., 2013; Koehler & Mishra, 2009). Dalam hal ini, aplikasi TPACK sering dilihat dalam persekitaran pembelajaran yang bersifat teori dan bilik darjah, sedangkan TVET menuntut pendekatan yang lebih kontekstual, berasaskan amali dan berkait rapat dengan keperluan dunia pekerjaan sebenar (UNESCO, 2021). Situasi ini menunjukkan bahawa kesesuaian TPACK dalam konteks TVET masih belum diteroka secara mendalam dan sistematik.

Selain itu, kebanyakan kajian berkaitan TPACK memberi penekanan kepada integrasi teknologi pendidikan seperti penggunaan platform digital, perisian pembelajaran dan alat multimedia, tanpa mengambil kira perbezaan antara teknologi pendidikan dan teknologi industri (Chai et al., 2013; Voogt et al., 2013). Dalam konteks TVET, jurang ini menjadi lebih ketara kerana teknologi yang digunakan dalam pengajaran perlu mencerminkan amalan sebenar di tempat kerja. Kegagalan untuk menyelaraskan kedua-dua aspek ini berpotensi mewujudkan jurang antara pembelajaran dan keperluan industri, sekali gus menjejaskan kebolehpasaran graduan (OECD, 2023). Di samping itu, kerangka TPACK tradisional tidak secara eksplisit memasukkan beberapa dimensi kritikal yang semakin penting dalam pendidikan masa kini, termasuk kompetensi industri, pengalaman tempat kerja sebenar, kemahiran hijau, penggunaan kecerdasan buatan serta kebolehpasaran graduan (World Economic Forum, 2025; UNESCO-UNEVOC, 2022). Perkembangan pesat teknologi dalam era Revolusi Industri 4.0 telah mengubah keperluan kemahiran tenaga kerja, di mana penekanan bukan lagi hanya kepada penguasaan teknologi asas, tetapi juga kepada keupayaan mengadaptasi teknologi pintar, memahami sistem automasi serta mengintegrasikan prinsip kelestarian dalam amalan kerja (OECD, 2023).

Tambahan pula, kajian berkaitan TPACK sering bersifat generik dan tidak mengambil kira variasi konteks pendidikan, khususnya dalam bidang teknikal yang memerlukan integrasi antara pengetahuan, kemahiran praktikal dan pengalaman industri (Voogt et al., 2013). Kekangan ini menunjukkan bahawa walaupun TPACK masih relevan sebagai kerangka asas, ia tidak lagi mencukupi untuk menjelaskan kompleksiti kompetensi guru TVET dalam persekitaran pendidikan yang semakin dinamik dan berorientasikan industri. Sehubungan itu, terdapat keperluan mendesak untuk menilai semula kerelevanan TPACK dalam konteks TVET, khususnya dalam konteks Malaysia yang sedang giat memperkukuh ekosistem TVET bagi memenuhi keperluan pembangunan ekonomi negara (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2022). Oleh itu, artikel ini menggunakan pendekatan analisis konseptual bagi menilai kesesuaian kerangka TPACK serta mencadangkan peluasan model yang lebih kontekstual dan responsif terhadap keperluan semasa melalui pembangunan model TPACK-TVET+. Pendekatan ini diharapkan dapat menyumbang kepada pengayaan literatur serta menyediakan asas teoritikal yang lebih kukuh dalam memahami kompetensi guru TVET masa hadapan.

3. Perbincangan dan Analisis Konseptual

3.1 Kerelevanan TPACK dalam Konteks TVET

Dapat dirumuskan bahawa kerangka TPACK masih relevan sebagai asas dalam menjelaskan kompetensi guru TVET, khususnya dari segi integrasi pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi. Kerangka ini menyediakan asas konseptual yang penting dalam memahami bagaimana guru membuat keputusan pengajaran yang melibatkan penggunaan teknologi secara bermakna dan kontekstual (Koehler & Mishra, 2009; Voogt et al., 2013). Dalam era pendidikan digital, keberkesanan pengajaran tidak lagi bergantung kepada penguasaan kandungan semata-mata, tetapi turut dipengaruhi oleh keupayaan guru mengintegrasikan teknologi secara strategik bagi menyokong pembelajaran yang aktif, kolaboratif dan berpusatkan pelajar (OECD, 2023; Redecker, 2022).

Dalam konteks TVET, kerelevanan TPACK menjadi lebih signifikan kerana kebanyakan bidang teknikal memerlukan penggunaan teknologi dalam pengajaran, sama ada melalui simulasi, automasi, perisian teknikal atau peralatan industri. Guru bukan sahaja perlu menguasai kandungan teknikal, tetapi juga berupaya menterjemahkan kandungan tersebut melalui pendekatan pedagogi yang sesuai serta memanfaatkan teknologi yang selari dengan amalan industri (UNESCO, 2021). Walau bagaimanapun, keberkesanan aplikasi TPACK dalam TVET bergantung kepada sejauh mana integrasi tersebut mencerminkan situasi sebenar di tempat kerja, bukan sekadar penggunaan teknologi pendidikan secara umum. Hal ini menunjukkan bahawa walaupun TPACK kekal relevan sebagai kerangka asas, penggunaannya dalam konteks TVET memerlukan penyesuaian yang lebih kontekstual bagi memastikan pembelajaran yang dihasilkan benar-benar autentik dan berorientasikan industri.

3.2 Kekuatan TPACK dalam TVET

TPACK mempunyai beberapa kekuatan utama dalam konteks TVET. Pertama, kerangka ini menyediakan pendekatan yang menyeluruh dalam memahami kompetensi guru kerana ia menggabungkan pelbagai dimensi pengetahuan. Kedua, TPACK menyokong transformasi digital dalam pendidikan dengan menekankan integrasi teknologi dalam pengajaran. Ketiga, TPACK sesuai digunakan dalam pembelajaran berasaskan amali kerana ia membolehkan penggunaan simulasi, visualisasi dan teknologi interaktif. Keempat, kerangka ini fleksibel dan boleh diaplikasikan dalam pelbagai bidang TVET. Akhir sekali, TPACK boleh dijadikan asas dalam pembangunan profesional guru melalui latihan dan penilaian kompetensi.

3.3 Limitasi TPACK dalam Konteks TVET Semasa

Walaupun TPACK mempunyai kekuatan, terdapat beberapa limitasi yang perlu diberi perhatian. Pertama, TPACK tidak secara eksplisit menekankan kompetensi industri yang merupakan elemen utama dalam TVET (UNESCO, 2021). Kedua, kerangka ini tidak mengambil kira keperluan teknologi lanjutan seperti kecerdasan buatan dan automasi pintar. Ketiga, TPACK tidak memberi penekanan kepada kemahiran hijau dan kelestarian yang semakin penting dalam ekonomi masa kini. Keempat, kerangka ini kurang menitikberatkan aspek kebolehpasaran graduan dan hubungan industri (World Economic Forum, 2025). Limitasi ini menunjukkan bahawa TPACK tidak lagi mencukupi jika digunakan secara bersendirian dalam konteks TVET moden.

Jadual 1 Perbandingan kerangka TPACK dan keperluan kompetensi guru TVET masa kini

Dimensi	TPACK Tradisional	Keperluan Guru TVET Masa Kini	Jurang
Kandungan (CK)	Pengetahuan subjek	Pengetahuan teknikal + standard industri	Perlu ada perkembangan industri
Pedagogi (PK)	Strategi pengajaran umum	Pembelajaran amali, projek, simulasi	Perlu pengalaman pedagogi
Teknologi (TK)	Teknologi pendidikan asas	AI, IoT, automasi, simulasi digital	Teknologi industri tidak ditekankan
Integrasi (TPACK)	Integrasi CK+PK+TK	Integrasi dan aplikasi dunia sebenar	Tidak cukup kontekstual
Kompetensi Industri	Tidak dinyatakan	Sangat kritikal	Jurang besar
AI & Digital Fluency	Tidak fokus	Sangat penting	Tidak diliputi
Kemahiran Hijau	Tiada	Semakin penting	Tidak diliputi
Kebolehpasaran	Tidak jelas	Fokus utama TVET	Kurang penekanan

3.4 Keperluan Kerangka yang Diperluas

Guru TVET bekerja dalam persekitaran yang berbeza daripada guru pendidikan umum kerana mereka perlu menghubungkan proses pembelajaran dengan keperluan industri yang sentiasa berubah. Berbeza dengan konteks pendidikan akademik yang lebih berorientasikan teori, TVET menuntut integrasi antara pengetahuan konseptual, kemahiran praktikal dan pemahaman terhadap amalan sebenar di tempat kerja (UNESCO, 2021; Rauner & Maclean, 2021). Sehubungan itu, kerangka kompetensi guru TVET perlu mengambil kira elemen industri, teknologi dan kebolehpasaran secara menyeluruh bagi memastikan keselarasan antara latihan yang diberikan dan keperluan pasaran kerja.

Kefahaman yang kurang terhadap keperluan industri berpotensi menyebabkan pengajaran yang dilaksanakan menjadi tidak relevan dan tidak responsif terhadap perkembangan semasa, sekali gus mewujudkan jurang antara latihan dan kebolehpasaran graduan (OECD, 2023). Pada masa yang sama, kekurangan penguasaan pedagogi dan teknologi pula boleh menjejaskan keberkesanan penyampaian pengajaran, walaupun kandungan teknikal yang diajar adalah tepat. Hal ini menunjukkan bahawa kompetensi guru TVET tidak boleh dilihat secara terpisah mengikut domain tertentu, tetapi perlu difahami sebagai satu sistem bersepadu yang melibatkan interaksi antara pengetahuan, kemahiran dan konteks aplikasi.

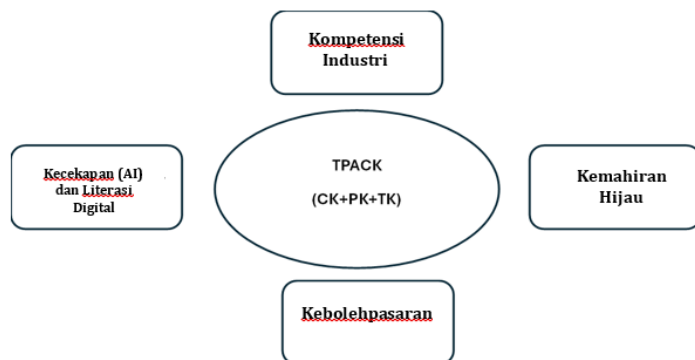
Oleh itu, keseimbangan antara kompetensi industri, pedagogi dan teknologi adalah kritikal dalam memastikan keberkesanan pengajaran TVET. Pendekatan yang tidak seimbang, sama ada terlalu berfokus kepada kandungan teknikal tanpa pedagogi yang sesuai atau penggunaan teknologi tanpa kefahaman konteks industri, akan menjejaskan kualiti pembelajaran. Justeru, terdapat keperluan untuk membangunkan kerangka kompetensi yang lebih holistik dan kontekstual bagi menyokong peranan guru TVET dalam melahirkan tenaga kerja yang kompeten, adaptif dan berdaya saing.

3.5 Cadangan Model TPACK-TVET+

Berdasarkan analisis, artikel ini mencadangkan peluasan TPACK kepada model TPACK-TVET+ dengan menambah beberapa dimensi baharu iaitu:

- Kompetensi Industri
- Kecekapan Kecerdasan Buatan (AI) dan Literasi Digital
- Kemahiran Hijau
- Kebolehpasaran dan Kolaborasi

Model ini dilihat lebih sesuai dalam membimbing pembangunan kompetensi guru TVET yang selari dengan keperluan semasa.



Rajah 1 Model TPACK-TVET+ bagi kompetensi guru TVET

Rajah 1 menunjukkan peluasan kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) kepada model TPACK-TVET+ yang mengintegrasikan elemen kompetensi industri, literasi digital lanjutan, kemahiran hijau serta kebolehpasaran sebagai komponen pelengkap kepada kompetensi guru TVET. Model ini mencerminkan keperluan semasa pendidikan teknikal dan vokasional yang bukan sahaja menekankan integrasi pedagogi dan teknologi, tetapi juga keselarasan dengan kehendak industri dan perkembangan teknologi global. Sehubungan itu, elemen kemahiran hijau dimasukkan sebagai salah satu komponen dalam model TPACK-TVET+.

Commented [sz1]: Translate ke bahasa melayu

bagi memastikan keselarasan antara pendidikan teknikal dan keperluan pembangunan mampan. Hal ini kerana peralihan kepada ekonomi hijau dan digital menuntut tenaga kerja yang bukan sahaja berkemahiran teknikal, tetapi juga mempunyai kesedaran terhadap kelestarian dan keupayaan mengadaptasi teknologi hijau dalam amalan kerja (Paiho et al., 2023; Albertz, 2025). Dalam konteks ini, guru TVET memainkan peranan penting sebagai agen perubahan dalam membentuk generasi tenaga kerja yang lebih lestari dan bertanggungjawab.

3.6 Sintesis Analisis

Secara keseluruhan, kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) masih relevan sebagai asas dalam menjelaskan kompetensi guru TVET, khususnya dalam menekankan integrasi pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi yang menjadi teras pengajaran abad ke-21 (Koehler & Mishra, 2009; Voogt et al., 2013). Kerangka ini menyediakan landasan konseptual yang penting dalam membantu guru membuat keputusan pedagogi yang melibatkan penggunaan teknologi secara bermakna dan berfokus kepada pembelajaran pelajar. Walau bagaimanapun, dapatan analisis menunjukkan bahawa TPACK tidak lagi memadai jika digunakan secara bersendirian tanpa mengambil kira perubahan landskap industri, transformasi teknologi serta keperluan kemahiran masa hadapan. Perkembangan pesat dalam era Revolusi Industri 4.0, termasuk kemunculan kecerdasan buatan, automasi dan ekonomi hijau, telah mengubah jangkaan terhadap kompetensi tenaga kerja, sekali gus menuntut peranan guru TVET yang lebih kompleks dan berorientasikan industri (OECD, 2023; World Economic Forum, 2025). Dalam konteks ini, keterbatasan TPACK yang tidak secara eksplisit merangkumi dimensi kompetensi industri, pengalaman tempat kerja sebenar dan kebolehpasaran graduan menunjukkan keperluan kepada peluasan kerangka tersebut.

Sehubungan itu, pendekatan yang lebih sesuai bukanlah menggantikan TPACK secara keseluruhan, tetapi memperkukuh dan memperluasnya dengan memasukkan elemen kontekstual yang lebih selari dengan keperluan TVET semasa. Peluasan ini penting bagi memastikan kerangka kompetensi guru bukan sahaja relevan dari segi teori, tetapi juga praktikal dalam menyokong pengajaran yang berasaskan industri dan teknologi sebenar (UNESCO, 2021). Cadangan model TPACK-TVET+ dalam artikel ini merupakan satu usaha ke arah membangunkan kerangka yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan dimensi kompetensi industri, literasi digital lanjutan, kemahiran hijau dan kebolehpasaran. Dalam konteks Malaysia, penyesuaian kerangka kompetensi ini amat signifikan memandangkan negara sedang giat memperkukuh ekosistem TVET bagi memenuhi keperluan pembangunan ekonomi berasaskan kemahiran. Oleh itu, pembangunan kompetensi guru TVET yang lebih holistik dan kontekstual dilihat sebagai faktor kritikal dalam memastikan graduan yang dihasilkan bukan sahaja kompeten dari segi teknikal, tetapi juga adaptif, inovatif dan memenuhi keperluan industri masa hadapan.

4. Implikasi, Cadangan dan Kesimpulan

4.1 Implikasi kepada Dasar dan Sistem TVET Malaysia

Dapatan analisis konseptual ini menunjukkan bahawa pembangunan kompetensi guru TVET tidak lagi boleh dilihat dalam kerangka tradisional yang hanya menekankan pengetahuan kandungan dan kemahiran pedagogi asas semata-mata. Sebaliknya, sistem TVET Malaysia perlu bergerak ke arah pembangunan tenaga pengajar yang lebih dinamik, responsif dan berorientasikan masa hadapan selaras dengan keperluan industri dan transformasi digital (UNESCO, 2021; OECD, 2023).

Dalam konteks dasar negara, pelbagai inisiatif seperti Rancangan Malaysia Kedua Belas (RMK-12) telah menekankan kepentingan memperkukuh ekosistem TVET melalui peningkatan kualiti tenaga pengajar serta kebolehpasaran graduan (Unit Perancang Ekonomi, 2021). Walau bagaimanapun, cabaran utama yang masih wujud ialah jurang antara latihan di institusi pendidikan dengan kehendak industri sebenar. Sekiranya kompetensi guru tidak berkembang seiring dengan perubahan teknologi dan industri, jurang ini akan terus melebar dan menjejaskan keberkesanan sistem TVET. Sehubungan itu, kerangka TPACK yang diperkukuh melalui pendekatan kontekstual seperti model TPACK-TVET+ boleh dijadikan asas dalam merangka dasar pembangunan kompetensi guru TVET di Malaysia. Pendekatan ini membolehkan integrasi antara pengetahuan pedagogi, teknologi dan industri dilaksanakan secara lebih sistematik dan strategik.

4.2 Implikasi kepada Institusi Latihan Guru dan Pensyarah TVET

Institusi yang bertanggungjawab melatih bakal guru TVET perlu menilai semula kurikulum latihan sedia ada agar lebih selari dengan keperluan semasa. Program latihan guru tidak seharusnya tertumpu kepada teori pendidikan semata-mata, tetapi perlu mengintegrasikan elemen teknologi digital dan pendedahan industri secara menyeluruh. Dalam konteks ini, latihan guru TVET perlu menekankan keseimbangan antara empat komponen utama, iaitu pengetahuan kandungan teknikal, pedagogi berasaskan kemahiran, integrasi teknologi pendidikan dan pengalaman industri sebenar. Pendedahan kepada teknologi seperti simulasi digital, automasi, Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan perlu dimasukkan dalam latihan bagi memastikan bakal guru bersedia

menghadapi cabaran masa hadapan (Redecker, 2022). Selain itu, pensyarah TVET di institusi pengajian tinggi juga perlu memainkan peranan sebagai agen perubahan dengan mengamalkan pedagogi inovatif dan berasaskan teknologi. Ini penting kerana mereka menjadi model profesional kepada bakal guru TVET yang akan memasuki sistem pendidikan.

4.3 Implikasi kepada Pembangunan Profesional Berterusan (CPD)

Dalam era perubahan teknologi yang pesat, pembangunan profesional berterusan (Continuing Professional Development, CPD) merupakan aspek kritikal dalam memastikan guru TVET kekal relevan. Pengetahuan dan kemahiran yang diperoleh semasa latihan awal tidak lagi mencukupi untuk jangka masa panjang, terutamanya dalam bidang teknikal yang sentiasa berkembang. Oleh itu, pendekatan CPD perlu diperkukuh melalui pelbagai strategi seperti latihan berasaskan micro-credential, kursus modular berkaitan teknologi terkini, serta program peningkatan kemahiran dalam bidang kecerdasan buatan, automasi dan analitik data (OECD, 2021). Selain itu, penempatan industri atau industry attachment perlu dilaksanakan secara berkala bagi memberi peluang kepada guru memahami teknologi sebenar dan budaya kerja semasa. Komuniti pembelajaran profesional juga boleh memainkan peranan penting dalam membolehkan guru berkongsi amalan terbaik dan inovasi pengajaran. Di samping itu, galakan terhadap pensijilan profesional industri akan meningkatkan kredibiliti guru serta keyakinan mereka dalam menyampaikan latihan yang relevan kepada pelajar.

4.4 Implikasi kepada Pengajaran dan Pembelajaran TVET

Pengukuhan kompetensi guru TVET melalui pendekatan TPACK-TVET+ dijangka memberi impak positif terhadap keberkesanan pengajaran dan pembelajaran. Guru yang memiliki gabungan kompetensi pedagogi, teknologi dan industri berupaya menghubungkan teori dengan amalan sebenar, sekali gus meningkatkan kefahaman pelajar. Penggunaan teknologi seperti simulasi digital dan realiti maya dapat meningkatkan keselamatan pembelajaran serta membolehkan pelajar memahami konsep teknikal yang kompleks sebelum terlibat dalam latihan sebenar. Selain itu, pendekatan pembelajaran berasaskan projek dan penyelesaian masalah dapat meningkatkan kemahiran berfikir aras tinggi serta kebolehan pelajar dalam menyelesaikan cabaran dunia sebenar.

Keupayaan guru TVET membimbing pelajar dalam aspek kemahiran insaniah seperti komunikasi, kerja berpasukan dan kepimpinan merupakan elemen penting dalam meningkatkan kebolehpasaran graduan. Dalam konteks semasa, keperluan industri tidak lagi terhad kepada penguasaan kemahiran teknikal semata-mata, tetapi turut menekankan kebolehan berinteraksi, berkolaborasi dan menyesuaikan diri dalam persekitaran kerja yang dinamik dan kompleks (World Economic Forum, 2025; OECD, 2023). Oleh itu, guru TVET memainkan peranan strategik dalam mengintegrasikan pembangunan kemahiran insaniah secara tersirat dan tersurat dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Namun demikian, pembangunan kemahiran insaniah dalam TVET sering dilihat sebagai elemen sokongan berbanding komponen teras dalam kurikulum, menyebabkan pelaksanaannya kurang sistematik dan tidak konsisten. Situasi ini berpotensi menjejaskan kebolehpasaran graduan walaupun mereka memiliki kemahiran teknikal yang tinggi. Sehubungan itu, guru perlu mengadaptasi pendekatan pedagogi seperti pembelajaran berasaskan projek, pembelajaran kolaboratif dan penyelesaian masalah dunia sebenar bagi membangunkan kemahiran insaniah secara autentik (UNESCO, 2021). Selain itu, keupayaan guru untuk memodelkan amalan profesional, berkomunikasi secara efektif dan mewujudkan persekitaran pembelajaran yang kolaboratif turut mempengaruhi pembangunan kemahiran insaniah pelajar. Hal ini menunjukkan bahawa kompetensi guru TVET bukan sahaja melibatkan aspek teknikal dan pedagogi, tetapi juga merangkumi dimensi interpersonal dan profesional yang menyumbang secara langsung kepada pembentukan graduan yang holistik dan berdaya saing.

5. Cadangan Strategik untuk Malaysia

Berdasarkan analisis yang dijalankan, beberapa cadangan strategik dikemukakan bagi memperkukuh pembangunan kompetensi guru TVET di Malaysia. Pertama, perlu diwujudkan satu standard kompetensi guru TVET nasional yang merangkumi aspek pedagogi, teknologi, industri dan profesionalisme. Standard ini boleh dijadikan panduan dalam latihan guru serta penilaian prestasi. Kedua, model TPACK-TVET+ perlu diintegrasikan dalam kurikulum latihan guru bagi memastikan pembangunan kompetensi yang lebih holistik dan kontekstual. Ketiga, kerjasama antara institusi TVET dan industri perlu diperkukuh melalui program latihan industri, projek kolaboratif dan pemindahan teknologi. Ini penting bagi memastikan kurikulum dan latihan sentiasa relevan dengan keperluan semasa. Keempat, pendigitalan bengkel dan makmal perlu dipercepatkan melalui penyediaan kemudahan seperti smart lab, peralatan IoT dan teknologi simulasi bagi menyokong pembelajaran berasaskan teknologi. Kelima, penyelidikan dalam kalangan guru TVET perlu diperkasakan melalui galakan terhadap penyelidikan tindakan, inovasi pengajaran dan pembangunan modul pembelajaran berasaskan industri.

6. Kesimpulan

Secara keseluruhannya, kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) masih relevan sebagai asas dalam menjelaskan kompetensi guru TVET dalam era pendidikan digital. Kerangka ini menyediakan panduan penting dalam mengintegrasikan pengetahuan kandungan, pedagogi dan teknologi dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Walau bagaimanapun, perubahan pesat dalam teknologi dan keperluan industri menunjukkan bahawa TPACK tidak lagi mencukupi jika digunakan secara bersendirian. Guru TVET masa kini perlu memiliki kompetensi tambahan yang merangkumi aspek industri, literasi digital lanjutan, kemahiran hijau serta kebolehpasaran graduan (UNESCO, 2021; World Economic Forum, 2025).

Oleh itu, artikel ini mencadangkan peluasan kepada model TPACK-TVET sebagai kerangka yang lebih komprehensif dan kontekstual bagi pembangunan profesional guru TVET Malaysia. Dengan pendekatan ini, guru TVET dapat diperkasa untuk melahirkan graduan yang kompeten, adaptif dan berdaya saing dalam menghadapi cabaran masa hadapan. Akhirnya, kekuatan sistem TVET bergantung kepada kualiti gurunya. Sekiranya guru TVET dibangunkan dengan kompetensi yang tepat dan relevan, sistem pendidikan negara akan mampu menghasilkan tenaga kerja mahir yang menyumbang kepada pembangunan ekonomi, inovasi industri dan kesejahteraan masyarakat.

Penghargaan

Penulis merakamkan penghargaan kepada Kementerian Pendidikan Malaysia serta semua pihak yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam menyokong penulisan artikel ini. Sokongan dan kerjasama yang diberikan amat dihargai.

Konflik Kepentingan

Pengkaji mengisytiharkan bahawa tidak ada konflik kepentingan mengenai penerbitan kertas kajian ini ke atas diri pengkaji mahupun mana-mana pihak lain.

Sumbangan Penulis

Penulis bertanggungjawab terhadap konsep kajian, reka bentuk kajian, pengumpulan data, analisis data, tafsiran hasil dan pengubalan manuskrip.

Rujukan

- Ahmad, A., & Hamzah, R. (2022). Kompetensi guru TVET dalam era digital. *Jurnal Pendidikan Teknikal*, 14(2), 33–47.
- Albertz, A. (2025). Green skills in vocational education. *Journal of Vocational Education and Training*.
- Amdan, S., Abdullah, R., & Ali, F. (2024). Teachers' readiness and challenges in AI integration within Malaysian TVET institutions. *Journal of Technical Education Research*, 38(1), 25–39.
- Bakar, A. R., & Mohamed, S. (2021). TVET teacher competency in Malaysia: Challenges and future directions. *Journal of Technical Education and Training*, 13(2), 45–60.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C. C. (2013). A review of technological pedagogical content knowledge. *Educational Technology & Society*, 16(2), 31–51.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. UNESCO.
- Ibrahim, N., & Abdul Rahim, Z. (2024). Integrating green skills into the Malaysian TVET curriculum: A systematic review of literature. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(11).
- International Board of Standards for Training, Performance and Instruction. (2006). IBSTPI competency development model. IBSTPI.
- Ismail, A., & Hassan, R. (2022). Cabaran guru TVET dalam era digital. *Jurnal Pendidikan Malaysia*, 47(1), 89–102.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2022). *Pelan Transformasi Pendidikan Teknikal dan Vokasional (TVET)*. KPM.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Luckin, R. (2022). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL Press.

- Mat Yusoff, N., Ibrahim, H., & Saleh, N. (2025). Educators' knowledge and confidence in AI-enhanced pedagogy. *Malaysian Journal of Educational Technology*, 42(1), 66–80.
- Mulder, M. (2014). Conceptions of professional competence. *International Handbook of Research in Professional and Practice-based Learning*, 107–137.
- Ng, W. (2021). Digital literacy and technology integration in education. *Educational Technology Research and Development*, 69(2), 879–882.
- OECD. (2021). Teachers as lifelong learners: Insights from TALIS 2018. OECD Publishing.
- OECD. (2023). OECD skills outlook 2023: Skills for a resilient future. OECD Publishing.
- OECD. (2023). OECD skills outlook 2023. OECD Publishing.
- Paiho, S., et al. (2023). Green and digital transition in TVET. UNEVOC Research Brief.
- Pal, S., Bhattacharya, S., Mustafi, S., & Mitra, S. (2023). Smart green classroom and machine learning to promote green awareness. *International Journal of Instructional Technology and Educational Studies*, 4(1), 7–15.
- Pavlova, M. (2019). Technology and vocational education for sustainable development. Springer.
- Rahman, N., & Yusof, M. (2024). Pendigitalan pedagogi dalam pendidikan vokasional Malaysia. *Jurnal TVET Malaysia*, 8(1), 15–29.
- Rauner, F., & Maclean, R. (2021). Handbook of technical and vocational education and training research. Springer.
- Redecker, C. (2022). European framework for the digital competence of educators (DigCompEdu). European Commission.
- Setiyawan, A. (2025). Measuring teachers' competencies for AI integration using AI-TPACK framework. *Computers and Education: Artificial Intelligence*.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- UNESCO. (2021). Strategy for technical and vocational education and training (TVET) 2022–2029. UNESCO.
- UNESCO-UNEVOC. (2022). TVET and the future of work: Skills for sustainable development. UNESCO.
- Unit Perancang Ekonomi. (2021). Rancangan Malaysia Kedua Belas (RMK-12). Jabatan Perdana Menteri.
- Voogt, J., Fisser, P., Pareja Roblin, N., Tondeur, J., & van Braak, J. (2013). Technological pedagogical content knowledge – A review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(2), 109–121.
- World Economic Forum. (2023). The future of jobs report 2023. WEF.
- World Economic Forum. (2025). The future of jobs report 2025. WEF.