

META-SINTESIS: KONSEPTUALISASI *TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL AND CONTENT KNOWLEDGE* UNTUK MENDUKUNG PEMBELAJARAN MATEMATIKA YANG EFEKTIF

Sukirwan^{1*}, Hepsi Nindiasari²

^{1,2}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Raya Palka Km 3 Serang-Banten, 42163, Indonesia

E-mail: sukirwan@untirta.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 29 Oktober 2022

Revised: 20 Desember

Accepted: 20 Januari 2023

Keywords:

teaching and learning
mathematics, TPACK, TPMK

ABSTRACT

Ketika *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) secara fenomenal diakui sebagai kerangka kerja profesional guru, banyak para peneliti berlomba untuk mengkonseptualisasikan kerangka kerja tersebut berdasarkan pada disiplin ilmu. Hal ini menunjukkan bahwa TPACK merupakan kerangka kerja yang sifatnya terbuka untuk beragam pendekatan terutama dikaitkan dengan praktik pembelajaran. Dalam artikel ini, suatu metasintesis digunakan untuk menganalisis 8 buah jurnal dari 35 buah jurnal internasional pada rentang 2009-2022 yang dipandang relevan dan paling merepresentasikan keragaman dari konseptualisasi TPACK pada pembelajaran matematika. Pengumpulan data dilakukan dengan pendekatan meta-agregasi dimulai dari: memformulasikan pertanyaan penelitian, penelusuran literatur jurnal, analisis-sintesis temuan kualitatif, dan pengendalian mutu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TPACK dalam matematika (disebutkan sebagai *Technological, Pedagogical, Mathematical Knowledge/TPMK*) dikonseptualisasikan secara berbeda-beda berdasarkan karakteristik yang termuat pada pengetahuan dasar: TK (*Technological Knowledge*), CK (*Content Knowledge*)/MCK (*Mathematical Content Knowledge*), dan PK (*Pedagogical Knowledge*). Ketiga pengetahuan dasar ini tentu saja akan turut mempengaruhi konseptualisasi pengetahuan perantara: TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*), TMK (*Technological Mathematical Content Knowledge*), PMK (*Pedagogical Mathematical Content Knowledge*), dan TPMK.

*While Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) is phenomenally recognized as a professional teacher framework, many researchers are competing to conceptualize that framework based on disciplines. This shows that TPACK is a framework that is open to various approaches, especially related to learning practices. In this article, a meta-synthesis is used to analyze 8 journals out of 35 international journals in the 2009-2022 range which are considered relevant and best represent the diversity of TPACK conceptualization in teaching and learning mathematics. Data collection was carried out using a meta-aggregation approach, starting from: formulating research questions, searching journal literature, analyzing qualitative findings, and quality control. The results of the study show that TPACK in mathematics (referred to as *Technological, Pedagogical, Mathematical Knowledge/TPMK*) is conceptualized differently based on the characteristics contained in basic knowledge: TK (*Technological Knowledge*), CK (*Content Knowledge*)/MCK (*Mathematical Content Knowledge*), and PK (*Pedagogical Knowledge*). Of course, these three basic knowledge*

will influence the conceptualization of intermediate knowledge: TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*), TMK (*Technological Mathematical Content Knowledge*), PMK (*Pedagogical Mathematical Content Knowledge*), and TPMK.

Copyright © 2023 Universitas Siliwangi
All rights reserved

How to Cite:

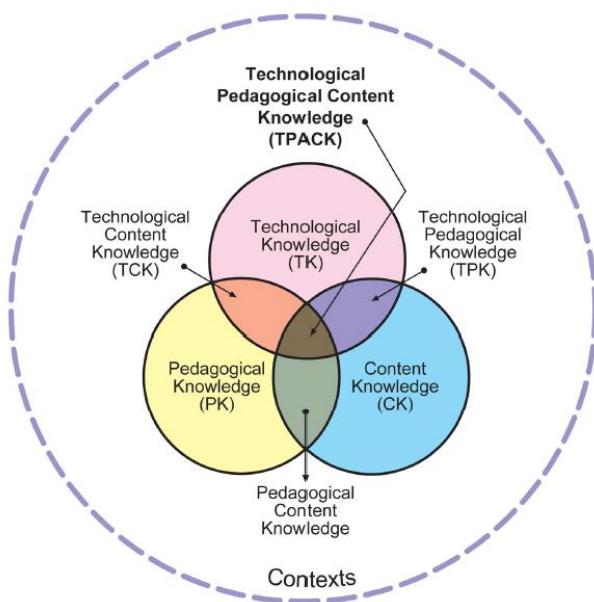
Sukirwan & Nindiasari, H. (2023). Meta-Sintesis: Konseptualisasi *Technological Pedagogical and Content Knowledge* untuk Mendukung Pembelajaran Matematika yang Efektif. *Journal of Authentic Research on Mathematics Education*, 5(1), 85-98. <https://doi.org/10.37058/jarme.v5i1.5719>

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun ini, profesionalisme guru menjadi salah satu bagian dari agenda nasional reformasi pendidikan (Sukmawati, 2016). Profesionalisme tersebut berkaitan erat dengan pengetahuan guru dalam menyelenggarakan pembelajaran yang efektif, di mulai dari merancang pembelajaran, menyajikan pembelajaran, mengevaluasi pembelajaran, dan merevisi pembelajaran untuk perbaikan pembelajaran berikutnya. Pada praktiknya, seorang guru yang profesional adalah guru yang memiliki pengetahuan yang baik tentang konten materi dan mampu menyampaikannya. Pengetahuan seperti ini telah lama dikonseptualisasikan oleh Shulman (1986) sebagai *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*. Belakangan, teknologi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari PCK yang selanjutnya dikonseptualisasikan oleh Mishra & Koehler (2006) sebagai *Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK)*.

Konsep tentang TPACK banyak diadopsi oleh para peneliti dalam berbagai disiplin ilmu. Para peneliti juga mendefinisikan TPACK sebagai pengetahuan profesionalisme guru untuk integrasi teknologi dalam pembelajaran (Koh, 2019). Definisi tersebut tidak hanya memuat tentang bagaimana teknologi mendukung terhadap pembelajaran, tetapi bagaimana transformasi terjadi hingga mencapai TPACK (Ay *et al.*, 2015; Graham, 2011; Jang & Chen, 2010). Beragam konsep yang kemudian dipandang sebagai kerangka kerja TPACK diusulkan oleh para peneliti, dimulai dari Mishra & Koehler (2006) yang memodelkan 7 (tujuh) pengetahuan TPACK, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

Menurut Mishra & Koehler (2006), terdapat 7 (tujuh) komponen utama pembentuk TPACK, yaitu: TK (*Technological Knowledge*), CK (*Content Knowledge*), PK (*Pedagogical Knowledge*), TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*), TCK (*Technological Content Knowledge*), PCK (*Pedagogical Content Knowledge*), dan TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*). TK merupakan pengetahuan tentang teknologi yang mendukung terhadap pembelajaran; CK merupakan pengetahuan tentang isi materi yang diajarkan sesuai kurikulum, mencakup: teori, konsep, gagasan, serta metode yang diterapkan dalam kehidupan sehari-hari; sedangkan PK merupakan pengetahuan tentang strategi dan metode pengajaran, mencakup: tujuan, proses, strategi pembelajaran, penilaian dan lain-lain. Ketiga pengetahuan tersebut merupakan pengetahuan dasar yang menjadi komponen utama profesionalisme guru. Untuk menciptakan praktik pembelajaran yang efektif, guru perlu memiliki pengetahuan yang mengintegrasikan ketiga pengetahuan dasar menjadi pengetahuan perantara, yaitu: TPK, TCK, dan PCK.



Gambar 1. Kerangka Kerja TPACK (Mishra & Koehler, 2006)

TPK merupakan pengetahuan tentang pemanfaatan teknologi yang mendukung terhadap pembelajaran secara aktif serta membantu dan mempermudah penyampaian konsep yang dipelajari. Menurut Schmid *et al.* (2021), TPK membutuhkan pengetahuan tentang kerugian dan keuntungan penerapan teknologi dalam proses pembelajaran. Sebagai contoh: penggunaan *software* GeoGebra untuk memfasilitasi pembelajaran berbasis masalah dalam menemukan teorema Pythagoras atau penggunaan *powerpoint* untuk memfasilitasi inkuiри terbimbing dalam menentukan sifat-sifat kubus dan balok, dan sebagainya. PCK merupakan pengetahuan tentang model pembelajaran yang menghantarkan materi pembelajaran sebagaimana tertuang dalam kurikulum (Koehler *et al.*, 2011). Model pembelajaran tersebut diharapkan dapat memfasilitasi peserta didik belajar secara efektif. Contohnya, penggunaan model pembelajaran berbasis projek untuk memfasilitas peserta didik dalam pembelajaran bangun ruang sisi datar atau pembelajaran penemuan (*discovery learning*) untuk menemukan luas lingkaran dengan pendekatan luas segitiga. TCK merupakan pengetahuan tentang teknologi dan konten materi yang membantu serta mempengaruhi komponen yang lain (Koehler *et al.*, 2007). Contohnya, penggunaan *software* GSP untuk pembelajaran bangun datar atau *software* Autograph untuk pembelajaran garis lurus.

Trasformasi dari pengetahuan dasar ke pengetahuan perantara mendorong guru untuk mengintegrasikan ketiga pengetahuan dasar ke dalam TPACK. Dengan kata lain, TPACK akan tercapai manakala transformasi terjadi dari pengetahuan dasar ke pengetahuan perantara (Archambault & Barnett, 2010; Ay *et al.*, 2015; Koh & Chai, 2016; Santos & Castro, 2021). Konsep integrasi ini dapat dimaknai sebagai keterlibatan berbagai domain teknologi, konten materi, dan pedagogi untuk mendukung profesionalisme guru dalam menyajikan pembelajaran yang efektif dan efisien (Huang & Lajoie, 2021). Contohnya, penggunaan *software* Cabri Geometry dengan model inkuiри terbimbing untuk membantu peserta didik dalam memahami materi lingkaran atau Maple untuk pembelajaran Integral dengan model generatif, dan sebagainya.

Meskipun kerangka kerja TPACK telah dikonseptualisasikan secara spesifik berdasarkan pada interaksi antar komponen-komponen pembentuknya, namun untuk mempraktikkan kerangka kerja tersebut pada suatu pembelajaran nampaknya bukanlah hal yang mudah. Misalnya, ketika suatu teknologi dipilih untuk mendukung terhadap pembelajaran, apakah teknologi tersebut bersifat tunggal atau sesuai dengan komponen

yang diintegrasikan? Jika teknologi yang dipilih tidak tunggal, bagaimana TPACK dikonseptualisasikan sebagai integrasi dari ketiga pengetahuan perantara? Berdasarkan pada situasi ini, para peneliti kemudian berlomba untuk merekonseptualisasikan kerangka kerja TPACK sesuai dengan disiplin ilmu masing-masing. Kendatipun begitu, tidak sedikit peneliti yang tetap menggunakan kerangka kerja TPACK Mishra & Koehler (2006) sebagai kerangka utama untuk mengkonstruksi TPACK yang dianggap paling aktual. Sebagai contoh: validasi keterkaitan antar komponen TPACK (Akyuz, 2018; Lachner *et al.*, 2021; Saengbanchong *et al.*, 2014; Scherer *et al.*, 2018; Schmid *et al.*, 2020), hubungan antara keyakinan dan kemandirian guru terhadap TPACK (Baya'a & Daher, 2015; Kim, 2018; Kramarski & Michalsky, 2010; Shahhida *et al.*, 2020; Uçar *et al.*, 2014; Urban *et al.*, 2018); TPACK dan pencapaian prestasi peserta didik (Aliustaoğlu & Tuna, 2021; Erdogan & Sahin, 2010); dan lain-lain.

Dalam bidang pendidikan matematika, para peneliti merekonseptualisasikan *Technological Pedagogical Mathematical Knowledge (TPMK)* sebagai pengetahuan profesionalisme guru untuk mengintegrasikan teknologi pada pembelajaran matematika (Chai *et al.*, 2016; Koh, 2019). Seperti halnya TPACK, TPMK memuat 7 (tujuh) komponen utama, yaitu: pengetahuan dasar yang terdiri dari: TK (*Technological Knowledge*), PK (*Pedagogical Knowledge*), dan MCK (*Mathematical Content Knowledge*); pengetahuan perantara yang terdiri dari: MPK (*Mathematical Pedagogical Knowledge*), TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*), dan MTK (*Mathematical Tehnological Knowledge*); serta TPMK atau MTPK (*Technological Pedagogical Mathematical Knowledge*) (Zambak & Tyminski, 2020). MTK merupakan perpaduan (irisan) antara MCK dan TK, sedangkan MPK merupakan perpaduan antara PK dan MCK. Definisi tentang MTK hampir tidak berbeda dengan TCK sebagaimana didefinisikan oleh Koehler *et al.* (2011). Menurut Zambak & Tyminski (2020), MTK merupakan pengetahuan konten matematika guru yang ditransformasikan oleh teknologi khusus terkini pada mata pelajaran (matematika). Demikian pula, MPK merupakan pengetahuan konten matematika guru yang ditransformasikan melalui model pembelajaran sehingga konten matematika dapat difahami dengan baik oleh peserta didik.

Dengan mengadaptasi kerangka kerja TPACK, TPMK dipandang memadai untuk mendukung terhadap pembelajaran matematika yang efektif. Meskipun demikian, sebagian peneliti nampaknya masih perlu menjabarkan pengetahuan khusus yang harus dikuasai oleh guru, terutama pada pengetahuan dasar TPMK (Loong & Herbert, 2018). Pada peneliti menyadari bahwa pengetahuan dasar (terutama pengetahuan dasar matematis) yang harus dikuasai oleh guru matematika begitu kompleks. Dalam hal ini, guru yang menguasai suatu konten matematis belum tentu cukup untuk kemudian dipandang telah memiliki MCK. Sebagai contoh, seorang guru telah mampu mengidentifikasi sifat-sifat kubus melalui gambar; namun untuk menentukan apakah diagonal ruang-diagonal ruang suatu kubus saling tegak lurus atau tidak, guru perlu memahami *spatial thinking*, misalnya melalui hubungan antar unsur kubus (*intertwinment*) pada media virtual.

Beberapa peneliti, seperti Delgado-Rebolledo & Zakaryan (2020), menjabarkan tentang MCK, mencakup: pengetahuan tentang topik, pengetahuan tentang struktur matematika, dan pengetahuan tentang praktik matematika. Ada juga, Niess (2001) yang memodelkan tentang bagaimana teknologi dapat diintegrasikan dalam pembelajaran matematika. Artikel ini ingin mengulas tentang bagaimana para peneliti merekonstruksi TPMK dengan harapan memperoleh informasi tentang: (1) bagaimana TPMK dikonseptualisasikan, (2) peluang TPMK untuk pengembangan penelitian baru dikemudian hari. Dengan menggunakan meta-sistesis atau *systematic review*, artikel ini fokus pada rekonstruksi TPMK serta entitas dari masing-masing komponen TPMK.

2. METODE

Suatu kajian meta-sintesis dengan pendekatan meta-agregasi digunakan untuk merangkum berbagai hasil penelitian yang berkaitan dengan tema TPMK. Menurut Lewin (Arissaryadin *et al.*, 2021), meta-agregasi bertujuan untuk menjawab pertanyaan penelitian sehingga diperoleh *agregat* dari berbagai hasil penelitian yang relevan dengan tema yang ditetapkan. Untuk menelusuri artikel yang berkaitan dengan tema penelitian digunakan 2 kata kunci, yaitu: TPMK, dan TPACK dalam pembelajaran matematika. Prosedur penelitian yang digunakan mengacu kepada prosedur meta-sintesis Korkmaz & Morali (2022), meliputi: (1) pendesainan meta-sintesis, yakni tahapan di mana tujuan, subjek, dan pertanyaan penelitian ditentukan, (2) tinjauan literatur, penelusuran literatur menggunakan kriteria (inklusif-eksklusif) dan kata kunci yang ditetapkan, (3) membaca dan mengevaluasi artikel, mencermati konten artikel yang relevan dengan TPMK, (4) analisis data, menyusun kategori dan sub kategori berdasarkan pada pertanyaan penelitian, (5) perpaduan, memadukan dan mensistesis berbagai temuan penelitian, dan (6) pelaporan dan presentasi, merangkum berbagai temuan dalam hasil penelitian dan pembahasan yang dibandingkan dengan penelitian serupa.

Dari hasil penelusuran terhadap 35 buah artikel jurnal internasional yang berkaitan dengan TPMK pada rentang 2009-2022 diperoleh 8 buah artikel yang paling relevan dengan pertanyaan penelitian, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Review Artikel Tema TPMK

Pengarang	Judul Artikel	Sumber	Tema
Erdogan & Sahin (2010)	<i>Relationship between math teacher candidates' Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) and achievement levels</i>	Procedia: Social and Behavioral Sciences DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.400	TPACK calon guru matematika dan pencapaian prestasi peserta didik
Bowers & Stephens (2011)	<i>Using technology to explore mathematical relationships: A framework for orienting mathematics courses for prospective teachers</i>	Journal of Mathematics Teacher Education DOI: https://doi.org/10.1007/s10857-011-9168-x	Integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika
Nyikahadzoyi (2015)	<i>Teachers' knowledge of the concept of a function: A theoretical framework</i>	International Journal of Science and Mathematics Education DOI: https://doi.org/10.1007/s10763-013-9486-9	Komponen pengetahuan guru dalam konsep fungsi
Lim <i>et al.</i> (2016)	<i>Developing teachers' Technological Pedagogical Mathematical Knowledge (TPMK) to Build Students' Capacity to Think and Communicate in Mathematics Classrooms</i>	Future Learning in Primary Schools DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-287-579-2_9	Konseptualisasi TPMK
Carrillo-Yáñez <i>et al.</i> (2018)	<i>The mathematics teacher's specialised knowledge (MTSK) model</i>	Research in Mathematics Education DOI: https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1479981	Model pengetahuan khusus guru matematika
Loong Herbert (2018)	<i>Primary school teachers' use of digital technology in mathematics: the complexities</i>	Mathematics Education Research Journal DOI: https://doi.org/10.1007/s10857-018-9479-1	Model integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika

		3394-018-0235-9
Delgado-Rebolledo & Zakaryan (2020)	<i>Relationships Between the Knowledge of Practices in Mathematics and the Pedagogical Content Knowledge of a Mathematics Lecturer</i>	International Journal of Science and Mathematics Education Sub komponen PCK dan MCK Education DOI: https://doi.org/10.1007/s10763-019-09977-0
(Zambak & Tyminski, 2020)	<i>Examining mathematical technological knowledge of pre-service middle grades teachers with Geometer's Sketchpad in a geometry course</i>	International Journal of Mathematical Education in TPMK Science and Technology DOI: https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1650302

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai kerangka kerja TPMK berdasarkan hasil review terhadap jurnal-jurnal pokok yang secara khusus mengulas tentang TPMK maupun penerapan TPACK dalam pembelajaran matematika.

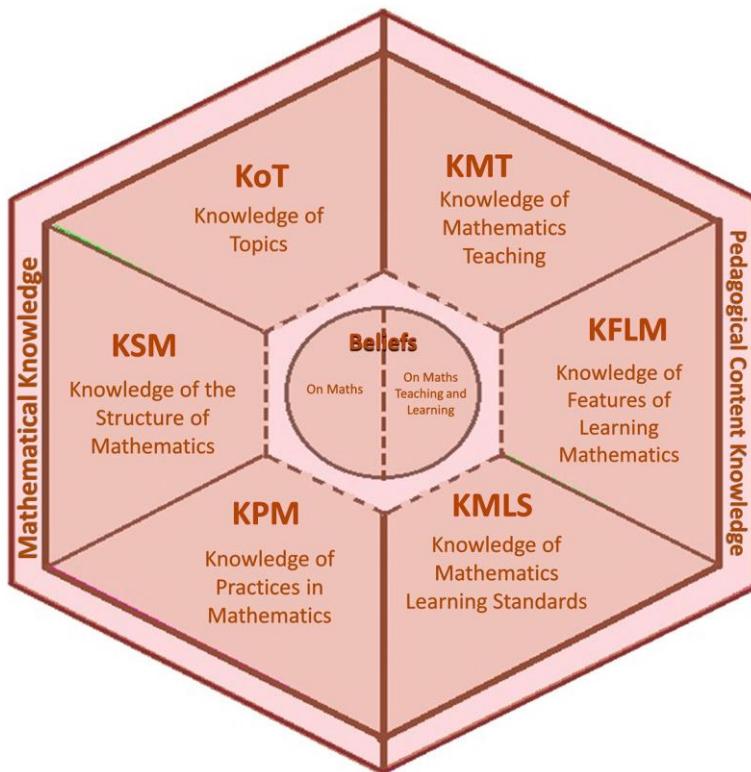
Model Pengetahuan Khusus Guru Matematika

Pada saat Shulman (1986) mengusulkan tentang kerangka kerja PCK, (Carrillo-Yañez *et al.*, 2018) mencoba untuk mendefinisikan tentang pengetahuan khusus guru matematika (*the mathematics teacher's specialised knowledge*). Konsepsi tentang pengetahuan ini juga diadopsi oleh Delgado-Rebolledo & Zakaryan (2020) yang mengulas tentang hubungan antara praktik dalam matematika dan PCK dosen matematika. Dengan demikian, isi dari pengetahuan khusus guru matematika (PKGM) merupakan penjabaran dari PCK atau semacam pendefinisian ulang PCK yang berkaitan dengan matematika.

Carrillo-Yañez *et al.* (2018) mengungkapkan bahwa PKGM adalah model analisis dan alat metodologis untuk memahami pengetahuan dan praktik mengajar guru matematika. PKGM memiliki dua domain pengetahuan guru, yaitu: MK (*Mathematical Knowledge*), dan PCK (*Pedagogical Content Knowledge*). Pada praktiknya, MK berkaitan dengan keyakinan tentang bagaimana matematika dipelajari, sedangkan PCK berkaitan dengan bagaimana matematika diajarkan. MK dalam model PKGM terdiri dari 3 subdomain, yaitu: KoT (*Knowledge of Topics*), KSM (*Knowledge of the Structure of Mathematics*), dan KPM (*Knowledge of Practices in Mathematics*). Sedangkan PCK dalam model PKGM juga terdiri dari 3 subdomain, yaitu: KMT (*Knowledge of Mathematics Teaching*), KFLM (*Knowledge of Feature of Learning Mathematics*), dan KLMS (*Knowledge of Mathematics Learning Standards*). Untuk melihat lebih detail mengenai model PKGM dapat dilihat pada Gambar 2.

KoT menjelaskan tentang apa (*what*) dan dengan cara apa (*in what way*) guru dapat mengetahui topik-topik matematika yang diajarkan. Hal tersebut menyiratkan pengetahuan mendalam tentang konten matematika (konsep, prinsip, fakta, prosedur, teorema) yang harus dipelajari peserta didik secara mendalam, lebih formal dan ketat. Di samping itu, Sebagai contoh, seorang guru matematika yang memahami konsep perkalian bilangan bulat mesti memahami tentang definisi perkalian secara umum juga prinsip induktif perkalian. KSM menguraikan pengetahuan guru tentang koneksi antar item matematika. Koneksi dalam pengetahuan ini dapat mencakup: koneksi berdasarkan simplifikasi, koneksi berdasarkan peningkatan kompleksitas, koneksi bantu, dan koneksi melintang. Sebagai contoh bagaimana guru membuat koneksi berdasarkan simplifikasi dengan menyederhanakan: $1 + (1/2)/3$. Sedangkan, KPM merupakan aktivitas matematika yang dilakukan secara sistematis serta merepresentasikan pilar dari

penciptaan matematis dan sesuai dengan dasar logika dari aturan yang dapat diekstraksi. Yang dimaksud dengan KPM bukan terkait dengan bagaimana mengajarkan matematika, tetapi bagaimana cara kerja matematika. Termasuk ke dalam KPM adalah aktivitas dalam menjustifikasi, mendemonstrasikan, mendefinisikan, membuat contoh dan non-contoh, dan membuat pembuktian deduksi-induksi.



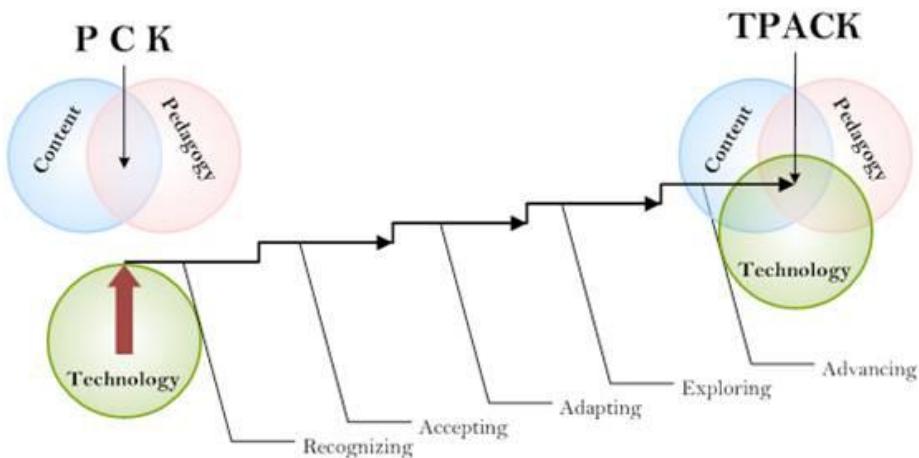
Gambar 2. Model Pengetahuan Khusus Guru Matematika (Carrillo-Yáñez *et al.*, 2018)

KMT menjelaskan tentang pengetahuan yang secara intrinsik terkait dengan konten dan mengesampingkan aspek pengetahuan pedagogis umum. KMT mencakup 3 kategori, yaitu: kategori teori pengajaran matematika, kategori sumber pengajaran, dan kategori strategi, teknik, tugas dan contoh. Kategori teori pengajaran matematika mencakup pengetahuan tentang teori pengajaran formal yang berasal dari penelitian pendidikan matematika (seperti teori antropologi didaktik) atau bisa saja teori pengajaran pribadi (misalnya *Local Instructional Theory*) yang dibangun berdasarkan refleksi pembelajaran matematika. Kategori sumber pengajaran mencakup pengetahuan tentang potensi, ciri, dan manfaat atau keterbatasan matematika yang dimiliki bahan atau sumber daya teknologi serta memungkinkan menjadi instrumen pengajaran. Misalnya pengetahuan guru tentang lembar kerja peserta didik (LKPD) yang efektif untuk pembelajaran termasuk ke dalam kategori ini. Kategori strategi, teknik, tugas dan contoh meliputi unsur-unsur yang berkaitan dengan pengetahuan tentang analogi, metafora, dan contoh-contoh yang berguna bagi guru dalam menjelaskan suatu konten matematika. KFLM menjelaskan pengetahuan guru tentang fenomena yang terjadi ketika seorang peserta didik memahami suatu topik matematika. Terdapat 4 kategori yang berkaitan dengan pengetahuan ini, yaitu: pengetahuan tentang teori pembelajaran matematika, kekuatan dan kelemahan pembelajaran matematika, cara di mana peserta didik berinteraksi dengan konten matematika, serta aspek emosional dalam pembelajaran matematika. Kategori pengetahuan tentang teori pembelajaran mencakup pengetahuan guru tentang perkembangan kognitif peserta didik, seperti teori APOS atau teori Piaget. Kategori kekuatan dan kelemahan pembelajaran matematika mengacu pada

pengetahuan tentang kapasitas potensial, kesalahan, kesulitan, dan hambatan yang dihadapi peserta didik dalam mempelajari konsep matematika, seperti: kekeliruan dalam menentukan operasi hitung bilangan bulat, perbedaan antara unsur dan sifat, dan sebagainya. Kategori cara di mana peserta didik berinteraksi dengan konten matematika berkaitan dengan pengetahuan guru tentang strategi dan proses kebiasaan (atau hal yang tidak biasa) yang digunakan oleh peserta didik untuk melakukan aktivitas matematika termasuk kemungkinan bahasa atau kosa kata yang digunakan peserta didik pada waktu berbicara tentang konten tertentu. Sebagai contoh, seorang guru menyadari ketika peserta didik menginterpretasikan sifat "ketaksamaan" dengan "tak sama/tidak sama". Kategori aspek emosional dalam belajar matematika berkaitan dengan pengetahuan guru tentang apa minat, harapan, serta memotivasi peserta didik terhadap matematika. Contohnya, guru harus menyadari ketika peserta didik menganggap bahwa aljabar lebih mudah daripada geometri. KMLS menjelaskan pengetahuan guru tentang standar pembelajaran matematika yang tercantum dalam kurikulum atau diusulkan oleh organisasi profesi (seperti: IndoMs, MGMP, dan lain sebagainya). Pengatahan ini meliputi 3 kategori, yaitu: hasil belajar yang diharapkan, tingkat pengembangan konseptual atau prosedural yang diharapkan, serta urutan topik. Kategori hasil belajar yang diharapkan berkenaan dengan pengetahuan guru tentang konten matematika yang diajarkan. Contohnya, guru mengetahui bahwa ketika mengajarkan Sistem Persamaan Linier Dua Peubah (SPLDV) diharapkan peserta didik dapat menentukan penyelesaian SPLDV dan menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan SPLDV. Kategori tingkat pengembangan konseptual atau prosedural yang diharapkan berkaitan dengan pengetahuan guru tentang kedalaman topik matematika yang dipelajari pada jenjang tertentu. Contohnya, guru mengetahui bahwa untuk memahami tentang geometri, maka peserta didik harus mencapai kompetensi spasial. Kategori urutan topik berkaitan dengan pengetahuan guru tentang standar pembelajaran yang menunjukkan bagaimana suatu topik matematika diajarkan secara berurutan. Contohnya, guru mengetahui tentang pembelajaran bilangan sebelum mengajarkan aritmatika sosial.

Model Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran Matematika

Model ini awalnya diusulkan oleh Niess (2001) yang kemudian diadopsi oleh Loong & Herbert (2018) bahwa kemajuan guru matematika pada integrasi teknologi dalam pembelajaran, dapat diamati dari 5 tahap proses pengembangan, yaitu: (1) *recognising (knowledge)*, (2) *accepting (persuasion)*, (3) *adapting (decision)*, (4) *exploring (implementation)*, dan (5) *advancing (confirmation)*. *Recognising* adalah kondisi di mana guru sudah mampu menggunakan dan menyelaraskan teknologi dengan konten matematika, tetapi belum mampu mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran matematika. *Acepting* adalah kondisi di mana guru menyenangi atau tidak menyenangi pembelajaran matematika menggunakan teknologi yang tepat. *Adapting* adalah kondisi di mana guru terlibat dalam aktivitis yang mengarah kepada memilih untuk menerima atau menolak pembelajaran matematika menggunakan teknologi yang tepat. *Exploring* adalah kondisi di mana secara aktif mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran matematika. *Advancing* adalah kondisi di mana guru mengevaluasi keputusan untuk mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran.

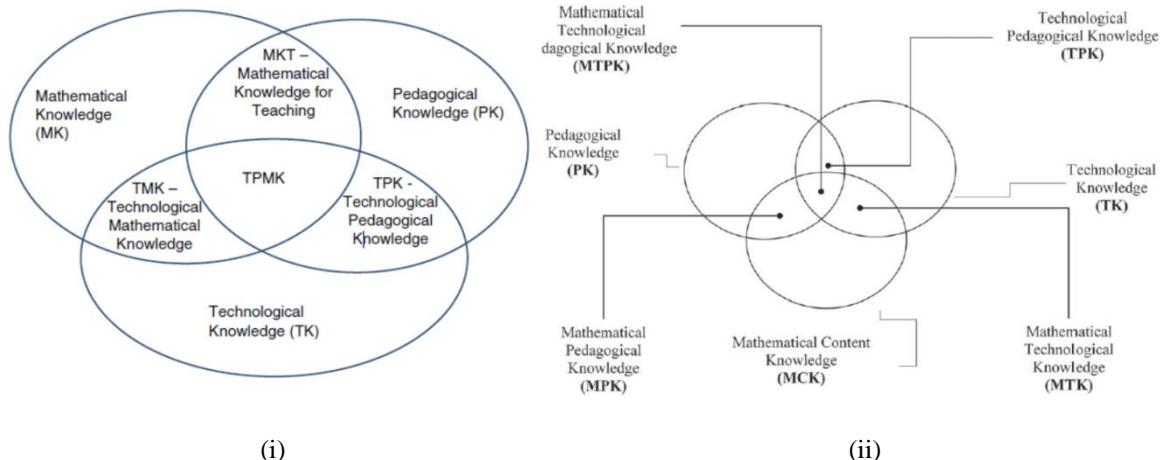


Gambar 3. Model Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran Matematika (Niess, 2001)

Selain model Niess (2001), ada juga model SARMS (*Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*) yang dikemukakan oleh Puentedura (Romrell *et al.*, 2014). Menurut model ini, teknologi dapat diintegrasikan dalam pembelajaran melalui: *substitution* (cara di mana teknologi bertindak sebagai alat, tanpa merubah fungsinya), *augmentation* (cara di mana teknologi bertindak sebagai alat pengganti dengan peningkatan fungsinya), *modification* (cara di mana teknologi memungkinkan untuk mendesain ulang tugas yang signifikan), *redefinition* (cara di mana teknologi memungkinkan terciptanya tugas-tugas baru yang sebelumnya tidak pernah terbayangkan). Loong & Herbert (2018) menguraikan bahwa model mendefinisikan *Substitution* (S) dan *Augmentation* (A) sebagai cara untuk meningkatkan tugas pembelajaran, sedangkan *Modification* (M) dan *Redefinition* (R) memungkinkan terjadinya transformasi pembelajaran melalui desain ulang tugas atau pembuatan tugas baru yang sebelumnya tidak terbayangkan.

Model *Technological Pedagogical Mathematical Knowledge* (TPMK) atau *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) dalam Pembelajaran Matematika

Model ini mengadopsi model TPACK Mishra & Koehler (2006) dengan memodifikasi CK (*Content Knowledge*) sebagai MK (*Mathematical Knowledge*) (Lim *et al.*, 2016) atau MCK (*Mathematical Content Knowledge*) (Zambak & Tyminski, 2020), serta PK (*Pedagogical Knowledge*) dan TK (*Technological Knowledge*). Interaksi antara TK dan MK atau MCK menjadi TMK (*Technological Mathematical Knowledge*) atau MTK (*Mathematical Technological Knowledge*). Interaksi antara TK dan PK menjadi TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*). Interaksi antara PK dan MK atau MCK menjadi MKT (*Mathematical Knowledge for Teaching*) atau MPK (*Mathematical Pedagogical Knowledge*). Selanjutnya, interaksi antara TPK, TMK atau MTK, dan MKT atau MPK menjadi TPMK (*Technological Pedagogical Mathematical Knowledge*) (Koh, 2019; Lim *et al.*, 2016) atau MTPK (*Mathematical Technological Pedagogical Knowledge*) (Zambak & Tyminski, 2020). Model TPMK atau MTPK selengkapnya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model TPMK (Lim *et al.*, 2016) dan MTPK (Zambak & Tyminski, 2020)

Dengan berpatokan pada kerangka kerja TPACK, TPMK atau MTPK memiliki konseptualisasi yang hampir sama. MK atau MCK didefinisikan sebagai pengetahuan guru tentang konten matematika, TK didefinisikan sebagai pengetahuan guru tentang berbagai macam teknologi, sedangkan PK didefinisikan sebagai pengetahuan guru tentang proses atau metode pembelajaran. TMK atau MKT didefinisikan sebagai pengetahuan guru tentang teknologi yang digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan matematika, TPK didefinisikan sebagai pengetahuan guru dalam menggunakan teknologi untuk menerapkan berbagai metode pembelajaran, sedangkan MTK atau MPK didefinsikan pengetahuan konten pedagogis guru untuk pengajaran matematika. Berikutnya, TPMK atau MTPK didefinisikan sebagai pengetahuan guru dalam penggunaan teknologi untuk mengimplementasikan model, metode ataupun strategi pembelajaran matematika.

Rekonstruksi pada TPACK menjadi TPMK atau MTPK pada dasarnya adalah upaya para peneliti untuk menciptakan suatu kerangka didaktis-pedagogis-teknologis untuk mendukung pembelajaran matematika yang efektif. Hal ini telah ditunjukkan oleh Erdogan & Sahin (2010) bahwa ada korelasi yang signifikan antara TPACK guru dengan pencapaian hasil belajar matematika peserta didik, di mana semakin kuat TPACK guru maka keberhasilan belajar akan semakin tinggi. Di samping itu, konsepsi TPACK nampaknya sangat terbuka terhadap perubahan dan pengembangan. Nyikahadzoyi (2015), misalnya mencoba mensubstitusikan kerangka pengetahuan guru Ball *et al.* (2005) dan juga Shulman (1986) ke dalam kerangka kerja TPACK. TPACK selanjutnya direkonstruksi pada komponen CK dan PCK, masing-masing meliputi: subkomponen CCK (*Common Content Knowledge*), SCK (*Specialized Content Knowledge*), dan HCK (*Horizon Content Knowledge*), serta subkomponen KC (*Knowledge of Curriculum*), KCS (*Knowledge of Content and Students*), dan KCT (*Knowledge of Content and Teaching*).

4. SIMPULAN

Dari beragam model yang menyajikan tentang kerangka kerja TPACK, nampak bahwa para peneliti telah berupaya untuk mengkonseptualisasikan kembali TPACK ditinjau dari berbagai disiplin ilmu. Hal ini tentunya telah digariskan oleh Shulman (1986) tentang bagaimana upaya seorang guru untuk memikirkan cara menyajikan pembelajaran secara efektif dan efisien. Pemikiran ini kemudian memunculkan suatu perspektif tentang berbagai pengetahuan yang harus dimiliki guru yang dikonstruksikan pada 3 pengetahuan dasar, yaitu: pengetahuan pedagogis, pengetahuan konten, dan pengetahuan teknologis (disempurnakan oleh Mishra & Koehler, 2006). Dalam

praktiknya, pengetahuan pedagogis tidak hanya berorientasi pada bagaimana guru menyampaikan pengetahuan (*transfer of knowledge*) tetapi guru harus memiliki pengetahuan tentang standar pembelajaran, model-model pembelajaran yang efektif, serta karakteristik dari peserta didik. Demikian pula, pengetahuan konten tidak hanya berorientasi pada penguasaan guru terhadap materi tertentu tetapi ada beragam aspek yang harus dikuasai, seperti: struktur matematis, praktik matematis (seperti: heuristik), dan lain sebagainya. Pada komponen pengetahuan teknologi, kemampuan guru terhadap adaptasi teknologi dalam pembelajaran juga bervariatif. Hal ini memungkinkan adanya stratifikasi penggunaan teknologi dalam pembelajaran yang tentunya akan sangat berpengaruh terhadap cara penyajian dan hasil pembelajaran. Berdasarkan kajian terhadap berbagai konseptualisasi TPACK selanjutnya dapat diperoleh 2 hal: (1) TPACK sangat terbuka untuk dikonseptualisasikan kembali berdasarkan pada pengetahuan-pengetahuan baru yang harus dimiliki oleh guru, (2) substitusi dari pengetahuan baru terhadap kerangka kerja TPACK membuka peluang untuk penelitian baru, misalnya subsitusi model PKGM ke dalam TPACK ataupun TPMK.

REFERENSI

- Akyuz, D. (2018). Measuring Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) through performance assessment. *Computers and Education*, 125, 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.012>
- Aliustaoglu, F., & Tuna, A. (2021). Examining the pedagogical content knowledge of prospective mathematics teachers on the subject of limits. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 52(6), 833–856. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1703148>
- Archambault, L. M., & Barnett, J. H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers and Education*, 55(4), 1656–1662. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.07.009>
- Arissaryadin, Eva, N., & Indriani, I. (2021). Systematic literature review motivasi mahasiswa mengikuti pembelajaran daring. In M. Sa'id & R. D. Noorizki (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pendidikan Psikologi Universitas Negeri Malang* (pp. 140–147). Fakultas Pendidikan Psikologi, Universitas Negeri Malang. <http://conference.um.ac.id/index.php/psi/article/view/1929>
- Ay, Y., Karadag, E., & Acat, M. B. (2015). The Technological Pedagogical Content Knowledge-practical (TPACK-Practical) model: Examination of its validity in the Turkish culture via structural equation modeling. *Computers and Education*, 88, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.04.017>
- Ball, L. D., Hill, H. C., & Bass, H. (2005). Knowing mathematics for teaching: Who knows mathematics well enough to teach third grade, and how can we decide? *American Educator*, 29(1), 14–17, 20–22, 43–46. <https://www.aft.org/sites/default/files/media/2014/BallF05.pdf>
- Bay'a, N., & Daher, W. (2015). The Development of college instructors' technological pedagogical and content knowledge. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 1166–1175. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.733>
- Bowers, J. S., & Stephens, B. (2011). Using technology to explore mathematical relationships: A framework for orienting mathematics courses for prospective teachers. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 14(4), 285–304. <https://doi.org/10.1007/s10857-011-9168-x>
- Carrillo-Yáñez, J., Climent, N., Montes, M., Contreras, L. C., Flores-Medrano, E., Escudero-Ávila, D., Vasco, D., Rojas, N., Flores, P., Aguilar-González, Á., Ribeiro, M.,

- & Muñoz-Catalán, M. C. (2018). The mathematics teacher's specialised knowledge (MTSK) model. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 236–253. <https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1479981>
- Chai, C. S., Lim, C. P., & Tan, C. M. (2016). Developing teachers' Technological Pedagogical Mathematics Knowledge (TPMK) to build students' capacity to think and communicate in mathematics classrooms. In C. S. Chai, C. P. Lim, & C. M. Tan (Eds.), *Future Learning in Primary Schools: A Singapore Perspective* (pp. 129–145). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-579-2>
- Delgado-Rebolledo, R., & Zakaryan, D. (2020). Relationships between the knowledge of practices in mathematics and the pedagogical content knowledge of a mathematics lecturer. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(3), 567–587. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-09977-0>
- Erdogan, A., & Sahin, I. (2010). Relationship between math teacher candidates' Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) and achievement levels. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2707–2711. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.400>
- Graham, C. R. (2011). Theoretical considerations for understanding Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Computers and Education*, 57(3), 1953–1960. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.04.010>
- Huang, L., & Lajoie, S. P. (2021). Process analysis of teachers' self-regulated learning patterns in technological pedagogical content knowledge development. *Computers and Education*, 166, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104169>
- Jang, S. J., & Chen, K. C. (2010). From PCK to TPACK: Developing a Transformative Model for Pre-Service Science Teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 19(6), 553–564. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9222-y>
- Kim, S. (2018). Technological, Pedagogical, and Content Knowledge (TPACK) and beliefs of preservice secondary mathematics teachers: Examining the relationships. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(10), 1–24. <https://doi.org/10.29333/ejmste/93179>
- Koehler, M. J., Mishra, P., Bouck, E. C., DeSchryver, M., Kereluik, K., Shin, T. S., & Wolf, L. G. (2011). Deep-play: Developing TPACK for 21st century teachers. *International Journal of Learning Technology*, 6(2), 146–162. <https://doi.org/10.1504/ijlt.2011.042646>
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology. *Computers & Education*, 49, 740–762. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.012>
- Koh, J. H. L. (2019). Articulating teachers' creation of Technological Pedagogical Mathematical Knowledge (TPMK) for supporting mathematical inquiry with authentic problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(6), 1195–1212. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9914-y>
- Koh, J. H. L., & Chai, C. S. (2016). Seven design frames that teachers use when considering Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Computers and Education*, 102, 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.003>
- Korkmaz, E., & Morali, H. S. (2022). A meta-synthesis of studies on the use of augmented reality in mathematics education. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(4), 1–21. <https://doi.org/10.29333/iejme/12269>
- Kramarski, B., & Michalsky, T. (2010). Preparing preservice teachers for self-

- regulated learning in the context of technological pedagogical content knowledge. *Learning and Instruction*, 20(5), 434–447. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.05.003>
- Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Küchler, U., Paravicini, W., Randler, C., & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers and Education*, 174(August). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304>
- Lim, G. W. P., Ang, P. L., & Koh, J. H. (2016). Developing teachers' Technological Pedagogical Mathematical Knowledge (TPMK) to build students' capacity to think and communicate in mathematics classrooms. In C. S. Chai, C. P. Lim, & C. M. Tan (Eds.), *Future Learning in Primary Schools: A Singapore Perspective* (pp. 129–145). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-579-2>
- Loong, E. Y. K., & Herbert, S. (2018). Primary school teachers' use of digital technology in mathematics: the complexities. *Mathematics Education Research Journal*, 30(4), 475–498. <https://doi.org/10.1007/s13394-018-0235-9>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1177/016146810610800610>
- Niess, M. L. (2001). A Model for integrating technology in preservice science and mathematics content-specific teacher preparation. *School Science and Mathematics*, 101(2), 102–109. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2001.tb18011.x>
- Nyikahadzoyi, M. R. (2015). Teachers' knowledge of the concept of a function: A theoretical framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 261–283. <https://doi.org/10.1007/s10763-013-9486-9>
- Romrell, D., Kidder, L. C., & Wood, E. (2014). The SAMR model as a framework for evaluating m-learning. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 18(2), 1–15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24059/olj.v18i2.435>
- Saengbanchong, V., Wiratchai, N., & Bowarnkitiwong, S. (2014). Validating the Technological Pedagogical Content Knowledge Appropriate for instructing Students (TPACK-S) of pre-service teachers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 524–530. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.252>
- Santos, J. M., & Castro, R. D. R. (2021). Technological Pedagogical content knowledge (TPACK) in action: Application of learning in the classroom by pre-service teachers (PST). *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), 100110. <https://doi.org/10.1016/j.ssho.2021.100110>
- Scherer, R., Tondeur, J., Siddiq, F., & Baran, E. (2018). The importance of attitudes toward technology for pre-service teachers' technological, pedagogical, and content knowledge: Comparing structural equation modeling approaches. *Computers in Human Behavior*, 80, 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.11.003>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2020). Efficient self-report measures for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): Constructing a reliable and valid short-scale among pre-service teachers. *Computers and Education*, 157, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103967>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital

- technology use in lesson plans. *Computers in Human Behavior*, 115(October 2020), 106586. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106586>
- Shahhida, N., Bakar, A., Maat, S. M., & Rosli, R. (2020). Mathematics teacher's self-efficacy of technology integration and technological pedagogical content knowledge. *Journal on Mathematics Education*, 11(2), 259–276. <https://doi.org/10.22342/jme.11.2.10818.259-276>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand knowledge: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.2307/1175860>
- Sukmawati. (2016). Profesionalisme guru sekolah dasar. *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, 7(2), 1665–1677. <https://doi.org/10.26418/jvip.v7i2.17055>
- Uçar, M. B., Demir, C., & Hıgde, E. (2014). Exploring the self-confidence of preservice science and physics teachers towards technological pedagogical content knowledge. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 3381–3384. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.768>
- Urban, E. R., Navarro, M., & Borron, A. (2018). TPACK to GPACK? The examination of the technological pedagogical content knowledge framework as a model for global integration into college of agriculture classrooms. *Teaching and Teacher Education*, 73, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.03.013>
- Zambak, V. S., & Tyminski, A. M. (2020). Examining mathematical technological knowledge of pre-service middle grades teachers with Geometer's Sketchpad in a geometry course. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(2), 183–207. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1650302>