

Aktivasi MPCK Guru Matematika dalam Pembelajaran Geometri: Studi Komparatif pada Guru yang Telah dan Belum Mengikuti PPG

Muhamad Badrul Mutammam^{1*}, Evi Novita Wulandari², Frenza Fairuz
Firmansyah¹, Ngizatul Afifah¹, Shima Kunaza Fazira¹, Arin Berliana Angrenani¹

^{1,3,4,5,6}Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Jember, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: badrul@unej.ac.id

Received: 12-05-2026; Revised: 01-06-2026; Published: 24-06-2026

Abstract: This study aims to describe and compare the activation of mathematics teachers' Mathematics Pedagogical Content Knowledge (MPCK) in geometry instruction in two observed cases: one teacher who had participated in the Professional Teacher Education Program (PPG) and one teacher who had not participated in PPG. This study used a comparative qualitative case study design involving two junior high school mathematics teachers with more than ten years of teaching experience. Both teachers taught the same topic, namely cubes in flat-sided solid geometry, in two different Grade 8 classes with 36 students in each class. Data were collected through video-based classroom observations, analysis of lesson plans and students' worksheets, and semi-structured interviews. The video data were transcribed, segmented into instructional episodes, coded using MPCK indicators, and triangulated with document and interview data. The findings show that the teacher who had participated in PPG displayed more varied MPCK activation, particularly in the use of concrete and visual representations, mathematical communication, classroom discussion, formative responses, and responses to students' misconceptions about edges, faces, cube nets, and surface area. In the observed cases, participation in PPG may be associated with more varied MPCK activation; however, this relationship cannot be interpreted causally because the study involved only two teachers in a limited context. The findings also indicate that Mathematical Content Knowledge (MCK) functions as an important foundation for MPCK, but MPCK becomes visible when content knowledge is transformed into representations, guiding questions, discussion, and formative feedback that support students' conceptual understanding.

Keywords: comparative case study, geometry instruction, mathematics pedagogical content knowledge, professional teacher education

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan membandingkan aktivasi *Mathematics Pedagogical Content Knowledge* (MPCK) guru matematika dalam pembelajaran geometri pada dua kasus yang diamati, yaitu guru yang telah mengikuti Program Profesi Guru (PPG) dan guru yang belum mengikuti PPG. Penelitian ini menggunakan desain studi kasus kualitatif komparatif. Subjek penelitian adalah dua guru matematika SMP yang memiliki pengalaman mengajar lebih dari sepuluh tahun dan mengajarkan materi yang sama, yaitu kubus pada pokok bahasan bangun ruang sisi datar, pada dua kelas VIII yang berbeda dengan jumlah siswa masing-masing 36 orang. Data dikumpulkan melalui observasi video pembelajaran, analisis RPP dan LKPD, serta wawancara semi-terstruktur. Data video ditranskripsikan, disegmentasikan menjadi episode pembelajaran, dikodekan menggunakan indikator MPCK, dan ditriangulasi dengan data dokumen dan wawancara. Temuan menunjukkan bahwa guru yang telah mengikuti PPG mengaktifkan MPCK yang lebih beragam, khususnya dalam penggunaan representasi konkret dan visual, komunikasi matematis, pengelolaan diskusi kelas, respons formatif, dan respons terhadap miskonsepsi siswa tentang rusuk, sisi, jaring-jaring, dan luas permukaan kubus. Dalam kasus yang diamati, keikutsertaan dalam PPG dapat berkaitan dengan aktivasi MPCK yang lebih beragam; namun, hubungan ini tidak dapat ditafsirkan secara kausal karena penelitian hanya melibatkan dua guru dalam konteks yang terbatas. Temuan ini juga menunjukkan bahwa *Mathematical Content Knowledge* (MCK) berfungsi sebagai fondasi penting bagi MPCK, tetapi MPCK menjadi tampak ketika pengetahuan konten

ditransformasikan ke dalam representasi, pertanyaan pemandu, diskusi, dan umpan balik formatif yang mendukung pemahaman konseptual siswa.

Kata kunci: *pembelajaran geometri, pendidikan profesi guru, pengetahuan pedagogis konten matematika, studi kasus komparatif*

PENDAHULUAN

Pembelajaran geometri menuntut kemampuan visualisasi, penalaran spasial, dan pemahaman hubungan antarunsur bangun. Tuntutan tersebut tampak pada materi bangun ruang sisi datar karena siswa tidak hanya perlu mengenali bentuk, tetapi juga membedakan berbagai komponen seperti sisi, rusuk, titik sudut, diagonal, jaring-jaring, luas alas, dan luas permukaan. Proses ini tidak sederhana karena siswa harus menghubungkan objek konkret, representasi visual, dan bahasa matematis formal secara tepat. Mosia, Edward, & John (Mosia, Edward, & John, 2023)(2023) menunjukkan bahwa kesalahan dan miskonsepsi siswa dalam geometri berkaitan dengan keterbatasan pemahaman konsep dan penalaran geometri. Geometri juga dipandang sebagai cabang matematika yang berkaitan dengan bentuk dan ruang sehingga membutuhkan intuisi serta visualisasi dalam memahami konsep-konsepnya (Mutammam, Juniati, & Wulandari, 2023). Sejalan dengan itu, Žakelj & Klančar (2022) menjelaskan bahwa representasi visual dan visualisasi berperan penting dalam pembelajaran geometri karena dapat membantu siswa mengeksplorasi konsep melalui representasi interaktif. Kajian Weigand, Hollebrands, & Maschietto (2025) turut menunjukkan bahwa pembelajaran geometri melibatkan keterkaitan antara guru, siswa, konten, dan media. Dengan demikian, tantangan siswa dalam memahami geometri menegaskan pentingnya peran guru dalam menyajikan konsep secara tepat, memilih representasi yang sesuai, memanfaatkan media pembelajaran, dan menanggapi miskonsepsi yang muncul selama pembelajaran.

Dalam konteks tersebut, kualitas pengetahuan dan praktik mengajar guru menjadi aspek penting dalam pembelajaran matematika. Guru tidak cukup hanya menguasai materi geometri, tetapi juga perlu mampu mentransformasikan pengetahuan matematika menjadi pengalaman belajar yang dapat dipahami siswa. Guru menjadi komponen penting karena kualitas pengetahuan dan praktik mengajar guru berkaitan dengan kualitas proses pembelajaran dan capaian belajar siswa (Burroughs et al., 2019; Fukaya, Fukuda, & Suzuki, 2024; Makovec, 2018; Obilor, 2020). (Burroughs et al., 2019) Pengetahuan guru juga menentukan kemampuan guru dalam menyajikan materi, memilih representasi, dan menyesuaikan pembelajaran dengan cara berpikir siswa (Grigaliuniene, Lehtinen, Verschaffel, & Depaepe, 2025). Oleh karena itu, pembelajaran geometri membutuhkan guru yang tidak hanya memahami konsep matematika, tetapi juga mampu menghubungkan konsep-konsep tersebut dengan strategi pembelajaran, media, komunikasi matematis, dan respons terhadap pemahaman siswa.

Mathematics Pedagogical Content Knowledge (MPCK) merupakan kemampuan guru dalam mengintegrasikan pengetahuan konten matematika dan pengetahuan pedagogik agar konsep matematika dapat diajarkan secara bermakna. MPCK tidak hanya mencakup penguasaan materi, tetapi juga kemampuan memilih strategi pembelajaran, menggunakan representasi yang sesuai, mengantisipasi kesalahan dan miskonsepsi siswa, serta membangun komunikasi matematis selama pembelajaran. Ekawati, Lin, Kohar (2022) menegaskan bahwa MPCK menjadi salah satu sumber utama dalam pengajaran matematika yang efektif. Kajian Sakaria, Maat, & Matore (2023) juga menunjukkan bahwa pengetahuan pedagogis berbasis konten guru matematika dipengaruhi oleh faktor individual, profesional, dan organisasi, dengan pengembangan profesional serta pengalaman mengajar sebagai faktor yang dominan. Dalam

artikel ini, *Mathematical Content Knowledge* (MCK) diposisikan sebagai fondasi pengetahuan konten, sedangkan MPCK dipahami sebagai integrasi antara pengetahuan konten, pedagogi, dan pemahaman terhadap cara berpikir siswa yang tampak dalam tindakan mengajar.

MPCK menjadi sangat penting dalam pembelajaran geometri karena konsep geometri sering bersifat abstrak dan membutuhkan dukungan representasi visual maupun konkret. Guru dengan MPCK yang kuat dapat memilih media dan representasi yang sesuai, mengarahkan siswa dari pengalaman konkret menuju generalisasi matematis, serta membantu siswa membedakan istilah geometri yang sering tertukar, seperti garis, ruas garis, rusuk, sisi, bidang, dan permukaan. Dalam pembelajaran bangun ruang sisi datar, kemampuan tersebut diperlukan agar siswa tidak hanya menghafal definisi atau rumus, tetapi juga memahami makna unsur-unsur bangun dan hubungan antarunsur tersebut. Oleh karena itu, MPCK dalam geometri perlu ditelusuri dari cara guru mengaktifkan pengetahuan tersebut dalam praktik kelas, terutama ketika memilih representasi, memberi penjelasan konseptual, memandu diskusi, melakukan penilaian formatif, dan menindaklanjuti kesalahan siswa.

Pendidikan Profesi Guru (PPG) menjadi salah satu program formal untuk memperkuat profesionalisme guru di Indonesia. Permendikbudristek Nomor 19 Tahun 2024 mendefinisikan PPG sebagai program pendidikan setelah program sarjana atau sarjana terapan bagi calon guru atau guru untuk memperoleh sertifikat pendidik (Kemendikbudristek, 2024). Secara konseptual, PPG berpotensi memperkuat MPCK karena proses pendidikan profesi memberi ruang bagi pendalaman materi, penyusunan perangkat pembelajaran, praktik mengajar, microteaching, refleksi pembelajaran, dan analisis kesulitan belajar siswa. Fukaya, Nakamura, & Kitayama (2024) menunjukkan bahwa intervensi pengembangan PCK dalam matematika dan sains dapat memberikan pengaruh positif terhadap pengetahuan pedagogis berbasis konten guru. Sims et al. (2025) juga menegaskan bahwa pengembangan profesional guru yang efektif perlu memberi wawasan, memotivasi perubahan, mengembangkan teknik mengajar, dan membantu guru menanamkan praktik baru dalam pembelajaran. Namun, hubungan antara keikutsertaan dalam program keprofesian dan aktivasi MPCK dalam praktik kelas tetap perlu dikaji secara hati-hati karena keikutsertaan dalam PPG tidak dapat secara langsung dimaknai sebagai penyebab tunggal perbedaan kualitas pembelajaran.

Penelitian tentang PCK dan MPCK guru matematika telah banyak membahas pengetahuan guru, strategi pembelajaran, representasi, dan kesulitan belajar siswa pada berbagai topik matematika. Grigaliuniene et al. (2025) menunjukkan bahwa kajian MPCK banyak membahas pengetahuan tentang strategi dan representasi pembelajaran serta kesulitan belajar siswa pada berbagai topik, termasuk geometri. Meskipun demikian, kajian yang secara khusus menelaah aktivasi MPCK guru matematika dalam pembelajaran geometri berbasis observasi video masih relatif terbatas. Penelitian berbasis video seperti Ekawati et al. (2022) telah menunjukkan bahwa MPCK dapat ditelusuri dari praktik mengajar nyata, tetapi kajian tersebut berfokus pada topik rasio dan proporsi, bukan geometri. Selain itu, penelitian tentang pengembangan profesional guru menunjukkan bahwa PCK dapat diperkuat melalui intervensi dan program pengembangan profesional (Fukaya, Nakamura, et al., 2024; Sims et al., 2025), tetapi belum banyak kajian yang membandingkan bagaimana MPCK guru yang telah dan belum mengikuti PPG tampak secara nyata dalam pembelajaran geometri. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan gambaran empiris tentang aktivasi MPCK guru matematika dalam pembelajaran bangun ruang sisi datar, terutama dalam penggunaan representasi, pengelolaan diskusi, penilaian formatif, dan respons terhadap miskonsepsi siswa.

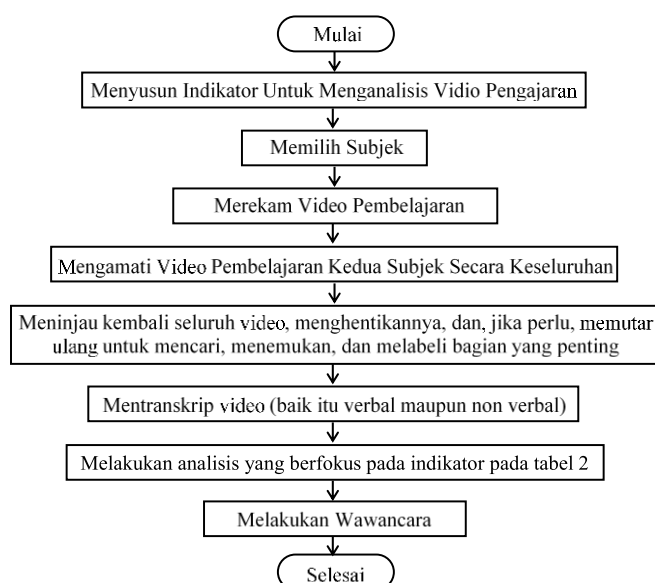
Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis aktivasi MPCK berbasis video pembelajaran geometri dengan membandingkan dua kasus guru matematika yang memiliki status keikutsertaan PPG berbeda. Melalui pendekatan ini, MPCK tidak hanya dipahami sebagai pengetahuan yang dilaporkan guru atau tertulis dalam dokumen pembelajaran, tetapi sebagai pengetahuan yang teraktualisasi dalam tindakan mengajar, penggunaan representasi, pengelolaan diskusi, penilaian formatif, dan respons terhadap miskonsepsi siswa. Berdasarkan latar tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan membandingkan aktivasi MPCK guru matematika dalam pembelajaran geometri pada guru yang telah dan belum mengikuti PPG.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus kualitatif komparatif untuk mendeskripsikan dan membandingkan aktivasi MPCK dua guru matematika SMP dalam pembelajaran geometri. Desain ini dipilih karena penelitian berfokus pada pemahaman mendalam terhadap dua kasus guru dengan status keikutsertaan PPG yang berbeda, bukan untuk menguji pengaruh kausal PPG secara luas. Dua kasus yang dianalisis adalah G1 sebagai guru yang telah mengikuti PPG dan G2 sebagai guru yang belum mengikuti PPG. Alur penelitian yang kami lakukan disajikan dalam Gambar 1.

Subjek penelitian dipilih secara purposive dengan beberapa kriteria, yaitu: (1) mengajar matematika SMP; (2) memiliki pengalaman mengajar lebih dari sepuluh tahun; (3) mengajar materi yang sama, yaitu kubus pada pokok bahasan bangun ruang sisi datar; (4) menggunakan model pembelajaran kooperatif; (5) mengajar di sekolah yang sama; dan (6) memiliki perbedaan status keikutsertaan PPG sebagai kriteria utama pembandingan. Pemilihan dua guru dengan karakteristik yang relatif sebanding dilakukan agar perbandingan aktivasi MPCK dapat difokuskan pada perbedaan status keikutsertaan PPG.

Materi kubus dipilih karena menuntut pemahaman tentang sifat bangun ruang, visualisasi spasial, jaring-jaring, serta hubungan antara rusuk, sisi, luas alas, dan luas permukaan. Selain itu, materi ini berpotensi menimbulkan miskonsepsi, terutama ketika siswa menyamakan garis dengan rusuk, sisi bangun datar dengan sisi bangun ruang, atau luas alas dengan luas permukaan kubus.



Gambar 1. Alur penelitian

Subjek penelitian terdiri atas dua guru perempuan yang mengajar di salah satu SMP negeri di Surabaya. Kedua guru mengajar materi kubus pada dua kelas VIII yang berbeda, dengan jumlah siswa masing-masing 36 orang. Setiap pertemuan berlangsung selama dua jam pelajaran, dengan alokasi waktu 40 menit per jam pelajaran, sehingga setiap observasi berlangsung selama 80 menit. Masing-masing guru diamati dalam dua pertemuan, sehingga total durasi observasi untuk setiap guru adalah 160 menit. Karakteristik subjek penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Subjek Penelitian

Kode Subjek	Status Keikutsertaan PPG	Jenis Kelamin	Pengalaman Mengajar
G1	Telah mengikuti PPG	Perempuan	> 10 tahun
G2	Belum mengikuti PPG	Perempuan	> 10 tahun

Selama mengikuti PPG, G1 memperoleh pengalaman pendalaman materi, penyusunan perangkat pembelajaran secara rinci, praktik mengajar, dan refleksi pembelajaran. Informasi ini digunakan sebagai konteks untuk memahami variasi aktivasi MPCK G1, tetapi tidak digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat antara PPG dan kualitas MPCK.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi video pembelajaran, analisis perangkat pembelajaran, serta wawancara semi-terstruktur. Observasi dilakukan selama dua kali pertemuan untuk setiap guru. Pertemuan pertama berfokus pada pengertian kubus, unsur-unsur kubus, dan jaring-jaring kubus, sedangkan pertemuan kedua berfokus pada penyelesaian masalah yang berkaitan dengan luas permukaan kubus. Dua kamera digunakan untuk merekam aktivitas guru dan siswa selama pembelajaran berlangsung. Aspek yang diamati meliputi strategi dan representasi yang digunakan guru, komunikasi matematis, pengelolaan diskusi, respons terhadap miskonsepsi, dan penggunaan penilaian formatif. RPP, media, dan LKPD dianalisis dari sisi kesesuaian tujuan, aktivitas, representasi, tugas, asesmen, dan potensi munculnya miskonsepsi. Wawancara digunakan untuk memperdalam informasi tentang perencanaan pembelajaran, pengalaman PPG, cara guru mengidentifikasi kesulitan siswa, dan penggunaan hasil penilaian.

Instrumen penelitian meliputi lembar observasi berbasis indikator MPCK, pedoman analisis dokumen RPP/LKPD, dan pedoman wawancara semi-terstruktur. Kerangka analisis MPCK disusun dengan mengadaptasi indikator MPCK dari Ekawati et al. (2022) dan Tinh et al. (2021). Proses adaptasi dilakukan melalui telaah literatur, pemilihan indikator yang relevan dengan pembelajaran geometri, penyesuaian indikator dengan konteks kubus dan bangun ruang sisi datar, serta diskusi antarpeleliti untuk menyamakan pemahaman terhadap definisi operasional setiap indikator.

Tabel 2. Indikator Analisis MPCK Guru Matematika

Aspek MPCK	Definisi Operasional	Indikator Perilaku	Sumber Data/ Teknik	Contoh Bukti Empiris
Strategi dan representasi pembelajaran matematika	Kemampuan guru memilih strategi, media, alat peraga, dan representasi untuk membantu siswa memahami konsep geometri.	Guru membangkitkan rasa ingin tahu siswa, menggunakan benda konkret, gambar, animasi, LKPD, atau pertanyaan pemandu, serta membimbing siswa dengan berbagai strategi dalam memahami kubus, rusuk, sisi, jaring-jaring, dan luas permukaan.	Video pembelajaran, RPP, LKPD, lembar observasi	Guru menggunakan benda 3 dimensi atau gambar kubus untuk memperjelas unsur-unsur kubus dan mengaitkannya dengan konsep matematika.
Komunikasi	Kemampuan guru menyampaikan	Guru menjelaskan materi dengan bahasa yang mudah dipahami,	Video pembelajaran	Guru mengklarifikasi objek-objek yang

Aspek MPCK	Definisi Operasional	Indikator Perilaku	Sumber Data/ Teknik	Contoh Bukti Empiris
matematika dan penguasaan materi	istilah, definisi, prosedur, dan hubungan konsep secara tepat dan mudah dipahami.	menggunakan istilah matematika secara tepat, serta mengklarifikasi perbedaan garis dan ruas garis, sisi bangun datar dan sisi bangun ruang, luas alas, luas satu sisi, dan luas permukaan.	ran, wawancara, lembar observasi	berdekatan secara konsep yang sering kali dianggap sama. Misalnya rusuk merupakan ruas garis pertemuan dua sisi, bukan garis.
Perencanaan dan pengelolaan kegiatan pembelajaran	Kemampuan guru merancang dan mengelola aktivitas yang sesuai dengan tujuan pembelajaran serta mendorong siswa membangun pemahaman secara aktif.	Guru merancang pembelajaran dan LKPD sesuai tujuan, mengorganisasi diskusi kelompok, memberi kesempatan presentasi, meminta siswa menanggapi jawaban teman, dan mengaitkan aktivitas dengan tujuan pembelajaran.	RPP, LKPD, video pembelajaran, lembar observasi	Diskusi jaring-jaring digunakan untuk memverifikasi apakah suatu bentuk dapat dilipat menjadi kubus.
Antisipasi dan respons terhadap kesulitan siswa	Kemampuan guru mengidentifikasi, mengantisipasi, dan merespons kesalahan atau miskonsepsi siswa.	Guru memperhatikan perbedaan kemampuan siswa, mendiagnosis kesulitan belajar, menggunakan kesalahan sebagai bahan diskusi, memberi pertanyaan bertahap, dan meminta siswa memeriksa kembali jawaban dengan representasi yang sesuai.	Video pembelajaran, wawancara, LKPD, lembar observasi	Kesalahan siswa dalam menentukan rusuk, sisi, titik sudut, jaring-jaring, atau luas satu sisi digunakan untuk memperdalam konsep.
Penilaian formatif dan tindak lanjut	Kemampuan guru menggunakan informasi dari pekerjaan dan respons siswa untuk memberi umpan balik serta menentukan tindak lanjut pembelajaran.	Guru membaca hasil umpan balik, mengidentifikasi kesalahan umum, menyimpulkan konsep yang belum dipahami, serta menggunakan hasil penilaian untuk menentukan penguatan, atau perbaikan pembelajaran.	LKPD, LKPD, video pembelajaran, wawancara, lembar observasi	Hasil LKPD digunakan untuk menekankan kembali perbedaan rusuk, sisi, luas alas, luas satu sisi, dan luas permukaan.

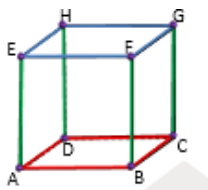
Analisis data dilakukan melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada tahap reduksi, rekaman video ditranskrip dan dipilah ke dalam episode pembelajaran. Setiap episode kemudian dikodekan berdasarkan indikator MPCK pada Tabel 2. Unit analisis yang digunakan adalah tindakan guru, ucapan guru, respons siswa yang ditanggapi guru, serta artefak pembelajaran yang muncul dalam episode tersebut. Pada tahap penyajian data, hasil pengodean disusun dalam deskripsi naratif dan tabel perbandingan antarkasus. Pada tahap penarikan kesimpulan, temuan dari video dibandingkan dengan RPP, LKPD, dan wawancara untuk memperoleh konsistensi data. Triangulasi sumber digunakan untuk meningkatkan kredibilitas temuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil disajikan berdasarkan aspek MPCK agar perbandingan antara G1 dan G2 tampak analitis. Penyajian ini menafsirkan bagaimana tindakan guru merepresentasikan integrasi antara pengetahuan konten, strategi pedagogis, representasi geometri, komunikasi matematis, respons terhadap miskonsepsi, pengelolaan diskusi, dan penilaian formatif.

Strategi dan Representasi dalam Pembelajaran Geometri

Pada kasus G1, aktivasi MPCK tampak melalui penggunaan konteks profesi arsitek, PowerPoint, benda konkret seperti rubik dan dadu, serta alat peraga kubus. Penggunaan benda konkret tidak hanya berfungsi sebagai variasi media, tetapi sebagai representasi matematis yang menjembatani konsep kubus yang abstrak dengan pengalaman visual siswa. Ketika menjelaskan unsur-unsur kubus, G1 mengarahkan siswa untuk menghubungkan bentuk konkret, gambar, dan istilah matematika. Gambar kubus yang digunakan seperti yang tampak pada Gambar 2. Strategi ini menunjukkan transformasi pengetahuan konten ke dalam tindakan pedagogis yang membantu siswa memvisualisasikan sifat-sifat kubus.



Gambar 2. Representasi kubus yang digunakan dalam pembelajaran

Pada kasus G2, PowerPoint dan kegiatan membuat jaring-jaring kubus juga digunakan sebagai media pembelajaran. Keunggulan pembelajaran G2 tampak pada aktivitas pembuatan jaring-jaring kubus berbantuan tali. Melalui aktivitas ini, siswa tidak hanya menggambar jaring-jaring, tetapi juga mengamati perubahan representasi datar menjadi bangun ruang ketika tali ditarik. Media tersebut memberi pengalaman visual dan kinestetik untuk memahami hubungan antara jaring-jaring dan bentuk kubus.

Gambar 3 menunjukkan produk LKPD siswa dalam kegiatan membuat jaring-jaring kubus. Produk tersebut memperlihatkan keterlibatan siswa dalam aktivitas fisik dan konstruktif, sehingga pembelajaran tidak hanya berlangsung melalui penjelasan guru, tetapi juga melalui praktik langsung. Kegiatan ini membantu siswa membayangkan bagaimana beberapa persegi pada bidang datar dapat membentuk kubus dan menunjukkan upaya G2 menghadirkan pembelajaran yang menarik serta partisipatif.

Meskipun demikian, pemanfaatan media pada G2 masih lebih dominan diarahkan pada penyelesaian tugas dan hasil produk. Eksplorasi konseptual mengenai alasan suatu susunan persegi dapat atau tidak dapat membentuk kubus belum tampak secara mendalam. Berbeda dengan G1, yang menggunakan media dan kesalahan siswa sebagai dasar untuk memandu diskusi, memverifikasi jaring-jaring, dan mengklarifikasi miskonsepsi, G2 belum banyak mengarahkan aktivitas produk tersebut menjadi diskusi konseptual. Dengan demikian, perbedaan utama antara G1 dan G2 tidak terletak pada ada atau tidaknya media pembelajaran, tetapi pada kedalaman penggunaan media untuk membangun konsep, memicu penalaran, dan memperjelas miskonsepsi siswa



Gambar 3. Produk LKPD Siswa Membuat Jaring-Jaring Kubus

Komunikasi Matematis dan Penguasaan Konsep

Pada pembelajaran G1, komunikasi matematis tampak ketika guru membimbing siswa mendefinisikan kubus, menyebutkan unsur-unsur kubus, dan membedakan istilah yang berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Salah satu contoh muncul ketika siswa menyebut rusuk sebagai garis. G1 tidak langsung menyalahkan jawaban tersebut, tetapi mengarahkan siswa untuk mengingat kembali perbedaan antara garis, ruas garis, dan sinar garis. Melalui tanya jawab, siswa diarahkan untuk memahami bahwa rusuk kubus bukan garis yang dapat diperpanjang tanpa batas, melainkan ruas garis yang dibatasi oleh dua titik sudut.

Cuplikan interaksi berikut menunjukkan cara G1 membangun klarifikasi konsep.

G1 : Sekarang perhatikan kubus ini. Manakah yang merupakan rusuk kubus?

Siswa : AB, BC, CD, DA, EF, FG, GH, HE, EA, FB, GC, dan HD, Bu.

G1 : Jadi, rusuk itu berupa garis?

Siswa : Iya, Bu.

G1 : Masih ingat perbedaan garis, ruas garis, dan sinar garis?

Siswa : Garis bisa diperpanjang, ruas garis tidak bisa diperpanjang, sedangkan sinar garis hanya memanjang ke satu arah.

G1 : Sekarang lihat rusuk pada kubus ini. Dari pengertian tadi, rusuk itu termasuk apa?

Siswa : Ruas garis, Bu.

G1 : Mengapa?

Siswa : Karena tidak bisa diperpanjang dan ujungnya dibatasi titik.

G1 : Bagus. Jadi, rusuk kubus bukan garis, melainkan ruas garis. Rusuk di bentuk dari pertemuan dua sisi kubus.

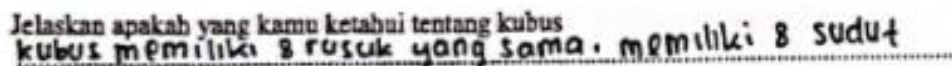
Cuplikan tersebut menunjukkan bahwa G1 menggunakan pertanyaan pemandu untuk memperbaiki istilah matematika siswa. Respons G1 tidak hanya menunjukkan penguasaan materi, tetapi juga pemahaman terhadap cara berpikir siswa. Guru menyadari bahwa istilah “garis” sering digunakan siswa secara umum, padahal dalam geometri istilah tersebut perlu dibedakan dari “ruas garis”. Dengan demikian, komunikasi matematis G1 merepresentasikan integrasi antara MCK dan pengetahuan pedagogis dalam mengarahkan pemahaman konsep siswa.

Selain melalui interaksi lisan, komunikasi matematis G1 juga tampak ketika guru menelaah jawaban siswa pada LKPD. Gambar 4 menunjukkan jawaban siswa yang menyatakan bahwa kubus adalah bangun yang memiliki panjang rusuk yang sama.

Jelaskan apakah yang kamu ketahui tentang kubus
Kubus adalah bangun yang memiliki panjang rusuk yang sama.

Gambar 4. Contoh Jawaban Siswa Mendefinisikan Kubus

Gambar 5 menunjukkan kesalahan siswa dalam menyebutkan banyak komponen kubus. Siswa menuliskan bahwa kubus memiliki 8 rusuk dan 8 sudut. Kesalahan ini penting dimunculkan karena menunjukkan adanya ketidaklengkapan pemahaman siswa terhadap unsur-unsur kubus. Dalam pembelajaran, G1 merespons kesalahan tersebut dengan mengajak siswa kembali mengamati alat peraga kubus dan menghitung jumlah rusuk, sisi, serta titik sudut secara langsung. Dengan cara ini, kesalahan siswa tidak hanya diperlakukan sebagai jawaban yang salah, tetapi dijadikan bahan untuk memperkuat pemahaman konsep.



Gambar 5. Contoh Kesalahan Siswa dalam Menyebutkan Banyak Komponen Kubus

Pada pembelajaran G2, komunikasi matematis juga tampak melalui penjelasan guru tentang pengertian kubus, unsur-unsur kubus, diagonal bidang, diagonal ruang, dan bidang diagonal. G2 menggunakan PowerPoint dan contoh benda berbentuk kubus untuk memperkenalkan konsep kepada siswa. Guru juga melibatkan siswa dalam menyebutkan unsur-unsur kubus berdasarkan gambar yang ditampilkan. Hal ini menunjukkan bahwa G2 berupaya membangun komunikasi kelas melalui tanya jawab dan penggunaan representasi visual.

Namun, penjelasan konsep pada beberapa bagian masih cenderung singkat dan belum diikuti dengan klarifikasi konseptual yang mendalam. Misalnya, ketika siswa mendefinisikan rusuk sebagai garis yang berpotongan pada dua sisi, respons guru belum diarahkan untuk membedakan secara eksplisit antara garis, ruas garis, dan rusuk sebagai unsur bangun ruang. Dalam konteks MPCK, episode ini menunjukkan bahwa komunikasi matematis sudah muncul, tetapi peluang untuk memperdalam pemahaman konsep belum dimanfaatkan secara optimal.

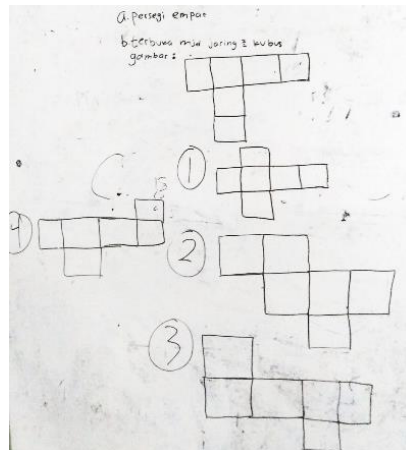
Pada penjelasan diagonal bidang, diagonal ruang, dan bidang diagonal, G2 juga menyampaikan informasi secara ringkas. Siswa diperkenalkan pada istilah-istilah tersebut, tetapi proses membangun definisi bersama siswa belum tampak secara kuat. Akibatnya, komunikasi matematis lebih banyak berfungsi sebagai penyampaian informasi daripada sebagai proses negosiasi makna. Padahal, pada materi geometri, istilah seperti rusuk, sisi, diagonal bidang, diagonal ruang, dan bidang diagonal membutuhkan penekanan konseptual karena siswa sering memahami istilah tersebut hanya berdasarkan tampilan gambar.

Dengan demikian, perbedaan komunikasi matematis antara G1 dan G2 terletak pada kedalaman klarifikasi konsep. G1 cenderung menggunakan kesalahan istilah sebagai titik masuk untuk membangun kembali pemahaman siswa, sedangkan G2 lebih banyak menyampaikan konsep secara langsung. Hal ini tidak berarti bahwa komunikasi G2 kurang optimal, karena G2 tetap menggunakan media, tanya jawab, dan contoh visual. Namun, dibandingkan dengan G1, komunikasi matematis G2 belum banyak diarahkan untuk mengeksplorasi alasan, memperjelas istilah, dan menghubungkan jawaban siswa dengan definisi matematika yang lebih tepat.

Respons terhadap Miskonsepsi dan Kesulitan Siswa

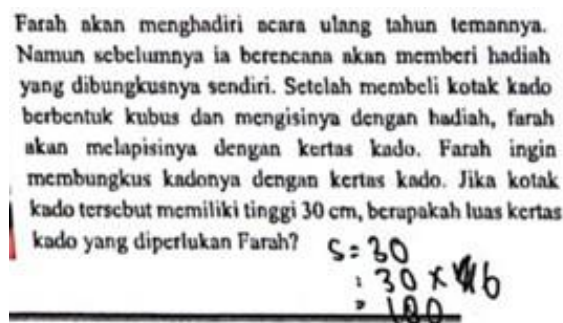
Respons terhadap miskonsepsi menjadi temuan penting karena menunjukkan bagaimana guru mengaktifkan MPCK dalam situasi pembelajaran nyata. Pada G1, kesalahan siswa dalam mendefinisikan kubus, menyebutkan unsur-unsur kubus, menentukan jaring-jaring, dan memahami luas permukaan tidak hanya dikoreksi, tetapi digunakan sebagai bahan diskusi konseptual.

Pada kegiatan jaring-jaring kubus, G1 memberi kesempatan kepada siswa untuk mempresentasikan hasil kerja kelompok. Ketika terdapat gambar jaring-jaring yang belum tepat, G1 meminta siswa memverifikasi hasil tersebut melalui pengamatan dan praktik langsung. Gambar 6 menunjukkan jawaban kelompok yang digunakan sebagai bahan verifikasi. Melalui kegiatan ini, siswa diarahkan untuk memahami bahwa tidak semua susunan enam persegi dapat membentuk kubus.



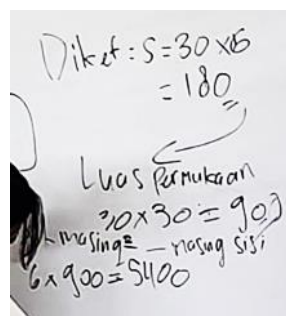
Gambar 6. Jawaban Kelompok yang Digunakan Sebagai Bahan Verifikasi Jaring-Jaring Kubus

Pada materi luas permukaan kubus, G1 kembali menggunakan benda konkret dan tanya jawab ketika siswa mengalami kesulitan memahami makna tinggi kubus dan hubungannya dengan rusuk. Gambar 7 menunjukkan contoh pekerjaan siswa yang memperlihatkan kesulitan tersebut. Melalui benda berbentuk kubus, G1 membantu siswa memahami bahwa tinggi kubus berkaitan dengan panjang rusuk, bukan sisi bangun ruang.



Gambar 7. Contoh Pekerjaan Siswa pada LKPD Luas Permukaan Kubus

Kesalahan lain tampak ketika siswa menentukan luas satu sisi kubus. Gambar 8 menunjukkan hasil diskusi kelompok yang memperlihatkan bahwa siswa belum memahami bahwa luas satu sisi kubus diperoleh dari luas persegi, yaitu panjang rusuk dikalikan panjang rusuk. G1 kemudian membimbing siswa melalui pertanyaan bertahap agar siswa dapat membedakan makna “satu sisi” dan “luas permukaan kubus”. Tindakan ini menunjukkan integrasi antara pengetahuan konten tentang luas permukaan dengan strategi pedagogis berupa scaffolding dan umpan balik formatif.



Gambar 8. Salah Satu Hasil Diskusi Kelompok pada Materi Luas Permukaan Kubus

Pada G2, sebagian siswa mampu menyelesaikan soal yang bersifat langsung dan prosedural. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran G2 dapat membantu siswa menggunakan rumus ketika informasi dalam soal sudah jelas. Namun, pada soal yang menuntut pemahaman terhadap perbedaan luas alas dan luas permukaan, masih ditemukan kebingungan siswa.

Handwritten student work showing calculations for the surface area of a cube. The student writes "3 > Luas permukaan kubus = 6 . s²" and then calculates "6 . 5² = 6 . 5² = 6 . 25 = 150".

Gambar 9. Hasil Pekerjaan Siswa tentang Luas Alas dan Luas Permukaan

Gambar 9 menunjukkan hasil pekerjaan siswa yang memperlihatkan kebingungan antara luas alas dan luas permukaan kubus. Pada episode ini, klarifikasi konseptual terhadap perbedaan kedua istilah tersebut belum tampak secara eksplisit. Kesalahan siswa belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai kesempatan untuk membahas makna “alas”, “sisi”, dan “permukaan” dalam konteks bangun ruang.

Temuan ini menunjukkan bahwa perbedaan antara G1 dan G2 terletak pada tindak lanjut terhadap kesalahan siswa. G1 menggunakan kesalahan sebagai bahan diskusi, verifikasi, dan penguatan konsep, sedangkan pada G2 tindak lanjut terhadap kesalahan belum tampak secara mendalam. Meskipun demikian, ambiguitas redaksi soal pada LKPD juga dapat menjadi faktor yang menyebabkan siswa keliru memahami informasi yang ditanyakan.

Pengelolaan Diskusi dan Penilaian Formatif

Pada G1, diskusi kelompok dan diskusi kelas digunakan untuk memberi ruang kepada siswa dalam mempresentasikan hasil, menanggapi jawaban teman, dan memverifikasi kebenaran representasi jaring-jaring. Pengelolaan diskusi semacam ini menunjukkan bahwa guru tidak hanya mengatur aktivitas kelas, tetapi juga mengarahkan interaksi siswa agar terjadi negosiasi makna matematis. LKPD dan jawaban siswa digunakan sebagai sumber penilaian formatif untuk mengetahui pemahaman siswa dan menentukan penguatan konsep pada akhir pembelajaran. Hal ini tampak pada kutipan wawancara berikut.

P : Bagaimana Ibu menggunakan hasil LKPD untuk mengetahui pemahaman siswa?

G1 : Dari LKPD saya melihat bagian mana yang masih banyak salah. Kalau banyak kelompok keliru, misalnya pada jaring-jaring kubus, saya bahas kembali di depan kelas.

P : Apa yang Ibu lakukan ketika menemukan jawaban kelompok yang berbeda atau kurang tepat?

G1 : Saya minta kelompok menunjukkan hasilnya, lalu kelompok lain menanggapi. Dari situ siswa bisa membandingkan mana jaring-jaring yang benar dan mana yang tidak.

Pada G2, kerja kelompok juga dikelola, tetapi presentasi dan diskusi konseptual belum banyak dikembangkan. Kegiatan lebih banyak diarahkan pada penyelesaian produk atau latihan. Hal ini menunjukkan bahwa penilaian formatif telah muncul melalui LKPD, tetapi tindak lanjut terhadap kesalahan siswa masih dapat diperkuat agar kesalahan menjadi bahan diskusi konseptual, bukan hanya tanda bahwa jawaban perlu diperbaiki. Hal ini tercermin dalam kutipan wawancara berikut.

P : Bagaimana Ibu menggunakan hasil LKPD untuk mengetahui pemahaman siswa?

G2 : Saya melihat hasil LKPD untuk mengetahui siswa sudah paham atau belum. Kalau ada jawaban yang salah, saya minta siswa memperbaikinya.

P : Bagaimana tindak lanjut yang Ibu lakukan setelah menemukan kesalahan pada LKPD?

G2 : Biasanya saya jelaskan kembali bagian yang belum tepat, tetapi tidak selalu melalui presentasi atau diskusi kelompok.

Tabel 3. Perbandingan Aktivasi MPCK G1 dan G2

Aspek MPCK	G1: Telah Mengikuti PPG	G2: Belum Mengikuti PPG	Interpretasi MPCK
Strategi dan representasi	Menggunakan konteks, PowerPoint, rubik, dadu, alat peraga kubus, dan LKPD untuk membangun pemahaman konsep.	Menggunakan PowerPoint dan aktivitas membuat jaring-jaring berbantuan tali yang memberi pengalaman visual-kinestetik, tetapi eksplorasi konsep masih terbatas.	MPCK tampak lebih kuat ketika media digunakan untuk menghubungkan pengalaman konkret, visualisasi, dan istilah matematika.
Komunikasi matematis	Mengklarifikasi istilah rusuk, sisi, titik sudut, jaring-jaring, dan luas permukaan melalui pertanyaan pemandu.	Menjelaskan konsep secara ringkas; klarifikasi konseptual terhadap beberapa jawaban siswa belum tampak eksplisit.	Kualitas komunikasi menunjukkan kemampuan guru mentransformasikan MCK menjadi bahasa yang dapat dipahami siswa.
Respons terhadap miskonsepsi	Kesalahan siswa dijadikan bahan diskusi dan verifikasi menggunakan alat peraga.	Beberapa kesalahan siswa belum dimanfaatkan sebagai kesempatan untuk memperdalam konsep.	Respons terhadap miskonsepsi merupakan indikator penting karena memperlihatkan integrasi konten, pedagogi, dan pengetahuan tentang pemikiran siswa.
Pengelolaan pembelajaran	Diskusi kelompok dan diskusi kelas diarahkan untuk presentasi, tanggapan, dan verifikasi jawaban.	Kerja kelompok terlaksana dan siswa dilibatkan dalam produk jaring-jaring, tetapi diskusi konseptual dan negosiasi makna matematis belum banyak dikembangkan.	MPCK tampak ketika guru mengelola aktivitas agar siswa tidak hanya menyelesaikan tugas, tetapi membangun pemahaman.
Penilaian formatif	LKPD dan respons siswa digunakan untuk memberi umpan balik dan menekankan kembali konsep penting.	LKPD digunakan untuk melihat pemahaman siswa, tetapi tindak lanjut masih lebih banyak diarahkan pada perbaikan jawaban, latihan, dan penyelesaian produk.	Penilaian formatif memperkuat MPCK jika hasil pekerjaan siswa digunakan untuk mengarahkan pembelajaran berikutnya.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa kedua guru mengaktivasi MPCK dalam pembelajaran geometri, tetapi dengan kualitas yang berbeda. Perbedaan utama tidak hanya terletak pada penggunaan media, LKPD, atau kerja kelompok, tetapi pada cara guru menggunakan representasi, jawaban siswa, dan interaksi kelas untuk membangun pemahaman konsep. Dalam konteks geometri, MPCK tampak ketika guru mampu menghubungkan objek konkret dan visual dengan istilah formal, mengantisipasi miskonsepsi spasial, serta mengarahkan siswa dari aktivitas konkret menuju generalisasi matematis.

Pada G1, penggunaan konteks arsitek, rubik, dadu, animasi, alat peraga, LKPD, dan pertanyaan pemandu menunjukkan bahwa representasi digunakan sebagai jembatan konseptual. Temuan ini sejalan dengan Žakelj & Klančar (2022) yang menekankan peran visualisasi dan representasi visual dalam membantu pemahaman konsep geometri. Representasi tersebut juga mendukung pandangan Weigand et al. (2025) bahwa pembelajaran geometri melibatkan hubungan antara guru, siswa, konten, dan media. Dengan demikian, penggunaan benda konkret oleh G1 bukan sekadar variasi pembelajaran, melainkan bentuk aktivasi MPCK karena guru menggunakan pemahaman konten untuk memilih strategi pedagogis yang sesuai dengan kebutuhan visualisasi siswa.

Respons G1 terhadap miskonsepsi siswa menunjukkan bahwa MPCK tidak berhenti pada penguasaan materi. MCK memang menjadi fondasi penting, tetapi MPCK baru tampak ketika

pengetahuan konten digunakan untuk merancang pertanyaan pemandu, memberi umpan balik, memilih representasi, dan mengarahkan diskusi. Hal ini selaras dengan Ekawati et al. (2022) yang menyatakan bahwa MPCK menjadi salah satu sumber utama dalam pengajaran matematika yang efektif. Hill et al. (2008) juga menegaskan bahwa pengetahuan matematika untuk mengajar membantu guru memahami kesalahan siswa dan menentukan respons pembelajaran yang tepat.

Pada G2, MPCK juga tampak melalui penggunaan PowerPoint, diskusi kelompok, LKPD, dan kegiatan membuat jaring-jaring berbantuan tali. Aktivitas tersebut menjadi kekuatan karena memberi pengalaman visual dan kinestetik kepada siswa dalam menghubungkan jaring-jaring dengan bentuk kubus. Namun, beberapa episode menunjukkan bahwa klarifikasi konseptual dan pemanfaatan kesalahan siswa sebagai bahan diskusi masih dapat diperkuat. Temuan ini menunjukkan bahwa penguatan MCK geometri dan kemampuan mengaitkannya dengan strategi pedagogis masih diperlukan. Dalam pembelajaran geometri, kesalahan siswa tentang rusuk, sisi, jaring-jaring, luas alas, dan luas permukaan memiliki nilai diagnostik yang penting karena dapat digunakan untuk mengetahui struktur pemahaman siswa.

Perbedaan pola aktivasi MPCK antara G1 dan G2 mengindikasikan bahwa pengalaman mengikuti PPG dapat berkaitan dengan variasi strategi guru dalam mengintegrasikan pengetahuan konten dan pedagogi. Namun, karena penelitian ini hanya melibatkan dua guru dalam satu konteks sekolah, hubungan tersebut tidak dapat dimaknai sebagai hubungan kausal. Dalam kasus G1, pengalaman PPG berupa penyusunan perangkat, praktik mengajar, *microteaching*, pendalaman materi, dan refleksi pembelajaran dapat menjadi faktor yang mendukung variasi aktivasi MPCK. Temuan ini sejalan dengan Fukaya, Nakamura, & Kitayama (2024) serta Sims et al. (2025) tentang pentingnya pengembangan profesional guru dalam memperkuat praktik mengajar.

Meskipun demikian, pengetahuan profesional tidak selalu teraktualisasi secara penuh dalam praktik kelas. LKPD G1 masih cenderung didominasi latihan prosedural sehingga peluang siswa untuk membangun argumentasi geometris dan berpikir tingkat tinggi belum optimal. Pada G2, aktivitas produk jaring-jaring sudah menarik, tetapi masih perlu diarahkan pada diskusi alasan, verifikasi, dan klarifikasi konsep. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan MPCK memerlukan praktik berkelanjutan, refleksi, dan dukungan sesuai konteks kelas, sebagaimana dinyatakan Brodie & Sanni (2014) bahwa pengetahuan guru dapat berkembang atau berkurang bergantung pada praktik yang dilakukan secara berkelanjutan.

Implikasi penelitian ini adalah bahwa pengembangan profesional guru matematika perlu menempatkan MPCK sebagai fokus utama, bukan hanya penguasaan materi atau penerapan model pembelajaran. Pelatihan guru, termasuk PPG, perlu memberi ruang bagi analisis video pembelajaran, identifikasi miskonsepsi siswa, perancangan representasi geometri, pengembangan LKPD eksploratif, dan praktik respons formatif terhadap kesalahan siswa. Bagi guru yang belum mengikuti PPG, pendampingan dapat diarahkan pada penguatan MCK geometri dan latihan mengubah konsep menjadi representasi, pertanyaan, diskusi kelas, serta umpan balik yang bermakna.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah subjek, konteks, materi, dan durasi observasi. Subjek hanya dua guru pada satu sekolah, materi terbatas pada kubus, dan observasi dilakukan dalam dua pertemuan untuk setiap guru sehingga temuan tidak dapat digeneralisasi secara luas atau menggambarkan stabilitas praktik mengajar jangka panjang. Penelitian ini juga tidak dirancang untuk menguji pengaruh kausal PPG terhadap MPCK guru maupun dampaknya terhadap hasil belajar siswa.

SIMPULAN DAN SARAN

Dalam dua kasus yang diamati, guru yang telah mengikuti PPG menunjukkan aktivasi MPCK yang lebih beragam dibandingkan guru yang belum mengikuti PPG. Aktivasi tersebut tampak melalui penggunaan representasi konkret dan visual, komunikasi matematis yang lebih rinci, pengelolaan aktivitas diskusi, respons formatif, serta pemanfaatan miskonsepsi siswa sebagai bahan untuk memperdalam pemahaman konsep geometri. Sementara itu, guru yang belum mengikuti PPG juga menunjukkan aktivasi MPCK melalui penggunaan PowerPoint, LKPD, kerja kelompok, dan aktivitas membuat jaring-jaring berbantuan tali. Namun, aktivasi tersebut masih dapat diperkuat pada aspek klarifikasi konseptual, penguatan MCK geometri, dan pemanfaatan kesalahan siswa sebagai bahan diskusi.

Temuan ini menunjukkan bahwa MCK merupakan fondasi penting dalam pengembangan MPCK guru matematika. Namun, penguasaan materi belum cukup apabila tidak ditransformasikan ke dalam representasi, pertanyaan pemandu, diskusi, dan penilaian formatif. Oleh karena itu, program pengembangan profesional guru perlu memberi perhatian pada kemampuan guru menghubungkan pengetahuan konten dengan strategi pedagogis dalam konteks materi tertentu, terutama geometri yang menuntut visualisasi dan penalaran spasial.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melibatkan lebih banyak guru dari beberapa sekolah, mengamati lebih banyak pertemuan, dan menggunakan materi geometri yang lebih beragam. Penelitian lanjutan juga dapat membandingkan pola aktivasi MPCK guru dengan pengalaman pengembangan profesional yang berbeda, tetapi tetap perlu menghindari penafsiran kausal apabila desain penelitian tidak dirancang untuk menguji pengaruh secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Brodie, K., & Sanni, R. (2014). 'We won't know it since we don't teach it': Interactions between Teachers' Knowledge and Practice. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 18(2), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10288457.2014.930980>
- Burroughs, N., Gardner, J., Lee, Y., Guo, S., Touitou, I., Jansen, K., & Schmidt, W. (2019). Teacher Quality and Mean Student Outcomes: A Multi-model Approach. In *IEA Research for Education* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16151-4>
- Ekawati, R., Lin, F. L., & Kohar, A. W. (2022). Investigating teachers' mathematics pedagogical content knowledge on ratio and proportion: Does it exist in teaching? *Cakrawala Pendidikan*, 41(3), 830–847. <https://doi.org/10.21831/cp.v41i3.39457>
- Fukaya, T., Fukuda, M., & Suzuki, M. (2024). Relationship between mathematical pedagogical content knowledge, beliefs, and motivation of elementary school teachers. *Frontiers in Education*, 8, 8, 1–11. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1276439>
- Fukaya, T., Nakamura, D., & Kitayama, Y. (2024). A systematic review and meta-analysis of intervention studies on mathematics and science pedagogical content knowledge. *Frontiers in Education*, 9, 1–17. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1435758>
- Grigaliuniene, M., Lehtinen, E., Verschaffel, L., & Depaepe, F. (2025). Systematic Review of Research on Pedagogical Content Knowledge in Mathematics: Insights from a Topic-Specific Approach. *ZDM - Mathematics Education*, 57, 777–794. <https://doi.org/10.1007/s11858-025-01684-1>
- Hill, H. C., Blunk, M. L., Charalambous, C. Y., Lewis, J. M., Phelps, G. C., & Ball, L. S. D. L.

- (2008). Mathematical Knowledge for Teaching and the Mathematical Quality of Instruction: An Exploratory Study. *Cognition and Instruction*, 26(4), 430–511. <https://doi.org/10.1080/07370000802177235>
- Kemendikbudristek. (2024). *Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 19 Tahun 2024 tentang Pendidikan Profesi Guru*. Jakarta. Retrieved from <https://ppg.kemendikdasmen.go.id/news/permendikbudristek-nomor-19-tahun-2024-tentang-pendidikan-profesi-guru>
- Makovec, D. (2018). The teacher's role and professional development. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 6(2), 33–45. <https://doi.org/10.5937/ijcrsee1802033M>
- Mosia, M., Edward, M., & John, T. (2023). Errors and Misconceptions in Euclidean Geometry Problem Solving Questions: The Case of Grade 12 Learners. *Research in Social Sciences and Technology*, 8(3), 89–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.46303/ressat.2023.23>
- Mutammam, M. B., Juniati, D., & Wulandari, E. N. (2023). Geometrical intuition components for designing mathematical tasks. *Math Didactic: Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(2), 323–334. <https://doi.org/10.33654/math.v9i2.2267>
- Obilor, E. I. (2020). Teacher factors influencing students' academic performance in public secondary schools in River State. *International Academy Journal of Educational Technology and Research*, 7(2), 28–41.
- Sakaria, D., Maat, S. M. Bin, & Matore, M. E. E. B. M. (2023). Factors Influencing Mathematics Teachers' Pedagogical Content Knowledge (Pck): A Systematic Review. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 1–14. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.01>
- Sims, S., Fletcher-wood, H., Mara-eves, A. O., Cottingham, S., Stansfield, C., & Goodrich, J. (2025). Effective Teacher Professional Development : New Theory and a Meta-Analytic Test. *Review of Educational Research*, 95(2), 213–254. <https://doi.org/10.3102/00346543231217480>
- Tinh, P. T., Thi, T., Le, T., Nguyen, P., Le, C. D., & Nguyen, M. (2021). Preparing Pre-Service Teachers for Mathematics Teaching at Primary Schools in Vietnam. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(5). <https://doi.org/10.29333/ejmste/10863>
- Weigand, H., Hollebrands, K., & Maschietto, M. (2025). Geometry education at secondary level – a systematic literature review. *ZDM - Mathematics Education*, 57, 829–843. <https://doi.org/10.1007/s11858-025-01703-1>
- Žakelj, A., & Klančar, A. (2022). The Role of Visual Representations in Geometry Learning. *European Journal of Educational Research Volume*, 11(3), 1393–1411. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.3.1393>