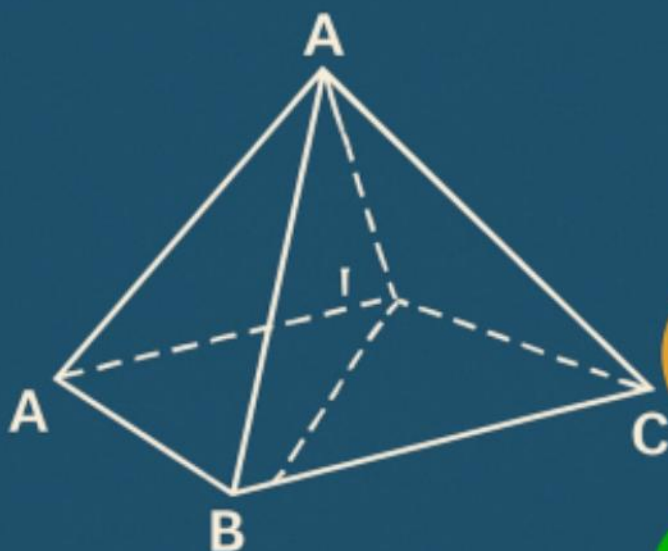


Design Research pada Pembelajaran Matematika:

Konsep dan Aplikasi

IIK NURHIKMAYATI
RATU SARAH FAUZIAH ISKANDAR
DARHIM



***Design Research* pada
Pembelajaran Matematika:
Konsep dan Aplikasi**

***Design Research* pada Pembelajaran Matematika: Konsep dan Aplikasi**

Iik Nurhikmayati
Ratu Sarah Fauziah Iskandar
Darhim



***Design Research* pada Pembelajaran Matematika: Konsep dan Aplikasi**

Penulis:
Iik Nurhikmayati
Ratu Sarah Fauziah Iskandar
Darhim

Editor:
M. Gilar Jatisunda

Layouter :
Tim Kreatif PRCI

Cover:
Rusli

Cetakan Pertama : April 2025

Hak Cipta 2025, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT
Pondok Karisma Residence Jalan Rafflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org
E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2024 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2025
; 14,8 x 21 cm
ISBN

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya buku "*Design Research pada Pembelajaran Matematika* " dapat diselesaikan. Buku ini lahir dari upaya menghadirkan pendekatan pembelajaran yang tidak hanya menekankan pada hasil belajar, tetapi juga pada proses menemukan, merancang, serta mengembangkan pembelajaran matematika yang sesuai dengan kebutuhan nyata di kelas.

Design Research sebagai salah satu pendekatan kajian pendidikan menawarkan cara pandang baru dalam merancang pembelajaran. Melalui karakteristiknya yang siklikal, reflektif, dan berbasis praktik, pendekatan ini memberikan ruang bagi guru maupun peneliti untuk menciptakan inovasi pembelajaran yang adaptif terhadap kondisi peserta didik.

Buku ini membahas pentingnya pembelajaran matematika berbasis Design Research, mulai dari teori dasar, tahapan kajian, serta karakteristiknya. Selain itu, konsep-konsep penting seperti *learning obstacle*, *tetrahedron didaktis*, hingga *hypothetical learning trajectory (HLT)* dan *local instruction theory (LIT)* diuraikan secara sistematis untuk memberikan pemahaman mendalam.

Tidak hanya teori, buku ini juga menyajikan implementasi Design Research dalam pembelajaran matematika yang diharapkan dapat menjadi inspirasi bagi guru, mahasiswa calon guru, maupun peneliti pendidikan matematika. Dengan demikian, buku ini diharapkan mampu menjadi jembatan antara teori dan praktik, sekaligus

mendorong terciptanya inovasi pembelajaran yang lebih efektif dan bermakna.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga buku ini memberikan manfaat nyata bagi pengembangan pembelajaran matematika di Indonesia.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	III
BAB I PENTINGNYA PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS <i>DESIGN RESEARCH</i>	1
BAB II TEORI <i>DESIGN RESEARCH</i> , DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA	20
A. Teori <i>Design Research</i>	20
B. Tahapan Kajian <i>Design Research</i>	22
C. Karakteristik Design Research	26
BAB III <i>LEARNING OBSTACLE</i> , APA DAN BAGAIMANA?	29
A. Epistemological learning obstacle	30
B. Ontogenic learning obstacle	30
C. Didactical learning obstacle	31
BAB IV TETRAHEDRON DIDAKTIS	33
BAB V <i>HYPOTHETICAL LEARNING TRAJECTORY</i> (HLT)	39
A. Learning trajectory	39
B. Hypothetical learning trajectory (HLT)	40
C. Local Instruction Theory (LIT)	41

BAB VI TEORI DASAR RANCANGAN DESAIN TETRAHEDRON DIDAKTIS	45
A. Teori Situasi Didaktis (Theory of Didactical Situation)	45
1. Situasi Aksi	47
2. Situasi formulasi	47
3. Situasi validasi	48
4. Situasi institusionalisasi	49
B. Teori Van Hiele	49
C. Teori Konstruktivisme	51
 BAB VII IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS <i>DESIGN RESERACH</i>	 54
A. <i>Learning Obstacles</i> Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Kemampuan Berpikir Kritis	54
B. Impementasi Desain Tetrahedron Didaktis dengan Pendekatan STEAM	70
 DAFTAR PUSTAKA	 76

BAB I

PENTINGNYA PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS *DESIGN* *RESEARCH*

Berpikir kritis telah diakui sebagai salah satu keterampilan berpikir dan indikator paling penting dalam menentukan kualitas pembelajaran siswa (Alsaleh, 2020). Ennis (1985) menyatakan bahwa kemampuan berpikir kritis memiliki peran krusial dalam pemecahan masalah, pengambilan keputusan dan penalaran yang efektif. Sebagai kemampuan berpikir tingkat tinggi, kemampuan berpikir kritis menjadi komponen utama pada ketelitian akademis yang dapat membantu siswa bernalar secara efektif, berpikir sistematis, membuat penilaian dan keputusan berdasarkan bukti, serta mengatasi masalah yang kompleks (Gleason, 2018; Utami, 2023). Bahkan, kemampuan berpikir kritis dijadikan salah satu kunci utama dalam pengembangan keterampilan abad-21 (Setiawati et al., 2021; Shadiq, 2019; Triling & Fadel, 2009; Wang et al., 2019).

Signifikansi pengaruh kemampuan berpikir kritis dapat dilihat melalui perhatian serta penerapannya dalam kebijakan pendidikan dan kajian ilmiah. Keterampilan berpikir kritis perlu diintegrasikan dalam kurikulum dan metode pengajaran, serta disusun secara berjenjang di setiap tingkat pendidikan untuk membentuk individu yang mampu berpikir kritis secara efektif (Alsaleh, 2020). Dalam kebijakan pendidikan Eropa, berpikir kritis adalah salah satu dari empat bidang kompetensi sipil yang harus dipromosikan

oleh lembaga dan program pendidikan (De Coster & Sigalas, 2017). Dalam kebijakan pendidikan Indonesia, kemampuan berpikir kritis menjadi aspek utama dalam pengembangan kompetensi pada kurikulum 2013 (Kemendikbud, 2013; Wiryanto et al., 2021). Selain itu, kurikulum merdeka sebagai kurikulum terbaru di Indonesia juga memberikan ruang bagi pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa dengan berbagai model pembelajaran seperti berbasis proyek, penekanan analisis dan integrasi mata pelajaran (Waruwu et al., 2024).

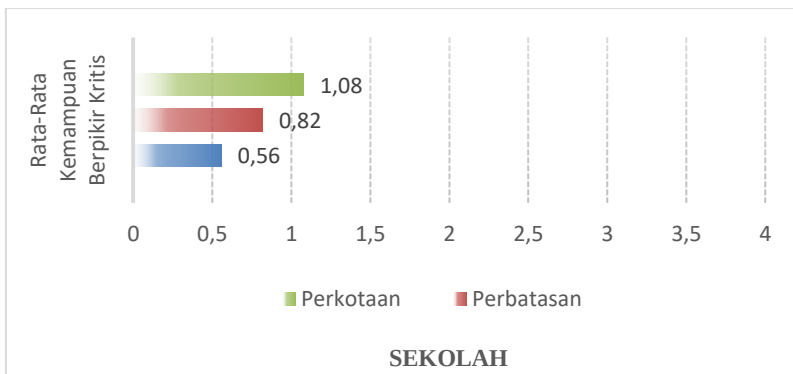
Dalam aspek kajian ilmiah, ketertarikan ilmiah pada kemampuan berpikir kritis tercermin dari pertumbuhan jumlah publikasi akademis tentang berpikir kritis, terutama dalam dekade terakhir (Castaño et al., 2023). Amerika Serikat adalah negara yang paling berpengaruh di bidang ini (68%), diikuti oleh Kanada dan Australia. Peningkatan progresif besar dalam jumlah publikasi tentang berpikir kritis telah diamati di Universitas Asia di Turki, Cina dan Indonesia. Bidang kajian yang paling banyak membahas kemampuan berpikir kritis adalah bidang pendidikan matematika dan sains dan sebagian besar menggunakan pendekatan kajian kualitatif (Aktoprak & Hursen, 2022). Fokus kajian pada kemampuan berpikir kritis terbagi menjadi empat, yaitu (1) pengembangan dan teknologi, (2) ilmu pengetahuan dan hasil, (3) kurikulum dan matematika, dan (4) lingkungan dan motivasi (Siregar et al., 2023). Siregar et al juga mengungkapkan bahwa tema baru pada kajian terkait kemampuan berpikir kritis dari tahun 1999 – 2023 diantaranya adalah *self-efficacy*, pendidikan STEM/STEAM dan inovasi. Keseluruhan perhatian dan penerapan aspek kemampuan berpikir kritis, baik pada bidang pendidikan maupun kajian ilmiah mencerminkan kepentingan global

dalam pengembangan kemampuan berpikir kritis sebagai suatu keterampilan yang penting di masa depan.

Pentingnya pengembangan kemampuan berpikir kritis pada bidang pendidikan maupun kajian ilmiah berperan dalam menciptakan individu yang lebih analitis, reflektif, dan bertanggung jawab, sehingga dapat memberikan dampak positif bagi kemajuan ilmu pengetahuan. Pada konteks pendidikan, kemampuan berpikir kritis memiliki keterkaitan yang erat dengan matematika. Matematika memiliki peranan penting dalam membentuk dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa (Rohmah & Mashuri, 2021; Sachdeva & Eggen, 2021). Demikian pula sebaliknya, kemampuan berpikir kritis penting dimiliki siswa untuk menyelesaikan masalah matematika terkait generalisasi, pembuktian, dan evaluasi secara reflektif (Glaser, 1972; Sachdeva & Eggen, 2021). Penguatan kompetensi berpikir kritis dalam pembelajaran matematika telah menjadi perhatian sejak puluhan tahun (Jansson, 1986; Kuntze et al., 2017), dan hasil studi melaporkan bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara kemampuan berpikir kritis siswa dengan prestasi akademik dalam pembelajaran matematika (Brown, 2016; Er, 2023).

Pentingnya kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran matematika bertolak belakang dengan kondisi siswa dalam pembelajaran di sekolah. Studi pendahuluan menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa di tiga sekolah berbeda (pedesaan, perbatasan dan perkotaan) di Kabupaten Majalengka Jawa Barat masih rendah dan perlu ditingkatkan (Nurhikmayati et al., 2024). Data Survei hasil tes diagnostik lima soal kemampuan berpikir kritis siswa pada materi kubus dan balok menunjukkan rata-rata skor kemampuan siswa sangat minimum dengan skor maksimal

4.0. Rata-rata skor kemampuan berpikir kritis paling tinggi diperoleh siswa di sekolah perkotaan dengan skor rata-rata 1,08 yang masih jauh dari skor maksimal, kemudian diikuti oleh sekolah perbatasan, dan paling rendah di sekolah pedesaan. Hasil ini memberikan bukti nyata bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis siswa di Indonesia masih rendah. Gambaran keseluruhan studi pendahuluan tentang kemampuan berpikir kritis disajikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1
Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Sekolah Perkotaan,
Perbatasan, dan Pedesaan Kabupaten Majalengka Tahun
2024

Rendahnya kemampuan berpikir kritis siswa juga diperkuat dengan temuan kajian sebelumnya. Beberapa hasil kajian pada level pendidikan sekolah dasar, sekolah menengah pertama dan sekolah menengah atas antara tahun 2017 sampai 2024 mengungkapkan bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis siswa masih rendah (Fitria et al., 2024; Nurmalia & Sari, 2023; Anggraini et al., 2022; Benyamin et al., 2021; Dores et al., 2020; Septiana et

al., 2019; Danaryanti & Lestari, 2018; Irawan et al., 2017). Hasil ini mengindikasikan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis siswa di Indonesia masih belum dikembangkan secara optimal di sekolah (Farib et al., 2019). Hasil ini didukung oleh pendapat Sachdeva & Eggen (2021) yang menyatakan bahwa siswa kurang berpikir kritis dan memiliki keyakinan yang tidak konsisten terkait pembelajaran matematika.

Rendahnya kemampuan berpikir kritis dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik internal maupun eksternal. Salah satu faktor eksternal yang memainkan peran kunci dalam proses akuisisi pengetahuan siswa dalam pembelajaran matematika adalah desain pembelajaran yang digunakan (Prabawanto, 2018). Carpenter & Gorg merekomendasikan pendekatan yang mencakup strategi, perencanaan, pemantauan, dan evaluasi sepanjang proses pembelajaran (Carpenter & Gorg, 2000). Hal ini sejalan dengan Permendikbudristek Nomor 16 Tahun 2022 bahwa guru memiliki tanggung jawab untuk merancang bahan ajar yang komprehensif dan terstruktur sesuai dengan kebutuhan siswa (*differentiated learning*) dan berbasis teknologi guna memastikan proses pembelajaran berlangsung secara optimal. Kewajiban ini menuntut setiap guru agar mampu mendesain pembelajaran matematika yang sesuai dengan kebutuhan siswa, keterampilan yang ingin dikembangkan serta berbasis teknologi. Pembuatan rancangan pembelajaran untuk memfasilitasi serta membantu terjadinya proses belajar dan pembelajaran disebut dengan desain didaktis (Artigue, 2009). Desain ini mencakup rancangan lingkungan belajar dan urutan pengajaran yang didasarkan pada analisis mendalam terhadap suatu topik tertentu (Ruthven et al., 2009). Selanjutnya Ruthven

menyatakan bahwa tujuan penyusunan desain didaktis adalah untuk membuat desain pembelajaran yang tidak hanya sesuai untuk implementasi secara luas tetapi juga mencakup pengetahuan komprehensif untuk mencapai hasil yang diinginkan secara konsisten. Oleh sebab itu, solusi terbaik dalam upaya mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa adalah melalui desain didaktis yang berfokus pada pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa. Desain didaktis yang melibatkan komponen guru-siswa-materi pada segitiga didaktis yang disusun secara efektif mampu memegang peranan penting dalam mendorong proses belajar secara optimal serta pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa (Cahyani & Ahmad, 2024; Suryadi, 2011).

Salah satu *framework* kajian yang mendukung pada desain pembelajaran adalah *design research*. *Design research* adalah proses analisis sistematis, desain dan evaluasi intervensi pembelajaran yang bertujuan untuk menghasilkan solusi dalam praktik pendidikan, dan memperkaya pemahaman mengenai karakteristik intervensi dalam perancangan dan pengembangannya (Plomp, 2006). *Design research* berorientasi untuk menghasilkan pengetahuan baru berupa desain didaktis yang bertumpu pada filosofi pragmatism (Stompff et al., 2022). Filosofi ini menekankan peran penting teori dalam praktik, dimana pengetahuan dievaluasi berdasarkan sejauhmana implikasi praktisnya dapat meningkatkan atau memperbaiki suatu keadaan. Hal ini menjadikan *design research* sebagai metode yang berfokus untuk mengatasi permasalahan nyata dalam pembelajaran, desain yang dikembangkan terus diuji, dievaluasi dan direvisi agar lebih efektif serta dapat diterapkan dan diadaptasi di lapangan.

Desain pembelajaran yang menekankan pada peningkatan kemampuan berpikir kritis semakin dirasakan urgensinya seiring dengan pesatnya kemajuan teknologi (Adelman et al., 2014; Dong et al., 2023). Teknologi memiliki peranan penting yang berpengaruh dalam proses pembelajaran, baik sebagai alat bantu maupun basis pembelajaran (Attard & Holmes, 2020; NCTM, 2000; Salsabila & Agustian, 2021). Desain pembelajaran yang melibatkan guru-siswa-materi-teknologi yang dikenal sebagai tetrahedron didaktis (Tall, 1986) menjadi solusi yang dapat digunakan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa. Hubungan pada model tetrahedron didaktis merupakan hubungan yang menyeluruh dari situasi didaktis yang menggambarkan aktivitas pembelajaran matematika yang dimediasi oleh teknologi.

Tall (2004) menekankan bahwa peran teknologi dalam pembelajaran dapat memperluas pemahaman siswa melalui representasi dinamis, yang mendorong eksplorasi mandiri dan berpikir kritis. Perluasan kerangka kerja segitiga didaktis dengan teknologi menjadi lebih komprehensif ketika teknologi berperan sebagai alat untuk mengoptimalkan konstruksi pemahaman siswa. Kajian Hajizah (2022) menunjukkan bahwa implementasi desain tetrahedron didaktis dapat meningkatkan kemampuan berpikir matematis siswa karena struktur ini memadukan pemahaman konseptual dengan aplikasi praktis. Dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis matematis, interaksi dinamis antar keempat komponen pada tetrahedron didaktis memungkinkan guru menjadi fasilitator yang mendesain pembelajaran berbasis pemikiran kritis, siswa mengkonstruksi pemahaman matematika melalui pemikiran kritis, konten matematika yang menantang untuk

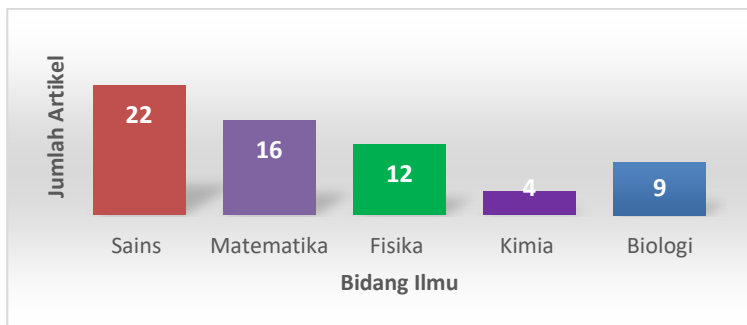
analisis mendalam serta teknologi sebagai alat eksplorasi dan verifikasi konsep matematika.

Diantara pendekatan pembelajaran yang sangat berkontribusi untuk pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa dan sesuai dengan kerangka teoritis pada tetrahedron didaktis adalah pendekatan STEAM (Bozkurt Altan & Tan, 2021; Wan et al., 2021). STEAM merupakan meta disiplin ilmu yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, seni dan matematika menjadi sebuah pendekatan terpadu yang dapat diterapkan dalam pembelajaran (Nurhikmayati, 2019). Integrasi dalam STEAM akan membuka peluang bagi siswa untuk melakukan proses pembelajaran desain secara langsung dan menghasilkan produk dengan kreativitas tinggi dan pemecahan masalah yang efektif (Katz-Buonincontro, 2018), yang dapat mendorong kemampuan berpikir kritis siswa (Henriksen et al., 2019; Quigley & Herro, 2016). Kaitannya dengan desain tetrahedron didaktis, STEAM sebagai pendekatan pembelajaran yang menyediakan konteks interdisipliner, sementara desain tetrahedron didaktis menjadi kerangka untuk mendesain pembelajaran yang mendalam dan komprehensif antara guru, siswa, materi matematika dan teknologi dengan memadukan berbagai konten ilmu, representasi, dan proses berpikir untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Studi pendahuluan mengungkapkan bahwa kajian terkait pengembangan kemampuan berpikir kritis melalui pendekatan STEM/STEAM pada bidang matematika telah banyak dilakukan diberbagai negara dalam kurun waktu 2018-2022 seperti Indonesia, Amerika, Taiwan, Saudi Arabia, Turki, Jepang dan Malaysia (Nurhikmayati et al., 2024). Selanjutnya intervensi yang paling banyak diintegrasikan

dengan pendekatan STEM/STEAM untuk pengembangan kemampuan berpikir kritis adalah model *project-based learning*. Temuan ini didukung oleh temuan lain yang menyatakan bahwa STEAM *project-based learning* merupakan pendekatan pembelajaran STEM/STEAM yang paling populer (Markham, 2012; Miller, 2014).

Project-based learning (PjBL) merupakan model pembelajaran yang berpusat pada siswa dalam kegiatan desain, analisis, investigasi melalui produk nyata atau presentasi, untuk mengembangkan sebuah pola pikir dalam memecahkan masalah dan mengambil keputusan serta memberikan pengalaman belajar yang bermakna bagi siswa (Thomas, 2000; Alberto et al., 2015; Bell, 2010). Pembelajaran PjBL berbasis STEAM dilandasi teori belajar konstruktivisme karena langkah-langkah pembelajarannya mengarahkan pada konstruksi pengetahuan siswa melalui pengalaman dari beberapa disiplin ilmu. Integrasi disiplin ilmu yang berbeda akan memicu pemikiran kritis dan kreatif siswa yang dituangkan melalui instruksi-instruksi dalam memahami suatu konsep matematika. Tahapan proses pembelajaran PjBL berbasis STEM dicetuskan oleh Laboy-Rush (2011) yaitu *reflection, reseacrh, discovery, application* dan *communication* yang mampu menyuguhkan proses pembelajaran komprehensif untuk pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa. Beberapa kajian pada berbagai bidang ilmu seperti sains, matematika, fisika, kimia dan biologi telah dilakukan berkaitan dengan penggunaan STEM *project-based learning* untuk pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa pada lima tahun terakhir.



Gambar 1.2

Sebaran Kajian STEM/STEAM *Project-based learning* terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Berbagai Bidang Ilmu Tahun 2021-2025

Gambar 1.2 menunjukkan bahwa kajian terkait pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa melalui STEM/STEAM *project-based learning* pada bidang matematika masih sedikit. Kajian yang relevan didominasi oleh bidang sains sebagai bidang ilmu yang bersifat eksperimental, konkret, dan mudah dikaitkan dengan teknologi serta rekayasa. Sementara dalam bidang matematika yang bersifat teoritis dan abstrak, implementasi pembelajaran lebih sulit dilakukan dengan eksperimen dan beberapa konsep matematika tidak dapat diterjemahkan langsung menjadi proyek berbasis produk nyata. Kajian sebelumnya yang relevan pada lima tahun terakhir merupakan bagian kecil yang perlu dikembangkan dalam upaya mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa pada bidang matematika. Hasil dari sejumlah kajian menunjukkan bahwa terdapat potensi besar untuk menggunakan STEAM *project-based learning* sebagai sebuah pendekatan pembelajaran yang berorientasi pada pengembangan kemampuan berpikir kritis matematis siswa.

Hasil akhir dari analisis kajian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kajian desain pembelajaran dengan menggunakan pendekatan STEAM *project-based learning* untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa SMP belum pernah dilakukan sebelumnya. Kajian desain pembelajaran oleh Anggi et al., (2023) pada jenjang SMA memiliki relevansi yang tinggi dengan kajian ini berkaitan dengan metode, pendekatan, dan teknologi yang digunakan. Namun, kajian tersebut belum menambahkan unsur seni (art) pada STEM, komponen berpikir kritis yang dikembangkan berbeda serta memiliki perbedaan kajian materi yang dikembangkan dalam pembelajaran matematika. Selanjutnya, kaitannya dengan kajian desain tetrahedron didaktis dalam pembelajaran matematika pernah dilakukan oleh Hajizah (2022) pada pembelajaran fungsi dengan pendekatan realistik untuk mengembangkan kemampuan berpikir aljabar. Hasil kajian tersebut menunjukkan kesesuaian pada metode kajian yakni *design research* serta komponen desain didaktis yang meliputi HLT, bahan ajar dan LIT, namun berbeda pada faktor pendekatan, materi, serta kemampuan matematis yang dikembangkan dalam kajian ini. Berdasarkan kajian-kajian yang relevan di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kajian ini memiliki kebaruan yang kuat dan perbedaan yang cukup signifikan terhadap kajian-kajian relevan terdahulu yang memungkinkan menjadi kajian baru yang belum pernah dilakukan sebelumnya.

Berangkat dari berbagai studi tersebut, kajian ini memilih untuk melakukan desain pembelajaran tetrahedron didaktis dengan pendekatan STEAM *project-based learning* dalam pembelajaran geometri bangun ruang kubus dan balok dalam upaya mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa dengan menggunakan *design research*. Terdapat

beberapa alasan utama dalam memilih *design research*, pertama, fokus pada pengembangan solusi inovatif, *design research* digunakan untuk menciptakan sebuah desain pembelajaran sebagai eksplorasi solusi baru yang lebih efektif berdasarkan kebutuhan siswa. Kedua, metode ini bersifat iteratif, yang berarti desain pembelajaran yang dikembangkan diuji, dievaluasi, dan disempurnakan secara berulang berdasarkan umpan balik dari siswa. Hal ini memastikan bahwa desain pembelajaran yang dihasilkan relevan dan dapat diterapkan secara nyata. Ketiga, *design research* memberikan kerangka kerja yang kuat, desain pembelajaran yang dihasilkan merupakan produk akhir dari kegiatan perancangan, pengujian, dan penyempurnaan solusi sebelum diterapkan dalam pembelajaran secara luas.

Salah satu materi matematika yang dapat mengajarkan siswa berpikir kritis adalah materi geometri (Sahin, 2008). Geometri merupakan salah satu cabang tertua dari matematika yang berkaitan dengan sifat-sifat ruang seperti jarak, bentuk, ukuran, dan posisi relatif sebuah gambar (Risi, 2015), dan memungkinkan seseorang dapat memahami dunia dengan membandingkan objek dan bentuknya serta hubungan keduanya (Gunhan, 2014). Bangun ruang sisi datar merupakan bagian bidang geometri yang merupakan objek-objek yang diperoleh melalui abstraksi berdasarkan benda-benda konkret yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari (Clements & Sarama, 2011; Couto & Vale, 2014). Namun, persoalan geometri bangun ruang sering kali dianggap lebih sulit dibandingkan dengan persoalan geometri bangun datar. Berdasarkan studi pendahuluan diketahui bahwa kemampuan geometri bangun ruang pada siswa SMP di Kabupaten Majalengka masih rendah (Nurhikmayati, Priatna, et al., 2024). Siswa cenderung kesulitan dalam

membayangkan konsep keruangan, menggambar atau membuat ilustrasi gambar, serta menggunakan rumus yang tepat dalam menyelesaikan masalah geometri bangun ruang.

Beberapa kajian terdahulu mengungkapkan kesulitan siswa dalam menyelesaikan persoalan geometri bangun ruang (Hidajat, 2018; Juanti et al., 2021; Nursyamsiah et al., 2020; Sholihah & Afriansyah, 2018; Susilo, 2017; Syah Putri & Pujiastuti, 2019). Bahkan Novitas et al (2018) dalam kajiannya mengungkapkan bahwa mahasiswa calon guru matematika pun mendapatkan kesulitan pada saat dihadapkan dengan persoalan geometri bangun ruang. Berdasarkan hasil kajiannya, Novitas et al (2018) mengungkapkan penyebab kesulitan tersebut, diantaranya adalah faktor internal yaitu rendahnya aspek minat, bakat dan intelegensi mahasiswa. Selain itu, kesulitan memahami dan menyelesaikan soal geometri bangun ruang juga dipengaruhi faktor eksternal yaitu ketidaksesuaian metode yang digunakan guru berdasarkan kemampuan awal yang dimiliki siswa serta faktor fasilitas yang kurang memadai.

Kajian ini berupaya memberikan salah satu alternatif solusi dalam mengasah dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual pada materi bangun ruang sisi datar yang berfokus pada kubus dan balok melalui desain tetrahedron didaktis. Beberapa alasan yang dirumuskan diantaranya adalah, *pertama* aspek representatif - kubus dan balok merupakan bagian dari bangun ruang sisi datar yang dapat mewakili konsep dasar dan perhitungan dasar seperti unsur, jaring-jaring, luas permukaan dan volume pada bab bangun ruang sisi datar, *kedua* aspek efisiensi waktu dan biaya - pemilihan seluruh bagian dari bab bangun ruang sisi datar dapat memperpanjang waktu kajian serta lebih banyak biaya

kajian yang kurang relevan dengan kondisi peneliti, dan *ketiga* aspek fokus kajian - pemilihan sebagian materi pada bab bangun ruang sisi datar dapat membantu peneliti dalam mengkaji materi secara mendalam dan terarah. Terlalu banyak materi yang digunakan dalam kajian dapat mengurangi kedalaman kajian dan pemecahan masalah yang kurang spesifik. Sementara itu, pembekalan kemampuan berpikir kritis kepada siswa melalui pendekatan STEAM dapat mendorong keterampilan siswa dalam menyelesaikan masalah menggunakan pendekatan multidisiplin. Selain itu, integrasi teknologi yang dihadirkan melalui kerangka teori tetrahedron didaktis dapat mempersiapkan siswa di era digital dan berbasis teknologi, serta menghasilkan pengetahuan baru tentang teori instruksional lokal atau *local instruction theory* (LIT) pada materi kubus dan balok sehingga akan berdampak signifikan untuk kemajuan bidang matematika di masa depan.

Guna melakukan desain pembelajaran yang efektif dan komprehensif, penyusunan desain tetrahedron didaktis perlu memperhatikan dua komponen yaitu *learning trajectory* (Irawan, 2024), dan mengantisipasi terjadinya hambatan belajar (*learning obstacles*) siswa (Puspita, 2023; Cesaria & Herman, 2019). *Learning trajectory* (LT) merupakan deskripsi tentang urutan pemikiran, cara berpikir, dan strategi yang digunakan siswa ketika mempelajari suatu topik, termasuk bagaimana siswa menyelesaikan semua tugas instruksional dan interaksi sosialnya (Batista, 2011). Secara umum, LT dibedakan menjadi dua, yaitu *hypothetical learning trajectory* (HLT) dan *actual learning trajectory* (ALT). HLT adalah suatu dugaan atau prediksi mengenai respon siswa - pemikiran dan pemahaman siswa - terhadap aktivitas pembelajaran yang diberikan dalam membangun

pemahaman pada suatu konsep (Johar et al., 2016). HLT terdiri dari tiga komponen yakni tujuan pembelajaran, serangkaian aktivitas pembelajaran dan dugaan berpikir atau respon siswa terhadap aktivitas pembelajaran (Simon, 1995). Dalam proses pembelajaran yang terus berkembang, HLT dimodifikasi berdasarkan pemahaman tentang *learning trajectory* yang terjadi. Analisis retrospektif dari *learning trajectory* yang terjadi menginformasikan revisi HLT dalam sub urutan eksperimen pengajaran dan mengarahkan untuk membangun sebuah LIT. LIT merupakan bentuk akhir dari HLT yang telah melalui proses perancangan, implementasi, dan analisis hasil pembelajaran (Prahmana, 2017).

Pada perancangan HLT, guru atau peneliti pendidikan perlu memahami kemungkinan *learning obstacles* yang akan dihadapi siswa. Terdapat hubungan yang erat antara HLT dan *learning obstacle*, HLT membantu mengantisipasi *learning obstacle*, sementara *learning obstacle* menjadi dasar dalam perancangan HLT yang lebih efektif. Identifikasi *learning obstacles* siswa yang terjadi dalam kajian ini, dapat memastikan bahwa desain tetrahedron didaktis yang dibuat tidak hanya berfokus pada pencapaian tujuan pembelajaran, tetapi juga dapat memberikan pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan siswa untuk mendukung pemahaman yang mendalam dan berkelanjutan. *Learning obstacles* merupakan segala faktor yang menghalangi atau mengganggu proses belajar siswa untuk mendapatkan sebuah pengetahuan baru atau dalam menyelesaikan permasalahan yang diberikan selama proses belajar, sehingga siswa tidak dapat mencapai tujuan pembelajaran dengan optimal. Terdapat tiga jenis *learning obstacle* berdasarkan asalnya, yaitu *epistemological obstacles*, *ontogenic obstacles*, dan *didactical obstacles* (Brousseau, 2002). *Epistemological*

learning obstacles dimaknai sebagai hambatan belajar akibat keterbatasan konteks (Brousseau, 1997). Pengetahuan siswa terhadap suatu materi belum lengkap dan tidak komprehensif sehingga terjadi lompatan pengetahuan (Suryadi, 2018). *Epistemological learning obstacles* dapat terjadi karena dua hal yaitu pengetahuan siswa yang tidak lengkap atau rendahnya kemampuan siswa dalam memahami sebuah konteks sehingga tidak dapat menerapkan pengetahuan yang dimiliki pada konteks yang berbeda. *Ontogenic learning obstacle* terjadi karena proses pembelajaran yang tidak sesuai dengan kesiapan anak (Brousseau, 1997). Secara spesifik, terdapat tiga jenis *ontogenic learning obstacles*, yaitu hambatan psikologis, hambatan instrumental, dan hambatan konseptual (Suryadi, 2018). Sementara *didactical learning obstacle* berkaitan dengan bagaimana proses penyampaian materi dari guru kepada siswa yang tidak lengkap atau kurang sesuai. *Didactical learning obstacles* merupakan hambatan yang muncul sebagai akibat dari struktur dan tahapan kurikulum yang termasuk metode atau pendekatan dalam penyajiannya di kelas (Suryadi, 2018). Ketiga *learning obstacles* tersebut perlu diperhatikan dan diantisipasi untuk memperoleh desain pembelajaran yang efektif.

Studi pendahuluan terkait *learning obstacles* dalam menyelesaikan masalah pada materi kubus dan balok pada kajian literatur tahun 2013 – 2022 mengindikasikan bahwa *epistemological learning obstacle* yang paling banyak dialami siswa pada materi kubus dan balok adalah hambatan akibat keterbatasan pengetahuan atau pemahaman tentang materi kubus dan balok. Siswa belum dapat menerapkan konsep yang dipelajari pada situasi baru. Pada *ontogenic learning obstacle*, hambatan dalam memahami konsep kubus dan