Dampak Pendekatan Hypothetical Learning Trajectory (HLT) Berbasis 4C terhadap Kinerja Pemecahan Masalah Geometri Siswa SMP

Dea Putri Azahra*, I Gst. Putu Sudiarta, Made Juniantari

Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia
*Corresponding author, email: dea.putri@student.undiksha.ac.id

https://doi.org/10.17977/2549-7774.006027

Article history
Submitted: 28 July 2026
Revised: 14 September 2026
Accepted: 8 October 2026
Published: 10 October 2026

Keywords
Mathematics learning
Learning approach
Hypothetical learning trajectory (HLT)
4C
Mathematical problem-solving ability

Abstract
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan pemecahan masalah matematika antara siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) berbasis 4C dan pendekatan konvensional pada materi bangun ruang sisi datar. Metode kuasi eksperimen dengan *posttest-only control group design* digunakan pada populasi siswa kelas VIII di salah satu SMP Negeri di Singaraja. Sampel dipilih melalui *cluster random sampling*, menetapkan kelas eksperimen (N=34) dan kelas kontrol (N=33). Instrumen yang digunakan berupa tes uraian. Analisis data menggunakan *independent samples t-test* ($\alpha = 0{,}05$). Hasil menunjukkan rata-rata *posttest* kelas eksperimen (81,43) lebih tinggi daripada kelas kontrol (62,46). Hasil uji-t memperoleh nilai Sig. $0{,}00 < 0{,}05$, sehingga H_0 ditolak. Keputusan ini diperkuat oleh nilai t hitung (5,83), selisih rata-rata (19,04), dan *95% Confidence Interval* ($12{,}52 - 25{,}56$). Disimpulkan bahwa kemampuan pemecahan masalah matematika siswa dengan pendekatan HLT berbasis 4C secara signifikan lebih baik daripada kelas konvensional. Terdapat pengaruh positif penerapan pendekatan HLT berbasis 4C terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika siswa kelas VIII SMP, yang dalam penelitian ini dibatasi pada materi bangun ruang sisi datar.

1. Pendahuluan

Sebagai instrumen utama dalam pendidikan, pembelajaran matematika dituntut untuk mampu membekali siswa dengan kecakapan logis dan analitis. Sayangnya, upaya penguasaan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis ini masih menjadi tantangan tersendiri di lingkungan sekolah (Yudha, 2019). Dalam pelaksanaannya, pembelajaran matematika masih menghadapi tantangan dalam menciptakan pengalaman belajar yang merata, bermakna, dan mampu mengarahkan siswa menggunakan konsep matematika dalam menyelesaikan masalah(Gazali, 2016; Setiawati et al., 2024). Selain itu, ketersediaan sumber belajar yang belum merata menyebabkan banyak siswa belum mendapatkan pengalaman belajar yang optimal (Siregar et al., 2024). Pada kenyataannya, masih banyak siswa yang belum mampu memecahkan permasalahan matematika, dibuktikan oleh hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) (2022) bahwa lebih dari 70% siswa Indonesia pada akhir jenjang SMP belum mencapai level 2 dengan skor yang menurun menjadi 366 poin. Pada tingkat regional, rata-rata nilai Ujian Nasional Matematika SMP di Provinsi Bali juga mengalami penurunan dari 43,63 pada tahun 2017 menjadi 41,62 pada tahun 2018, yang sejalan dengan penjelasan Jayanti et al. (2019) bahwa rendahnya kemampuan matematika dapat berdampak pada lemahnya kemampuan pemecahan masalah siswa. Khususnya pada jenjang SMP, siswa masih mengalami kesulitan dalam menyelesaikan soal kontekstual, terutama dalam memahami informasi, mengubah informasi ke dalam model matematika, menentukan strategi penyelesaian, dan meninjau kembali hasil yang diperoleh (Efriyeni, 2021).

Kemampuan pemecahan masalah merupakan inti pembelajaran dalam memahami konsep matematika secara mendalam (Jayanti et al., 2019; NCTM, 2000). Dewi et al. (2019) menunjukkan bahwa siswa dengan kecerdasan logis matematis tinggi lebih efektif merancang solusi, sedangkan Alipandie (1984) dan Padmiati et al. (2024) menegaskan bahwa pemecahan masalah mendorong penalaran dan efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Mengacu pada empat tahap pemecahan masalah Polya (1954), kemampuan ini perlu didukung melalui pembelajaran yang membantu siswa memecah masalah kompleks secara bertahap (Putra et al., 2025) serta didukung soal yang menantang (Jayanti et al., 2019). Oleh karena itu, rendahnya kemampuan pemecahan masalah menuntut inovasi pembelajaran melalui penguatan keterampilan abad ke-21 atau 4C *Critical Thinking, Creativity, Collaboration, Communication*) (Thornhill-Miller et al., 2023). Berpikir kritis mencakup kemampuan menganalisis sistematis (Sapitri et al., 2022) dan mengevaluasi informasi selama memecahkan masalah (Suryawan et al., 2024), sedangkan komunikasi dikembangkan melalui penyelesaian

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

masalah sehari-hari (Pujawan & Suryawan, 2021). Keterampilan 4C ini dapat dikembangkan melalui eksplorasi aktif (Suharna & Hi Abdullah, 2020) yang mana secara efektif mampu meningkatkan pemahaman konsep matematis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional (Juwinta et al., 2024).

Meskipun keterampilan 4C telah menjadi tuntutan pendidikan modern, penerapannya belum optimal karena kurikulum yang masih berorientasi ujian, keterbatasan sumber daya, serta pola pikir tradisional (Lestari & Hindun, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan inovatif seperti *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) yang mampu menjembatani perencanaan pembelajaran dengan kebutuhan pengembangan keterampilan abad ke-21 secara terstruktur (Lantakay et al., 2023). HLT merupakan alur di mana transformasi belajar terjadi melalui partisipasi aktif (Ali et al., 2024), yang menurut Simon (1995) terdiri atas tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran, dan hipotesis pembelajaran. Literatur terbaru juga menunjukkan bahwa kekuatan *learning trajectory* terutama terletak pada desain aktivitas, hambatan belajar (*learning obstacle*), dan lintasan berpikir yang dirancang secara bertahap. Dengan merancang tugas instruksional dan antisipasi terhadap kesulitan (Lantakay et al., 2023), HLT menjadi komponen penting dalam merancang pembelajaran yang mempertimbangkan pola berpikir siswa (Rezky, 2019). Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual (Apriyanti et al., 2019) karena selaras dengan tahapan pemecahan masalah Polya dan menstrukturkan proses berpikir siswa.

Pembelajaran berbasis 4C secara signifikan memperkuat kemampuan pemecahan masalah (Juwinta et al., 2024), namun penelitian HLT sebagian besar belum mengarah pada penguatan keterampilan ini secara sistematis. Penelitian sebelumnya masih berfokus pada pemahaman konsep dan penalaran matematis tanpa mengeksplorasi 4C secara eksplisit, seperti penelitian pada materi luas persegi (Susanto et al., 2024), lintasan belajar dasar (Lantakay et al., 2023), materi statistika (Risnanosanti et al., 2023), dan Teorema Pythagoras (Hikmi et al., 2024). Sementara itu, penelitian tentang 4C lebih banyak menggunakan pendekatan seperti PjBL (Waly & Ashadi, 2024), CBL (Ardiansyah et al., 2022), atau STEM (Sari et al., 2024) tanpa menggunakan HLT sebagai kerangka sistematis. Padahal, indikator pemecahan masalah menurut Polya (1954) memiliki kesesuaian dengan keterampilan 4C, sehingga terdapat kesenjangan desain pedagogis. Dengan demikian, terdapat kesenjangan desain pedagogis dalam memadukan kerangka HLT yang berorientasi 4C untuk memfasilitasi alur pemecahan masalah matematika. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan lintasan belajar yang sistematis dan berorientasi pada pengembangan keterampilan 4C. Peran kebaruan HLT yang secara eksplisit mengintegrasikan aktivitas berbasis 4C guna memandu alur berpikir dan mengatasi hambatan belajar siswa pada materi bangun ruang sisi datar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kemampuan pemecahan masalah matematika siswa kelas VIII SMP yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan HLT berbasis 4C lebih baik daripada kemampuan pemecahan masalah siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran konvensional.

2. Metode

2.1. Jenis, Desain, Subjek Penelitian

Desain eksperimen semu (*quasi-experimental design*) dengan kerangka penelitian kuantitatif diterapkan dalam studi ini untuk menguji hipotesis yang diajukan. Kuasi eksperimen dipilih karena pengacakan siswa secara individual ke dalam kelompok eksperimen dan kelompok kontrol tidak memungkinkan untuk dilakukan. Sebelum penelitian dilaksanakan, prosedur etik telah dipenuhi dengan memperoleh izin resmi dari pihak sekolah, memastikan kesediaan siswa untuk berpartisipasi, serta menjamin kerahasiaan data hasil evaluasi. Desain penelitian yang digunakan adalah *posttest-only control group design*, yang melibatkan dua kelompok dengan perlakuan pembelajaran yang berbeda. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas VIII di salah satu SMP Negeri di Singaraja pada tahun ajaran 2025/2026, yang berjumlah 367 siswa dan tersebar dalam 11 kelas. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik *cluster random sampling*. Sebelum perlakuan diberikan, dilakukan uji kesetaraan kemampuan awal menggunakan nilai Sumatif Akhir Semester (SAS) Ganjil matematika dengan *independent samples t-test* ($p = 0{,}78 > 0{,}05$), yang menunjukkan bahwa kedua kelas berada pada tingkat kemampuan awal yang setara. Berdasarkan pengundian lanjutan, terpilih kelas VIII K ($N = 34$) sebagai kelompok eksperimen dan kelas VIII G ($N = 33$) sebagai kelompok kontrol.

2.2. Perlakuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada materi Bangun Ruang Sisi Datar selama sembilan kali pertemuan untuk masing-masing kelas, yang terdiri dari delapan kali pertemuan pembelajaran dan satu kali pertemuan *posttest*. Guna menghindari bias pengajar (*teacher bias*), pembelajaran pada kedua kelas diampu oleh pengajar yang sama, yaitu peneliti yang didampingi oleh guru pamong/guru matematika penyelia. Pada kelompok eksperimen, pembelajaran dilaksanakan menggunakan pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) berbasis 4C. Pembelajaran dirancang memuat tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran, dan hipotesis proses belajar siswa secara bertahap dengan memprediksi kemungkinan alur berpikir, respons, serta kesulitan siswa. Keterampilan 4C secara spesifik dikembangkan melalui kegiatan mengidentifikasi informasi penting pada masalah kontekstual (*critical thinking*), menyajikan ide melalui gambar, sketsa, jaring-jaring, tabel, atau penjelasan dengan bahasa sendiri (*creativity*), membagi peran dan berdiskusi dalam kelompok (*collaboration*),

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

serta mempresentasikan hasil penyelesaian dan menanggapi kelompok lain (*communication*). Guru juga memberikan *scaffolding* berupa pertanyaan penuntun saat siswa mengalami hambatan. Sementara itu, pada kelompok kontrol, pembelajaran dilaksanakan secara langsung oleh guru matematika menggunakan pendekatan pembelajaran konvensional yang biasa diterapkan di sekolah tersebut, yaitu pendekatan pembelajaran mendalam (*deep learning*). Pendekatan ini menekankan proses belajar melalui *meaningful learning*, *mindful learning*, dan *joyful learning* dengan tahapan meliputi persiapan, eksplorasi (memahami), aplikasi (mengaplikasikan), dan refleksi. Selama penelitian berlangsung, peneliti memastikan kesetaraan kondisi pada kedua kelas yang meliputi alokasi waktu, cakupan materi, dan tingkat kesulitan soal untuk menghindari bias. Hal ini dilakukan agar perbedaan kemampuan pemecahan masalah siswa pada hasil akhir dapat dipastikan murni karena pengaruh dari perlakuan pembelajaran yang diberikan

2.3. Instrumen Penelitian

Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen tes kemampuan pemecahan masalah matematika terlebih dahulu diuji validitas dan reliabilitasnya. Uji validitas isi dilakukan oleh dua orang pakar dengan menggunakan Formula Gregory sebagaimana dijelaskan oleh Candiasa (2010) dan Mertasari (2021). Setiap butir instrumen dinilai menggunakan skala 1–4, dengan skor 1–2 dikategorikan kurang relevan dan skor 3–4 dikategorikan sangat relevan. Koefisien validitas isi dihitung menggunakan rumus berikut.

$$V = \frac{D}{A+B+C+D} \quad (1)$$

Keterangan: A merupakan jumlah butir yang dinilai kurang relevan oleh kedua pakar; B dan C merupakan jumlah butir yang memperoleh penilaian berbeda dari kedua pakar; dan D merupakan jumlah butir yang dinilai sangat relevan oleh kedua pakar.

Berdasarkan hasil penilaian kedua pakar, seluruh butir instrumen yang berjumlah tujuh butir memperoleh kesepakatan pada kategori sangat relevan. Dengan demikian, koefisien validitas isi diperoleh sebesar:

$$V = \frac{7}{0+0+0+7} = 1{,}00$$

Nilai koefisien validitas isi sebesar 1,00 berada pada kategori sangat tinggi. Dengan demikian, instrumen tes kemampuan pemecahan masalah matematika dinyatakan valid secara isi dan layak dilanjutkan ke tahap uji validitas butir dan uji reliabilitas. Uji validitas butir soal dilakukan menggunakan korelasi *Pearson Product Moment* dengan bantuan IBM SPSS Statistics 26.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas Butir Soal

Nomor Soal	Nilai p	Keterangan
1	0,00	Valid
2	0,00	Valid
3	0,00	Valid
4	0,00	Valid
5	0,00	Valid
6	0,00	Valid
7	0,00	Valid

Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tujuh butir soal memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05, sehingga seluruh butir soal dinyatakan valid. Selanjutnya, uji reliabilitas dilakukan menggunakan *Cronbach's Alpha* dan memperoleh koefisien sebesar 0,73 yang dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Cronbach's Alpha	N of Items
0,73	7

Koefisien tersebut menunjukkan bahwa instrumen memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi dan layak digunakan dalam pengumpulan data penelitian. Dari tujuh butir soal yang telah dinyatakan valid dan reliabel, dipilih lima butir soal sebagai instrumen *posttest* berdasarkan kesesuaiannya dengan tujuan pembelajaran dan indikator kemampuan pemecahan masalah matematika. Pemilihan lima soal dari tujuh soal yang valid tersebut didasarkan pada pertimbangan tingkat kesukaran dan kecukupan estimasi waktu pengerjaan, sehingga dua soal lainnya dieliminasi agar tidak membebani durasi tes siswa. Untuk menjaga objektivitas penilaian pada instrumen soal uraian, skor tes dievaluasi oleh dua penilai (*rater*), yaitu peneliti (*rater* 1) dan guru matematika (*rater* 2) menggunakan rubrik penskoran analitik 0–4. Keandalan penskoran diuji menggunakan *Inter-rater Reliability* dengan menghitung koefisien *Pearson Correlation*. Koefisien kesepakatan penilai yang diperoleh

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

sebesar $r = 0{,}88$ yang menunjukkan tingkat konsistensi dan kesepakatan penskoran yang sangat tinggi antar-penilai.

2.4. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data penelitian dikumpulkan melalui pemberian *posttest* kemampuan pemecahan masalah matematika kepada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol setelah seluruh perlakuan selesai dilaksanakan. Jawaban siswa dinilai menggunakan rubrik penskoran analitik dengan skala 0–4 pada setiap indikator kemampuan pemecahan masalah. Data yang diperoleh terlebih dahulu dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui nilai rata-rata, median, standar deviasi, varians, nilai minimum, dan nilai maksimum setiap kelompok. Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji normalitas menggunakan uji *Shapiro–Wilk* dan uji homogenitas varians menggunakan uji *Levene*. Setelah data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, hipotesis diuji menggunakan *independent samples t-test* pada taraf signifikansi 5% atau 0,05 dengan bantuan IBM SPSS Statistics 26. Untuk melengkapi hasil *independent samples t-test* dan mengukur besarnya tingkat keberhasilan/pengaruh perlakuan secara praktis, dilakukan penghitungan ukuran efek (*Effect Size*) menggunakan rumus Cohen's d:

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{pooled}} \tag{2}$$

Di mana S_{pooled} dihitung melalui:

$$S_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \tag{3}$$

Keterangan:
$\bar{X}_1$ dan $\bar{X}_2$ = Rata-rata skor kelas eksperimen dan kelas kontrol.
S_1^2 dan S_2^2 = Varians kelas eksperimen dan kelas kontrol.
n_1 dan n_2 = Jumlah sampel kelas eksperimen ($N = 34$) dan kelas kontrol ($N = 33$).
Kriteria interpretasi nilai Cohen's d mengacu pada ketentuan Cohen (1988), yaitu: $d = 0{,}2$ (efek kecil), $d = 0{,}5$ (efek sedang), dan $d \geq 0{,}8$ (efek besar/kuat).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan capaian kemampuan pemecahan masalah matematika antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen memperoleh rata-rata *posttest* sebesar 81,43 dengan median 80,00, standar deviasi 11,41 dan varians sebesar 130,13. Sementara itu, kelas kontrol memperoleh rata-rata posttest sebesar 62,46 dengan median 60,00, standar deviasi 15,17 dan varians sebesar 230,03. Selisih rata-rata kedua kelompok menunjukkan bahwa capaian kemampuan pemecahan masalah matematika siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol. Nilai maksimum pada kedua kelas sama-sama sebesar 100,00, sedangkan nilai minimum kelas eksperimen sebesar 53,75 dan kelas kontrol sebesar 41,25. Ringkasan deskriptif skor *posttest* kedua kelas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Analisis Data Posttest Kemampuan Pemecahan Masalah

Statistik	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol
Jumlah siswa	34	33
Rata-rata	81,43	62,46
Median	80,00	60,00
Standar deviasi	11,41	15,17
Varians	130,13	230,03
Nilai minimum	53,75	41,25
Nilai maksimum	100,00	100,00

Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data *posttest* terlebih dahulu diuji melalui uji normalitas dan homogenitas. Hasil uji Shapiro-Wilk menunjukkan data berdistribusi normal dengan nilai signifikansi $p = 0{,}13$ pada kelas eksperimen dan $p = 0{,}10$ pada kelas kontrol ($p > 0{,}05$). Uji homogenitas varians *Levene* menghasilkan nilai $F = 1{,}35$ dengan signifikansi $p = 0{,}25$ ($p > 0{,}05$), yang menandakan varians kedua kelompok bersifat homogen. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *independent samples t-test* pada taraf signifikansi $\alpha = 0{,}05$. Hasil analisis inferensial menunjukkan nilai $t(65) = 5{,}83$ dengan signifikansi $p = 0{,}000$ ($p < 0{,}05$), sehingga H_0 ditolak. Keputusan ini menunjukkan bahwa kemampuan pemecahan masalah matematika siswa yang dibelajarkan dengan pendekatan HLT berbasis 4C secara signifikan lebih baik daripada siswa yang mengikuti pembelajaran konvensional. Perbedaan tersebut didukung oleh nilai *Mean Difference*

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

sebesar 19,04 (95% *Confidence Interval* [CI]: 12,52 hingga 25,56). Seluruh rentang CI bernilai positif dan tidak melintasi angka nol, yang memperkuat kepastian bahwa perlakuan HLT berbasis 4C secara signifikan meningkatkan capaian pemecahan masalah matematika siswa. Selanjutnya, perhitungan ukuran efek (*Effect Size*) menggunakan *Cohen's d* menghasilkan nilai $d = 1{,}42$. Berdasarkan kriteria Cohen (1988), nilai $d > 0{,}80$ ini tergolong dalam kategori efek sangat besar (*large effect size*), yang menandakan bahwa pendekatan HLT berbasis 4C memberikan dampak praktis yang kuat terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah siswa. Ringkasan hasil uji hipotesis dan besaran efek disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Pengujian Asumsi dan Hipotesis

Tes	Statistik	Signifikansi	Keterangan
Shapiro-Wilk	Eksperimen	0,13	Normal
Shapiro-Wilk	Kontrol	0,10	Normal
Levene	Based on Mean	0,25	Homogen
Independent samples t-test	df = 65	0,00	H_0 ditolak
t hitung	5,83		
Mean Difference	19,04		
95% *Confidence Interval*	12,52 – 25,56		

Untuk menganalisis bagian kemampuan pemecahan masalah mana yang paling berkembang, dilakukan perbandingan capaian rata-rata persentase skor berdasarkan empat indikator pemecahan masalah menurut Polya (1954), yaitu: (1) memahami masalah, (2) merencanakan penyelesaian, (3) melaksanakan rencana penyelesaian, dan (4) memeriksa kembali hasil. Rekapitulasi perbandingan indikator Polya antara kelas eksperimen dan kontrol disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Capaian Rata-rata Skor dan Persentase Tiap Indikator Polya

Indikator Polya	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol	Selisih Persentase (%)
1. Memahami Masalah	3,68 (92,00%)	3,12 (78,00%)	14,00%
2. Merencanakan Penyelesaian	3,32 (83,00%)	2,48 (62,00%)	21,00%
3. Melaksanakan Rencana	3,18 (79,50%)	2,26 (56,50%)	23,00%
4. Memeriksa Kembali	2,86 (71,50%)	1,84 (46,00%)	25,50%
Rata-rata Keseluruhan	3,26 (81,43%)	2,43 (62,46%)	18,97%

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa kelas eksperimen unggul di seluruh indikator Polya dibandingkan kelas kontrol. Capaian tertinggi pada kelas eksperimen berada pada indikator memahami masalah (92,00%), di mana siswa mampu mengidentifikasi informasi yang diketahui dan ditanyakan secara akurat. Namun, perkembangan paling signifikan (selisih peningkatan terbesar antara kelas eksperimen dan kontrol) terlihat pada indikator memeriksa kembali (selisih 25,50%) dan melaksanakan rencana penyelesaian (selisih 23,00%). Pada kelas kontrol, indikator memeriksa kembali menjadi bagian yang paling lemah (46,00%), sedangkan pada kelas eksperimen indikator ini berkembang hingga mencapai 71,50%. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi aktivitas 4C dan *scaffolding* dalam kerangka HLT efektif membiasakan siswa meninjau ulang alur logika, kebenaran perhitungan, serta kecocokan solusi sebelum menarik kesimpulan.

3.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan, diketahui bahwa penerapan pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) berbasis 4C memberikan pengaruh yang positif terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika siswa. Hal tersebut terlihat dari perbedaan hasil kemampuan pemecahan masalah matematika antara siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Rata-rata skor kemampuan pemecahan masalah matematika siswa pada kelas eksperimen sebesar 81.43, sedangkan rata-rata skor siswa pada kelas kontrol sebesar 62,46. Selain itu, sebagaimana ditunjukkan oleh *Effect Size* ($d = 1{,}42$) yang masuk dalam kategori sangat besar. Peningkatan unggul pada kelas eksperimen terlihat dominan pada indikator Polya berupa *memeriksa kembali* (selisih 25,50%) dan *melaksanakan rencana* (selisih 23,00%). Namun demikian, pemaknaan terhadap keunggulan ini memerlukan analisis kritis terkait keterbatasan desain intervensi yang diterapkan. Dengan demikian, kemampuan pemecahan masalah matematika siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan HLT berbasis 4C lebih baik daripada kemampuan pemecahan masalah siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran konvensional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan HLT berbasis 4C dapat menjadi salah satu alternatif pembelajaran yang mendukung peningkatan kemampuan pemecahan masalah matematika siswa. Pendekatan ini memperhatikan alur berpikir siswa selama proses pembelajaran. Hal ini sejalan dengan pendapat Rezky (2019) yang menyatakan bahwa HLT memudahkan guru dalam merancang pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik siswa karena memungkinkan guru memprediksi perkembangan berpikir siswa melalui aktivitas yang disusun secara sistematis. Secara teoritis, Simon (1995) menjelaskan bahwa *Hypothetical Learning Trajectory* terdiri atas tiga komponen utama, yaitu tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran, dan hipotesis

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

guru tentang proses pembelajaran, yang berupa prediksi atau dugaan mengenai perkembangan pemikiran dan pemahaman siswa dalam konteks kegiatan pembelajaran. Dalam konteks pelaksanaannya, Lantakay et al. (2023) juga menyatakan bahwa HLT memuat serangkaian tugas instruksional serta antisipasi terhadap kemungkinan kesulitan yang dialami siswa. Selanjutnya, dugaan proses berpikir siswa tersebut diwujudkan melalui tahapan pembelajaran yang disusun secara bertahap dalam modul ajar dan LKPD, sehingga siswa tidak langsung diarahkan pada penggunaan rumus, tetapi dibimbing melalui aktivitas pengamatan, diskusi, dan penyelesaian masalah.

Dalam penelitian ini, intervensi diberikan sebagai satu paket multikomponen terintegrasi (*complex intervention package*) yang menggabungkan kerangka HLT, integrasi keterampilan 4C (*Critical Thinking, Collaboration, Communication, Creativity*), *scaffolding* bertingkat, media Geogebra, video pembelajaran, LKPD interaktif, serta diskusi kelompok. Adanya penggabungan berbagai elemen ini menimbulkan tantangan isolasi variabel (*confounding of components*). Interaksi antar komponen dalam paket intervensi ini saling melengkapi HLT dengan integrasi 4C. HLT berfungsi sebagai pemeta alur berpikir matematis (*learning route*) dan penyedia *scaffolding* antisipatif yang membantu siswa melewati *barrier* pemahaman konsep geometri bangun ruang sisi datar. Keterampilan 4C memberikan dorongan pedagogis melalui diskusi (kolaborasi), perumusan ide (kreativitas), artikulasi jawaban (komunikasi), dan evaluasi solusi (berpikir kritis).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya peran penting proses perancangan modul ajar yang disusun sebelum pelaksanaan pembelajaran. Sebelum penelitian dilakukan, peneliti telah memiliki pengalaman melakukan observasi awal melalui kegiatan asistensi mengajar di SMP Negeri tersebut pada kelas yang sama. Berdasarkan pengalaman tersebut, peneliti memperoleh gambaran bahwa sebagian siswa lebih mudah memahami materi matematika apabila pembelajaran diberikan secara bertahap dan terarah. Oleh karena itu, pengalaman tersebut menjadi salah satu pertimbangan dalam menyusun modul ajar, khususnya agar proses penemuan konsep dilakukan secara terbimbing, sehingga siswa tetap diberikan ruang untuk mengamati, berdiskusi, dan membangun pemahaman, tetapi guru juga memberikan arahan melalui pertanyaan penuntun dan penegasan konsep agar siswa tidak kehilangan arah selama pembelajaran. Hal ini sejalan dengan pandangan Wijaya (2009) yang menganalogikan HLT sebagai rute perjalanan, di mana guru dapat memilih jalur terbaik agar siswa mencapai pemahaman yang optimal. Dalam modul ajar, tahapan pembelajaran disusun secara berurutan mulai dari pengenalan bentuk prisma dan limas, pengamatan unsur-unsur bangun ruang, pembahasan jaring-jaring, luas permukaan, volume, hingga penyelesaian masalah kontekstual.

Pelaksanaan tahapan tersebut juga didukung dengan penggunaan media presentasi visual berbantuan Canva, video pembelajaran, GeoGebra, dan LKPD agar siswa memperoleh bantuan visual dan panduan kegiatan yang lebih terarah. Melalui aktivitas dalam tahapan tersebut, siswa diarahkan untuk mengamati, berdiskusi, mengidentifikasi hubungan antarbagian bangun, serta menyampaikan hasil pemikirannya. Dengan cara ini, pembelajaran tidak sepenuhnya berpusat pada pemberian rumus, tetapi juga tetap memberikan bimbingan yang memadai agar siswa dapat memahami konsep matematika secara bertahap. Pemberian scaffolding dalam pembelajaran menjadi salah satu bagian penting dalam pelaksanaan pendekatan HLT berbasis 4C. Hal ini sejalan dengan Hapsari & Sudiansyah (2024) yang menyatakan bahwa *scaffolding* dapat diberikan melalui tugas terstruktur, pengingatan kembali konsep yang telah dipelajari, serta bantuan untuk menghubungkan dan mengembangkan konsep yang telah dimiliki siswa.

Pada saat siswa mengalami kesulitan, guru memberikan pertanyaan penuntun yang membantu siswa mengarahkan kembali proses berpikirnya. Misalnya, ketika siswa membedakan prisma dan limas, guru dapat mengajukan pertanyaan seperti “Bangun ini memiliki berapa alas?”, “Apakah semua sisi tegaknya bertemu di satu titik?”, atau “Apa perbedaan bentuk bagian atas prisma dan limas?”. Pertanyaan-pertanyaan tersebut membantu siswa untuk mengamati ciri-ciri bangun secara lebih teliti. Dengan demikian, siswa tetap terlibat dalam proses berpikir, tetapi proses tersebut berlangsung secara terbimbing sehingga lebih sesuai dengan kemampuan dan kesiapan belajar siswa. Selain itu, pembelajaran yang dilakukan melalui pendekatan HLT berbasis 4C juga memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengembangkan kemampuan pemecahan masalah secara bertahap. Kemampuan pemecahan masalah matematika dalam penelitian ini didasarkan pada tahapan pemecahan masalah menurut Polya (1954), yaitu memahami masalah, merencanakan penyelesaian, melaksanakan rencana penyelesaian, dan memeriksa kembali hasil yang diperoleh.

Dalam pelaksanaannya, tahapan tersebut tercermin dari aktivitas siswa ketika mengidentifikasi informasi yang diketahui dan ditanyakan, menentukan konsep atau rumus yang relevan, menyelesaikan perhitungan, serta meninjau kembali jawaban. Kegiatan tersebut membantu siswa memahami bahwa penyelesaian masalah matematika tidak hanya berorientasi pada jawaban akhir, tetapi juga pada alur penyelesaian yang logis dan sistematis. Rangkaian aktivitas tersebut juga menjadi dasar keterlibatan siswa dalam keterampilan 4C yang tampak selama pembelajaran di kelas eksperimen. Pada kelas eksperimen, siswa juga dilibatkan dalam aktivitas yang mendukung keterampilan 4C, yaitu *critical thinking*, *creativity*, *collaboration*, dan *communication*. Hal ini sejalan dengan Fadel, Charles, Bialik, Maya, and Trilling (2015) yang menyatakan bahwa inti keterampilan abad ke-21 dirangkum dalam empat kemampuan utama yang dikenal sebagai 4C, yaitu *Critical Thinking, Communication, Collaboration, dan Creativity.*

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

Aspek *critical thinking* terlihat ketika siswa mengamati gambar atau model bangun ruang pada LKPD, mengisi tabel hasil pengamatan, mengidentifikasi informasi penting pada soal, menentukan hubungan antarunsur bangun, serta memilih rumus dan strategi yang sesuai pada saat mengerjakan soal kontekstual. Aspek *collaboration* muncul ketika siswa bekerja dalam kelompok untuk menyelesaikan LKPD, berdiskusi, membagi tugas, membuat jaring-jaring, dan membandingkan hasil jawaban. Aspek *communication* tampak ketika siswa menjelaskan hasil diskusi kepada teman atau guru, menyampaikan langkah penyelesaian, serta memberikan tanggapan terhadap jawaban kelompok lain. Sementara itu, aspek *creativity* muncul ketika siswa menyajikan pemahaman melalui sketsa atau gambar, tabel, rangkuman, pembuatan jaring-jaring, atau penjelasan dengan bahasa mereka sendiri. Namun demikian, selama pelaksanaan pembelajaran ditemukan bahwa aspek *creativity* belum sepenuhnya tampak dalam bentuk penggunaan strategi penyelesaian yang beragam.

Hal tersebut tampak ketika siswa diberi kesempatan untuk mencari cara penyelesaian yang berbeda, sebagian siswa cenderung memilih menggunakan cara yang sudah dicontohkan atau cara yang dianggap paling mudah dipahami. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Wahyu et al. (2024) yang menunjukkan bahwa siswa pada kategori cukup kreatif cenderung masih menghafalkan atau meniru apa yang diberikan oleh guru, sehingga belum tampak berpikir orisinil dalam menyelesaikan masalah. Kondisi ini menunjukkan bahwa fleksibilitas strategi penyelesaian masalah siswa masih perlu dikembangkan secara bertahap. Temuan ini tidak menunjukkan bahwa kreativitas siswa tidak muncul sama sekali, tetapi menunjukkan bahwa bentuk kreativitas siswa pada tahap ini lebih banyak muncul dalam penyampaian ide, penyajian temuan melalui tabel atau rangkuman, penggunaan gambar atau sketsa pada kegiatan tertentu, penyusunan jaring-jaring bangun ruang, diskusi kelompok, serta penjelasan langkah penyelesaian dengan bahasa mereka sendiri, bukan pada penggunaan banyak strategi penyelesaian yang berbeda. Kecenderungan siswa untuk memilih cara yang sudah dikuasai juga dapat dipahami sebagai bagian dari proses belajar.

Hal ini sejalan dengan Sabaruddin (2019) yang menyatakan bahwa pemecahan masalah melibatkan penggunaan kembali rumus, aturan, dan konsep yang telah dipelajari untuk menemukan solusi pada situasi baru. Berkaitan dengan hal tersebut, rumus dalam pembelajaran ini tidak diposisikan sebagai kegiatan utama yang berdiri sendiri, melainkan sebagai bagian dari proses penegasan konsep setelah siswa melakukan pengamatan dan diskusi. Siswa diarahkan untuk memahami penggunaan rumus melalui aktivitas mengamati jaring-jaring, mengenali bagian alas, tutup, dan sisi tegak, serta menghubungkan bagian-bagian tersebut dengan luas permukaan atau volume bangun ruang. Setelah pemahaman tersebut terbentuk, guru memberikan penegasan konsep dan latihan soal kontekstual agar siswa mampu menerapkan rumus dalam berbagai situasi. Pada akhir pembelajaran, siswa juga diberikan kuis singkat berbentuk pilihan ganda sebagai refleksi pemahaman terhadap materi yang telah dipelajari. Latihan soal dan kuis refleksi tersebut tidak hanya berfungsi sebagai pengulangan prosedur, tetapi juga sebagai sarana untuk membiasakan siswa memahami masalah, memilih strategi, melaksanakan perhitungan, dan meninjau kembali hasil penyelesaian.

Apabila dibandingkan dengan pendekatan pembelajaran konvensional, pendekatan HLT berbasis 4C memiliki karakteristik yang berbeda dalam mengarahkan proses belajar siswa. Pada kelas kontrol, pembelajaran dilaksanakan oleh guru matematika dengan pendekatan pembelajaran yang biasa diterapkan di sekolah. Dalam pembelajaran tersebut, siswa tetap memperoleh penjelasan materi, contoh soal, latihan soal, dan refleksi pembelajaran. Sementara itu, pada kegiatan yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan HLT berbasis 4C, siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih terstruktur melalui pengamatan, diskusi, dugaan proses berpikir, pemberian *scaffolding*, dan kegiatan pemecahan masalah yang dikaitkan dengan konteks. Perbedaan lain terlihat dari tahapan pembelajaran, media pendukung, dan aktivitas pembelajaran yang digunakan. Pada kelas eksperimen, pembelajaran didukung melalui LKPD, video pembelajaran, GeoGebra, diskusi kelompok dan kuis refleksi sebagai pendukung proses pembelajaran. Perbedaan karakteristik inilah yang memungkinkan siswa pada kelas eksperimen lebih terbantu dalam memahami hubungan antar konsep sebelum menyelesaikan soal. Temuan ini didukung oleh Apriyanti et al. (2019) yang menunjukkan bahwa HLT dapat mengarahkan proses belajar siswa, serta *scaffolding* yang memadai dapat membantu meningkatkan pemahaman dan mengatasi hambatan belajar.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa HLT dapat mendukung proses pembelajaran matematika secara bertahap dan terarah. Berdasarkan penelitian Risnanosanti et al. (2023) menunjukkan bahwa penerapan HLT dapat membantu siswa menyusun strategi pemecahan masalah dan meminimalkan hambatan belajar. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Susanto et al. (2024) menunjukkan bahwa HLT melalui tahapan pembelajaran yang sistematis dapat membantu siswa memahami konsep matematika secara lebih terarah. Hasil ini juga didukung oleh Juwinta et al. (2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis 4C dapat memperkuat kemampuan pemecahan masalah dan berpikir tingkat tinggi siswa. Meskipun penelitian-penelitian tersebut belum secara khusus memadukan HLT dan 4C dalam satu pendekatan, hasilnya tetap mendukung temuan penelitian ini bahwa pendekatan HLT berbasis 4C dapat membantu siswa belajar secara lebih terarah, aktif, dan sesuai dengan proses berpikirnya.

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

Berdasarkan uraian tersebut, pendekatan HLT berbasis 4C memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika siswa karena pembelajaran dirancang sesuai dengan dugaan proses berpikir, kebutuhan, dan kemungkinan kesulitan siswa. Melalui pengamatan, diskusi, bantuan guru, penegasan konsep, dan latihan soal kontekstual, siswa memperoleh kesempatan untuk memahami konsep secara bertahap sebelum menyelesaikan masalah. Meskipun demikian, pelaksanaan pembelajaran ini masih memiliki keterbatasan. Keterbatasan pertama adalah desain penelitian ini mengimplementasikan HLT dan 4C sebagai satu kesatuan paket yang didukung oleh *scaffolding* dan berbagai media, sehingga hasil penelitian ini tidak dapat digunakan untuk menentukan besaran kontribusi secara terpisah antara masing-masing komponen tersebut terhadap perbedaan hasil belajar siswa. Keterbatasan lainnya yaitu belum semua siswa mampu menunjukkan kreativitas dalam bentuk penggunaan strategi penyelesaian yang beragam. Sebagian siswa masih cenderung memilih cara yang sudah dipahami, sehingga pengembangan kreativitas dalam penggunaan strategi penyelesaian perlu dilatih secara lebih berkelanjutan pada pembelajaran berikutnya. Selain itu, beberapa kegiatan seperti diskusi kelompok, penyelesaian latihan soal kontekstual, presentasi hasil, kuis refleksi, dan refleksi pembelajaran membutuhkan waktu yang cukup banyak. Oleh karena itu, penerapan pembelajaran berikutnya perlu memperhatikan pengelolaan waktu secara lebih efektif, misalnya dengan memilih soal kontekstual yang sesuai dengan alokasi waktu, membatasi waktu diskusi, serta mengatur presentasi kelompok secara lebih terarah agar seluruh tahapan pembelajaran dapat terlaksana secara optimal.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kemampuan pemecahan masalah matematika antara siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) berbasis 4C dan siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran konvensional. Hal ini terlihat dari hasil uji hipotesis menggunakan *independent samples t-test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,00 < 0,05, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jika dilihat dari rata-rata skor tes kemampuan pemecahan masalah matematika, maka rata-rata kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan rata-rata kelas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan pemecahan masalah matematika siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan HLT berbasis 4C lebih baik daripada kemampuan pemecahan masalah siswa yang mengikuti pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran konvensional. Dengan demikian, penerapan pendekatan HLT berbasis 4C memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika siswa kelas VIII SMP terbatas pada materi geometri bangun ruang sisi datar. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji variabel dengan menerapkan pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) berbasis 4C pada materi atau jenjang pendidikan yang berbeda, serta menggunakan observasi terstruktur atau wawancara mendalam sebagai data pendukung agar proses berpikir dan keterampilan 4C siswa dapat dianalisis secara lebih mendalam.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan desain penelitian *pretest-posttest* agar perubahan kemampuan siswa dari sebelum ke sesudah pembelajaran dapat dianalisis secara pasti, melibatkan sampel penelitian yang lebih luas untuk memperkuat generalisasi, serta melakukan pengukuran langsung menggunakan instrumen khusus terhadap masing-masing keterampilan 4C. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan desain penelitian yang memisahkan kontribusi pendekatan HLT dan 4C secara independen, mengkaji variabel lain, menerapkan pendekatan HLT berbasis 4C pada materi atau jenjang pendidikan yang berbeda, serta menggunakan observasi terstruktur atau wawancara mendalam sebagai data pendukung agar proses berpikir dan keterampilan 4C siswa dapat dianalisis secara lebih mendalam.

Kontribusi Penulis

Seluruh penulis memiliki kontribusi yang sama terhadap artikel. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir artikel.

Pendanaan

Tidak ada dukungan pendanaan yang diterima.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepenulisan, dan/atau publikasi artikel ini.

Ketersediaan Data

Data yang dihasilkan dan/atau dianalisis dalam penelitian ini tersedia dan dapat diperoleh dengan menghubungi penulis korespondensi berdasarkan permintaan yang wajar.

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

Pernyataan Penggunaan AI

Penulis menyatakan bahwa *AI* digunakan semata-mata untuk meningkatkan keterbacaan dan kebahasaan dengan pengawasan manusia yang ketat; tidak ada konten, ide, analisis, interpretasi, atau kesimpulan yang dihasilkan oleh *AI*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada kepala sekolah yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian di salah satu SMP Negeri di Singaraja, kepada guru matematika yang telah membantu selama pelaksanaan penelitian, serta kepada seluruh siswa kelas VIII yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi, kepada kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan, serta kepada seluruh teman yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini.

Daftar Rujukan

Ali, N. N., Ratnaningsih, N., & Prabawati, M. N. (2024). Desain hypothetical learning trajectory pada materi persegi dan persegipanjang untuk mengatasi learning obstacle. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan, 9*(2), 1249–1254. https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.1399

Alipandie, I. (1984). *Didaktik metodik pendidikan umum*. Usaha Nasional.

Apriyanti, M., Suweken, G., & Suparta, I. N. (2019). The development of hypothetical learning trajectory for linear equations with PISA and scientific approach model consideration. *Jurnal Pengajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 24*(2), 35–43. https://doi.org/10.18269/jpmipa.v24i2.15856

Ardiansyah, A. S., Agung, G. H., Cahya, N. D., & Dinasari, A. (2022). Upaya mengembangkan keterampilan 4C melalui challenge based learning. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika, 5*, 627–637. https://journal.unnes.ac.id/sju/prisma/article/view/54700

Candiasa, I. M. (2010). *Pengujian instrumen penelitian disertai aplikasi ITEMAN dan BIGSTEPS*. Unit Penerbitan Universitas Pendidikan Ganesha.

Dewi, P. U. K., Mahayukti, G. A., & Sudiarta, I. G. P. (2019). Pengaruh model pembelajaran Treffinger terhadap kemampuan pemecahan masalah ditinjau dari kecerdasan logis matematis. *Math Didactic: Jurnal Pendidikan Matematika, 5*(2), 168–182. https://doi.org/10.33654/math.v5i2.650

Efriyeni. (2021). Pemecahan masalah berbasis kontekstual untuk meningkatkan hasil belajar matematika siswa. *Jurnal Tunas Pendidikan, 3*(2), 1–11. https://doi.org/10.52060/pgsd.v3i2.427

Fadel, C., Bialik, M., & Trilling, B. (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed*. Center for Curriculum Redesign. https://curriculumredesign.org/our-work/four-dimensional-21st-century-education-learning-competencies-future-2030/

Gazali, R. Y. (2016). Pembelajaran matematika yang bermakna. *Math Didactic: Jurnal Pendidikan Matematika, 2*(3), 181–190. https://doi.org/10.33654/math.v2i3.47

Halawa, I. J., Harefa, A. O., Telaumbanua, Y. N., & Mendrofa, N. K. (2024). Pengaruh model pembelajaran 4C untuk meningkatkan pemahaman konsep matematis siswa. *GAUSS: Jurnal Pendidikan Matematika, 7*(2), 41–53. https://doi.org/10.30656/gauss.v7i2.9292

Hapsari, T., & Sudiansyah. (2024). Strategi scaffolding untuk mengatasi tantangan pengerjaan soal eksponen pada peserta didik sekolah menengah kejuruan. *AL KHAWARIZMI: Jurnal Pendidikan Matematika, 4*(2), 52–60. https://doi.org/10.46368/kjpm.v4i2.2335

Inayah, H., Prabawati, M. N., & Ratnaningsih, N. (2024). Hypothetical learning trajectory (HLT) terhadap kemampuan penalaran matematis pada materi teorema Pythagoras. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Matematika Sekolah (JP2MS), 8*(2), 258–267. https://doi.org/10.33369/jp2ms.8.2.258-267

Jayanti, N. P. S., Ardana, I. M., & Suryawan, I. P. P. (2019). Pengaruh model pembelajaran IMPROVE berbantuan masalah terbuka terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika siswa kelas VIII SMP Laboratorium Undiksha. *Jurnal Pendidikan Matematika Undiksha, 10*(2), 9–18. https://doi.org/10.23887/jjpm.v10i2.19909

Lantakay, C. N., Senid, P. P., Blegur, I. K. S., & Samo, D. D. (2023). Hypothetical learning trajectory: Bagaimana perannya dalam pembelajaran matematika di sekolah dasar? *Griya Journal of Mathematics Education and Application, 3*(2), 384–393. https://doi.org/10.29303/griya.v3i2.329

Lase, T. W. N., Lase, S., Mendrofa, R. N., & Zega, Y. (2024). Analisis kemampuan berpikir kreatif siswa kelas VIII SMP Negeri 4 Gunungsitoli Selatan dalam memecahkan masalah matematika. *GAUSS: Jurnal Pendidikan Matematika, 7*(2), 122–134. https://doi.org/10.30656/gauss.v7i2.9253

Lestari, R. V. A., & Hindun. (2023). Penerapan 4C (communication, collaboration, critical thinking, creativity) pada kurikulum merdeka di tingkat SMA. *Reduplikasi: Jurnal Penelitian Pendidikan Bahasa Indonesia, 3*(2), 15–26. https://doi.org/10.37905/rjppbi.v3i2.2285

Mertasari, N. M. S. (2021). *Pengujian instrumen penelitian kuantitatif*. Rajawali Pers.

National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. https://www.nctm.org/Standards-and-Positions/Principles-and-Standards/

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774

Padmiati, A. D., Sariningsih, R., & Rohaeti, E. E. (2024). Pendekatan problem solving untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis matematis siswa kelas VIII. *JPMI (Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif), 7*(4), 685–694. https://doi.org/10.22460/jpmi.v7i4.24661

Polya. (1954). George_Polya_How_To_Solve_It_.pdf.

Pujawan, I. G. N., & Suryawan, I. P. P. (2021). Effectiveness of STEM approach on mathematical communication ability. In *Proceedings of the 5th Asian Education Symposium 2020 (AES 2020)* (pp. 368–372). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/assehr.k.210715.078

Putra, K. H. N., Suparta, I. N., & Sudiarta, I. G. P. (2025). Developing interactive e-module to enhancing mathematical problem-solving ability through computational thinking. *International Journal of Education, Management, and Technology, 3*(1), 375–384. https://doi.org/10.58578/ijemt.v3i1.5207

Rezky, R. (2019). Hypothetical learning trajectory (HLT) dalam perspektif psikologi belajar matematika. *Ekspose: Jurnal Penelitian Hukum dan Pendidikan, 18*(1), 762–769. https://doi.org/10.30863/ekspose.v18i1.364

Risnanosanti, Prasetiyo, A. A., & Syofiana, M. (2023). Hypothetical learning trajectory penalaran matematis pada materi statistika SMP. *Indiktika: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika, 5*(2), 201–210. https://doi.org/10.31851/indiktika.v5i2.11743

Sabaruddin. (2019). Penggunaan model pemecahan masalah untuk meningkatkan kemampuan berpikir analisis peserta didik pada materi gravitasi Newton. *Lantanida Journal, 7*(1), 25–37. https://doi.org/10.22373/lj.v7i1.3795

Sapitri, N. K. I., Ardana, I. M., & Gunamantha, I. M. (2022). Pengembangan LKPD berbasis pemecahan masalah dengan pendekatan 4C untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *PENDASI Jurnal Pendidikan Dasar Indonesia, 6*(1), 24–32. https://doi.org/10.23887/jurnal_pendas.v6i1.537

Sari, L. S., Kaepah, Fitriani, P., Tresnawati, N., & Khodari, R. (2024). STEM approach to 4C skills in elementary school students: A systematic literature review. *Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains, 13*(1), 10–27. https://doi.org/10.24235/sc.educatia.v13i1.18062

Setiawati, A., Pertiwi, C. M., & Hidayat, W. (2024). Kemampuan pemecahan masalah matematis, model problem based learning, platform book creator: Muatan pembelajaran inovatif abad 21 bagi siswa SMP. *JPMI (Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif), 7*(3), 555–566. https://doi.org/10.22460/jpmi.v7i3.23002

Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education, 26*(2), 114–145. https://doi.org/10.2307/749205

Siregar, E. B., Br. Karo, N. H., Samosir, D., & Rajagukguk, W. (2024). Kualitas pendidikan matematika di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Widya Pustaka Pendidikan, 12*(2), 34–50. https://jiwpp.unram.ac.id/index.php/widya/article/view/159

Suharna, H., & Hi Abdullah, N. (2020). Kemampuan berpikir 4C matematika dalam pembelajaran di masa Covid-19 terutama di era new normal. *Delta-Pi: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika, 9*(2), 178–185. https://doi.org/10.33387/dpi.v9i2.2295

Suryawan, I. P. P., Sudiarta, I. G. P., Suharta, I. G. P., & Pujawan, I. G. N. (2024). Students' critical thinking ability in solving controversial mathematical problems seen from computational thinking. *International Journal of Religion, 5*(11), 3038–3051. https://doi.org/10.61707/dd3d5t59

Susanto, J., Laurens, T., & Tamalene, H. (2024). Pengembangan hypothetical learning trajectory pada materi luas persegi dan persegi panjang melalui Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PMRI) di siswa kelas IV MIS Al-Hilaal Wanakarta. *Jurnal Pendidikan Matematika Unpatti, 5*(2), 79–87. https://doi.org/10.30598/jpmunpatti.v5.i2.p79-87

Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J.-M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence, 11*(3), Article 54. https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054

Waly, M. M., & Ashadi. (2024). Unleashing the potentials: Nurturing students' 4Cs skills through project-based learning with ICT in EFL classrooms. *Journal of Foreign Language Teaching and Learning, 9*(2), 127–160. https://doi.org/10.18196/ftl.v9i2.23208

Wijaya, A. (2009). Hypothetical learning trajectory dan peningkatan pemahaman konsep pengukuran panjang. In *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika* (pp. 373–387). Jurusan Pendidikan Matematika, Universitas Negeri Yogyakarta. https://eprints.uny.ac.id/7038/

Yudha, F. (2019). Peran pendidikan matematika dalam meningkatkan sumber daya manusia guna membangun masyarakat Islam modern. *Jurnal Pendidikan Matematika (JPM), 5*(2), 87–94. https://doi.org/10.33474/jpm.v5i2.2725

© 2026 The Author(s)
This is an Open Access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
ISSN: 2549-7774