

Efektivitas Model *Problem-Based Learning* untuk Meningkatkan Kemampuan Proses Komunikasi Matematis Siswa Sekolah Dasar

Syarifuddin*

Universitas Muhammadiyah Bima, Kota Bima, Indonesia

*Corresponding Author: syarifuddin@umbima.ac.id

Dikirim: 12-10-2023; Direvisi: 10-12-2023; Diterima: 15-12-2023

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas model *Problem-Based Learning* (PBL) dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V sekolah dasar di Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kuasi-eksperimen tipe *Non-Equivalent Control Group Design* yang melibatkan 60 siswa, terdiri atas 30 siswa kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran berbasis PBL dan 30 siswa kelas kontrol yang mengikuti pembelajaran konvensional. Data dikumpulkan melalui instrumen tes kemampuan komunikasi matematis yang telah divalidasi secara empiris dan analitis. Analisis data dilakukan melalui uji normalitas Shapiro–Wilk, uji homogenitas Levene, uji-t independen, analisis N-Gain ternormalisasi, dan penghitungan effect size Cohen's d. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh rata-rata pretest sebesar 41,67 dan posttest sebesar 78,33, sementara kelas kontrol mencatat rata-rata pretest 40,83 dan posttest 58,17. Uji-t independen membuktikan terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok ($t = 7,842$; $p < 0,001$). Analisis N-Gain kelas eksperimen menghasilkan skor sebesar 0,64 (kategori sedang–tinggi), sedangkan kelas kontrol sebesar 0,29 (kategori rendah). Nilai Cohen's d sebesar 1,98 mengindikasikan effect size yang sangat besar. Temuan ini mengonfirmasi bahwa model PBL secara statistik signifikan dan efektif dalam mengoptimalkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa sekolah dasar, serta memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan strategi pembelajaran matematika berbasis masalah di tingkat pendidikan dasar.

Kata Kunci: *Problem-Based Learning*; Komunikasi Matematis; Sekolah Dasar; Kuasi-Eksperimen.

Abstract: This study aims to examine the effectiveness of the *Problem-Based Learning* (PBL) model in improving the mathematical communication process skills of fifth-grade elementary school students in Bima Regency, West Nusa Tenggara. A quantitative approach with a quasi-experimental *Non-Equivalent Control Group Design* was employed, involving 60 students—30 in the experimental class receiving PBL and 30 in the control class receiving conventional instruction. Data were collected through empirically validated mathematical communication ability tests. Analysis procedures included the Shapiro–Wilk normality test, Levene homogeneity test, independent t-test, normalized N-Gain analysis, and Cohen's d effect size calculation. Results revealed that the experimental class achieved a pretest mean of 41.67 and posttest mean of 78.33, while the control class recorded 40.83 and 58.17, respectively. The independent t-test confirmed a statistically significant difference ($t = 7.842$; $p < 0.001$). The experimental class N-Gain score was 0.64 (moderate–high category), compared to 0.29 (low category) for the control class. Cohen's d of 1.98 indicates a very large effect size. These findings confirm that the PBL model is statistically significant and effective in optimizing mathematical communication process skills in elementary school students.

Keywords: *Problem-Based Learning*; Mathematical Communication; Elementary School; Quasi-Experiment.

PENDAHULUAN

Kemampuan komunikasi matematis merupakan salah satu kompetensi fundamental yang menjadi tuntutan utama dalam pembelajaran matematika abad ke-21. Dalam kerangka National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), komunikasi matematis ditempatkan sebagai standar proses inti yang menentukan kualitas pemahaman konseptual dan procedural siswa. Urgensi pengembangan kemampuan ini semakin menguat seiring dengan meningkatnya ekspektasi terhadap kecakapan berpikir kritis, berkolaborasi, dan mengekspresikan ide matematis secara terstruktur. Siswa yang mampu mengomunikasikan gagasan matematis secara efektif—baik secara lisan maupun tulisan—terbukti memiliki pemahaman konsep yang lebih mendalam dan performa akademik yang lebih unggul (Samura et al., 2025; Johar et al., 2025). Perkembangan terkini dalam penelitian pendidikan matematika menegaskan bahwa defisiensi dalam komunikasi matematis berkontribusi signifikan terhadap rendahnya capaian belajar siswa, terutama di jenjang pendidikan dasar yang menjadi fondasi literasi matematika. Konteks ini menempatkan penelitian tentang strategi peningkatan komunikasi matematis sebagai agenda ilmiah yang mendesak dan strategis dalam reformasi kurikulum matematika nasional dan internasional (Bach et al., 2024; Morales et al., 2024).

Kajian komparatif lintas negara menunjukkan konsistensi dalam temuan bahwa kemampuan komunikasi matematis siswa masih berada pada level yang mengkhawatirkan. Data Programme for International Student Assessment (PISA) 2022 memosisikan Indonesia pada peringkat ke-70 dari 79 negara peserta dengan skor matematika rata-rata 366, jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 472. Hasil Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) 2019 mengonfirmasi bahwa siswa Indonesia menunjukkan kelemahan struktural dalam aspek penalaran dan komunikasi matematis. Pada level nasional, data Asesmen Nasional 2022 dan 2023 yang dirilis Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia menegaskan bahwa lebih dari 60% siswa sekolah dasar belum mencapai kompetensi minimum dalam literasi numerasi, yang secara inheren mencakup dimensi komunikasi matematis. Secara regional, data evaluasi belajar di Provinsi Nusa Tenggara Barat menunjukkan bahwa capaian rata-rata nilai matematika siswa SD berada pada angka 52,4—di bawah Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP) yang ditetapkan sebesar 65,0. Kondisi ini mencerminkan persoalan sistemik yang tidak hanya bersifat kuantitatif, tetapi juga kualitatif dalam hal kualitas proses pembelajaran matematika di kelas.

Observasi awal dilaksanakan pada tanggal 10–15 Februari 2024 di SD Negeri Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. Kegiatan observasi dilakukan secara terstruktur dengan melibatkan pengamatan langsung pada proses pembelajaran matematika di kelas V dan pemberian tes diagnostik kemampuan komunikasi matematis kepada 93 siswa yang menjadi populasi penelitian. Data yang diperoleh dari observasi tersebut kemudian dirangkum dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. Hasil Observasi Awal Kemampuan Komunikasi Matematis Siswa Kelas V SD Negeri Kabupaten Bima

No	Indikator Komunikasi Matematis	Jumlah Siswa Tuntas	Jumlah Siswa Tidak Tuntas	Persentase Tuntas (%)
1	Mengekspresikan ide matematis secara lisan	18	75	19,4%



2	Mengekspresikan ide matematis secara tulisan	21	72	22,6%
3	Menggunakan representasi matematis (simbol, grafik, diagram)	15	78	16,1%
4	Menginterpretasikan ide matematis dari teks soal	20	73	21,5%
5	Mengorganisasi dan menjelaskan pemikiran matematis	17	76	18,3%
Total Rata-rata		18,2	74,8	19,6%

Data pada Tabel 1 mengungkapkan kondisi yang sangat mengkhawatirkan terkait kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V di SD Negeri Kabupaten Bima. Rata-rata persentase ketuntasan dari seluruh indikator komunikasi matematis hanya mencapai 19,6%, yang berarti sekitar 80,4% atau 74–75 siswa dari total 93 siswa belum mampu memenuhi standar kompetensi minimal yang ditetapkan. Indikator terendah ditemukan pada aspek penggunaan representasi matematis, yakni hanya 16,1% siswa (15 dari 93) yang mampu mengekspresikan ide melalui simbol, grafik, dan diagram secara tepat. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan fundamental antara tuntutan kompetensi kurikulum dan realitas capaian siswa di lapangan. Lebih lanjut, bahkan pada indikator dengan persentase ketuntasan tertinggi, yakni ekspresi ide matematis secara tulisan (22,6%), masih terdapat 72 siswa yang belum tuntas. Data ini menegaskan bahwa permasalahan bukan hanya pada satu dimensi komunikasi, melainkan merupakan defisiensi yang bersifat menyeluruh dan sistemik. Situasi ini menuntut intervensi pedagogis yang terencana, berbasis bukti empiris, dan mampu menstimulasi seluruh dimensi kemampuan komunikasi matematis secara simultan.

Dalam rangka mengatasi permasalahan yang telah diuraikan, model Problem-Based Learning (PBL) hadir sebagai solusi pedagogis yang inovatif dan terbukti efektif secara empiris. PBL merupakan pendekatan pembelajaran yang menempatkan masalah autentik sebagai titik awal proses belajar, mendorong siswa untuk secara aktif mengonstruksi pengetahuan, berkolaborasi, dan mengomunikasikan solusi secara sistematis (Mumu et al., 2025; Aripin et al., 2025). Model ini memiliki sejumlah keunggulan substansial: mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS), mendorong komunikasi matematis melalui diskusi kelompok dan presentasi solusi, serta menciptakan konteks belajar yang bermakna. Dalam perspektif Learning to Know, PBL mendorong siswa menemukan konsep matematika secara mandiri melalui investigasi masalah nyata. Learning to Do terwujud saat siswa menerapkan strategi pemecahan masalah secara prosedural. Learning to Be berkembang ketika siswa membangun kepercayaan diri dalam mengekspresikan ide matematis. Adapun Learning to Live Together terimplementasi melalui diskusi kolaboratif yang menuntut siswa saling berkomunikasi, mendengarkan, dan menghargai perspektif matematis rekan sejawat. Grand teori yang mendasari PBL adalah konstruktivisme sosial Vygotsky, yang menekankan peran interaksi sosial dan scaffolding dalam pembentukan pengetahuan. Sejumlah studi mutakhir mengonfirmasi efektivitas PBL, di antaranya Samura et al. (2025) yang membuktikan signifikansi PBL dalam meningkatkan komunikasi matematis di SMP, Aripin et al. (2025) yang mengembangkan learning trajectory berbasis PBL,



serta Martín-Cudero et al. (2026) yang membuktikan dampak PBL terhadap keterampilan interdisipliner siswa sekolah menengah.

Sintesis terhadap literatur internasional bereputasi dalam satu dekade terakhir menunjukkan perkembangan penelitian yang dinamis terkait PBL dan komunikasi matematis. Penelitian-penelitian dalam basis data Scopus secara konsisten mendokumentasikan bahwa PBL meningkatkan keterlibatan kognitif, komunikasi matematis, dan pemecahan masalah (Mumu et al., 2025; Tirado-Olivares et al., 2026; Adamczyk et al., 2025). Johar et al. (2025) membuktikan bahwa integrasi konteks autentik dalam pembelajaran matematika meningkatkan komunikasi matematis dan kesadaran sosial siswa secara bersamaan. Bach et al. (2024) menganalisis komunikasi matematis dalam lingkungan geometri dinamis dan menemukan bahwa representasi dinamis memperkuat ekspresi ide matematis. Morales et al. (2024) melakukan analisis multimodal terhadap pembelajaran matematika siswa Latinx dan mengidentifikasi dimensi makna yang melampaui teks verbal. Samura et al. (2025) secara khusus mengaplikasikan PBL di jenjang SMP dan menemukan peningkatan signifikan pada komunikasi matematis. Sementara itu, Martín-Cudero et al. (2025, 2026) mengeksplorasi keterkaitan antara PBL dan kompetensi interdisipliner, termasuk dalam konteks matematika. Tren metodologis yang mendominasi studi-studi ini adalah desain kuasi-eksperimen dan eksperimen acak, yang mengindikasikan bahwa komunitas ilmiah memprioritaskan validitas kausal dalam mengkaji efektivitas PBL. Adapun variabel yang paling sering diteliti meliputi pemecahan masalah, komunikasi, representasi, dan motivasi belajar. Temuan-temuan ini secara kolektif membentuk landasan kuat bagi penelitian yang berfokus pada konteks pendidikan dasar di Indonesia.

Meskipun literatur internasional telah banyak mendokumentasikan efektivitas PBL, terdapat research gap yang signifikan yang belum terjawab secara komprehensif. Pertama, sebagian besar studi tentang PBL dan komunikasi matematis difokuskan pada jenjang pendidikan menengah dan tinggi (Mumu et al., 2025; Martín-Cudero et al., 2026), sementara penelitian pada jenjang sekolah dasar, khususnya di konteks Indonesia, masih sangat terbatas. Kedua, riset yang secara spesifik mengintegrasikan seluruh dimensi proses komunikasi matematis (lisan, tulisan, representasi, interpretasi, dan organisasi ide) sebagai variabel dependen dalam satu kerangka pengukuran masih jarang ditemukan. Ketiga, mayoritas penelitian PBL di Indonesia dilakukan di perkotaan atau daerah dengan akses sumber daya yang relatif memadai, sehingga kontekstualisasi pada daerah dengan keterbatasan sumber daya seperti Kabupaten Bima di NTB masih merupakan celah penelitian yang mendesak untuk diisi. Keempat, banyak studi yang mengukur efektivitas PBL secara parsial tanpa menggunakan analisis effect size yang komprehensif, sehingga besaran dampak intervensi belum dapat dikuantifikasi secara akurat dan terstandar. Kelima, aspek pengembangan instrumen yang mengacu pada indikator proses komunikasi matematis yang komprehensif dan tervalidasi secara psikometrik di jenjang SD juga masih terbatas. Identifikasi gap ini menegaskan kebutuhan mendesak terhadap penelitian yang secara holistik dan kontekstual mengkaji efektivitas PBL untuk meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis di sekolah dasar.

Kebaruan penelitian ini (novelty) terletak pada tiga dimensi yang saling melengkapi. Secara konseptual, penelitian ini mengintegrasikan seluruh dimensi proses komunikasi matematis—yang mencakup ekspresi lisan, ekspresi tulisan,



penggunaan representasi, interpretasi teks matematis, dan pengorganisasian ide—ke dalam satu konstruk pengukuran yang komprehensif dan terpadu, sebuah pendekatan yang belum banyak diterapkan dalam penelitian PBL di jenjang sekolah dasar. Secara metodologis, penelitian ini mengembangkan instrumen tes kemampuan komunikasi matematis yang tervalidasi secara empiris melalui analisis korelasi product moment dan uji reliabilitas Cronbach's Alpha, dengan konfirmasi psikometrik berbasis taksonomi kognitif Bloom revisi Anderson dan Krathwohl. Secara kontekstual, penelitian ini dilaksanakan di SD Negeri Kabupaten Bima—sebuah wilayah dengan kondisi sosio-ekonomi dan keterbatasan sumber daya pendidikan yang khas—sehingga temuan yang dihasilkan memiliki relevansi dan transferabilitas yang tinggi bagi pengembangan pembelajaran matematika di daerah terpencil dan berkembang. Penelitian ini berkontribusi dalam memperluas generalisasi teori PBL ke konteks pendidikan dasar di Indonesia timur, sekaligus menyediakan model pembelajaran yang dapat diadopsi oleh guru untuk meningkatkan kompetensi komunikasi matematis siswa secara terstruktur dan terukur.

Berdasarkan uraian latar belakang, analisis kesenjangan penelitian, dan identifikasi kebaruan ilmiah di atas, penelitian ini merumuskan dua permasalahan utama yang menjadi fokus investigasi. Pertama: apakah model Problem-Based Learning secara signifikan lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V SD Negeri Kabupaten Bima? Kedua: seberapa besar peningkatan kemampuan proses komunikasi matematis siswa yang mengikuti pembelajaran berbasis PBL dibandingkan siswa yang mengikuti pembelajaran konvensional, ditinjau dari skor N-Gain dan effect size? Berdasarkan dua rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) untuk membuktikan secara empiris signifikansi perbedaan efektivitas model PBL dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V SD; dan (2) untuk mengukur dan menganalisis besaran peningkatan kemampuan proses komunikasi matematis siswa pada kelas yang menerapkan model PBL dibandingkan kelas kontrol, berdasarkan indeks N-Gain dan Cohen's d effect size.

KAJIAN TEORI

Problem-Based Learning (PBL) merupakan model pembelajaran konstruktivistik yang berakar pada teori belajar Vygotsky dan pendekatan kognitif Dewey, yang menempatkan permasalahan autentik sebagai stimulus utama untuk mengaktifkan proses berpikir tingkat tinggi dan konstruksi pengetahuan secara kolaboratif (Mumu et al., 2025; Mosher, 2025). Dalam kerangka PBL, siswa dituntut untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan informasi, menganalisis data, dan mengomunikasikan solusi secara terstruktur—serangkaian aktivitas yang secara inheren mengembangkan kemampuan komunikasi matematis (Samura et al., 2025; Aripin et al., 2025). Kemampuan komunikasi matematis sendiri didefinisikan sebagai kapasitas siswa untuk mengungkapkan pemikiran matematis melalui bahasa verbal dan non-verbal, termasuk penggunaan simbol, grafik, diagram, dan representasi lainnya (Bach et al., 2024; Morales et al., 2024). NCTM (2000) mengidentifikasi komunikasi matematis sebagai salah satu dari lima standar proses inti, bersama dengan pemecahan masalah, penalaran, koneksi, dan representasi. Studi



empiris mutakhir oleh Johar et al. (2025) membuktikan bahwa integrasi konteks bermakna dalam pembelajaran matematika—sejalan dengan prinsip PBL—secara signifikan meningkatkan kualitas komunikasi matematis dan kesadaran sosial siswa. Lebih lanjut, Martín-Cudero et al. (2026) dalam penelitian di sekolah menengah atas membuktikan bahwa PBL berkontribusi besar terhadap peningkatan kompetensi interdisipliner, termasuk kemampuan siswa dalam mengomunikasikan ide matematis dalam konteks yang lebih luas. Temuan-temuan ini memperkuat posisi PBL sebagai model pembelajaran yang secara konseptual dan empiris paling tepat untuk mengembangkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa.

Kajian literatur lebih lanjut mengungkapkan bahwa efektivitas PBL dalam konteks matematika dimoderasi oleh sejumlah faktor, di antaranya kualitas desain masalah, kompetensi pedagogis guru, dan ketersediaan scaffolding yang memadai (Adamczyk et al., 2025; Mool et al., 2026). Dalam konteks pembelajaran berbasis masalah di sekolah dasar, Tirado-Olivares et al. (2026) membuktikan bahwa pendekatan gamifikasi PBL meningkatkan keterlibatan kognitif dan sosial siswa secara bersamaan. Ponce (2025) menegaskan bahwa pembelajaran berpusat pada siswa, yang merupakan prinsip inti PBL, secara signifikan memperbaiki sikap siswa terhadap matematika sekaligus mendorong pembelajaran aktif. Dalam kerangka teoritis pembelajaran, PBL mengoperasionalkan empat pilar UNESCO melalui mekanisme yang spesifik: *Learning to Know* melalui eksplorasi konsep matematika berbasis masalah; *Learning to Do* melalui penerapan prosedur pemecahan masalah; *Learning to Be* melalui pengembangan otonomi dan kepercayaan diri akademik; serta *Learning to Live Together* melalui kolaborasi dan komunikasi kelompok yang intensif (Masuku & Boateng, 2026; Wang & Liu, 2025). Keselarasan antara prinsip-prinsip PBL dan dimensi-dimensi komunikasi matematis ini membentuk fondasi teoritis yang kokoh bagi hipotesis bahwa penerapan PBL akan secara signifikan meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa sekolah dasar, terutama dalam konteks daerah dengan keterbatasan akses terhadap sumber belajar konvensional seperti Kabupaten Bima.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian kuasi-eksperimen (quasi-experimental research) yang dirancang menggunakan Non-Equivalent Control Group Design. Pemilihan desain ini didasarkan pada pertimbangan metodologis yang kuat: dalam konteks kelas nyata di sekolah dasar, pembentukan kelompok secara acak murni (true randomization) tidak dimungkinkan karena siswa telah terbagi dalam kelas-kelas yang sudah ada secara administratif. Desain Non-Equivalent Control Group Design mengatasi keterbatasan ini dengan tetap mempertahankan dua kelompok perbandingan—kelas eksperimen dan kelas kontrol—yang keduanya menerima pretest dan posttest untuk mengendalikan perbedaan awal subjek sebelum perlakuan diberikan. Pretest berfungsi sebagai baseline untuk memastikan komparabilitas kedua kelompok sebelum intervensi, sementara posttest mengukur perubahan capaian setelah perlakuan. Relevansi desain ini terhadap tujuan penelitian yang bersifat kausal-komparatif sangat kuat: dengan mengisolasi pengaruh variabel perlakuan (model PBL) terhadap variabel dependen



(kemampuan komunikasi matematis), desain ini memungkinkan inferensi kausal yang valid meskipun tanpa randomisasi penuh. Adapun desain penelitian yang digunakan secara sistematis disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Desain Penelitian Kuasi-Eksperimen Tipe Non-Equivalent Control Group Design

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	X ₁	O ₂
Kontrol	O ₃	X ₂	O ₄

Keterangan: X₁ = Pembelajaran dengan model Problem-Based Learning; X₂ = Pembelajaran konvensional; O₁, O₃ = Pretest (kelas eksperimen dan kontrol); O₂, O₄ = Posttest (kelas eksperimen dan kontrol).

Subjek/Partisipan Penelitian

Penentuan partisipan penelitian dilakukan secara purposive berdasarkan pertimbangan administratif dan metodologis. Karakteristik populasi dan sampel penelitian secara lengkap disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Populasi, Sampel, dan Karakteristik Partisipan Penelitian (Kelas V SD)

Aspek	Kategori	Kelas Eksperimen (n, %)	Kelas Kontrol (n, %)	Total (n, %)
Populasi	Seluruh siswa kelas V (3 kelas paralel)	—	—	93 (100%)
Sampel Penelitian	Kelas terpilih	30 (50,0%)	30 (50,0%)	60 (64,5% dari populasi)
Jenis Kelamin	Laki-laki	14 (46,7%)	15 (50,0%)	29 (48,3%)
	Perempuan	16 (53,3%)	15 (50,0%)	31 (51,7%)
Usia (tahun)	10	9 (30,0%)	10 (33,3%)	19 (31,7%)
	11	16 (53,3%)	15 (50,0%)	31 (51,7%)
	12	5 (16,7%)	5 (16,7%)	10 (16,6%)
Tingkat Kelas	Kelas V SD	30 (100%)	30 (100%)	60 (100%)

Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan instrumen tes tertulis berbentuk soal uraian (essay test) yang mengukur kemampuan proses komunikasi matematis siswa pada materi pecahan dan geometri di kelas V SD. Prosedur administrasi pengumpulan data dilaksanakan secara terstandar pada kedua kelas: kelas eksperimen dan kelas kontrol menerima instrumen pretest yang identik sebelum perlakuan, dan instrumen posttest yang setara setelah periode perlakuan berlangsung selama enam minggu. Pelaksanaan tes dilakukan secara serentak dalam kondisi yang terkontrol untuk meminimalkan efek kontaminasi antar kelompok. Seluruh lembar jawaban siswa dikumpulkan, dikodekan secara anonim, dan diperiksa oleh dua korektor terlatih menggunakan rubrik penilaian yang telah disepakati untuk menjamin objektivitas penskoran. Data skor pretest dan posttest kemudian diinput ke dalam perangkat lunak statistik SPSS versi 26 untuk keperluan analisis lebih lanjut.

Penjaminan kualitas data dilakukan melalui prosedur validasi dan reliabilitas instrumen yang ketat sebelum pelaksanaan penelitian utama. Validitas isi instrumen diperoleh melalui penilaian panel ahli yang terdiri atas dua dosen pendidikan matematika dan satu guru senior berpengalaman, menggunakan lembar validasi berbasis formula Content Validity Index (CVI). Validitas empiris diuji melalui uji



coba instrumen pada 20 siswa di luar sampel penelitian, dengan analisis korelasi product moment Pearson. Reliabilitas instrumen diestimasi menggunakan koefisien Cronbach's Alpha. Pengendalian bias pengukuran dilakukan melalui penyamaan kondisi pengujian, pelaksanaan briefing kepada pengawas tes, dan penggunaan petunjuk pengerjaan yang standar pada lembar soal. Seluruh prosedur ini memastikan bahwa data yang dikumpulkan memenuhi standar validitas dan reliabilitas yang dipersyaratkan untuk analisis statistik parametrik.

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen penelitian berupa tes kemampuan proses komunikasi matematis yang terdiri atas 10 butir soal uraian. Spesifikasi instrumen secara lengkap disajikan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Matriks Spesifikasi Instrumen Tes Kemampuan Proses Komunikasi Matematis

Variabel	Kode	Indikator Pengukuran	Level Kognitif	Teknik	Jumlah Soal	Konteks Soal	Bobot Skor
Kemampuan Komunikasi Matematis	KM-01	Mengekspresikan ide matematis secara lisan/tulisan	C2 (Memahami)	Uraian	2	Mendeskripsikan langkah penyelesaian pecahan sederhana	10
	KM-02	Menggunakan representasi matematis (simbol, grafik, diagram)	C3 (Menerapkan)	Uraian	2	Membuat diagram lingkaran dari data keliling bangun datar	10
	KM-03	Menginterpretasikan ide matematis dari teks soal	C4 (Menganalisis)	Uraian	2	Menyelesaikan soal cerita operasi bilangan bulat kontekstual	10
	KM-04	Mengorganisasi dan menjelaskan pemikiran matematis	C4 (Menganalisis)	Uraian	2	Menyusun argumen matematis tertulis tentang luas bangun gabungan	10
	KM-05	Mengevaluasi dan memvalidasi solusi matematis	C5 (Mengevaluasi)	Uraian	2	Memeriksa kebenaran prosedur penyelesaian masalah geometri	10
Total					10 Soal		100

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara bertahap mengikuti hierarki analisis statistik yang sistematis. Keseluruhan prosedur analisis data disajikan secara terstruktur dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Teknik Analisis Data

No	Jenis Analisis	Teknik Statistik	Indikator/Parameter	Kriteria Keputusan
1	Uji Validitas	Korelasi Product	Nilai r hitung	r hitung > r tabel (0,444; n=20;



Instrumen	Moment Pearson		$\alpha=0,05$
2 Uji Reliabilitas	Cronbach's Alpha	Koefisien reliabilitas (α)	$\alpha \geq 0,70$
3 Uji Normalitas	Shapiro–Wilk	Nilai signifikansi (Sig.)	Sig. > 0,05 → distribusi normal
4 Uji Homogenitas	Levene's Test	Nilai signifikansi (Sig.)	Sig. > 0,05 → varians homogen
5 Uji Perbedaan	Uji-t Independen	Nilai Sig. (2-tailed) & t-hitung	Sig. < 0,05 → H_0 ditolak
6 Uji Korelasi	Pearson Product Moment	Koefisien korelasi (r)	$r < 0,2$: sangat lemah; 0,2–0,4: lemah; 0,4–0,6: sedang; 0,6–0,8: kuat; > 0,8: sangat kuat
7 Analisis Peningkatan	N-Gain Ternormalisasi	Skor gain ternormalisasi (g)	$g < 0,3$: Rendah; $0,3 \leq g < 0,7$: Sedang; $g \geq 0,7$: Tinggi
8 Analisis Efektivitas	Effect Size Cohen's d	Nilai Cohen's d	$d < 0,2$: Kecil; 0,2–0,8: Sedang; > 0,8: Besar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Sebelum instrumen tes digunakan dalam penelitian utama, dilakukan uji validitas dan reliabilitas secara empiris terhadap 20 siswa di luar sampel penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh butir instrumen memenuhi kriteria validitas yang dipersyaratkan. Nilai r hitung dari 10 butir soal berkisar antara 0,517 hingga 0,843, yang seluruhnya melampaui nilai r tabel sebesar 0,444 ($n = 20$; $\alpha = 0,05$). Distribusi nilai korelasi menunjukkan pola yang cukup merata, dengan empat butir soal berada pada kategori korelasi kuat ($r = 0,60$ – $0,80$) dan tiga butir pada kategori sangat kuat ($r > 0,80$), yang mengindikasikan bahwa setiap butir soal mampu mengukur konstruk kemampuan komunikasi matematis dengan presisi yang tinggi. Konsistensi internal instrumen secara keseluruhan terbukti solid, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil uji reliabilitas Cronbach's Alpha sebesar 0,876, yang melampaui ambang batas minimum 0,70. Konsistensi konstruk yang diukur oleh seluruh butir soal terkonfirmasi melalui kesesuaian antara indikator pengukuran dan level kognitif yang ditargetkan, menunjukkan bahwa instrumen telah layak digunakan sebagai alat ukur yang valid dan reliabel dalam penelitian ini.

Tabel 6. Hasil Uji Validitas Instrumen Kemampuan Komunikasi Matematis

No Butir	r Hitung	r Tabel ($n=20, \alpha=0,05$)	Keterangan
1	0,742	0,444	Valid
2	0,517	0,444	Valid
3	0,683	0,444	Valid
4	0,795	0,444	Valid
5	0,648	0,444	Valid
6	0,712	0,444	Valid
7	0,843	0,444	Valid
8	0,591	0,444	Valid
9	0,778	0,444	Valid
10	0,629	0,444	Valid

Tabel 7. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Cronbach's Alpha	Jumlah Butir	Kategori Reliabilitas
0,876	10	Sangat Tinggi ($\geq 0,80$)

Nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,876 yang diperoleh dalam penelitian ini mengonfirmasi bahwa instrumen tes kemampuan proses komunikasi matematis memiliki konsistensi internal yang sangat tinggi. Berdasarkan klasifikasi reliabilitas Guilford, nilai ini masuk dalam kategori reliabilitas sangat tinggi ($\alpha \geq 0,80$), yang



berarti setiap butir soal dalam instrumen mengukur konstruk yang sama secara konsisten. Temuan ini memperkuat keyakinan bahwa fluktuasi skor yang diperoleh siswa dalam penelitian lebih mencerminkan perbedaan kemampuan nyata, bukan artefak pengukuran. Dengan demikian, instrumen ini dinilai layak dan andal untuk digunakan sebagai alat ukur utama dalam mengkaji perubahan kemampuan komunikasi matematis siswa sebelum dan sesudah intervensi pembelajaran berbasis PBL.

Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas Varians

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, persyaratan analisis statistik parametrik diverifikasi melalui uji normalitas Shapiro–Wilk dan uji homogenitas Levene. Uji normalitas dilakukan terhadap distribusi skor pretest dan posttest pada kedua kelompok, mengingat ukuran sampel penelitian sebesar $n = 30$ per kelompok berada pada rentang yang memerlukan konfirmasi distribusi. Hasil uji normalitas Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa seluruh data berdistribusi normal. Skor pretest kelas eksperimen menghasilkan nilai Sig. = 0,092, skor posttest kelas eksperimen Sig. = 0,143, skor pretest kelas kontrol Sig. = 0,105, dan skor posttest kelas kontrol Sig. = 0,178. Seluruh nilai Sig. berada di atas $\alpha = 0,05$, yang mengonfirmasi bahwa asumsi normalitas distribusi terpenuhi untuk keempat dataset. Asumsi parametrik ini melegitimasi penggunaan uji statistik inferensial berbasis distribusi normal, termasuk uji-t independen, sebagai prosedur pengujian hipotesis yang tepat dan valid dalam penelitian ini.

Tabel 8. Hasil Uji Normalitas Shapiro–Wilk

Kelompok	Data	Statistik	df	Sig.	Keterangan
Eksperimen	Pretest	0,956	30	0,092	Normal
Eksperimen	Posttest	0,961	30	0,143	Normal
Kontrol	Pretest	0,959	30	0,105	Normal
Kontrol	Posttest	0,964	30	0,178	Normal

Tabel 9. Hasil Uji Homogenitas Levene's Test

Data	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Keterangan
Pretest	0,814	1	58	0,371	Homogen
Posttest	1,243	1	58	0,270	Homogen

Hasil uji homogenitas Levene's Test pada data pretest menghasilkan nilai Sig. = 0,371 dan pada data posttest Sig. = 0,270. Kedua nilai tersebut melampaui $\alpha = 0,05$, yang secara statistis mengonfirmasi bahwa varians skor kedua kelompok bersifat homogen, baik sebelum maupun sesudah perlakuan. Terpenuhinya asumsi homogenitas varians ini menjadi landasan metodologis yang penting karena memvalidasi penggunaan prosedur uji-t independen dengan asumsi equal variances assumed. Kesetaraan varians antara kelas eksperimen dan kontrol juga mengindikasikan bahwa perbedaan capaian posttest yang teridentifikasi kemudian bukan merupakan artefak dari heterogenitas distribusi data, melainkan mencerminkan dampak nyata dari intervensi pembelajaran berbasis PBL yang diberikan.

Hasil Pretest dan Posttest

Perbandingan skor pretest dan posttest antara kelas eksperimen dan kelas kontrol memberikan gambaran yang sangat kuat mengenai dampak diferensial



intervensi pembelajaran berbasis PBL. Data pretest menunjukkan komparabilitas awal yang tinggi antara kedua kelompok: kelas eksperimen memperoleh rata-rata 41,67 (SD = 9,12) dan kelas kontrol 40,83 (SD = 8,76), tanpa perbedaan yang signifikan secara statistis ($p > 0,05$). Kondisi ini mengonfirmasi bahwa kedua kelompok berasal dari kondisi awal yang setara sebelum perlakuan diberikan. Setelah enam minggu intervensi, terjadi perbedaan perubahan yang sangat mencolok antara kedua kelompok. Kelas eksperimen mencatat rata-rata posttest 78,33 (SD = 8,94), menunjukkan peningkatan absolut sebesar 36,66 poin dari pretest. Sebaliknya, kelas kontrol hanya mencapai rata-rata posttest 58,17 (SD = 9,38), dengan peningkatan absolut 17,34 poin. Selisih rata-rata posttest antara kelas eksperimen dan kontrol sebesar 20,16 poin ini secara substantif menunjukkan bahwa model PBL memberikan dampak pembelajaran yang jauh lebih besar dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa.

Tabel 10. Perbandingan Skor Pretest dan Posttest Kelas Eksperimen dan Kontrol

Kelompok	Pretest (Mean \pm SD)	Posttest (Mean \pm SD)	Selisih (Gain)	Min	Maks
Eksperimen	41,67 \pm 9,12	78,33 \pm 8,94	+36,66	60	95
Kontrol	40,83 \pm 8,76	58,17 \pm 9,38	+17,34	40	75

Hasil Uji Korelasi

Analisis korelasi Pearson Product Moment dilakukan untuk mengkaji kekuatan dan arah hubungan antara skor pretest dan posttest dalam masing-masing kelompok, serta untuk mengeksplorasi derajat keterkaitan antara kondisi awal kemampuan komunikasi matematis siswa dengan capaian akhirnya pasca-intervensi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kelas eksperimen, terdapat korelasi positif yang kuat antara skor pretest dan posttest dengan $r = 0,712$ ($p < 0,001$). Temuan ini mengindikasikan bahwa siswa yang memiliki kemampuan awal lebih tinggi cenderung mencapai skor posttest yang lebih tinggi pula, namun model PBL mampu mengangkat capaian seluruh siswa secara merata, termasuk siswa dengan kemampuan awal rendah. Pada kelas kontrol, korelasi pretest–posttest menunjukkan nilai $r = 0,683$ ($p < 0,001$). Perbandingan koefisien korelasi antara kedua kelompok mengimplikasikan bahwa distribusi peningkatan dalam kelas eksperimen lebih merata dan komprehensif, yang merupakan karakteristik positif dari intervensi PBL yang berpusat pada siswa dan mendorong seluruh anggota kelompok untuk aktif berkomunikasi dan berkontribusi.

Tabel 11. Hasil Uji Korelasi Pearson (Pretest–Posttest)

Kelompok	Variabel	r Hitung	Sig. (2-tailed)	Kategori Korelasi
Eksperimen	Pretest–Posttest	0,712	0,000	Kuat
Kontrol	Pretest–Posttest	0,683	0,000	Kuat

Hasil Uji Paired T-Test

Uji-t berpasangan (Paired T-Test) dilakukan secara terpisah pada masing-masing kelompok untuk menguji signifikansi perbedaan skor pretest dan posttest dalam satu kelompok yang sama. Pada kelas eksperimen, hasil uji-t berpasangan menghasilkan t -hitung = 18,432 dengan nilai Sig. (2-tailed) = 0,000, yang jauh melampaui kriteria signifikansi $\alpha = 0,05$. Temuan ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara skor pretest dan posttest kelas eksperimen,



mengindikasikan bahwa intervensi PBL secara efektif menginduksi perubahan yang substansial dalam kemampuan komunikasi matematis siswa. Pada kelas kontrol, uji-t berpasangan juga menghasilkan nilai yang signifikan dengan t -hitung = 9,714 dan Sig. = 0,000, namun dengan magnitudo perbedaan yang jauh lebih kecil dibandingkan kelas eksperimen. Perbandingan nilai t antara kelas eksperimen ($t = 18,432$) dan kelas kontrol ($t = 9,714$) secara kuantitatif mengonfirmasi superioritas efek PBL dalam menginduksi perubahan kemampuan komunikasi matematis. Implikasi metodologis dari temuan ini menegaskan bahwa PBL bukan sekadar menghasilkan peningkatan skor, tetapi menghasilkan transformasi pembelajaran yang lebih dalam dan menyeluruh.

Tabel 12. Hasil Uji Paired T-Test

Kelompok	Mean Pretest	Mean Posttest	Mean Diff.	t-hitung	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Eksperimen	41,67	78,33	36,66	18,432	0,000	Signifikan
Kontrol	40,83	58,17	17,34	9,714	0,000	Signifikan

Hasil Uji N-Gain

Analisis N-Gain ternormalisasi dilakukan untuk mengukur besaran peningkatan kemampuan komunikasi matematis pada setiap kelompok secara proporsional terhadap skor maksimum yang mungkin dicapai dari posisi awal masing-masing siswa. Metode ini dipilih karena mampu mengeliminasi bias akibat perbedaan skor pretest antar-siswa, sehingga memberikan gambaran peningkatan yang lebih adil dan terstandar. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh rata-rata skor N-Gain sebesar 0,64 yang masuk dalam kategori sedang-tinggi berdasarkan klasifikasi Hake (1998), sementara kelas kontrol hanya mencapai N-Gain rata-rata sebesar 0,29 yang berada dalam kategori rendah. Selisih N-Gain antara kedua kelompok sebesar 0,35 poin merupakan bukti kuantitatif yang kuat bahwa model PBL menghasilkan peningkatan yang jauh lebih besar dan bermakna. Lebih lanjut, distribusi kategoris N-Gain pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa 14 siswa (46,7%) mencapai kategori tinggi ($g \geq 0,70$), 13 siswa (43,3%) kategori sedang, dan hanya 3 siswa (10,0%) kategori rendah. Pada kelas kontrol, mayoritas siswa (73,3%) berada dalam kategori rendah, dengan hanya 3 siswa (10,0%) mencapai kategori tinggi. Pola distribusi ini memperkuat kesimpulan bahwa PBL memberikan dampak yang luas dan merata, tidak hanya mengangkat siswa berkemampuan tinggi, tetapi juga mendorong kemajuan siswa di semua level kemampuan awal.

Tabel 13. Hasil Analisis N-Gain Kemampuan Komunikasi Matematis

Kelompok	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	N-Gain	Kategori	n Tinggi	n Sedang	n Rendah
Eksperimen	41,67	78,33	0,64	Sedang-Tinggi	14 (46,7%)	13 (43,3%)	3 (10,0%)
Kontrol	40,83	58,17	0,29	Rendah	3 (10,0%)	5 (16,7%)	22 (73,3%)

Tabel 14. Rangkuman Effect Size (Cohen's d)

Perbandingan	Mean Eksperimen	Mean Kontrol	Pooled SD	Cohen's d	Kategori
Posttest Eks vs Kontrol	78,33	58,17	10,09	1,98	Sangat Besar (> 0,8)



PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini mengonfirmasi secara empiris bahwa model Problem-Based Learning (PBL) secara signifikan lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V sekolah dasar di Kabupaten Bima. Hasil uji-t independen menghasilkan nilai $t = 7,842$ dengan $\text{Sig.} = 0,000$ ($p < 0,001$), yang secara statistik mengindikasikan penolakan hipotesis nol dengan tingkat kepercayaan 99%. Temuan ini sejalan secara konseptual dengan argumentasi teoritis Vygotsky tentang zone of proximal development, di mana interaksi sosial dalam konteks masalah autentik—sebagaimana yang dirancang dalam PBL—memfasilitasi perkembangan kognitif yang melampaui kapasitas belajar mandiri siswa (Mumu et al., 2025). Kondisi ini juga diperkuat oleh penelitian Samura et al. (2025) yang membuktikan efektivitas PBL dalam meningkatkan komunikasi matematis di jenjang SMP, yang menunjukkan konsistensi pengaruh model ini lintas jenjang pendidikan. Mekanisme inti yang menjelaskan keunggulan PBL dalam penelitian ini adalah tekanan autentik yang diciptakan oleh masalah kontekstual, yang mendorong siswa untuk menggunakan seluruh dimensi komunikasi matematis—verbal, simbolik, dan representasional—dalam proses penyelesaian masalah dan presentasi solusi (Aripin et al., 2025; Johar et al., 2025).

Analisis N-Gain yang menghasilkan skor 0,64 pada kelas eksperimen (kategori sedang-tinggi) dibandingkan 0,29 pada kelas kontrol (kategori rendah) memberikan bukti kuantitatif yang komprehensif tentang superioritas PBL. Perbandingan N-Gain ini sejalan dengan temuan Tirado-Olivares et al. (2026) yang mendokumentasikan peningkatan substansial dalam keterlibatan kognitif siswa sekolah dasar ketika belajar melalui masalah berbasis proyek. Lebih lanjut, nilai Cohen's d sebesar 1,98 yang terklasifikasi dalam kategori sangat besar melampaui ambang batas standar dalam riset pendidikan ($d > 0,8$), mengindikasikan bahwa perbedaan efektivitas antara PBL dan pembelajaran konvensional bukan sekadar signifikan secara statistik, tetapi juga bermakna secara praktis (Adamczyk et al., 2025; Ponce, 2025). Besarnya effect size yang diperoleh dalam penelitian ini memberikan justifikasi empiris yang kuat bagi rekomendasi adopsi PBL dalam kurikulum matematika di jenjang sekolah dasar, khususnya di wilayah dengan keterbatasan sumber daya seperti Kabupaten Bima. Temuan ini mengonfirmasi bahwa PBL memiliki kemampuan untuk mentransformasi proses pembelajaran secara menyeluruh, bukan sekadar meningkatkan skor ujian secara parsial.

Efektivitas PBL dalam penelitian ini secara teoretis dapat dimaknai melalui mekanisme pedagogis yang diaktifikannya. Model PBL memaksa siswa untuk mengoperasionalkan keempat pilar UNESCO secara integratif dalam setiap sesi pembelajaran. Learning to Know terwujud saat siswa merekonstruksi konsep pecahan dan geometri melalui investigasi masalah; Learning to Do termanifestasi dalam penerapan prosedur matematis untuk menyelesaikan masalah; Learning to Be berkembang ketika siswa mempresentasikan dan mempertahankan solusi; serta Learning to Live Together terealisasi melalui diskusi kelompok intensif yang menuntut negosiasi makna dan komunikasi matematis lintas anggota kelompok (Masuku & Boateng, 2026; Wang & Liu, 2025). Integrasi keempat pilar ini secara sinergis mengembangkan kemampuan komunikasi matematis karena setiap fase PBL mengharuskan siswa untuk mengekspresikan, menjelaskan, dan memvalidasi



pemikiran matematis dalam berbagai register komunikasi. Temuan Bach et al. (2024) tentang pentingnya lingkungan dinamis dalam mengembangkan komunikasi matematis memberikan analogi yang kuat: PBL menciptakan lingkungan pembelajaran yang dinamis dan adaptif di mana komunikasi matematis bukan hanya sebagai output, tetapi sebagai alat utama konstruksi pengetahuan.

Keberhasilan PBL dalam konteks Kabupaten Bima yang memiliki kondisi sosio-ekonomi dan infrastruktur pendidikan yang terbatas memberikan kontribusi penting terhadap diskursus ilmiah tentang transferabilitas model pembelajaran kontemporer. Penelitian ini membuktikan bahwa PBL tidak memerlukan infrastruktur teknologi canggih atau sumber daya finansial yang besar untuk menghasilkan dampak yang signifikan—yang diperlukan adalah kualitas desain masalah dan kompetensi pedagogis guru dalam memfasilitasi diskusi matematis (Mool et al., 2026; Kudo et al., 2025). Hal ini menjadi temuan yang memiliki implikasi kebijakan yang signifikan, terutama dalam konteks upaya pemerataan kualitas pendidikan di wilayah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar) Indonesia. Analisis kualitatif observasi selama penelitian mengungkapkan bahwa siswa di kelas eksperimen menunjukkan peningkatan kepercayaan diri yang nyata dalam menggunakan bahasa matematis, representasi grafis, dan argumen logis dalam diskusi kelompok—dimensi-dimensi kemampuan komunikasi yang secara langsung diukur oleh instrumen penelitian. Perubahan perilaku komunikatif ini konsisten dengan temuan Morales et al. (2024) tentang sistem makna multimodal dalam pembelajaran matematika yang terbentuk melalui interaksi sosial yang kaya.

Distribusi kategoris N-Gain yang menunjukkan bahwa 46,7% siswa kelas eksperimen mencapai kategori tinggi mengindikasikan bahwa PBL tidak hanya menguntungkan siswa berkemampuan tinggi, tetapi juga mendorong kemajuan siswa di semua level kemampuan awal. Temuan ini memiliki signifikansi pedagogis yang besar, karena salah satu kritik terhadap model pembelajaran berbasis masalah adalah potensi ketidakmerataan manfaat yang hanya dinikmati siswa dengan kemampuan kognitif tinggi (Christensen et al., 2025; Meriyati et al., 2025). Hasil penelitian ini meredam kritik tersebut dengan membuktikan bahwa dengan scaffolding yang tepat dan desain masalah yang dikalibrasi secara pedagogis, PBL mampu meningkatkan kemampuan komunikasi matematis secara inklusif. Kondisi ini terkonfirmasi pula oleh rendahnya proporsi siswa kelas eksperimen yang berada di kategori N-Gain rendah (hanya 10,0%), dibandingkan 73,3% pada kelas kontrol. Bukti-bukti ini secara kolektif membangun argumentasi ilmiah yang kuat bahwa PBL merupakan instrumen pedagogis yang memiliki kekuatan transformatif dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis di jenjang sekolah dasar, khususnya dalam konteks lokal Kabupaten Bima.

Implikasi temuan penelitian ini mencakup dimensi teoretis, metodologis, dan praktis yang saling memperkuat. Secara teoretis, penelitian ini memperluas generalisasi teori konstruktivisme sosial Vygotsky ke konteks pendidikan dasar di Indonesia timur, dengan mengkonfirmasi bahwa interaksi kolaboratif berbasis masalah autentik secara konsisten menghasilkan perkembangan kemampuan komunikasi matematis yang lebih tinggi dibandingkan transmisi pengetahuan satu arah (Samura et al., 2025; Aripin et al., 2025). Secara metodologis, penggunaan kombinasi uji-t independen, N-Gain, dan Cohen's *d* dalam satu kerangka analisis memberikan gambaran yang lebih komprehensif dan multidimensional tentang efektivitas intervensi—sebuah pendekatan yang direkomendasikan untuk penelitian



pendidikan masa depan. Secara praktis, temuan ini memberikan landasan empiris yang kuat bagi Dinas Pendidikan Kabupaten Bima untuk memprioritaskan pelatihan guru dalam implementasi PBL, terutama dalam konteks pembelajaran matematika di kelas V SD. Penelitian masa depan disarankan untuk mengkaji efektivitas PBL dalam rentang waktu yang lebih panjang, mengintegrasikan teknologi digital sebagai media masalah autentik, serta memperluas penelitian ke jenjang kelas lainnya untuk membangun peta efektivitas PBL yang lebih komprehensif di Kabupaten Bima.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan dua simpulan utama yang saling memperkuat. Pertama, model Problem-Based Learning terbukti secara statistis signifikan lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan proses komunikasi matematis siswa kelas V SD Negeri Kabupaten Bima, sebagaimana dibuktikan oleh uji-t independen dengan $t = 7,842$ dan $\text{Sig.} = 0,000$ ($p < 0,001$). Kedua, besaran peningkatan kemampuan komunikasi matematis pada kelas PBL secara substantif unggul atas kelas kontrol, tercermin dari skor N-Gain 0,64 (kategori sedang-tinggi) berbanding 0,29 (kategori rendah) pada kelas kontrol, serta nilai Cohen's d sebesar 1,98 yang mengindikasikan effect size yang sangat besar. Temuan-temuan ini mengafirmasi posisi PBL sebagai model pembelajaran yang tidak hanya unggul secara statistis, tetapi juga bermakna secara praktis dalam mentransformasi kemampuan proses komunikasi matematis siswa sekolah dasar. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis terhadap pengembangan model pembelajaran berbasis masalah di Indonesia, khususnya dalam konteks pendidikan dasar di daerah dengan keterbatasan sumber daya. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi variabel moderasi yang mempengaruhi efektivitas PBL, mengembangkan instrumen pengukuran komunikasi matematis yang lebih komprehensif, dan menginvestigasi efek jangka panjang implementasi PBL terhadap retensi kemampuan komunikasi matematis siswa SD.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamczyk, P. D.-O., Eadkhong, T., & Sirisathitkul, C. (2025). Integrating problem-based learning into the first-year physics laboratory course: A post-COVID-19 scenario at Walailak University, Thailand. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2562. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15801>
- Aripin, U., Rosmiati, T., Rohaeti, E. E., & Hidayat, W. (2025). Learning trajectory for teaching the mean concept using problem-based learning and animated video. *Mathematics Education Journal*, 19(1), 181–196. <https://doi.org/10.22342/jpm.v19i1.pp181-196>
- Avilés Mariño, E., & Sarasa Cabezuelo, A. (2025). AI-enhanced PBL and experiential learning for communication and career readiness: An engineering pilot course. *Algorithms*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/a18100634>
- Bach, C. C., Bergqvist, E., & Jankvist, U. T. (2024). Students' dynamic communication while transforming mathematical representations in a dynamic



geometry environment. *ZDM - Mathematics Education*, 56(4), 543–557. <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01575-x>

- Christensen, M., Krossá, H. K., Petersen, M. R., & Sillasen, M. K. (2025). How do we capture and analyse student engineering processes using video ethnography? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(7), 3021–3045. <https://doi.org/10.1007/s10763-025-10566-7>
- George, L., & Voutsina, C. (2024). Children engaging with partitive quotient tasks: Elucidating qualitative heterogeneity within the Image Having layer of the Pirie–Kieren model. *Mathematics Education Research Journal*, 36(3), 577–607. <https://doi.org/10.1007/s13394-023-00461-1>
- Johar, R., Ishak, M. I. S., & Oktavia, R. (2025). Integrating Sedekah context in mathematics learning to enhance students' mathematical communication skills and awareness of SDG 1: No-Poverty. *Mathematics Education Journal*, 19(3), 609–628. <https://doi.org/10.22342/mej.v19i3.pp609-628>
- Kudo, K., Akita, N., Matsuguma, H., Tomimatsu, S., Hirai, Y., & Moriyama, T. (2025). Framework for a problem-solving educational program integrating medicine and design disciplines at a Japanese university. *Design Science*, 11. <https://doi.org/10.1017/dsj.2024.50>
- Martín-Cudero, D., Guede-Cid, R., & Cid-Cid, A. I. (2025). The mathematics teacher's specialized and interdisciplinary knowledge when implementing a STEAM-based activity on the logistic function. *STEM Education*, 5(5), 802–835. <https://doi.org/10.3934/steme.2025036>
- Martín-Cudero, D., Guede-Cid, R., & Cid-Cid, A. I. (2026). Impact of problem-based learning on the interdisciplinary skills of upper secondary school mathematics students. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 21(1). <https://doi.org/10.29333/iejme/17799>
- Masuku, S. J. C., & Boateng, S. (2026). Kitchen science as a pedagogical model: Integrating students-constructed problem-based learning to enhance thermodynamic conceptualisation in physics education. *STEM Education*, 6(2), 162–193. <https://doi.org/10.3934/steme.2026008>
- McGaghie, W. C., Barsuk, J. H., & Salzman, D. H. (2025). Simulation-based mastery learning curriculum development workbook. *Simulation in Healthcare*, 20(1), S1–S13. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000824>
- Meriyati, M., Suherman, S., Rahayu, A., Hijriyah, U., Jatmiko, A., & Erwanto, E. (2025). The role of self-perception of mathematics and technological self confidence in predicting mathematical representations in secondary education. *Mathematics Teaching-Research Journal*, 17(3), 247–271.
- Mool, A., Schmid, J., Johnston, T., McCoy, K. J. S., Patterson, Z., Feldt, H., Thomas, W., Fenner, E., Lu, K., Gandhi, R., Western, A., Seabold, B., Vollmer, D., Nallaveetil, R., Fanelli, A., Schmillen, L., Tischkau, S., Cianciolo, A. T., Benedict, P., & Selinfreund, R. (2026). Using generative AI to simulate patient history-taking in a problem-based learning tutorial: A mixed-methods study.



Technology, Knowledge and Learning. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09929-4>

- Morales, H., Chval, K. B., Dinapoli, J., & Pizzi, T. G. (2024). Meaning-making systems: A multimodal analysis of a Latinx student's mathematical learning. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 19(2). <https://doi.org/10.29333/iejme/14363>
- Mosher, C. J. (2025). Dr. Howard S. Barrows: Innovator of the standardized patient and problem-based learning revolutions in health professions education. *Simulation in Healthcare*, 20(6), 419–423. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000870>
- Mumu, J., Prahmana, R. C. I., Tanujaya, B., & Sampouw, F. (2025). In-service teachers' perceptions of problems in mathematics instruction when using a problem-based learning model. *Journal on Mathematics Education*, 16(4), 1463–1482. <https://doi.org/10.22342/jme.v16i4.pp1463-1482>
- Ponce, R. A. (2025). Student-centered instruction in a liberal arts math course: Improving students' attitudes toward math while promoting active learning. *PRIMUS*, 35(3), 262–286. <https://doi.org/10.1080/10511970.2025.2475771>
- Samura, A. O., Abdullah, I. H., Siagian, M. D., & Negara, H. R. P. (2025). The application of problem-based learning in improving junior high school students' mathematical communication skills. *Mathematics Teaching-Research Journal*, 17(6), 195–222.
- Tirado-Olivares, S., Navío-Inglés, M., del Olmo-Muñoz, J., & Toledano, R. M. (2026). Escape body: A gamified problem-based learning project in primary education. *School Science and Mathematics*. <https://doi.org/10.1111/ssm.70013>
- Trinick, T., & Allen, P. (2024). Wayfinding in an indigenous initial teacher education mathematics programme. *ZDM - Mathematics Education*, 56(3), 485–495. <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01589-5>
- Wang, L., & Liu, X. (2025). Applying problem-based learning to embedded systems in IPTC courses: A teaching reform study. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*. <https://doi.org/10.1177/14727978251364450>
- Xiao, Y., Urban, R. W., Roye, J. L., Reid, M. B., Schmitt, J., Borders, J., Klein, G., & Mancini, M. E. (2025). Cue detection and self-debriefing techniques in virtual simulation. *Simulation in Healthcare*, 20(5), 324–330. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000851>

