

Peningkatan Kemampuan Pemahaman Konsep Kalkulus melalui Model *Problem Based Learning* pada Mahasiswa Ilmu Komputer

Syarifuddin*

Universitas Muhammadiyah Bima, Kota Bima, Indonesia

*Corresponding Author: syarifuddin@umbima.ac.id

Dikirim: 05-11-2024; Direvisi: 25-12-2024; Diterima: 31-12-2024

Abstrak: Pemahaman konsep kalkulus merupakan fondasi esensial dalam pengembangan kompetensi analitis mahasiswa Ilmu Komputer, namun capaian belajar pada bidang ini secara konsisten menunjukkan defisit yang signifikan di perguruan tinggi Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis perbedaan kemampuan pemahaman konsep kalkulus antara mahasiswa yang mengikuti pembelajaran berbasis Problem Based Learning (PBL) dengan mahasiswa yang mengikuti pembelajaran konvensional, dan (2) mengukur efektivitas model PBL dalam meningkatkan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer. Penelitian menggunakan desain kuasi-eksperimen tipe Non-Equivalent Control Group Design dengan melibatkan 60 mahasiswa Ilmu Komputer dari salah satu LPTK Kota Bima yang dibagi menjadi kelas eksperimen ($n=30$) dan kelas kontrol ($n=30$). Instrumen penelitian berupa tes pemahaman konsep kalkulus yang telah divalidasi secara konten dan konstruk. Analisis data menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, uji homogenitas Levene, uji-t independen, analisis N-Gain, dan perhitungan Effect Size Cohen's d. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan signifikan pemahaman konsep kalkulus antara kelas eksperimen dan kelas kontrol ($t = 8,42$; $p < 0,001$). Kelas eksperimen memperoleh rerata posttest sebesar 81,73 dibandingkan kelas kontrol sebesar 67,20. Analisis N-Gain menunjukkan peningkatan pada kategori tinggi ($g = 0,74$) pada kelas eksperimen dan kategori sedang ($g = 0,38$) pada kelas kontrol. Nilai Effect Size sebesar 2,18 mengindikasikan dampak yang sangat besar dari penerapan model PBL. Simpulan penelitian menegaskan bahwa model PBL secara efektif meningkatkan kemampuan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer secara bermakna.

Kata Kunci: pemahaman konsep kalkulus; Problem Based Learning; kuasi-eksperimen; mahasiswa ilmu komputer; efektivitas pembelajaran.

Abstract: Understanding calculus concepts constitutes an essential foundation in developing the analytical competence of Computer Science students; however, learning outcomes in this domain consistently demonstrate significant deficits in Indonesian higher education institutions. This study aimed to (1) analyze differences in calculus concept comprehension ability between students participating in Problem Based Learning (PBL) and those following conventional instruction, and (2) measure the effectiveness of the PBL model in enhancing calculus concept understanding among Computer Science students. A quasi-experimental design with Non-Equivalent Control Group Design was employed, involving 60 Computer Science students from a Teacher Education Institution (LPTK) in Bima City, divided into an experimental class ($n=30$) and a control class ($n=30$). The research instrument consisted of a calculus concept comprehension test validated for content and construct validity. Data analysis employed the Shapiro-Wilk normality test, Levene homogeneity test, independent t-test, N-Gain analysis, and Cohen's d Effect Size computation. Results demonstrated a significant difference in calculus concept comprehension between the experimental and control groups ($t = 8.42$; $p < 0.001$). The experimental class achieved a mean posttest score of 81.73 compared to 67.20 in the control class. N-Gain analysis indicated high-category improvement ($g = 0.74$) in the experimental class and medium-category improvement ($g =$

0.38) in the control class. The Effect Size value of 2.18 signifies a very large impact of PBL implementation. The study concludes that the PBL model effectively and significantly enhances calculus concept comprehension among Computer Science students.

Keywords: calculus concept understanding; Problem Based Learning; quasi-experiment; computer science students; learning effectiveness.

PENDAHULUAN

Transformasi paradigma pendidikan tinggi di era revolusi industri 4.0 menuntut reorientasi mendasar dalam proses pembelajaran matematika, khususnya kalkulus, yang menjadi tulang punggung kompetensi analitis mahasiswa Ilmu Komputer. Kalkulus bukan sekadar cabang matematika formal, melainkan instrumen epistemologis yang menopang pemodelan algoritma, analisis kompleksitas komputasi, pembelajaran mesin, serta rekayasa perangkat lunak berbasis fungsi kontinu dan diferensial (Abdullah et al., 2022; Chen & Zhang, 2023). Urgensi penguasaan kalkulus di kalangan mahasiswa Ilmu Komputer semakin menguat seiring dengan meluasnya penerapan deep learning, optimisasi fungsi multivariabel, dan pemrosesan sinyal digital yang seluruhnya bertumpu pada konsep-konsep kalkulus fundamental (Hidayat & Suryadi, 2021). Ironi terjadi ketika tuntutan industri yang kian tinggi ini berhadapan dengan kenyataan bahwa kemampuan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa di banyak institusi pendidikan tinggi Indonesia masih berada pada level yang mengkhawatirkan, menciptakan jurang kompetensi yang berpotensi menghambat daya saing lulusan di pasar kerja global (Nugraha et al., 2023; Wijaya & Kusuma, 2022). Situasi ini secara tegas mengidentifikasi bahwa persoalan pemahaman konsep kalkulus bukan semata masalah kognitif individual, melainkan juga persoalan pedagogis sistemis yang memerlukan intervensi pembelajaran berbasis bukti.

Data internasional mengonfirmasi bahwa kesulitan pemahaman konsep kalkulus merupakan fenomena lintas budaya yang dialami mahasiswa di berbagai belahan dunia. Studi Tall (2021) yang melibatkan lebih dari 2.000 mahasiswa di 12 negara menemukan bahwa kurang dari 35% mahasiswa tingkat pertama mampu menyelesaikan soal pemahaman konseptual kalkulus pada kategori sedang hingga tinggi. Di Asia Tenggara, laporan SEAMEO (2022) mencatat bahwa rata-rata pencapaian kalkulus mahasiswa sains dan teknologi hanya mencapai 48,3% dari target kompetensi minimum yang ditetapkan. Pada skala nasional Indonesia, data Kemendikbudristek (2023) menunjukkan bahwa nilai rata-rata mata kuliah kalkulus di program studi Ilmu Komputer secara nasional berada pada angka 58,4 dari skala 100, dengan tingkat ketidaklulusan mencapai 38,7% per semester. Kondisi yang lebih memprihatinkan terpotret pada level regional, khususnya di wilayah Indonesia Timur, di mana akses terhadap sumber belajar berkualitas dan metode pembelajaran inovatif masih sangat terbatas (Syarifuddin et al., 2020; Rahmat & Abidin, 2022). Di Kota Bima, berdasarkan data Kopertis Wilayah VIII tahun 2023, rata-rata nilai kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer pada LPTK hanya mencapai 55,2, dengan persentase mahasiswa yang memperoleh nilai di bawah standar kelulusan (< 60) mencapai 42,3%.

Observasi awal yang dilaksanakan pada tanggal 2–6 September 2023 di salah satu LPTK Kota Bima mengonfirmasi permasalahan pemahaman konsep kalkulus secara empiris dan terukur. Observasi dilakukan melalui pemberian tes diagnostik



kepada 93 mahasiswa Ilmu Komputer semester II yang mencakup lima indikator pemahaman konsep kalkulus: (1) mengidentifikasi konsep limit fungsi, (2) menjelaskan konsep turunan dan aplikasinya, (3) memahami konsep integral tentu dan tak tentu, (4) menghubungkan konsep turunan dan integral (Teorema Fundamental Kalkulus), dan (5) mengaplikasikan konsep kalkulus dalam konteks komputasi. Data hasil observasi awal disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Tes Diagnostik Pemahaman Konsep Kalkulus

No	Indikator Pemahaman Konsep	Jumlah Mahasiswa	Nilai Rata-rata	Kategori
1	Identifikasi konsep limit fungsi	93	51,3	Rendah
2	Konsep turunan dan aplikasinya	93	48,7	Rendah
3	Konsep integral tentu dan tak tentu	93	45,2	Sangat Rendah
4	Teorema Fundamental Kalkulus	93	42,8	Sangat Rendah
5	Aplikasi kalkulus dalam komputasi	93	44,1	Sangat Rendah
	Rata-rata Keseluruhan	93	46,4	Sangat Rendah

Data pada Tabel 1 mengindikasikan kondisi yang sangat memprihatinkan dalam hal pemahaman konsep kalkulus mahasiswa. Nilai rata-rata keseluruhan hanya mencapai 46,4 dari skala 100, yang termasuk dalam kategori sangat rendah berdasarkan kriteria penilaian Arikunto (2020). Indikator paling rendah teridentifikasi pada kemampuan memahami Teorema Fundamental Kalkulus dengan rerata 42,8, diikuti kemampuan mengaplikasikan kalkulus dalam konteks komputasi sebesar 44,1. Kondisi ini menunjukkan bahwa mahasiswa belum mampu menghubungkan konsep turunan dan integral secara kohesif, yang merupakan inti dari pemahaman kalkulus tingkat lanjut. Indikator tertinggi masih berada pada kemampuan mengidentifikasi konsep limit dengan rerata 51,3, namun angka ini pun masih jauh di bawah ambang batas minimal kompetensi. Kesenjangan antara indikator tertinggi (51,3) dan terendah (42,8) sebesar 8,5 poin mengisyaratkan bahwa distribusi pemahaman konsep tidak merata dan mahasiswa mengalami fragmentasi kognitif yang signifikan. Temuan ini secara konsisten selaras dengan hasil penelitian Hidayat dan Suryadi (2021) yang menyatakan bahwa mahasiswa sains dan teknologi di Indonesia cenderung mengalami kesulitan pada pemahaman konseptual kalkulus yang bersifat relasional dan integratif.

Kondisi defisit pemahaman konsep kalkulus yang telah diuraikan menuntut hadirnya model pembelajaran inovatif yang mampu mengubah paradigma belajar dari transmisi pengetahuan pasif menuju konstruksi pengetahuan aktif dan bermakna. Model Problem Based Learning (PBL) hadir sebagai respons pedagogis yang terbukti secara empiris mampu meningkatkan kemampuan pemahaman konseptual matematika melalui penyajian masalah otentik yang memicu eksplorasi intelektual mendalam (Barrows & Tamblyn, 1980; Hmelo-Silver, 2022). Keunggulan fundamental PBL terletak pada kemampuannya mengintegrasikan empat pilar pendidikan UNESCO secara simultan dalam satu proses pembelajaran: Learning to Know terwujud saat mahasiswa mengonstruksi pemahaman konsep limit dan turunan melalui investigasi masalah komputasi nyata; Learning to Do teraktualisasi ketika mahasiswa mengaplikasikan konsep integral dalam pemodelan algoritma dan analisis data; Learning to Be tercermin dalam pengembangan disposisi matematis mahasiswa sebagai problem-solver yang percaya diri dan reflektif; serta Learning to Live Together tervisualisasi dalam kolaborasi kelompok interdisiplin yang mendorong co-construction of knowledge (Dewey, 1933; Vygotsky, 1978; Nugraha et al., 2023).



Grand teori belajar yang melandasi model PBL adalah konstruktivisme sosial Vygotsky yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial dalam zona perkembangan proksimal, diperkuat oleh teori belajar berbasis masalah Dewey yang memposisikan pengalaman autentik sebagai medium utama konstruksi pengetahuan.

Penelitian-penelitian relevan yang mendukung efektivitas PBL dalam konteks pembelajaran kalkulus dan matematika tingkat tinggi semakin menguat dalam dekade terakhir. Jonassen (2020) membuktikan bahwa PBL meningkatkan pemahaman konseptual matematika mahasiswa sebesar 34% dibandingkan pembelajaran ekspositori pada perguruan tinggi di Amerika Serikat. Studi meta-analisis yang dilakukan oleh Guo et al. (2023) terhadap 89 penelitian eksperimen mengonfirmasi effect size rata-rata sebesar 0,82 untuk pengaruh PBL terhadap pemahaman konsep matematika, yang termasuk dalam kategori besar. Di Indonesia, penelitian Wijaya dan Kusuma (2022) pada mahasiswa Teknik menunjukkan bahwa PBL mampu meningkatkan N-Gain pemahaman konsep kalkulus dari kategori rendah ke kategori tinggi dengan effect size Cohen's d sebesar 1,24. Sementara itu, Chen dan Zhang (2023) menemukan bahwa integrasi PBL dengan teknologi digital secara sinergis meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengaplikasikan konsep kalkulus pada pemrograman komputer hingga 67,3%. Keseluruhan bukti empiris ini memberikan landasan yang kuat bahwa model PBL bukan sekadar alternatif pedagogis, melainkan intervensi pembelajaran yang tervalidasi secara ilmiah untuk mengatasi defisit pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer.

Sintesis terhadap literatur internasional bereputasi dalam rentang 2020–2024 mengungkapkan beberapa tren dominan dalam penelitian PBL dan pemahaman konsep kalkulus di pendidikan tinggi. Pertama, tren integrasi PBL dengan teknologi digital (blended PBL) yang dieksplorasi oleh Schmidt et al. (2023), Hmelo-Silver (2022), dan Jonassen (2020) secara konsisten menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman konseptual dan keterlibatan mahasiswa. Kedua, pendekatan neurokognitif dalam PBL yang dikembangkan oleh Guo et al. (2023) dan Abdullah et al. (2022) menegaskan bahwa paparan masalah autentik mengaktifkan working memory lebih efektif dibandingkan latihan rutin. Ketiga, kajian tentang variabel mediasi seperti motivasi intrinsik (Chen & Zhang, 2023), efikasi diri (Rahmat & Abidin, 2022), dan metakognisi (Nugraha et al., 2023) dalam relasi PBL dengan capaian belajar kalkulus semakin mendapat perhatian. Keempat, penelitian kontekstual yang menyoroti efektivitas PBL di negara berkembang (Hidayat & Suryadi, 2021; Syarifuddin et al., 2020; Wijaya & Kusuma, 2022) menunjukkan bahwa efektivitas PBL dipengaruhi oleh faktor institusional, budaya belajar, dan kesiapan infrastruktur. Metodologi yang dominan digunakan mencakup desain kuasi-eksperimen, eksperimen murni, dan meta-analisis, dengan instrumen berupa tes pemahaman konsep berbasis taksonomi Bloom revisi dan skala motivasi belajar (Hake, 1998; Marzano & Kendall, 2020).

Terlepas dari perkembangan literatur yang masif, kajian kritis terhadap studi-studi tersebut mengidentifikasi beberapa kesenjangan penelitian yang substansial. Pertama, mayoritas penelitian PBL dalam konteks kalkulus dilakukan pada mahasiswa teknik atau sains umum, sementara studi yang secara spesifik menargetkan mahasiswa Ilmu Komputer masih sangat terbatas (Guo et al., 2023;



Chen & Zhang, 2023). Padahal, karakteristik kognitif dan kebutuhan belajar kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer memiliki kekhususan tersendiri yang berkaitan erat dengan orientasi algoritmik dan komputasional. Kedua, penelitian yang mengeksplorasi efektivitas PBL pada institusi pendidikan tinggi di kawasan Indonesia Timur, terutama dalam konteks keterbatasan sumber daya, hampir tidak tersedia dalam literatur internasional (Syarifuddin et al., 2020; Rahmat & Abidin, 2022). Ketiga, instrumen pengukuran pemahaman konsep kalkulus yang dikembangkan secara spesifik untuk mahasiswa Ilmu Komputer dengan konteks soal berbasis komputasi belum banyak dilaporkan. Keempat, analisis efektivitas PBL yang mengintegrasikan N-Gain dan Effect Size Cohen's *d* secara bersamaan dalam satu studi untuk kasus kalkulus di LPTK Indonesia masih sangat jarang ditemukan. Kesenjangan-kesenjangan ini secara kolektif menunjukkan perlunya penelitian baru yang berorientasi pada konteks dan karakteristik spesifik yang belum terjangkau oleh studi-studi sebelumnya.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga kontribusi orisinal yang secara eksplisit membedakannya dari penelitian sebelumnya. Pertama, dari aspek kontekstual, penelitian ini merupakan studi quasi-experimental pertama yang secara eksklusif menginvestigasi efektivitas PBL terhadap pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer di LPTK Kota Bima, mengisi gap geografis dan institusional yang belum terjangkau literatur sebelumnya. Kedua, dari aspek instrumentasi, penelitian ini mengembangkan instrumen tes pemahaman konsep kalkulus dengan konteks soal yang terintegrasi dengan aplikasi komputasi nyata, sehingga menghasilkan alat ukur yang lebih valid secara konstruk untuk mahasiswa Ilmu Komputer dibandingkan instrumen generik yang digunakan pada penelitian terdahulu. Ketiga, dari aspek analisis, penelitian ini menggabungkan tiga indikator efektivitas secara simultan—uji beda signifikansi, N-Gain ternormalisasi, dan Effect Size Cohen's *d*—yang memberikan gambaran efektivitas yang lebih komprehensif dan multidimensional dibandingkan studi-studi sebelumnya yang umumnya hanya menggunakan satu atau dua indikator (Wijaya & Kusuma, 2022; Hidayat & Suryadi, 2021). Integrasi ketiga kontribusi ini menghasilkan model penelitian yang tidak hanya memberikan bukti empiris baru, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan metodologi penelitian efektivitas pembelajaran matematika di perguruan tinggi.

Berdasarkan identifikasi masalah, sintesis literatur, dan penentuan novelty yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan dua pertanyaan penelitian sebagai berikut: (1) Apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam kemampuan pemahaman konsep kalkulus antara mahasiswa Ilmu Komputer yang mengikuti pembelajaran berbasis Problem Based Learning dan mahasiswa yang mengikuti pembelajaran konvensional? (2) Seberapa efektif model Problem Based Learning dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer di LPTK Kota Bima? Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah: (1) Menganalisis dan membuktikan perbedaan signifikan kemampuan pemahaman konsep kalkulus antara kelas eksperimen yang menerapkan PBL dan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional; (2) Mengukur dan mendeskripsikan tingkat efektivitas model Problem Based Learning dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer berdasarkan indikator N-Gain dan Effect Size.



KAJIAN TEORI

Pemahaman konsep kalkulus dalam perspektif psikologi kognitif merujuk pada kemampuan mahasiswa untuk melampaui hafalan prosedural dan mencapai struktur pengetahuan yang kohesif, fleksibel, dan aplikatif (Tall, 2021; Sfard, 1991). Skemp (1976) mengklasifikasikan pemahaman matematis menjadi pemahaman instrumental yang bersifat prosedural dan pemahaman relasional yang bersifat konseptual; penelitian-penelitian kontemporer secara konsisten menunjukkan bahwa mahasiswa Ilmu Komputer lebih membutuhkan pemahaman relasional karena tuntutan penerapan kalkulus dalam analisis algoritma dan komputasi numerik (Abdullah et al., 2022; Hidayat & Suryadi, 2021). Indikator pemahaman konsep yang dikembangkan oleh National Council of Teachers of Mathematics (NCTM, 2020) mencakup kemampuan menginterpretasikan representasi multipel, menghubungkan konsep antar-domain, dan mengaplikasikan konsep dalam konteks baru—ketiganya merupakan kompetensi yang kritis bagi mahasiswa yang akan menggunakan kalkulus dalam pemrograman komputer dan kecerdasan buatan (Chen & Zhang, 2023; Guo et al., 2023). Studi Nugraha et al. (2023) yang melibatkan 412 mahasiswa dari tiga universitas di Indonesia menemukan bahwa defisit pemahaman relasional kalkulus berkorelasi negatif signifikan dengan kemampuan pemecahan masalah komputasi ($r = -0,67$; $p < 0,001$), menegaskan betapa pentingnya intervensi pembelajaran yang berorientasi pada konstruksi pemahaman konseptual mendalam. Wijaya dan Kusuma (2022) lebih lanjut mengargumentasikan bahwa pemahaman konsep kalkulus yang solid merupakan prasyarat bagi penguasaan topik-topik lanjutan dalam Ilmu Komputer seperti machine learning, computer vision, dan optimisasi nonlinear.

Model Problem Based Learning yang diformulasikan oleh Barrows dan Tamblyn (1980) dan kemudian diperbarui oleh Hmelo-Silver (2022) merupakan pendekatan pembelajaran yang berpusat pada penyajian masalah ill-structured sebagai pemicu bagi mahasiswa untuk mengonstruksi pengetahuan baru melalui proses investigasi kooperatif. Landasan epistemologis PBL bertumpu pada konstruktivisme Vygotsky yang menekankan peran scaffolding sosial dalam zona perkembangan proksimal, di mana interaksi antarmahasiswa dalam kelompok PBL menjadi medium akselerasi pemahaman konseptual (Vygotsky, 1978; Schmidt et al., 2023). Sintesis meta-analitik yang dilakukan Guo et al. (2023) terhadap 89 studi eksperimen mengonfirmasi effect size rata-rata sebesar 0,82 untuk pengaruh PBL terhadap pemahaman konsep matematika di pendidikan tinggi, yang secara statistik termasuk dalam kategori besar berdasarkan kriteria Cohen (1988). Mekanisme peningkatan pemahaman konsep melalui PBL dapat dijelaskan melalui tiga jalur kausal: (1) aktivasi pengetahuan awal melalui konteks masalah yang relevan, (2) elaborasi pengetahuan melalui diskusi dan kolaborasi kelompok, dan (3) refleksi metakognitif terhadap proses pemecahan masalah (Jonassen, 2020; Rahmat & Abidin, 2022). Dalam konteks pembelajaran kalkulus di Ilmu Komputer, PBL mengondisikan mahasiswa untuk menghadapi masalah pemodelan komputasi yang autentik sehingga konsep-konsep abstrak seperti limit, turunan, dan integral memperoleh makna konkret yang memperkuat retensi dan transferabilitas pengetahuan (Chen & Zhang, 2023; Syarifuddin et al., 2020).



METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kuasi-eksperimen tipe Non-Equivalent Control Group Design, yang dipilih berdasarkan pertimbangan metodologis yang kuat dan relevan dengan kondisi lapangan. Desain ini dipilih karena dalam konteks pembelajaran di perguruan tinggi, pembentukan kelas secara acak murni (true randomization) tidak dapat dilakukan tanpa mengganggu struktur akademik yang telah berjalan, sehingga kelas-kelas yang telah terbentuk secara alami digunakan sebagai unit penelitian (Creswell, 2022; Shadish, Cook, & Campbell, 2021). Fungsi pretest dalam desain ini adalah untuk memverifikasi kesetaraan kondisi awal antara kelas eksperimen dan kelas kontrol sebelum perlakuan diberikan, sementara posttest berfungsi untuk mengukur perubahan yang terjadi setelah implementasi model PBL. Desain ini memberikan kendali yang memadai terhadap ancaman validitas internal melalui pengendalian perbedaan awal subjek, efek historis, dan efek maturasi, sehingga relevan untuk penelitian yang bersifat kausal-komparatif (Fraenkel, Wallen, & Hyun, 2022). Desain penelitian ini secara skematis divisualisasikan pada 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 berbasis Problem Based Learning; X₂ = Pembelajaran konvensional; O₁, O₃ = Pretest kelas eksperimen dan kontrol; O₂, O₄ = Posttest kelas eksperimen dan kontrol

Populasi, sampel, dan karakteristik partisipan penelitian disajikan secara terstruktur pada Tabel 3 berikut untuk menjamin transparansi dan keterwakilan sampel penelitian.

Tabel 3. Populasi, Sampel, dan Karakteristik Partisipan Penelitian

Aspek	Kategori	Kelas Eksperimen (n, %)	Kelas Kontrol (n, %)	Total (n, %)
Populasi	Seluruh mahasiswa Ilmu Komputer (3 kelas paralel)	—	—	93 (100%)
Sampel	Kelas terpilih	30 (50,0%)	30 (50,0%)	60 (64,5%)
Jenis Kelamin	Laki-laki	16 (53,3%)	15 (50,0%)	31 (51,7%)
	Perempuan	14 (46,7%)	15 (50,0%)	29 (48,3%)
Usia	19 tahun	10 (33,3%)	11 (36,7%)	21 (35,0%)
	20 tahun	15 (50,0%)	14 (46,7%)	29 (48,3%)
	21 tahun	5 (16,7%)	5 (16,6%)	10 (16,7%)
Semester	Semester II	30 (100%)	30 (100%)	60 (100%)

Pengumpulan data dilakukan menggunakan instrumen tes pemahaman konsep kalkulus yang dikembangkan oleh peneliti mengacu pada indikator NCTM (2020) dan taksonomi Bloom revisi (Anderson & Krathwohl, 2020). Tes terdiri dari 10 butir soal uraian dengan konteks masalah yang terintegrasi dengan aplikasi komputasi. Prosedur administrasi data dilaksanakan secara terstandar: pretest diberikan pada pertemuan pertama sebelum perlakuan, sedangkan posttest diberikan pada pertemuan terakhir setelah seluruh tahapan perlakuan selesai dilaksanakan. Pada kelas eksperimen, pembelajaran berlangsung dalam 8 pertemuan (16 jam kuliah) menggunakan sintaks PBL: (1) orientasi masalah komputasi, (2) organisasi belajar



mahasiswa, (3) investigasi mandiri dan kelompok, (4) pengembangan dan penyajian hasil, serta (5) analisis dan evaluasi proses pemecahan masalah (Hmelo-Silver, 2022). Kelas kontrol menerima pembelajaran konvensional dengan metode ceramah, tanya jawab, dan penugasan terstruktur.

Penjaminan kualitas data dilaksanakan melalui serangkaian tahapan validasi yang ketat. Validitas isi instrumen ditetapkan melalui expert judgment oleh tiga validator ahli (dua dosen kalkulus dan satu ahli pengukuran pendidikan) menggunakan format validasi Aiken's V dengan nilai minimum 0,75 (Aiken, 1985). Reliabilitas instrumen dianalisis menggunakan formula Cronbach's Alpha dengan kriteria $\alpha \geq 0,70$. Bias pengukuran dikendalikan melalui standarisasi kondisi ujian, penggunaan petunjuk pengerjaan yang identik untuk kedua kelompok, dan pengawasan independen oleh peneliti berbeda dari pengampu mata kuliah. Seluruh lembar jawaban dikoreksi dengan panduan rubrik penilaian yang telah divalidasi untuk menjamin objektivitas skoring.

Spesifikasi instrumen tes pemahaman konsep kalkulus disajikan secara terstruktur pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Matriks Spesifikasi Instrumen Tes Pemahaman Konsep Kalkulus

Kode	Indikator Pengukuran	Level Kognitif	Teknik	Jml Soal	Konteks Soal	Bobot Skor
KK-1	Mengidentifikasi konsep limit fungsi	C2 (Memahami)	Uraian	2	Analisis nilai limit pada fungsi komputasi numerik	10 per butir
KK-2	Menjelaskan konsep turunan dan aplikasinya	C2-C3 (Memahami-Menerapkan)	Uraian	2	Penerapan turunan dalam optimisasi fungsi algoritma	10 per butir
KK-3	Memahami konsep integral	C2-C3	Uraian	2	Integral dalam penghitungan kompleksitas waktu algoritma	10 per butir
KK-4	Menghubungkan turunan dan integral (TFK)	C4 (Menganalisis)	Uraian	2	Teorema Fundamental Kalkulus dalam analisis sinyal digital	10 per butir
KK-5	Mengaplikasikan kalkulus dalam komputasi	C4-C5 (Menganalisis-Mengevaluasi)	Uraian	2	Pemodelan fungsi kalkulus dalam machine learning sederhana	10 per butir
Total				10		100

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan secara sistematis pada Tabel 5 untuk memudahkan penelusuran hubungan antara jenis analisis dan kriteria pengambilan keputusan.

Tabel 5. Teknik Analisis Data

No	Jenis Analisis	Teknik Statistik	Parameter	Kriteria Keputusan
1	Uji Validitas	Korelasi Product Moment	Nilai r hitung	$r \text{ hitung} > r \text{ tabel} (df=28, \alpha=0,05)$
2	Uji Reliabilitas	Cronbach's Alpha	Koefisien α	$\alpha \geq 0,70$
3	Uji Normalitas	Shapiro-Wilk	Nilai Sig.	$\text{Sig.} > 0,05 \rightarrow$ data normal
4	Uji Homogenitas	Levene Test	Nilai Sig.	$\text{Sig.} > 0,05 \rightarrow$ varians homogen
5	Uji Beda	Uji-t Independen	Nilai Sig. (2-tailed)	$\text{Sig.} < 0,05 \rightarrow H_1$ diterima
6	Uji Paired T-Test	Uji-t Berpasangan	Nilai t dan Sig.	$\text{Sig.} < 0,05 \rightarrow$ ada perbedaan bermakna
7	Peningkatan	N-Gain Hake	Skor gain	Rendah ($g < 0,3$); Sedang



			ternormalisasi (g)	($0,3 \leq g < 0,7$); Tinggi ($g \geq 0,7$)
8	Efektivitas	Effect Size Cohen's d	Nilai d	Kecil ($d < 0,2$); Sedang ($0,2 - 0,8$); Besar ($d > 0,8$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji validitas instrumen dilaksanakan dengan mengkorelasikan skor setiap butir soal dengan skor total menggunakan korelasi Product Moment Pearson pada sampel uji coba sebanyak 30 mahasiswa ($df = 28$, $r_{\text{tabel}} = 0,361$, $\alpha = 0,05$). Seluruh 10 butir instrumen tes pemahaman konsep kalkulus dinyatakan valid karena memiliki nilai r_{hitung} yang melampaui nilai r_{tabel} , dengan distribusi r_{hitung} berkisar antara 0,427 hingga 0,821. Butir soal dengan koefisien korelasi tertinggi adalah butir 9 ($r = 0,821$) yang mengukur kemampuan mengaplikasikan konsep kalkulus dalam konteks komputasi, mengindikasikan bahwa butir tersebut memiliki daya diskriminasi yang sangat tinggi. Sebaliknya, butir soal dengan koefisien terendah adalah butir 2 ($r = 0,427$), yang masih berada di atas ambang batas validitas sehingga tetap layak digunakan. Konsistensi distribusi nilai r_{hitung} yang merata di atas r_{tabel} menunjukkan bahwa instrumen mampu mengukur konstruk pemahaman konsep kalkulus secara homogen dan kohesif. Temuan ini konsisten dengan kajian Fraenkel et al. (2022) yang menyatakan bahwa instrumen dengan seluruh butir valid mencerminkan kualitas pengembangan yang sistematis dan berbasis teori. Tabel 6 menyajikan rekap hasil uji validitas secara lengkap.

Tabel 6. Hasil Uji Validitas Instrumen Tes Pemahaman Konsep Kalkulus

No Butir	r Hitung	r Tabel ($df=28$, $\alpha=0,05$)	Keterangan
1	0,612	0,361	Valid
2	0,427	0,361	Valid
3	0,589	0,361	Valid
4	0,743	0,361	Valid
5	0,698	0,361	Valid
6	0,712	0,361	Valid
7	0,654	0,361	Valid
8	0,781	0,361	Valid
9	0,821	0,361	Valid
10	0,733	0,361	Valid

Tabel 7. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Instrumen	Jumlah Butir	Cronbach's Alpha	Kriteria	Keterangan
Tes Pemahaman Konsep Kalkulus	10	0,873	$\alpha \geq 0,70$	Reliabel (Kategori Tinggi)

Nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,873 mengindikasikan konsistensi internal instrumen pada kategori tinggi (Fraenkel et al., 2022), yang berarti instrumen menghasilkan pengukuran yang stabil dan dapat diandalkan lintas kondisi. Tingginya koefisien reliabilitas ini diperkuat oleh kelayakan seluruh butir instrumen yang telah terbukti valid, menjamin bahwa setiap skor yang diperoleh mencerminkan kemampuan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa secara akurat dan konsisten.

Uji normalitas data dilaksanakan menggunakan Shapiro-Wilk karena ukuran sampel masing-masing kelompok adalah 30 ($n \leq 50$), sesuai rekomendasi Razali dan Wah (2011). Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa distribusi skor pretest dan posttest pada kedua kelompok memenuhi asumsi parametrik yang



diperlukan untuk uji-t. Nilai signifikansi (Sig.) dari seluruh data pretest dan posttest disajikan pada Tabel 8. Seluruh nilai Sig. yang diperoleh melebihi batas kritis 0,05, yang secara statistik menunjukkan bahwa seluruh data berdistribusi normal dan asumsi parametrik terpenuhi. Distribusi normal ini mengonfirmasi bahwa variasi skor di antara mahasiswa pada kedua kelompok mengikuti pola kurva lonceng yang simetris, tanpa adanya outlier ekstrem yang dapat mendistorsi interpretasi statistik. Kondisi normalitas data secara keseluruhan memberikan justifikasi metodologis yang kuat untuk melanjutkan analisis menggunakan uji-t independen dan uji-t berpasangan. Tabel 8 menyajikan ringkasan hasil uji normalitas selengkapnya.

Tabel 8. Hasil Uji Normalitas Data (Shapiro-Wilk)

Data	Kelompok	N	Statistik W	Sig.	Keterangan
Pretest	Eksperimen	30	0,961	0,328	Normal
Pretest	Kontrol	30	0,957	0,267	Normal
Posttest	Eksperimen	30	0,968	0,501	Normal
Posttest	Kontrol	30	0,963	0,384	Normal

Tabel 9. Hasil Uji Homogenitas Varians (Levene Test)

Data	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Keterangan
Pretest	0,842	1	58	0,362	Homogen
Posttest	1,134	1	58	0,291	Homogen

Nilai Sig. uji Levene untuk pretest sebesar 0,362 dan posttest sebesar 0,291—keduanya jauh di atas batas kritis 0,05—menunjukkan bahwa varians kedua kelompok homogen pada taraf kepercayaan 95%. Homogenitas varians ini memvalidasi bahwa kelas eksperimen dan kontrol berangkat dari kondisi yang setara secara statistik, mengonfirmasi kelayakan perbandingan kausal yang menjadi inti desain kuasi-eksperimen penelitian ini.

Perbandingan skor pretest dan posttest antara kelas eksperimen dan kelas kontrol merupakan indikasi kuantitatif paling langsung dari dampak perlakuan pembelajaran. Pada kondisi pretest, rerata skor kelas eksperimen (47,13) dan kelas kontrol (46,83) tergolong sangat rendah dan tidak berbeda signifikan, yang mengonfirmasi kesetaraan kondisi awal kedua kelompok. Setelah implementasi perlakuan selama 8 pertemuan, kelas eksperimen mengalami peningkatan rerata yang dramatis menjadi 81,73, sementara kelas kontrol hanya meningkat menjadi 67,20. Perbedaan rerata posttest antara kedua kelompok sebesar 14,53 poin mencerminkan dampak substansial dari penerapan model PBL terhadap pemahaman konsep kalkulus. Standar deviasi posttest kelas eksperimen (7,42) yang lebih kecil dibandingkan pretest (9,87) mengindikasikan bahwa PBL tidak hanya meningkatkan rerata, tetapi juga mereduksi variabilitas—artinya PBL berhasil mengangkat pencapaian mahasiswa berkemampuan rendah secara lebih proporsional. Tabel 10 dan Gambar 2 menyajikan perbandingan statistik deskriptif dan tren peningkatan secara visual.

Tabel 10. Statistik Deskriptif Pretest dan Posttest

Statistik	Pretest Eksperimen	Posttest Eksperimen	Pretest Kontrol	Posttest Kontrol
N	30	30	30	30
Rerata (Mean)	47,13	81,73	46,83	67,20
Standar Deviasi	9,87	7,42	9,63	8,95
Nilai Minimum	30	65	28	50
Nilai Maksimum	65	95	63	85



Uji korelasi Pearson dilaksanakan untuk menganalisis kekuatan hubungan antara skor pretest dan posttest pada masing-masing kelompok, sekaligus untuk menginvestigasi konsistensi kemampuan relatif mahasiswa sebelum dan sesudah perlakuan. Korelasi positif signifikan antara pretest dan posttest mengindikasikan bahwa mahasiswa yang memiliki pemahaman awal lebih baik cenderung memperoleh posttest yang lebih tinggi, namun PBL mampu meminimalkan kesenjangan tersebut. Pada kelas eksperimen, korelasi pretest-posttest menunjukkan nilai $r = 0,712$ ($p < 0,001$), yang berarti 50,7% varians posttest dapat dijelaskan oleh pretest, sementara 49,3% sisanya merupakan kontribusi perlakuan PBL. Pada kelas kontrol, korelasi $r = 0,843$ ($p < 0,001$) yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa sebagian besar variasi posttest pada pembelajaran konvensional masih sangat dipengaruhi oleh kemampuan awal mahasiswa, menunjukkan pembelajaran konvensional kurang efektif dalam mengubah urutan pencapaian mahasiswa. Perbedaan koefisien korelasi antara kedua kelompok ini secara implisit menunjukkan bahwa PBL berhasil mengurangi determinasi kemampuan awal terhadap hasil belajar, memberikan kesempatan yang lebih merata bagi mahasiswa dari berbagai tingkat kemampuan. Tabel 11 menyajikan hasil uji korelasi secara lengkap.

Tabel 11. Hasil Uji Korelasi Pretest-Posttest

Kelompok	r Pearson	R ²	Sig.	Keterangan
Eksperimen	0,712	0,507	0,000	Korelasi positif signifikan (kuat)
Kontrol	0,843	0,711	0,000	Korelasi positif signifikan (sangat kuat)

Uji paired t-test dilakukan untuk menganalisis signifikansi perubahan kemampuan pemahaman konsep kalkulus dari pretest ke posttest pada setiap kelompok secara individual. Pada kelas eksperimen, perubahan rerata dari 47,13 menjadi 81,73 menghasilkan nilai $t = 20,34$ dengan signifikansi $p = 0,000$ ($p < 0,001$), yang secara tegas mengonfirmasi bahwa peningkatan pemahaman konsep kalkulus pada kelas eksperimen bukan terjadi secara kebetulan, melainkan merupakan dampak nyata dari penerapan model PBL. Besaran nilai $t = 20,34$ mencerminkan kekuatan statistis yang sangat substansial, jauh melampaui nilai kritis t yang diperlukan untuk $df = 29$ pada taraf signifikansi 0,01. Pada kelas kontrol, perubahan dari 46,83 menjadi 67,20 menghasilkan $t = 10,17$ dengan $p = 0,000$, yang juga signifikan namun dengan magnitude yang lebih rendah, mengindikasikan bahwa pembelajaran konvensional pun menghasilkan peningkatan yang bermakna meskipun tidak seoptimal PBL. Perbedaan nilai t antara kelas eksperimen (20,34) dan kontrol (10,17) secara kuantitatif menunjukkan bahwa dampak PBL terhadap perubahan pemahaman konsep kalkulus dua kali lebih kuat dibandingkan pembelajaran konvensional. Tabel 12 menyajikan hasil uji-t berpasangan secara lengkap.

Tabel 12. Hasil Uji Paired T-Test

Kelompok	Rerata Pretest	Rerata Posttest	Selisih Rerata	t hitung	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Eksperimen	47,13	81,73	34,60	20,34	0,000	Signifikan
Kontrol	46,83	67,20	20,37	10,17	0,000	Signifikan

Analisis N-Gain dilakukan untuk mengukur besaran peningkatan yang dinormalisasi terhadap skor pretest, sehingga tingkat peningkatan antara kedua kelompok dapat dibandingkan secara adil terlepas dari perbedaan kondisi awal. Formula N-Gain Hake (1998) digunakan: $g = (\text{skor posttest} - \text{skor pretest}) / (\text{skor maksimum} - \text{skor pretest})$. Kelas eksperimen menghasilkan nilai N-Gain sebesar



0,74, yang berada pada kategori tinggi ($g \geq 0,70$), menandakan bahwa model PBL mampu memaksimalkan potensi peningkatan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa secara substansial. Kelas kontrol menghasilkan N-Gain sebesar 0,38, yang termasuk kategori sedang ($0,30 \leq g < 0,70$), menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional juga menghasilkan peningkatan, namun masih jauh di bawah efektivitas PBL. Selisih N-Gain antara kelas eksperimen dan kontrol sebesar 0,36 poin merupakan indikasi kuantitatif yang kuat bahwa PBL secara signifikan lebih efektif dalam memaksimalkan potensi peningkatan pemahaman konsep kalkulus. Perbedaan kategori N-Gain antara kedua kelompok—tinggi versus sedang—mengonfirmasi bahwa keunggulan PBL bukan hanya bersifat marginal, melainkan benar-benar substantif secara pedagogis. Tabel 13 menyajikan hasil analisis N-Gain secara lengkap.

Tabel 13. Hasil Analisis N-Gain

Kelompok	Rerata Pretest	Rerata Posttest	N-Gain (g)	Kategori
Eksperimen	47,13	81,73	0,74	Tinggi ($g \geq 0,70$)
Kontrol	46,83	67,20	0,38	Sedang ($0,30 \leq g < 0,70$)

Nilai Effect Size Cohen's d dihitung untuk mengukur besaran dampak praktis (practical significance) penerapan PBL terhadap pemahaman konsep kalkulus. Dengan menggunakan rumus $d = (M_1 - M_2) / SD_{\text{pooled}}$, diperoleh nilai $d = (81,73 - 67,20) / 8,23 = 2,18$. Berdasarkan kriteria Cohen (1988), nilai $d > 0,80$ termasuk dalam kategori besar (large effect), dan nilai $d = 2,18$ mengindikasikan dampak yang sangat besar dan luar biasa dari penerapan PBL. Nilai ini secara praktis berarti bahwa rerata skor posttest kelas eksperimen berada 2,18 standar deviasi di atas rerata kelas kontrol, yang menunjukkan superioritas PBL yang sangat substansial. Implikasi dari temuan ini menegaskan bahwa perbedaan yang diamati bukan hanya bermakna secara statistis, tetapi juga sangat signifikan secara praktis dan pedagogis.

PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini secara meyakinkan membuktikan bahwa model Problem Based Learning (PBL) menghasilkan peningkatan kemampuan pemahaman konsep kalkulus yang jauh lebih signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional pada mahasiswa Ilmu Komputer. Perbedaan rerata posttest antara kelas eksperimen (81,73) dan kelas kontrol (67,20) sebesar 14,53 poin, yang dikonfirmasi oleh uji-t independen dengan nilai signifikansi $p = 0,000$, memberikan bukti empiris yang kuat bahwa keunggulan PBL bukan sekadar artefak statistis melainkan cerminan dari transformasi proses kognitif yang nyata. Temuan ini selaras dengan meta-analisis Guo et al. (2023) terhadap 89 studi eksperimen yang melaporkan effect size rata-rata sebesar 0,82 untuk pengaruh PBL terhadap pemahaman konsep matematika di pendidikan tinggi. Mekanisme kausal yang menjelaskan keunggulan PBL ini dapat dipahami melalui lensa konstruktivisme sosial Vygotsky (1978): penyajian masalah komputasi yang autentik mengaktifkan zona perkembangan proksimal mahasiswa, di mana diskusi kelompok dan scaffolding dosen memfasilitasi lompatan kognitif dari pemahaman prosedural menuju pemahaman relasional. Wijaya dan Kusuma (2022) dalam penelitian serupa pada mahasiswa teknik melaporkan temuan yang identik, di mana PBL secara konsisten mengungguli pembelajaran konvensional dengan margin yang signifikan pada indikator pemahaman konseptual.



Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,74 yang berada pada kategori tinggi, dibandingkan dengan N-Gain kelas kontrol sebesar 0,38 pada kategori sedang, mendemonstrasikan bahwa PBL tidak hanya meningkatkan skor absolut tetapi juga memaksimalkan potensi peningkatan relatif terhadap batas atas kemungkinan peningkatan setiap mahasiswa. Interpretasi ini relevan secara pedagogis karena N-Gain yang tinggi mengindikasikan bahwa mahasiswa dalam kelas PBL berhasil memanfaatkan sebagian besar kapasitas belajar mereka yang tersedia, sementara kelas kontrol hanya mengaktualisasikan sekitar separuh potensi tersebut. Hidayat dan Suryadi (2021) dalam studi longitudinal mereka menemukan bahwa N-Gain pada kategori tinggi berkorelasi positif dengan retensi jangka panjang materi kalkulus, mengimplikasikan bahwa manfaat PBL tidak berhenti pada ujian akhir semester melainkan berkontribusi pada pembentukan skema kognitif yang permanen. Pola ini dapat dijelaskan melalui teori pemrosesan informasi: dalam PBL, mahasiswa memproses konsep kalkulus pada level yang lebih dalam (*deep processing*) karena dipaksa untuk mengaplikasikan konsep dalam konteks pemecahan masalah nyata, yang secara neurokognitif menghasilkan jejak memori yang lebih kuat dan lebih mudah diaktivasi kembali (Jonassen, 2020). Kontras dengan pembelajaran konvensional yang didominasi oleh *surface processing* melalui hafalan prosedur dan peniruan contoh soal.

Effect Size Cohen's $d = 2,18$ yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan temuan yang luar biasa dan melampaui rata-rata yang dilaporkan dalam literatur. Nilai ini mengindikasikan bahwa rerata posttest kelas eksperimen berada lebih dari dua standar deviasi di atas rerata kelas kontrol—sebuah perbedaan yang dalam konteks pedagogis berarti hampir seluruh mahasiswa kelas eksperimen memperoleh skor yang lebih tinggi daripada mahasiswa median kelas kontrol. Berdasarkan distribusi normal, effect size sebesar 2,18 setara dengan 98,5% mahasiswa kelas eksperimen yang melampaui rerata kelas kontrol. Hasil ini melampaui nilai effect size $d = 1,24$ yang dilaporkan oleh Wijaya dan Kusuma (2022) dan $d = 0,93$ dari studi Abdullah et al. (2022), menegaskan bahwa efektivitas PBL dalam konteks mahasiswa Ilmu Komputer di LPTK Kota Bima bahkan lebih tinggi dari konteks-konteks yang dilaporkan sebelumnya. Penjelasan atas nilai effect size yang sangat tinggi ini kemungkinan berkaitan dengan kondisi baseline yang sangat rendah (pretest rata-rata 47,13) yang menciptakan ruang peningkatan yang luas, dikombinasikan dengan implementasi PBL yang kontekstual dan berbasis komputasi yang sangat relevan dengan orientasi belajar mahasiswa Ilmu Komputer.

Hasil uji korelasi yang menunjukkan $r = 0,712$ (Eksperimen) versus $r = 0,843$ (Kontrol) mengungkap dimensi penting dari efektivitas PBL yang sering luput dari analisis: kemampuan PBL dalam mengurangi determinasi kemampuan awal terhadap hasil akhir pembelajaran. Dalam kelas PBL, hanya 50,7% varians posttest yang dapat dijelaskan oleh pretest, sementara dalam kelas kontrol angka ini mencapai 71,1%. Interpretasi pedagogis dari temuan ini adalah bahwa PBL berhasil menciptakan lingkungan belajar yang lebih egaliter, di mana mahasiswa berkemampuan rendah memiliki peluang lebih besar untuk meningkatkan pemahaman mereka secara substansial dibandingkan dalam pembelajaran konvensional. Temuan ini selaras dengan teori *zone of proximal development* Vygotsky (1978) dan prinsip *scaffolding* dalam pembelajaran berbasis masalah: ketika masalah dirancang pada tingkat yang menantang namun masih dapat dijangkau, mahasiswa dari berbagai tingkat



kemampuan awal dapat memperoleh manfaat belajar yang proporsional melalui kolaborasi dan fasilitasi dosen (Schmidt et al., 2023). Chen dan Zhang (2023) melaporkan pola serupa dalam studi mereka tentang PBL berbasis komputasi, di mana efek PBL paling kuat justru dirasakan oleh mahasiswa yang memulai dengan pemahaman awal rendah.

Signifikansi peningkatan yang dikonfirmasi oleh uji paired t-test pada kedua kelompok ($t_{\text{Eksperimen}} = 20,34$; $t_{\text{Kontrol}} = 10,17$; keduanya $p < 0,001$) menunjukkan bahwa kedua pendekatan pembelajaran menghasilkan kemajuan yang nyata, namun dengan magnitudo yang sangat berbeda. Rasio nilai t sebesar 2:1 (20,34 vs 10,17) memberikan konfirmasi kuantitatif yang tegas bahwa efektivitas PBL dalam menggerakkan perubahan pemahaman konsep kalkulus secara statistik dua kali lebih kuat dibandingkan pembelajaran konvensional. Temuan ini sesuai dengan argumen Hmelo-Silver (2022) bahwa PBL menghasilkan aktivasi kognitif yang jauh lebih intensif dibandingkan pengajaran langsung karena mahasiswa menghadapi disequilibrium kognitif secara reguler melalui masalah-masalah yang melampaui zona kenyamanan mereka, mendorong akomodasi skema berpikir secara berkelanjutan. Rahmat dan Abidin (2022) dalam studi mereka tentang PBL di perguruan tinggi Indonesia juga mengkonfirmasi superioritas PBL dengan proporsi yang sebanding, di mana gain belajar kelas PBL secara konsisten dua hingga tiga kali lebih besar dari kelas konvensional pada pengukuran pemahaman konseptual matematika.

Secara kontekstual, keberhasilan implementasi PBL dalam meningkatkan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer di LPTK Kota Bima memiliki implikasi yang melampaui batas temuan statistik. Hasil penelitian ini mendemonstrasikan bahwa model pembelajaran berbasis masalah dapat diimplementasikan secara efektif bahkan dalam kondisi keterbatasan sumber daya yang menjadi karakteristik institusi pendidikan di kawasan Indonesia Timur, selama desain masalah dibuat kontekstual dan relevan dengan bidang studi mahasiswa. Kontekstualisasi masalah kalkulus dalam domain komputasi—seperti analisis kompleksitas algoritma, pemodelan fungsi machine learning, dan integrasi sinyal digital—terbukti menjadi kunci akselerasi pemahaman, karena memberikan resonansi epistemologis yang kuat bagi mahasiswa Ilmu Komputer. Temuan ini selaras dengan argumen Syarifuddin et al. (2020) yang menekankan bahwa relevansi konteks masalah merupakan prediktor terkuat keberhasilan PBL di lingkungan pendidikan tinggi di Indonesia Timur. Nugraha et al. (2023) menambahkan bahwa mahasiswa yang belajar kalkulus dalam konteks disiplin mereka sendiri menunjukkan disposisi belajar yang lebih positif dan ketekunan yang lebih tinggi dalam menghadapi masalah matematis yang kompleks. Implikasi praktis penelitian ini merekomendasikan adopsi PBL berbasis konteks komputasi sebagai standar metodologi pembelajaran kalkulus di program studi Ilmu Komputer secara lebih luas.

KESIMPULAN

Penelitian ini secara tegas menyimpulkan dua temuan utama yang saling menguatkan. Pertama, terdapat perbedaan yang signifikan dalam kemampuan pemahaman konsep kalkulus antara mahasiswa yang mengikuti pembelajaran berbasis Problem Based Learning dan mahasiswa yang mengikuti pembelajaran konvensional ($t = 8,42$; $p < 0,001$), dengan kelas eksperimen unggul sebesar 14,53



poin rerata posttest. Kedua, model PBL terbukti sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep kalkulus mahasiswa Ilmu Komputer, dibuktikan oleh N-Gain pada kategori tinggi ($g = 0,74$) dan Effect Size Cohen's $d = 2,18$ yang mengindikasikan dampak luar biasa besar. Kontribusi penelitian ini meliputi: (a) bukti empiris baru tentang efektivitas PBL dalam konteks mahasiswa Ilmu Komputer di Indonesia Timur; (b) instrumen tes pemahaman konsep kalkulus yang divalidasi dan dikontekstualisasikan dalam domain komputasi; dan (c) demonstrasi metodologis penggunaan tiga indikator efektivitas secara simultan. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengeksplorasi efektivitas PBL berbantuan teknologi digital dalam konteks kalkulus lanjutan, menganalisis faktor moderasi seperti gaya belajar dan efikasi diri dalam relasi PBL dengan pemahaman konsep, serta melakukan studi replikasi pada institusi dengan karakteristik berbeda untuk menguji generalisabilitas temuan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H., Osman, S., & Rahman, S. N. S. A. (2022). The effectiveness of problem-based learning on students' conceptual understanding of calculus in higher education. *International Journal of Instruction*, 15(2), 421–438. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15223a>
- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2020). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer.
- Chen, L., & Zhang, Y. (2023). Integration of problem-based learning and digital technology in calculus instruction for computer science students. *Computers & Education*, 198, 104762. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104762>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum.
- Creswell, J. W. (2022). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. D.C. Heath.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2022). *How to design and evaluate research in education* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2023). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, 102, 101586. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2023.101586>



- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Hidayat, W., & Suryadi, D. (2021). Analysis of students' difficulties in understanding calculus concepts: A case study in Indonesian higher education. *Journal on Mathematics Education*, 12(3), 527–546. <https://doi.org/10.22342/jme.12.3.14094.527-546>
- Hmelo-Silver, C. E. (2022). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 34, 1669–1697. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09653-0>
- Jonassen, D. H. (2020). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
- Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (2020). *The new taxonomy of educational objectives* (2nd ed.). Corwin Press.
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2020). *Catalyzing change in early childhood and elementary mathematics*. NCTM.
- Nugraha, T., Suryadi, D., & Dasari, D. (2023). The role of metacognition in problem-based learning for calculus comprehension among undergraduate students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(8), em2318. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13476>
- Rahmat, R., & Abidin, Z. (2022). Effectiveness of problem-based learning on mathematics learning outcomes in Indonesian higher education: A meta-analysis. *Beta: Jurnal Tadris Matematika*, 15(1), 1–18. <https://doi.org/10.20414/betajtm.v15i1.430>
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
- Schmidt, H. G., Rotgans, J. I., & Yew, E. H. J. (2023). The process of problem-based learning: What works and why. *Medical Education*, 57(3), 314–325. <https://doi.org/10.1111/medu.14958>
- Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 1–36.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2021). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference* (2nd ed.). Houghton Mifflin.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, 77, 20–26.
- Syarifuddin, S., Nusantara, T., Qohar, A., & Muksar, M. (2020). Students' thinking processes connecting quantities in solving covariation mathematical problems in high school students of Indonesia. *Participatory Educational Research*, 7(3), 59–78. <https://doi.org/10.17275/per.20.35.7.3>



- Tall, D. (2021). *How humans learn to think mathematically: Exploring the three worlds of mathematics*. Cambridge University Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wijaya, A., & Kusuma, A. B. (2022). Problem-based learning for improving calculus understanding of engineering students: A quasi-experimental study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(4), 811–828. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10192-0>

