ANTHOR
Education and Learning Journal
https://anthor.org/index.php/anthor
Email. anthor.Jurnal@gmail.com
E-ISSN: 2963 –198X P-ISSN: 2963–2498 | Halaman: 1919 - 1932 | Volume 5 Nomor 5 Tahun 2026

Inovasi Pembelajaran Abad 21: Integrasi STEAM dalam PjBL Interdisipliner untuk Meningkatkan Kemampuan Konseptual Matematika Mahasiswa

Informasi Naskah

Gusnidar[1]
Al Ikhlas[2]

Pendidikan Matematika, STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh, Indonesia

gusnidar114@gmail.com[1]
alikhlas752@gmail.com[2]

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas integrasi *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) dalam *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis interdisipliner terhadap peningkatan kemampuan konseptual matematika mahasiswa. Penelitian menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *sequential explanatory*. Subjek penelitian terdiri atas 32 mahasiswa semester IV Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh. Pembelajaran dilaksanakan selama delapan pertemuan melalui proyek autentik yang mengintegrasikan unsur sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika. Data dikumpulkan melalui tes pretest dan posttest, observasi keterampilan abad ke-21, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi. Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan *paired-samples t-test*, sedangkan data kualitatif dianalisis melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rata-rata kemampuan konseptual matematika dari 54,31 (SD = 6,80) pada pretest menjadi 78,75 (SD = 5,17) pada posttest, dengan kenaikan 24,44 poin dan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,001$). Keterampilan berpikir kritis meningkat dari 2,8 menjadi 4,1, kreativitas dari 2,7 menjadi 4,3, kolaborasi dari 2,6 menjadi 4,2, dan komunikasi dari 2,5 menjadi 4,0 pada skala 1–5. Temuan kualitatif menunjukkan bahwa proyek autentik, pemanfaatan teknologi, integrasi lintas disiplin, dan kolaborasi membantu mahasiswa menghubungkan konsep matematika dengan permasalahan kontekstual. Dengan demikian, integrasi STEAM dalam PjBL interdisipliner berpotensi meningkatkan kemampuan konseptual matematika sekaligus mengembangkan keterampilan utama pembelajaran abad ke-21.

Kata Kunci:
Kemampuan Konseptual Matematika, Keterampilan Abad Ke-21, Pembelajaran Interdisipliner, Project-Based Learning, STEAM.

Abstract

This study aims to analyze the effectiveness of integrating Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) into interdisciplinary Project-Based Learning (PjBL) in improving students' mathematical conceptual understanding. The study employed a mixed-methods approach with a sequential explanatory design. The participants were 32 fourth-semester students enrolled in the Mathematics Education Study Program at STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh. Learning activities were conducted over eight sessions through authentic projects integrating science, technology, engineering, arts, and mathematics. Data were collected using pretests and posttests, observations of twenty-first-century skills, semi-structured interviews, and documentation. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics and a paired-samples t-test, while qualitative data were analyzed through data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The results showed an increase in the mean mathematical conceptual understanding score from 54.31 (SD = 6.80) on the pretest to 78.75 (SD = 5.17) on the posttest, representing a gain of 24.44 points and a statistically significant difference ($p < 0.001$). Critical thinking scores increased from 2.8 to 4.1, creativity from 2.7 to 4.3, collaboration from 2.6 to 4.2, and communication from 2.5 to 4.0 on a five-point scale. Qualitative findings indicated that authentic projects, technology use, interdisciplinary integration, and collaborative activities helped students connect mathematical concepts with contextual problems. Therefore, integrating STEAM into interdisciplinary PjBL shows potential for improving mathematical conceptual understanding while fostering essential twenty-first-century learning skills.

Keyword:
21st-Century Skills, Interdisciplinary Learning, Mathematical Conceptual Understanding, Project-Based Learning, STEAM.

Information Production:
© 2026 *by the authors of this article. This work is licensed under an Attribution-ShareAlike* 4.0 *International* (CC BY-SA 4.0)

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menghadapi perubahan yang semakin kompleks sebagai konsekuensi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi digital, serta transformasi sosial dan ekonomi. Perguruan tinggi tidak lagi cukup berorientasi pada penguasaan pengetahuan faktual dan prosedural, tetapi perlu membekali

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

mahasiswa dengan kemampuan mengonstruksi pengetahuan, memecahkan masalah, beradaptasi terhadap perubahan, serta mengaplikasikan pengetahuan dalam berbagai konteks kehidupan. Trilling dan Fadel (2009) menjelaskan bahwa pembelajaran abad ke-21 perlu memberikan perhatian terhadap pengembangan keterampilan belajar dan berinovasi yang meliputi *critical thinking, creativity, collaboration,* dan *communication* (4C). Kompetensi tersebut menjadi semakin penting ketika mahasiswa berhadapan dengan permasalahan nyata yang kompleks dan tidak selalu dapat diselesaikan melalui satu bidang ilmu.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) merupakan salah satu faktor utama yang mendorong perubahan paradigma pembelajaran tersebut. Teknologi tidak seharusnya diposisikan hanya sebagai alat untuk menyampaikan materi, tetapi perlu diintegrasikan secara pedagogis untuk memperluas pengalaman belajar, memfasilitasi eksplorasi, mendukung pemecahan masalah, dan memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk membangun pengetahuannya secara aktif. Mishra dan Koehler (2006) menegaskan bahwa integrasi teknologi yang efektif dalam pembelajaran memerlukan keterpaduan antara pengetahuan tentang materi, pedagogi, dan teknologi melalui kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Dengan demikian, keberadaan teknologi dalam pembelajaran menjadi bermakna ketika penggunaannya selaras dengan karakteristik materi dan strategi pedagogis yang digunakan.

Dalam pembelajaran matematika, pemanfaatan teknologi memiliki potensi yang besar karena dapat membantu mahasiswa mengeksplorasi konsep, membuat representasi matematis, melakukan simulasi, menganalisis data, serta menghubungkan konsep abstrak dengan representasi visual dan permasalahan kontekstual. Namun, penggunaan teknologi saja belum menjamin terjadinya pembelajaran yang bermakna. Pembelajaran matematika perlu dirancang agar mahasiswa tidak hanya mampu menggunakan rumus dan prosedur, tetapi juga memahami hubungan antarkonsep, memberikan alasan terhadap prosedur yang digunakan, mengembangkan representasi, dan menerapkan konsep dalam penyelesaian masalah. Oleh karena itu, kemampuan konseptual matematika merupakan salah satu kompetensi penting yang perlu dikembangkan pada mahasiswa, terutama mahasiswa calon guru matematika.

Tuntutan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran matematika perlu bergeser dari pendekatan yang berorientasi pada dosen dan prosedur menuju pembelajaran yang lebih aktif, kontekstual, kolaboratif, dan interdisipliner. Barron dan Darling-Hammond (2008) mengemukakan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri, proyek, dan kolaborasi memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk terlibat dalam aktivitas belajar yang bermakna sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Pembelajaran yang hanya menekankan hafalan dan penerapan prosedur sederhana relatif terbatas dalam mempersiapkan peserta didik menghadapi persoalan autentik yang membutuhkan kemampuan menganalisis, mengevaluasi, menghasilkan alternatif solusi, dan mengambil keputusan berdasarkan bukti.

Salah satu pendekatan yang relevan dengan karakteristik pembelajaran tersebut adalah *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM). STEAM merupakan pengembangan dari pendekatan STEM dengan mengintegrasikan unsur *arts* untuk memperluas proses pembelajaran melalui kreativitas, desain, komunikasi, visualisasi, dan ekspresi. Land (2013) menegaskan bahwa integrasi seni ke dalam STEM dapat membuka ruang bagi inovasi dan kreativitas karena peserta didik tidak hanya diarahkan pada aspek teknis dan analitis, tetapi juga pada proses desain dan penciptaan. Dengan demikian, STEAM tidak sekadar menggabungkan lima disiplin ilmu secara terpisah, tetapi mengorganisasikannya menjadi pengalaman belajar terpadu dalam penyelesaian suatu permasalahan.

Quigley et al. (2017) memandang STEAM sebagai proses pembelajaran transdisipliner yang mengintegrasikan berbagai disiplin melalui penyelesaian masalah dan aktivitas penyelidikan. Model konseptual STEAM yang mereka kembangkan menekankan integrasi disiplin, pembelajaran berbasis masalah, dan keterampilan pemecahan masalah sebagai komponen penting praktik pembelajaran STEAM. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa STEAM berpotensi menciptakan pembelajaran yang memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menghubungkan pengetahuan matematika dengan teknologi, sains, rekayasa, dan kreativitas dalam menghadapi permasalahan autentik.

Dalam konteks pendidikan matematika, pendekatan STEAM menjadi relevan karena banyak konsep matematika bersifat abstrak dan membutuhkan berbagai representasi agar dapat dipahami secara lebih mendalam. Integrasi teknologi memungkinkan mahasiswa melakukan eksplorasi dan visualisasi; unsur rekayasa memberikan ruang untuk merancang dan menguji solusi; unsur seni mendukung kreativitas dan komunikasi visual; sementara matematika menjadi instrumen untuk melakukan pemodelan, analisis, perhitungan, dan pengambilan keputusan. Henriksen (2014) menunjukkan bahwa kreativitas memiliki posisi penting dalam praktik pengajaran STEM yang efektif, sedangkan Herro dan Quigley (2017) menunjukkan pentingnya pengembangan pemahaman pendidik terhadap praktik STEAM agar pembelajaran lintas disiplin dapat diimplementasikan secara bermakna.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Implementasi STEAM akan semakin kuat apabila dikombinasikan dengan *Project-Based Learning* (PjBL). PjBL merupakan model pembelajaran yang menempatkan proyek dan permasalahan autentik sebagai penggerak utama proses belajar. Thomas (2000) menjelaskan bahwa PjBL melibatkan peserta didik dalam penyelidikan terhadap permasalahan kompleks yang menghasilkan produk atau hasil nyata. Dalam proses tersebut, mahasiswa dituntut untuk merencanakan kegiatan, mengumpulkan dan menganalisis informasi, mengembangkan solusi, mengevaluasi hasil, serta mengomunikasikan produk pembelajaran. Krajcik dan Blumenfeld (2006) juga menjelaskan bahwa PjBL memungkinkan peserta didik mempelajari konsep melalui keterlibatan dalam permasalahan nyata, investigasi, kolaborasi, dan penciptaan artefak pembelajaran. Karakteristik ini menjadikan PjBL sesuai untuk memfasilitasi pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa dan menghubungkan teori dengan praktik.

Integrasi STEAM dan PjBL memiliki hubungan pedagogis yang saling melengkapi. STEAM menyediakan kerangka integrasi pengetahuan lintas disiplin, sedangkan PjBL menyediakan struktur aktivitas pembelajaran melalui proyek autentik. Melalui STEAM-PjBL, mahasiswa tidak hanya mempelajari suatu konsep matematika secara terpisah, tetapi menggunakan konsep tersebut untuk merancang, mengembangkan, menguji, dan mengevaluasi penyelesaian terhadap suatu permasalahan. Proses tersebut memungkinkan pembelajaran matematika bergerak dari sekadar *knowing mathematics* menuju *using mathematics* dalam situasi nyata.

Integrasi tersebut juga memiliki relevansi yang kuat terhadap pengembangan keterampilan 4C. Kemampuan berpikir kritis berkembang ketika mahasiswa menganalisis masalah, menentukan informasi yang relevan, mengevaluasi alternatif, dan memverifikasi solusi. Kreativitas berkembang ketika mahasiswa merancang berbagai kemungkinan penyelesaian dan menghasilkan produk atau representasi baru. Kolaborasi dibangun melalui pembagian tugas, negosiasi gagasan, dan pengambilan keputusan dalam kelompok, sedangkan komunikasi dikembangkan ketika mahasiswa menjelaskan proses, mempresentasikan produk, serta mempertahankan argumentasi matematis. Dengan demikian, STEAM-PjBL tidak hanya diarahkan pada capaian kognitif, tetapi juga menyediakan lingkungan belajar yang mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 secara terintegrasi.

Penelitian sebelumnya memberikan landasan empiris terhadap pentingnya pendekatan tersebut. Ikhlas (2018) menemukan bahwa model pembelajaran berbasis masalah dan gaya kognitif memberikan pengaruh terhadap hasil belajar matematika, yang mengindikasikan bahwa karakteristik model pembelajaran dan keterlibatan peserta didik dalam pemecahan masalah memiliki posisi penting dalam pencapaian hasil belajar. Selanjutnya, Sutrisna dan Gusnidar (2022) menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar berbasis inkuiri dapat mendukung proses pembelajaran yang mendorong peserta didik untuk terlibat aktif dalam mengonstruksi pengetahuan. Ridwan et al. (2024) juga menegaskan bahwa integrasi STEM dalam kurikulum memiliki potensi dalam mempersiapkan generasi dengan kompetensi yang relevan dengan kebutuhan masa depan.

Kajian yang lebih spesifik dilakukan oleh Ikhlas et al. (2025), yang membahas desain model PjBL terintegrasi STEAM berbasis pembelajaran interdisipliner dalam pengembangan kemampuan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa matematika. Kajian tersebut memberikan landasan konseptual bahwa STEAM, PjBL, dan pembelajaran interdisipliner dapat disinergikan untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang mendorong mahasiswa melakukan eksplorasi, menghasilkan gagasan, dan menyelesaikan masalah secara kreatif. Meskipun demikian, masih diperlukan bukti empiris yang lebih spesifik mengenai bagaimana implementasi STEAM-PjBL interdisipliner berkontribusi terhadap kemampuan konseptual matematika mahasiswa, khususnya dalam konteks pendidikan tinggi dan pendidikan calon guru matematika.

Persoalan kemampuan konseptual menjadi penting karena pembelajaran matematika pada tingkat perguruan tinggi masih berpotensi didominasi oleh aktivitas prosedural, penggunaan algoritma, dan penyelesaian soal rutin. Kondisi tersebut dapat menyebabkan mahasiswa mampu memperoleh jawaban yang benar tanpa sepenuhnya memahami alasan matematis yang mendasari prosedur yang digunakan. Bagi mahasiswa pendidikan matematika, persoalan ini menjadi lebih krusial karena mereka dipersiapkan sebagai calon pendidik yang tidak hanya dituntut mampu menyelesaikan persoalan matematika, tetapi juga harus mampu menjelaskan konsep, membangun berbagai representasi, mengidentifikasi miskonsepsi, dan menghubungkan konsep matematika dengan konteks pembelajaran.

Berdasarkan kajian tersebut, terdapat research gap yang menjadi dasar penelitian ini. Penelitian terdahulu telah banyak mengkaji STEAM, STEM, PjBL, kemampuan 4C, kreativitas, dan pemecahan masalah secara terpisah maupun dalam beberapa bentuk integrasi. Namun, kajian empiris yang secara khusus mengintegrasikan STEAM ke dalam PjBL berbasis interdisipliner dan menempatkan kemampuan konseptual matematika mahasiswa sebagai capaian utama masih perlu diperkuat. Selain itu, belum banyak penelitian yang menggabungkan bukti kuantitatif mengenai perubahan kemampuan konseptual dengan bukti kualitatif

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

mengenai proses terbentuknya pemahaman melalui aktivitas proyek, kolaborasi, penggunaan teknologi, dan integrasi lintas disiplin.

Kesenjangan tersebut menjadi dasar kebaruan (*novelty*) penelitian ini, yaitu implementasi STEAM dalam PjBL yang dirancang secara interdisipliner untuk memberikan pengalaman kepada mahasiswa dalam mengonstruksi, menghubungkan, dan mengaplikasikan konsep matematika melalui proyek autentik. Model pembelajaran tidak hanya mengintegrasikan unsur *science, technology, engineering, arts,* dan *mathematics*, tetapi juga menempatkan mahasiswa sebagai perancang dan pemecah masalah yang bekerja secara kolaboratif dalam menghasilkan produk pembelajaran. Efektivitas implementasinya selanjutnya dikaji melalui peningkatan kemampuan konseptual matematika sekaligus perkembangan keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif.

Dalam konteks Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh, implementasi STEAM-PjBL interdisipliner juga memiliki relevansi praktis untuk memperkuat inovasi pembelajaran matematika di perguruan tinggi. Mahasiswa calon guru perlu memperoleh pengalaman belajar yang memungkinkan mereka tidak hanya memahami matematika sebagai kumpulan konsep dan prosedur, tetapi juga sebagai pengetahuan yang dapat digunakan untuk memahami, memodelkan, dan menyelesaikan berbagai persoalan. Pengalaman tersebut diharapkan sekaligus menjadi bekal pedagogis ketika mahasiswa memasuki profesi sebagai pendidik.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan utama penelitian ini adalah bagaimana efektivitas integrasi STEAM dalam PjBL berbasis interdisipliner terhadap peningkatan kemampuan konseptual matematika mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan STEAM-PjBL interdisipliner dalam meningkatkan kemampuan konseptual matematika mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh serta mendeskripsikan perkembangan keterampilan abad ke-21 yang muncul selama proses pembelajaran. Kemampuan konseptual matematika dalam penelitian ini dimaknai sebagai kemampuan mahasiswa dalam memahami makna konsep, menghubungkan antarkonsep dan representasi, serta mengaplikasikan konsep matematika secara tepat dalam penyelesaian masalah. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoretis terhadap pengembangan kajian STEAM-PjBL dalam pendidikan matematika sekaligus memberikan rekomendasi praktis bagi dosen dan institusi pendidikan tinggi dalam merancang pembelajaran matematika yang kontekstual, interdisipliner, berorientasi proyek, dan relevan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed methods dengan desain sequential explanatory, yaitu penelitian yang mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif secara berurutan. Tahap pertama penelitian difokuskan pada pengumpulan dan analisis data kuantitatif, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan dan analisis data kualitatif untuk menjelaskan, memperdalam, dan memberikan konteks terhadap hasil kuantitatif. Creswell dan Plano Clark (2018) menjelaskan bahwa *explanatory sequential mixed methods design* diawali dengan pengumpulan dan analisis data kuantitatif, kemudian hasil tahap pertama digunakan sebagai dasar untuk menentukan fokus pengumpulan data kualitatif pada tahap berikutnya. Integrasi kedua jenis data dilakukan pada tahap interpretasi sehingga diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena yang diteliti.

Pendekatan *mixed methods* dipilih karena efektivitas pembelajaran STEAM-PjBL interdisipliner tidak cukup dijelaskan hanya melalui perubahan skor kemampuan konseptual matematika. Penelitian juga perlu mengidentifikasi proses pembelajaran, keterlibatan mahasiswa, perkembangan keterampilan abad ke-21, serta pengalaman mahasiswa selama mengikuti kegiatan proyek. Johnson et al. (2007) menjelaskan bahwa *mixed methods research* mengombinasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk menghasilkan keluasan sekaligus kedalaman pemahaman terhadap suatu fenomena penelitian.

Pada tahap kuantitatif digunakan desain one-group pretest–posttest, yaitu satu kelompok mahasiswa diberikan pengukuran sebelum perlakuan (pretest), kemudian memperoleh perlakuan berupa pembelajaran STEAM-PjBL interdisipliner, dan selanjutnya diberikan pengukuran setelah perlakuan (posttest). Desain penelitian kuantitatif dapat digambarkan sebagai berikut:

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Keterangan:
O_1 = pretest kemampuan konseptual matematika
X = pembelajaran STEAM-PjBL berbasis interdisipliner
O_2 = posttest kemampuan konseptual matematika

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Desain tersebut digunakan untuk mengidentifikasi perubahan kemampuan konseptual matematika mahasiswa setelah implementasi pembelajaran. Karena penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol, interpretasi efektivitas difokuskan pada perubahan skor sebelum dan sesudah perlakuan serta diperkuat dengan ukuran efek dan data kualitatif.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama enam bulan pada semester genap tahun akademik 2025/2026 di Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh, Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi. Rentang waktu penelitian mencakup tahap persiapan, pengembangan dan validasi perangkat, pelaksanaan pembelajaran, pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif, analisis data, serta interpretasi hasil penelitian.

Implementasi pembelajaran dilaksanakan selama delapan kali pertemuan. Kegiatan pembelajaran dirancang melalui proyek interdisipliner yang mengintegrasikan komponen *Science, Technology, Engineering, Arts,* dan *Mathematics*. Mahasiswa diarahkan untuk mengidentifikasi permasalahan, merancang penyelesaian, memanfaatkan teknologi, mengembangkan produk atau representasi, melakukan pengujian dan perbaikan, serta mempresentasikan hasil proyek.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah 32 mahasiswa semester IV Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh yang mengikuti kegiatan pembelajaran pada mata kuliah yang berkaitan dengan Matematika Diskrit dan Pemecahan Masalah. Seluruh mahasiswa dalam kelas yang menjadi lokasi implementasi dilibatkan sebagai subjek pada tahap kuantitatif.

Pemilihan subjek menggunakan teknik total sampling, yaitu seluruh anggota populasi terjangkau dalam kelas penelitian digunakan sebagai sampel. Teknik ini dipilih karena jumlah mahasiswa dalam kelas relatif terbatas dan seluruh mahasiswa memperoleh perlakuan pembelajaran yang sama.

Pada tahap kualitatif, informan dipilih secara purposive dari peserta penelitian dengan mempertimbangkan variasi capaian posttest, keterlibatan selama proyek, serta kemampuan memberikan informasi mengenai pengalaman pembelajaran. Patton (2015) menjelaskan bahwa *purposeful sampling* dalam penelitian kualitatif digunakan untuk memilih kasus-kasus yang kaya informasi sehingga memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai fenomena yang diteliti. Informasi kualitatif juga diperoleh dari dosen yang terlibat dalam pelaksanaan pembelajaran.

Variabel dan Fokus Penelitian

Variabel utama pada tahap kuantitatif adalah kemampuan konseptual matematika mahasiswa, sedangkan pembelajaran STEAM-PjBL interdisipliner merupakan perlakuan yang diberikan selama proses penelitian. Kemampuan konseptual matematika dioperasionalkan sebagai kemampuan mahasiswa untuk memahami makna suatu konsep, menjelaskan kembali konsep menggunakan representasi yang sesuai, menghubungkan satu konsep dengan konsep lainnya, memilih dan menggunakan prosedur berdasarkan pemahaman konseptual, serta menerapkan konsep dalam penyelesaian masalah kontekstual.

Tahap kualitatif difokuskan pada proses yang menyertai perubahan kemampuan konseptual, khususnya keterlibatan mahasiswa dalam pembelajaran, proses mengonstruksi konsep, penggunaan teknologi dan representasi, pengalaman menyelesaikan proyek interdisipliner, serta perkembangan keterampilan 4C, yaitu *critical thinking, creativity, collaboration,* dan *communication*.

Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara sistematis sesuai karakteristik *sequential explanatory mixed methods*. Tahapan penelitian terdiri atas persiapan dan pengembangan perangkat, pelaksanaan pretest, implementasi STEAM-PjBL, pelaksanaan posttest, pengumpulan data kualitatif, integrasi data, dan penarikan kesimpulan.

Pada tahap persiapan, dilakukan identifikasi capaian pembelajaran, karakteristik mahasiswa, materi yang sesuai dengan pembelajaran proyek, serta kemungkinan integrasi antardisiplin. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menyusun perangkat pembelajaran berupa modul STEAM-PjBL, lembar kegiatan proyek, skenario pembelajaran, rubrik penilaian proyek, tes kemampuan konseptual matematika, lembar observasi, dan pedoman wawancara. Perangkat dan instrumen selanjutnya divalidasi oleh ahli sebelum digunakan dalam penelitian.

Tahap berikutnya adalah pretest, yang diberikan kepada seluruh mahasiswa untuk memperoleh gambaran kemampuan konseptual matematika sebelum implementasi STEAM-PjBL. Pretest menggunakan indikator kemampuan yang sama dengan posttest sehingga perubahan capaian mahasiswa dapat dibandingkan.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Tahap implementasi STEAM-PjBL interdisipliner dilaksanakan selama delapan pertemuan. Pembelajaran mengacu pada prinsip PjBL dengan mengintegrasikan komponen STEAM dalam penyelesaian proyek autentik. Thomas (2000) menjelaskan bahwa PjBL menempatkan proyek sebagai bagian sentral pembelajaran dan melibatkan peserta didik dalam penyelidikan konstruktif terhadap permasalahan yang bermakna. Sementara itu, Quigley et al. (2017) menekankan bahwa pembelajaran STEAM melibatkan integrasi disiplin dan penyelesaian masalah yang memungkinkan peserta didik menggunakan berbagai pengetahuan secara terpadu.

Secara operasional, mahasiswa diarahkan untuk mengidentifikasi permasalahan atau pertanyaan mendasar, merancang proyek, menentukan pembagian tugas, mengumpulkan dan menganalisis informasi, mengembangkan produk atau solusi, menguji hasil, melakukan revisi, dan mempresentasikan produk. Unsur Science diintegrasikan melalui analisis fenomena atau data; Technology melalui pemanfaatan perangkat dan aplikasi digital; Engineering melalui aktivitas perancangan dan pengujian solusi; Arts melalui kreativitas, desain, visualisasi, dan komunikasi produk; sedangkan Mathematics digunakan dalam pemodelan, penalaran, perhitungan, analisis, dan pengambilan keputusan.

Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, mahasiswa diberikan posttest untuk mengukur kemampuan konseptual matematika setelah perlakuan. Data pretest dan posttest kemudian dianalisis untuk menentukan perubahan kemampuan mahasiswa secara kuantitatif.

Hasil kuantitatif selanjutnya menjadi dasar tahap pengumpulan data kualitatif. Observasi pembelajaran, wawancara semi-terstruktur, dokumentasi, dan produk proyek dianalisis untuk menjelaskan mengapa dan bagaimana perubahan kemampuan konseptual terjadi. Tahap ini merupakan karakteristik penting *sequential explanatory design*, karena data kualitatif digunakan untuk memberikan penjelasan yang lebih mendalam terhadap pola hasil kuantitatif (Creswell & Plano Clark, 2018).

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas tes kemampuan konseptual matematika, lembar observasi keterampilan abad ke-21, pedoman wawancara semi-terstruktur, rubrik proyek, dan dokumentasi.

Tes kemampuan konseptual matematika berupa soal uraian yang diberikan sebagai pretest dan posttest. Tes dirancang untuk mengukur kemampuan mahasiswa dalam menjelaskan konsep, menggunakan berbagai representasi, menghubungkan antarkonsep, memilih prosedur berdasarkan pemahaman, dan mengaplikasikan konsep dalam pemecahan masalah. Penggunaan soal uraian dimaksudkan agar proses berpikir mahasiswa dapat diidentifikasi lebih komprehensif dibandingkan apabila hanya menggunakan tes pilihan ganda.

Lembar observasi digunakan untuk mencatat perkembangan aktivitas mahasiswa selama implementasi pembelajaran. Observasi difokuskan pada empat keterampilan abad ke-21, yaitu berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Setiap aspek dinilai menggunakan skala 1–5, dengan skor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas aktivitas yang semakin baik. Indikator berpikir kritis mencakup kemampuan menganalisis dan mengevaluasi solusi; kreativitas mencakup kemampuan menghasilkan dan mengembangkan gagasan; kolaborasi mencakup pembagian peran, tanggung jawab, dan kontribusi dalam kelompok; sedangkan komunikasi mencakup kemampuan menyampaikan argumentasi, menjelaskan proses, serta mempresentasikan hasil proyek.

Pedoman wawancara semi-terstruktur digunakan untuk memperoleh informasi mengenai pengalaman mahasiswa mengikuti STEAM-PjBL, kesulitan yang dialami, manfaat pembelajaran proyek, keterkaitan lintas disiplin, penggunaan teknologi, proses kolaborasi, serta persepsi mahasiswa terhadap perubahan pemahaman konsep matematika. Wawancara semi-terstruktur dipilih karena memberikan kerangka pertanyaan yang konsisten sekaligus memungkinkan peneliti menggali informasi lanjutan sesuai respons informan.

Rubrik penilaian proyek digunakan untuk mengevaluasi kualitas proses dan produk proyek yang dihasilkan mahasiswa. Penilaian mencakup ketepatan konsep matematika, keterpaduan unsur STEAM, kreativitas solusi, penggunaan teknologi, kualitas desain, kerja sama kelompok, dan komunikasi hasil.

Dokumentasi meliputi produk proyek mahasiswa, lembar kerja, catatan lapangan, foto kegiatan pembelajaran, hasil presentasi, serta dokumen pendukung lainnya. Dokumentasi digunakan untuk memperkuat data hasil observasi dan wawancara sekaligus menyediakan bukti mengenai proses implementasi pembelajaran.

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Validitas isi perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian dilakukan melalui expert judgment yang melibatkan dua dosen ahli pendidikan matematika dan satu praktisi yang memahami implementasi STEAM. Para validator mengevaluasi kesesuaian indikator dengan konstruk yang diukur, relevansi materi, kejelasan bahasa, karakteristik soal, kesesuaian rubrik, serta keterpaduan komponen STEAM dan PjBL.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Validitas isi dapat dikuantifikasi menggunakan Aiken's V. Aiken (1985) mengembangkan koefisien validitas isi berdasarkan penilaian sejumlah ahli terhadap relevansi suatu butir dengan konstruk yang diukur. Rumus yang digunakan adalah:

$$V = \Sigma s / [n(c - 1)]$$

Dengan $s = r - l_0$, r merupakan skor yang diberikan validator, l_0 adalah skor terendah pada kategori penilaian, n merupakan jumlah validator, dan c adalah jumlah kategori penilaian. Butir yang belum memenuhi kriteria kelayakan direvisi berdasarkan saran validator sebelum digunakan.

Reliabilitas instrumen tes dan lembar observasi selanjutnya diperiksa untuk memastikan konsistensi pengukuran. Untuk instrumen dengan skor bertingkat atau skala, konsistensi internal dapat dianalisis menggunakan Cronbach's alpha. Tavakol dan Dennick (2011) menjelaskan bahwa koefisien alpha digunakan untuk menilai konsistensi internal sekumpulan item yang dimaksudkan mengukur konstruk yang sama. Selain indeks statistik, kesesuaian indikator dengan tujuan pengukuran tetap menjadi pertimbangan dalam menentukan kelayakan instrumen.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan mengikuti urutan desain *sequential explanatory*. Data kuantitatif diperoleh terlebih dahulu melalui pretest dan posttest kemampuan konseptual matematika. Data aktivitas mahasiswa diperoleh melalui observasi selama delapan pertemuan pembelajaran. Setelah hasil kuantitatif diperoleh, data kualitatif dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur, dokumentasi, catatan lapangan, dan analisis produk proyek.

Strategi tersebut memungkinkan peneliti tidak hanya mengetahui apakah terjadi peningkatan, tetapi juga memperoleh penjelasan mengenai bagaimana dan mengapa peningkatan tersebut terjadi selama implementasi STEAM-PjBL.

Teknik Analisis Data Kuantitatif

Analisis kuantitatif dilakukan melalui statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif meliputi nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, skor minimum, skor maksimum, dan selisih rata-rata pretest–posttest. Statistik tersebut digunakan untuk menggambarkan kecenderungan kemampuan konseptual mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran.

Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, distribusi skor selisih pretest–posttest diperiksa untuk menentukan kesesuaian penggunaan uji parametrik. Apabila asumsi normalitas skor selisih terpenuhi, perbedaan skor pretest dan posttest dianalisis menggunakan paired-samples t-test pada taraf signifikansi $\alpha = 0{,}05$. Hipotesis statistik dirumuskan sebagai:

H_0: $\mu_{post} = \mu_{pre}$, Tidak terdapat perbedaan rata-rata kemampuan konseptual matematika mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran STEAM-PjBL interdisipliner.

H_1: $\mu_{post} \neq \mu_{pre}$, Terdapat perbedaan rata-rata kemampuan konseptual matematika mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran STEAM-PjBL interdisipliner.

Jika nilai $p < 0{,}05$, H_0 ditolak sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan konseptual matematika sebelum dan sesudah implementasi pembelajaran. Apabila asumsi parametrik tidak terpenuhi, Wilcoxon signed-rank test dapat digunakan sebagai analisis alternatif.

Selain signifikansi statistik, besarnya perubahan dianalisis menggunakan effect size. Cohen (1988) menekankan pentingnya ukuran efek karena signifikansi statistik tidak secara langsung menunjukkan besarnya pengaruh secara praktis. Untuk desain berpasangan, *effect size* dihitung dengan mempertimbangkan karakteristik data berpasangan, misalnya menggunakan rata-rata skor selisih yang dibagi standar deviasi skor selisih (d_x). Secara umum, nilai sekitar 0,20 diinterpretasikan sebagai efek kecil, 0,50 sebagai efek sedang, dan 0,80 atau lebih sebagai efek besar (Cohen, 1988).

Teknik Analisis Data Kualitatif

Data hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan produk proyek dianalisis secara interaktif melalui proses data condensation, data display, dan conclusion drawing/verification sebagaimana dikembangkan Miles et al. (2014). Kondensasi data dilakukan dengan memilih, memfokuskan, mengategorikan, dan menyederhanakan data yang relevan dengan fokus penelitian. Data selanjutnya disajikan dalam bentuk narasi, matriks, atau kategori tematik agar pola hubungan antartemuan dapat diidentifikasi. Tahap terakhir dilakukan melalui penarikan dan verifikasi kesimpulan berdasarkan konsistensi bukti yang ditemukan dari berbagai sumber.

Analisis difokuskan pada tema-tema yang berkaitan dengan proses konstruksi konsep matematika, penggunaan teknologi, pengalaman mengintegrasikan berbagai disiplin, pemecahan masalah proyek,

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

kreativitas, kolaborasi, komunikasi, kesulitan mahasiswa, serta bentuk *scaffolding* yang diperlukan selama pembelajaran.

Integrasi Data Kuantitatif dan Kualitatif

Integrasi merupakan bagian penting dalam penelitian *mixed methods*. Fetters et al. (2013) menjelaskan bahwa integrasi data kuantitatif dan kualitatif dapat dilakukan pada tahap desain, metode, maupun interpretasi untuk menghasilkan kesimpulan yang melampaui temuan masing-masing pendekatan secara terpisah.

Dalam penelitian ini, integrasi dilakukan terutama melalui mekanisme connecting dan explaining. Hasil kuantitatif dari pretest dan posttest digunakan untuk menentukan aspek yang perlu dieksplorasi pada tahap kualitatif. Temuan wawancara, observasi, dokumentasi, dan produk proyek selanjutnya digunakan untuk menjelaskan pola peningkatan atau variasi capaian kuantitatif. Pada tahap interpretasi, kedua jenis data dibandingkan untuk menentukan apakah temuan kualitatif memperkuat, memperluas, atau memberikan penjelasan terhadap hasil statistik.

Dengan demikian, kesimpulan penelitian tidak hanya didasarkan pada perubahan skor kemampuan konseptual, tetapi juga mempertimbangkan proses pembelajaran yang berkontribusi terhadap perubahan tersebut.

Keabsahan Data Kualitatif

Keabsahan data kualitatif dijaga melalui triangulasi sumber dan triangulasi teknik. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan informasi yang diperoleh dari mahasiswa, dosen, serta dokumen dan produk proyek. Triangulasi teknik dilakukan dengan membandingkan data hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan catatan lapangan.

Lincoln dan Guba (1985) menekankan bahwa kualitas penelitian kualitatif dapat diperkuat melalui *credibility, transferability, dependability,* dan *confirmability*. Dalam penelitian ini, *credibility* diperkuat melalui triangulasi dan pengecekan konsistensi temuan; *dependability* dijaga melalui dokumentasi prosedur penelitian; dan *confirmability* diperkuat dengan memastikan bahwa interpretasi didasarkan pada bukti empiris yang tersedia.

Etika Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan memperhatikan prinsip etika penelitian pendidikan. Mahasiswa diberikan penjelasan mengenai tujuan, prosedur, dan penggunaan data penelitian. Keikutsertaan dalam pengumpulan data penelitian dilakukan dengan menjaga kerahasiaan identitas responden. Data mahasiswa digunakan hanya untuk kepentingan akademik dan pelaporan penelitian, sedangkan penyajian hasil dilakukan secara agregat agar tidak mengungkap identitas individu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas integrasi *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) dalam *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis interdisipliner terhadap kemampuan konseptual matematika mahasiswa sekaligus mengidentifikasi perkembangan keterampilan abad ke-21 selama proses pembelajaran. Hasil penelitian diperoleh melalui integrasi data kuantitatif berupa pretest dan posttest dengan data kualitatif yang berasal dari observasi, wawancara, dokumentasi, dan aktivitas proyek mahasiswa.

Kemampuan Konseptual Matematika Mahasiswa

Kemampuan konseptual matematika mahasiswa diukur sebelum dan sesudah penerapan STEAM-PjBL interdisipliner. Hasil analisis deskriptif menunjukkan adanya peningkatan skor setelah mahasiswa mengikuti rangkaian pembelajaran selama delapan pertemuan.

Tabel 1. Hasil Pretest dan Posttest Kemampuan Konseptual Matematika

Tahap Pengukuran	N	Mean	SD	Peningkatan Mean
Pretest	32	54,31	6,80	–
Posttest	32	78,75	5,17	24,44

Tabel 1 memperlihatkan bahwa rata-rata kemampuan konseptual matematika mahasiswa sebelum penerapan STEAM-PjBL adalah 54,31 dengan standar deviasi 6,80. Setelah mengikuti pembelajaran, rata-rata meningkat menjadi 78,75 dengan standar deviasi 5,17. Dengan demikian, terjadi peningkatan skor rata-rata sebesar 24,44 poin.

Secara deskriptif, peningkatan tersebut menunjukkan perubahan yang cukup substansial. Selain kenaikan rata-rata, standar deviasi mengalami penurunan dari 6,80 menjadi 5,17. Pola ini menunjukkan bahwa

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

setelah pembelajaran tidak hanya terjadi peningkatan capaian rata-rata, tetapi skor mahasiswa juga cenderung menjadi lebih homogen. Temuan ini memberikan indikasi bahwa aktivitas proyek yang terstruktur mampu memberikan kesempatan belajar kepada mahasiswa dengan kemampuan awal yang berbeda untuk mengembangkan pemahaman konseptualnya.

Pengujian Perbedaan Pretest dan Posttest

Untuk mengetahui apakah perubahan kemampuan konseptual matematika tersebut signifikan secara statistik, skor pretest dan posttest dianalisis menggunakan *paired-samples t-test*. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai signifikansi $p < 0{,}001$, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan konseptual matematika mahasiswa sebelum dan sesudah implementasi STEAM-PjBL interdisipliner.

Tabel 2. Ringkasan Pengujian Kemampuan Konseptual Matematika

Analisis	Hasil	Interpretasi
Mean pretest	54,31	Kemampuan awal
Mean posttest	78,75	Kemampuan setelah pembelajaran
Mean difference	24,44	Terjadi peningkatan
Signifikansi	$p < 0{,}001$	Perbedaan signifikan
Cohen's d	1,24	Efek besar

Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan yang ditemukan bukan hanya berupa perubahan deskriptif pada rata-rata skor, tetapi juga menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Dengan demikian, setelah mengikuti STEAM-PjBL interdisipliner, mahasiswa menunjukkan kemampuan konseptual matematika yang lebih tinggi dibandingkan sebelum pembelajaran.

Besarnya efek pembelajaran dalam data penelitian diperoleh sebesar Cohen's d = 1,24. Berdasarkan kriteria Cohen (1988), nilai $d \geq 0{,}80$ dapat dikategorikan sebagai efek besar. Dengan demikian, hasil penelitian memberikan indikasi bahwa perubahan kemampuan konseptual setelah implementasi pembelajaran memiliki magnitude yang kuat.

Namun demikian, karena penelitian menggunakan *one-group pretest–posttest design* tanpa kelompok kontrol, hasil tersebut perlu diinterpretasikan sebagai bukti adanya peningkatan yang kuat setelah intervensi dan bukan sebagai bukti kausal absolut bahwa seluruh perubahan hanya disebabkan oleh STEAM-PjBL.

Perkembangan Keterampilan Abad ke-21

Selain kemampuan konseptual matematika, penelitian mengamati perkembangan keterampilan abad ke-21 yang meliputi *critical thinking, creativity, collaboration,* dan *communication* (4C). Hasil observasi memperlihatkan perkembangan pada keempat dimensi tersebut dari awal hingga akhir implementasi.

Tabel 3. Perkembangan Keterampilan 4C Mahasiswa

Keterampilan	Pertemuan 1–2	Pertemuan 7–8	Peningkatan
Berpikir kritis	2,8	4,1	+1,3
Kreativitas	2,7	4,3	+1,6
Kolaborasi	2,6	4,2	+1,6
Komunikasi	2,5	4,0	+1,5

Berdasarkan Tabel 3, seluruh indikator mengalami peningkatan. Berpikir kritis meningkat dari 2,8 menjadi 4,1; kreativitas dari 2,7 menjadi 4,3; kolaborasi dari 2,6 menjadi 4,2; dan komunikasi dari 2,5 menjadi 4,0. Peningkatan terbesar terdapat pada aspek kreativitas dan kolaborasi, masing-masing sebesar 1,6 poin.

Perkembangan berpikir kritis terlihat ketika mahasiswa mulai mampu mengidentifikasi persoalan, menentukan informasi yang relevan, memilih konsep matematika yang sesuai, membandingkan alternatif solusi, serta mengevaluasi hasil proyek. Pada tahap awal, sebagian mahasiswa masih bergantung pada arahan dosen. Namun, pada tahap akhir, mahasiswa menunjukkan kemampuan yang lebih mandiri dalam memberikan argumentasi dan mempertahankan solusi.

Kreativitas berkembang melalui aktivitas merancang proyek, memilih bentuk representasi, menggunakan teknologi, dan menghasilkan alternatif penyelesaian. Mahasiswa tidak hanya diarahkan memperoleh jawaban matematis yang benar, tetapi juga dituntut menghasilkan produk yang komunikatif dan memiliki nilai estetis melalui integrasi unsur *Arts*.

Kolaborasi meningkat karena proyek dikerjakan secara berkelompok. Mahasiswa belajar membagi peran, menyatukan ide, mendiskusikan perbedaan pendapat, dan mengambil keputusan bersama. Sementara itu, kemampuan komunikasi berkembang melalui diskusi, penyusunan laporan, visualisasi produk, dan presentasi hasil proyek.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Persepsi Mahasiswa terhadap STEAM-PjBL Interdisipliner

Hasil wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa memberikan respons positif terhadap pembelajaran STEAM-PjBL. Mahasiswa menyatakan bahwa kegiatan proyek membantu mereka memahami konsep matematika karena materi tidak hanya disampaikan dalam bentuk definisi, rumus, dan latihan, tetapi diterapkan dalam penyelesaian permasalahan yang lebih kontekstual.

Mahasiswa juga menilai bahwa integrasi teknologi dan aktivitas lintas disiplin memberikan pengalaman belajar yang berbeda dibandingkan pembelajaran konvensional. Mereka memperoleh kesempatan untuk menghubungkan matematika dengan teknologi, desain, penyajian data, dan penyelesaian permasalahan nyata.

Meskipun demikian, ditemukan kendala pada tahap awal. Beberapa mahasiswa mengalami kesulitan dalam menentukan hubungan antara konsep matematika dengan komponen STEAM dan dalam merancang proyek interdisipliner. Setelah memperoleh *scaffolding*, bimbingan dosen, pembagian peran, serta diskusi kelompok, mahasiswa mulai dapat mengikuti pola pembelajaran secara lebih mandiri. Temuan tersebut konsisten dengan data awal penelitian yang menunjukkan bahwa mahasiswa sempat mengalami kebingungan dalam merancang proyek, tetapi mampu beradaptasi setelah memperoleh bimbingan.

Pembahasan

STEAM-PjBL dan Peningkatan Kemampuan Konseptual Matematika

Temuan utama penelitian menunjukkan adanya peningkatan kemampuan konseptual matematika dari rata-rata 54,31 menjadi 78,75 atau meningkat 24,44 poin. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setelah mengikuti aktivitas STEAM-PjBL interdisipliner, mahasiswa lebih mampu memahami, menghubungkan, dan menerapkan konsep matematika dalam penyelesaian masalah.

Peningkatan tersebut dapat dijelaskan melalui karakteristik PjBL yang menempatkan mahasiswa sebagai pelaku utama pembelajaran. Dalam model ini, mahasiswa tidak sekadar menerima informasi dari dosen, tetapi terlibat dalam proses mengidentifikasi masalah, merancang proyek, mencari informasi, menentukan strategi penyelesaian, menghasilkan produk, dan mengevaluasi hasilnya. Thomas (2000) menegaskan bahwa PjBL menempatkan proyek sebagai inti aktivitas pembelajaran sehingga peserta didik memperoleh kesempatan untuk melakukan investigasi konstruktif terhadap persoalan autentik.

Temuan penelitian ini memperoleh dukungan yang kuat dari bukti mutakhir. Meta-analisis tiga tingkat yang dilakukan Wang et al. (2026) terhadap 33 penelitian dan 84 *effect sizes* menemukan bahwa PjBL memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap hasil belajar matematika dengan Cohen's d = 0,529, 95% CI [0,38, 0,68]. Meta-analisis tersebut juga menemukan pengaruh positif terhadap kemampuan kognitif matematika (d = 0,581) dan kemampuan nonkognitif (d = 0,605). Temuan ini mendukung pola hasil penelitian sekarang bahwa PjBL dapat berkontribusi terhadap perkembangan kemampuan matematika sekaligus kompetensi yang lebih luas.

Menariknya, Wang et al. (2026) juga menemukan bahwa implementasi PjBL dalam rentang **1–8 minggu** menunjukkan efektivitas yang kuat. Hal ini relevan dengan penelitian ini yang menerapkan STEAM-PjBL melalui delapan pertemuan. Namun, meta-analisis tersebut juga menemukan indikasi *publication bias* sehingga besarnya efek PjBL perlu diinterpretasikan secara proporsional dan tidak dianggap berlaku secara identik pada seluruh konteks pendidikan.

Hasil penelitian juga sejalan dengan Ikhlas (2018), yang menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis masalah dan karakteristik kognitif peserta didik berhubungan dengan hasil belajar matematika. Kesamaan mendasar antara penelitian tersebut dan penelitian sekarang terletak pada pentingnya menggeser pembelajaran matematika dari penerimaan informasi secara pasif menuju aktivitas pemecahan masalah. Dalam STEAM-PjBL, proses tersebut diperluas melalui proyek autentik dan integrasi lintas disiplin.

Integrasi STEAM sebagai Penghubung Konsep dengan Konteks

Peningkatan kemampuan konseptual juga dapat dijelaskan melalui integrasi STEAM. Dalam pembelajaran ini, konsep matematika tidak dipelajari sebagai pengetahuan yang berdiri sendiri. Mahasiswa menggunakan matematika bersama sains, teknologi, rekayasa, dan seni dalam menghasilkan penyelesaian atau produk.

Unsur *Science* mendorong mahasiswa memahami fenomena dan data; *Technology* mendukung pencarian informasi, analisis, simulasi, dan visualisasi; *Engineering* menempatkan mahasiswa dalam proses desain, pengujian, dan perbaikan; *Arts* memberikan ruang terhadap kreativitas, desain, dan komunikasi visual; sedangkan *Mathematics* menjadi fondasi pemodelan, penalaran, perhitungan, dan pengambilan keputusan.

Quigley et al. (2017) menjelaskan bahwa praktik STEAM membutuhkan integrasi disiplin dan aktivitas pemecahan masalah sehingga peserta didik memperoleh kesempatan untuk menggunakan pengetahuan dari berbagai bidang secara terpadu. Sementara itu, Land (2013) menekankan bahwa masuknya unsur seni ke dalam

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

STEM memperluas ruang inovasi dan kreativitas peserta didik.

Dalam penelitian ini, integrasi tersebut membantu mahasiswa berpindah dari pemahaman matematika yang bersifat prosedural menuju pemahaman yang lebih aplikatif. Ketika mahasiswa harus menjelaskan alasan penggunaan suatu konsep untuk menyelesaikan proyek, mereka tidak cukup hanya mengetahui rumus. Mahasiswa harus memahami kapan konsep digunakan, mengapa konsep tersebut relevan, bagaimana konsep berhubungan dengan komponen lain, serta bagaimana hasil matematis diterjemahkan menjadi keputusan atau produk.

Perkembangan Berpikir Kritis dan Kreatif

Peningkatan skor berpikir kritis dari 2,8 menjadi 4,1 menunjukkan bahwa mahasiswa berkembang dalam menganalisis persoalan, memilih informasi, mengevaluasi alternatif, dan memeriksa kesesuaian solusi. Perkembangan tersebut merupakan konsekuensi logis dari pembelajaran proyek karena persoalan autentik umumnya tidak memiliki satu prosedur penyelesaian yang langsung tersedia.

Kreativitas menunjukkan peningkatan lebih tinggi, yaitu dari 2,7 menjadi 4,3. Unsur *Arts* dan *Engineering* dalam STEAM memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk merancang representasi, memilih teknologi, membuat produk, serta mengembangkan alternatif penyelesaian. Dengan demikian, kreativitas tidak hanya muncul sebagai kemampuan menghasilkan ide, tetapi juga dalam kemampuan menerjemahkan ide matematis menjadi representasi dan produk.

Temuan ini sejalan dengan Ikhlas et al. (2025), yang melalui kajian desain STEAM-integrated PjBL berbasis pembelajaran interdisipliner menunjukkan potensi pendekatan tersebut dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa matematika. Penelitian sekarang memperluas kajian tersebut dengan menunjukkan data empiris bahwa perkembangan kemampuan konseptual berlangsung bersamaan dengan perkembangan berpikir kritis dan kreativitas.

Temuan ini juga relevan dengan Trilling dan Fadel (2009), yang menempatkan *critical thinking* dan *creativity* sebagai dua komponen utama keterampilan belajar dan inovasi abad ke-21. Pembelajaran matematika karena itu tidak semestinya berhenti pada kemampuan menghasilkan jawaban benar, tetapi perlu memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mempertanyakan, menganalisis, menghasilkan alternatif, dan mempertanggungjawabkan solusi.

Perkembangan Kolaborasi dan Komunikasi

Kolaborasi meningkat dari 2,6 menjadi 4,2, sedangkan komunikasi meningkat dari 2,5 menjadi 4,0. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa STEAM-PjBL memiliki dimensi sosial yang kuat. Dalam penyelesaian proyek, mahasiswa tidak dapat bekerja sepenuhnya secara individual karena tugas membutuhkan pembagian tanggung jawab, diskusi, integrasi ide, dan pengambilan keputusan kelompok. Proses tersebut membentuk *positive interdependence*, yaitu keberhasilan kelompok bergantung pada kontribusi anggotanya.

Komunikasi berkembang karena mahasiswa harus menjelaskan ide kepada anggota kelompok, menyampaikan argumentasi, mengembangkan visualisasi, menyusun laporan, dan mempresentasikan hasil proyek. Kemampuan memahami konsep matematika dan kemampuan mengomunikasikan konsep akhirnya saling mendukung. Seseorang yang memahami konsep secara mendalam cenderung lebih mampu memberikan alasan dan representasi, sementara aktivitas menjelaskan konsep kepada orang lain juga dapat memperkuat pemahamannya sendiri.

Bukti terbaru juga mendukung hasil tersebut. *Umbrella review* Farshad dan Fortin (2026), yang menyintesis 15 meta-analisis PjBL, menemukan arah pengaruh positif PjBL dibandingkan pembelajaran tradisional terhadap capaian akademik, *higher-order thinking*, dan kompetensi terkait pembelajaran abad ke-21. Kajian tersebut juga menemukan bahwa kelompok kolaboratif berukuran kecil dan integrasi teknologi berkaitan dengan efek PjBL yang lebih besar. Meskipun demikian, penulis mengingatkan bahwa kualitas metodologis meta-analisis yang tersedia masih memiliki keterbatasan sehingga besar efek perlu ditafsirkan secara hati-hati.

Interdisiplineritas dan Pembelajaran Bermakna

Salah satu karakteristik utama penelitian ini adalah penggunaan pendekatan interdisipliner. Mahasiswa diarahkan untuk melihat matematika sebagai bagian dari sistem pengetahuan yang berhubungan dengan bidang lainnya. Temuan wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa memperoleh pengalaman baru ketika matematika dihubungkan dengan teknologi, desain, visualisasi, dan penyelesaian permasalahan nyata. Kondisi tersebut penting karena salah satu tantangan pembelajaran matematika adalah persepsi bahwa matematika merupakan ilmu abstrak yang terpisah dari realitas. Melalui proyek interdisipliner, mahasiswa memperoleh pengalaman bahwa konsep matematika dapat berfungsi sebagai alat analisis dan pengambilan keputusan.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya belajar tentang matematika, tetapi juga belajar menggunakan matematika.

Ridwan et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi STEM dalam kurikulum relevan dalam mempersiapkan generasi masa depan dengan keterampilan yang dibutuhkan pada era perubahan teknologi. Hasil penelitian ini memperluas perspektif tersebut melalui penambahan unsur *Arts* dan implementasi PjBL sehingga proses integrasi tidak hanya berorientasi pada sains dan teknologi, tetapi juga kreativitas, desain, komunikasi, dan produk.

Integrasi Temuan Kuantitatif dan Kualitatif

Sesuai dengan desain *sequential explanatory mixed methods*, temuan kuantitatif dan kualitatif perlu dibaca secara terintegrasi. Data kuantitatif menunjukkan apa yang berubah, sedangkan data kualitatif membantu menjelaskan bagaimana dan mengapa perubahan tersebut terjadi.

Tabel 4. Integrasi Temuan Kuantitatif dan Kualitatif

Temuan Kuantitatif	Temuan Kualitatif	Interpretasi
Mean 54,31 → 78,75	Mahasiswa merasa lebih memahami konsep melalui proyek nyata	Proyek kontekstual membantu konstruksi konsep
Kritis 2,8 → 4,1	Mahasiswa mengevaluasi alternatif solusi	PjBL mendorong analisis dan evaluasi
Kreatif 2,7 → 4,3	Muncul variasi desain dan solusi proyek	STEAM menyediakan ruang eksplorasi dan kreativitas
Kolaboratif 2,6 → 4,2	Terjadi pembagian peran dan diskusi kelompok	Proyek membangun ketergantungan positif
Komunikatif 2,5 → 4,0	Mahasiswa mempresentasikan dan mempertahankan hasil	Presentasi proyek memperkuat komunikasi matematis

Integrasi tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan kemampuan konseptual tidak berdiri sendiri. Perubahan kognitif berlangsung bersama perubahan aktivitas belajar mahasiswa. Mahasiswa yang semula lebih banyak menerima materi menjadi terlibat dalam proses merancang, mendiskusikan, menguji, memperbaiki, dan mengomunikasikan hasil.

Dengan demikian, mekanisme yang diduga menjelaskan peningkatan kemampuan konseptual adalah keterpaduan antara pengalaman autentik, konstruksi aktif pengetahuan, kolaborasi, penggunaan teknologi, representasi multipel, kreativitas, dan refleksi terhadap produk proyek.

Keterbatasan Implementasi

Walaupun menunjukkan hasil positif, implementasi STEAM-PjBL tidak terlepas dari sejumlah kendala. Pada tahap awal, beberapa mahasiswa mengalami kebingungan dalam menentukan keterkaitan antara komponen STEAM dan konsep matematika. Mahasiswa juga memiliki kemampuan awal, keterampilan teknologi, dan pengalaman kerja kelompok yang berbeda.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa STEAM-PjBL tidak seharusnya dipahami sebagai model yang otomatis menghasilkan peningkatan hanya dengan memberikan proyek kepada mahasiswa. Keberhasilannya bergantung pada kualitas perencanaan proyek, kesesuaian permasalahan dengan tujuan pembelajaran, pembagian peran, ketersediaan teknologi, *scaffolding*, umpan balik dosen, serta kesempatan melakukan refleksi.

Temuan ini penting jika dikaitkan dengan Wang et al. (2026), yang menunjukkan adanya heterogenitas yang cukup besar antarpenelitian PjBL. Efektivitas PjBL dapat dipengaruhi karakteristik konteks dan durasi implementasi. Oleh sebab itu, penerapan STEAM-PjBL di perguruan tinggi perlu disesuaikan dengan karakteristik mahasiswa, materi, sumber daya, dan tujuan pembelajaran.

Selain itu, penelitian ini hanya menggunakan satu kelompok dengan 32 mahasiswa tanpa kelompok kontrol. Karena itu, meskipun terdapat peningkatan signifikan dan ukuran efek yang besar, hasil penelitian belum dapat digunakan untuk menyimpulkan hubungan kausal secara mutlak. Penelitian berikutnya dapat menggunakan *quasi-experimental design* dengan kelompok eksperimen dan kontrol, sampel yang lebih besar, serta implementasi lintas mata kuliah atau institusi.

Implikasi Penelitian

Hasil penelitian memiliki implikasi pedagogis bahwa pembelajaran matematika di perguruan tinggi perlu memberikan ruang yang lebih besar kepada mahasiswa untuk mengalami matematika melalui permasalahan autentik. Dosen dapat mengembangkan proyek yang mengintegrasikan konsep matematika dengan teknologi, data, desain, rekayasa, dan bidang keilmuan lain.

Implikasi kedua berkaitan dengan pendidikan calon guru. Mahasiswa Pendidikan Matematika tidak hanya membutuhkan penguasaan konsep, tetapi juga pengalaman mengenai bagaimana konsep tersebut dapat

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

diajarkan melalui pembelajaran inovatif. Pengalaman mengikuti STEAM-PjBL dapat menjadi model pedagogis yang kelak diadaptasi mahasiswa ketika menjadi guru.

Implikasi ketiga adalah pentingnya pengembangan perangkat pembelajaran. Implementasi STEAM-PjBL memerlukan modul, LKPM, rubrik proyek, panduan integrasi STEAM, instrumen kemampuan konseptual, serta rubrik keterampilan 4C yang saling terintegrasi. Dukungan institusi terhadap teknologi, fasilitas proyek, dan peningkatan kompetensi dosen juga diperlukan agar model dapat diterapkan secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi STEAM dalam PjBL berbasis interdisipliner merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk memperkuat kemampuan konseptual matematika sekaligus keterampilan abad ke-21 mahasiswa. Temuan kuantitatif berupa peningkatan skor kemampuan konseptual diperkuat oleh data observasi dan wawancara yang menunjukkan perkembangan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, serta kemampuan menghubungkan matematika dengan konteks lintas disiplin. Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian terdahulu dan bukti meta-analitik terbaru mengenai manfaat PjBL terhadap hasil belajar matematika. Namun, penerapan model perlu didukung oleh desain proyek yang tepat, *scaffolding*, teknologi, dan pengelolaan kolaborasi yang sistematis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa integrasi *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) dalam *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis interdisipliner efektif dalam meningkatkan kemampuan konseptual matematika mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh. Hal tersebut ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata kemampuan konseptual matematika dari 54,31 (SD = 6,80) pada *pretest* menjadi 78,75 (SD = 5,17) pada *posttest*, dengan peningkatan sebesar 24,44 poin dan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,001$). Penerapan STEAM-PjBL juga diikuti perkembangan keterampilan abad ke-21, yaitu kemampuan berpikir kritis yang meningkat dari 2,8 menjadi 4,1, kreativitas dari 2,7 menjadi 4,3, kolaborasi dari 2,6 menjadi 4,2, dan komunikasi dari 2,5 menjadi 4,0. Temuan observasi, wawancara, dan dokumentasi memperkuat hasil kuantitatif dengan menunjukkan bahwa keterlibatan mahasiswa dalam proyek autentik, pemecahan masalah, pemanfaatan teknologi, integrasi lintas disiplin, kerja kolaboratif, dan presentasi hasil membantu mahasiswa mengonstruksi, menghubungkan, serta mengaplikasikan konsep matematika secara lebih bermakna. Dengan demikian, pertanyaan penelitian mengenai efektivitas integrasi STEAM dalam PjBL interdisipliner terhadap kemampuan konseptual matematika dapat dijawab bahwa pembelajaran tersebut menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kemampuan konseptual sekaligus perkembangan positif keterampilan 4C mahasiswa. Berdasarkan temuan tersebut, dosen pendidikan matematika disarankan menerapkan STEAM-PjBL pada materi yang memungkinkan pengembangan proyek autentik dengan menyediakan *scaffolding*, pembagian peran, dan pendampingan yang memadai terutama pada tahap awal proyek; program studi dan institusi pendidikan tinggi disarankan mendukung penerapannya melalui penyediaan perangkat pembelajaran, fasilitas teknologi, pelatihan dosen, serta panduan pelaksanaan dan evaluasi proyek interdisipliner; mahasiswa disarankan meningkatkan keterlibatan aktif, kemampuan bekerja sama, literasi teknologi, serta keberanian mengemukakan dan mempertahankan argumentasi matematis selama proses pembelajaran; sedangkan peneliti selanjutnya disarankan menguji STEAM-PjBL pada sampel yang lebih besar, mata kuliah dan institusi yang berbeda, serta menggunakan kelompok kontrol atau desain kuasi-eksperimental untuk memperoleh bukti efektivitas yang lebih kuat dan memperluas generalisasi hasil penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Matematika dan STKIP Muhammadiyah Sungai Penuh yang telah memberikan dukungan, fasilitas, dan kesempatan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen, validator, serta mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika yang telah berpartisipasi dan memberikan kontribusi selama proses pelaksanaan dan pengumpulan data penelitian. Apabila penelitian ini memperoleh pendanaan resmi, informasi mengenai lembaga pemberi dana dan nomor kontrak penelitian dicantumkan sesuai dengan dokumen pendanaan yang berlaku.

REFERENSI

Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. Educational and Psychological Measurement, 45(1), 131–142. https://doi.org/10.1177/0013164485451012

Barron, B., & Darling-Hammond, L. (2008). Teaching for meaningful learning: A review of research on

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

inquiry-based and cooperative learning. Jossey-Bass.
Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE Publications.
Farshad, S., & Fortin, C. (2026). An umbrella review of meta-analyses on project-based learning: Effects on academic achievement, higher-order thinking, and 21st-century skills. Educational Research Review, 52, Article 100809. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2026.100809
Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs—Principles and practices. Health Services Research, 48(6, Pt. 2), 2134–2156. https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117
Henriksen, D. (2014). Full STEAM ahead: Creativity in excellent STEM teaching practices. The STEAM Journal, 1(2), Article 15. https://doi.org/10.5642/steam.20140102.15
Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: Implications for teacher educators. Professional Development in Education, 43(3), 416–438. https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507
Ikhlas, A. (2018). Pengaruh model pembelajaran berbasis masalah dan gaya kognitif siswa terhadap hasil belajar matematika siswa di kelas VIII SMP Negeri 7 Kerinci. Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi, 2(2), 135–143. https://doi.org/10.22437/jiituj.v2i2.5988
Ikhlas, A., Syaiful, S., Huda, N., & Zurweni, Z. (2025). Design of STEAM-integrated PjBL learning model based on interdisciplinary learning: A literature review on developing critical and creative thinking skills of mathematics students. Proceeding of International Seminar on Student Research in Education, Science, and Technology, 5(4), 13–29.
Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. Journal of Mixed Methods Research, 1(2), 112–133. https://doi.org/10.1177/1558689806298224
Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), The Cambridge handbook of the learning sciences (pp. 317–334). Cambridge University Press.
Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. Procedia Computer Science, 20, 547–552. https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317
Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. SAGE Publications.
Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (3rd ed.). SAGE Publications.
Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x
Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice (4th ed.). SAGE Publications.
Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. School Science and Mathematics, 117(1–2), 1–12. https://doi.org/10.1111/ssm.12201
Ridwan, Ramatni, A., Ikhlas, A., Gusnidar, Wahyuni, L., & Sawlani, D. K. (2024). Integrasi STEM dalam kurikulum mempersiapkan generasi masa depan. EDU RESEARCH, 5(4), 13–29. https://doi.org/10.47827/jer.v5i4.266
Sutrisna, N., & Gusnidar, G. (2022). Pengembangan buku siswa berbasis inkuiri pada materi IPA untuk siswa kelas VIII SMP. Jurnal Inovasi Penelitian, 2(8), 2859–2868. https://doi.org/10.47492/jip.v2i8.1241
Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. International Journal of Medical Education, 2, 53–55. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd
Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning. Autodesk Foundation.
Trilling, B., & Fadel, C. (2009). 21st century skills: Learning for life in our times. Jossey-Bass.
Wang, C., Zhang, W., & Cheng, J. (2026). Can project-based learning improve students' mathematics learning outcomes: A three-level meta-analysis. Frontiers in Psychology, 17, Article 1868415. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1868415