

Pembelajaran PBL Berbasis *Ethno-STEM* dan *Augmented Reality*: Proses dan Respon Mahasiswa

PBL Learning Based on Ethno-STEM and Augmented Reality: Student Process and Response

Sari Saraswati^{1*}, Meriana Wahyu Nugroho², Esty Saraswati Nur Hartiningrum³
sarisaraswati@unhasy.ac.id^{1*}, merianawahyunugroho@unhasy.ac.id²,
esty.saraswati88@gmail.com³

Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang^{1,2}
Universitas PGRI Jombang³

Abstrak

Studi ini mendeskripsikan implementasi pembelajaran *Problem-Based Learning* (PBL) menggunakan e-modul berbasis *Ethno-STEM* berbantuan *Augmented Reality* (AR) pada mata kuliah Kalkulus Integral serta respon mahasiswa terhadap proses pembelajaran dan kemampuan berpikir kritis mereka. Penelitian menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan subjek 37 mahasiswa Pendidikan Matematika. Pembelajaran dirancang dengan mengintegrasikan konteks budaya lokal ke dalam aktivitas STEM berbasis AR. Data dikumpulkan melalui tes berpikir kritis dan kuesioner respon mahasiswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis mahasiswa berada pada kategori cukup hingga baik, terutama pada aspek identifikasi fokus dan penalaran, sementara aspek inferensi dan refleksi masih perlu ditingkatkan. Respon mahasiswa terhadap proses pembelajaran tergolong sangat positif, khususnya dalam motivasi, kolaborasi, dan pengalaman belajar. Integrasi PBL, Ethno-STEM, dan AR menciptakan pembelajaran yang kontekstual dan bermakna.

Kata kunci: *Problem-Based Learning, Ethno-STEM, Augmented Reality*

Abstract

This study describes the implementation of Problem-Based Learning (PBL) using Ethno-STEM-based e-modules, assisted by Augmented Reality (AR), in the Integral Calculus course, and examines students' responses to the learning process and the development of critical thinking skills. The study employed a descriptive qualitative method with 37 Mathematics Education as subjects. The learning was designed by integrating local cultural contexts into AR-based STEM activities. Data were collected through critical thinking tests and student response questionnaires. The results showed that students' critical thinking skills were in the fair to good category, especially in the aspects of focus identification and reasoning, while the inference and reflection aspects still needed improvement. Students' responses to the learning process were very positive, especially in motivation, collaboration, and learning experiences. The integration of PBL, Ethno-STEM, and AR created contextual and meaningful learning.

Keywords: *Problem-Based Learning, Ethno-STEM, Augmented Reality*

PENDAHULUAN

Kalkulus integral merupakan salah satu bagian penting dalam kurikulum pendidikan tinggi, terutama bagi mahasiswa program studi pendidikan matematika. Kalkulus merupakan mata kuliah yang mengkaji tentang dasar

matematika, seperti fungsi, limit, turunan, dan integral yang merupakan prasyarat untuk mempelajari mata kuliah lain (Saraswati & Rodliyah, 2020). Di perguruan tinggi, kalkulus integral merupakan konsep utama dari mata kuliah kalkulus setelah kalkulus diferensial dan berlanjut pada kalkulus peubah banyak. Bagi mahasiswa program studi pendidikan matematika, selain sebagai materi dasar juga digunakan sebagai materi yang akan diajarkan di Sekolah Menengah.

Meskipun kalkulus integral penting dipelajari, namun faktanya topik ini sering dianggap abstrak dan sulit sehingga menimbulkan rendahnya keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran (Gunadi et al., 2024). Sejalan dengan itu, pembelajaran kalkulus di perguruan tinggi kerap dianggap sebagai mata kuliah abstrak dan sulit dipahami oleh mahasiswa, terutama pada topik integral yang membutuhkan kemampuan representasi dan visualisasi spasial (Huang, 2015). Kondisi tersebut berdampak terhadap minimnya kemampuan berpikir kritis mahasiswa ketika harus menganalisis permasalahan integral dalam konteks nyata. Padahal, kemampuan berpikir kritis dinilai sebagai salah satu keterampilan esensial abad ke-21 yang harus dimiliki oleh calon lulusan perguruan tinggi.

Keterampilan berpikir kritis tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menganalisis dan mengevaluasi informasi, tetapi juga melibatkan proses penalaran logis, pengambilan keputusan, serta refleksi terhadap solusi yang dihasilkan (Ennis, 2011; Facione, 2023). Dalam pembelajaran matematika, berpikir kritis berperan penting dalam membantu siswa memahami konsep secara lebih mendalam dan menggunakan pengetahuan tersebut untuk menyelesaikan permasalahan yang bersifat kontekstual dan bermakna. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa praktik pembelajaran matematika di sekolah masih didominasi oleh pendekatan prosedural dan latihan soal rutin, sehingga siswa kurang terbiasa menghadapi permasalahan yang menuntut penalaran tingkat tinggi (Usman et al., 2025). Padahal, kemampuan berpikir kritis menjadi salah satu indikator penting keberhasilan pembelajaran matematika sebagaimana ditekankan dalam kerangka penilaian internasional seperti PISA (OECD, 2019).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir tingkat tinggi seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemampuan spasial perlu didorong melalui desain pembelajaran yang bersifat kontekstual dan berbasis aktivitas (OECD, 2023; Danoebroto et al., 2024). Sejalan dengan tuntutan tersebut, pembelajaran matematika di perguruan tinggi perlu dirancang sedemikian rupa agar mahasiswa aktif mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan permasalahan melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan bermakna. Salah satu pendekatan yang berpotensi meningkatkan kemampuan berpikir kritis adalah *Problem-Based Learning* (PBL). Diperkuat dari berbagai penelitian menegaskan bahwa pendekatan *Problem Based Learning*

(PBL) efektif digunakan pada pembelajaran kalkulus karena mendorong mahasiswa untuk aktif menginvestigasi dan menyelesaikan masalah kontekstual secara mandiri (Hmelo-Silver, 2004; Dolmans et al., 2016). Sejalan dengan hal tersebut, pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) dinilai mampu menghadirkan aktivitas pembelajaran yang bersifat interdisipliner dan menstimulus keterampilan abad ke-21.

Implementasi STEM dalam pembelajaran matematika lebih bermakna jika dikontekskan pada budaya lokal sebagai bentuk integrasi etnomatematika (D'Ambrosio, 2001; Emilidha et al., 2024). Integrasi ini dikenal dengan istilah Ethno-STEM, yaitu penggabungan pendekatan STEM dengan kearifan lokal sebagai konteks, sehingga mahasiswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan dekat dengan lingkungan (D'Ambrosio, 1985; Listiyani et al., 2025). Di sisi lain, pendekatan Ethno-STEM yang mengintegrasikan aspek etnomatematika ke dalam pembelajaran STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) diyakini dapat memberikan konteks budaya lokal yang lebih dekat dengan kehidupan mahasiswa, sehingga memunculkan keterlibatan kognitif dan afektif yang lebih tinggi (Fitri et al., 2025). Rosa et al., (2016) menekankan bahwa integrasi aspek etnomatematika tidak hanya memperkuat pemahaman konsep, tetapi juga mendorong mahasiswa untuk berpikir reflektif dan kritis terhadap fenomena budaya yang berkaitan dengan matematika. Selain itu, bahan ajar berbasis teknologi seperti e-modul dengan dukungan *Augmented Reality* (AR) dapat menjadi media pendukung yang efektif untuk menghadirkan objek yang bersifat abstrak secara visual dan interaktif (Azuma, 1997; Arifin et al., 2020).

Pemanfaatan teknologi AR menjadi alternatif solusi dalam memvisualisasikan bentuk abstrak dalam matematika ke dalam bentuk tiga dimensi (Azuma, 1997). Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa penggunaan AR meningkatkan kemampuan pemahaman konseptual dan motivasi belajar (Garzón & Acevedo, 2019). Dalam pembelajaran kalkulus, Pinter & Siddiqui (2024) menjelaskan bahwa pengintegrasian teknologi AR memungkinkan siswa untuk memahami konsep integrasi secara geometris dan bentuk rotasi objek dengan menghubungkan ekspresi aljabar dengan representasi tiga dimensi. Melalui skenario masalah yang dirancang pada e-modul pembelajaran, mahasiswa berkesempatan mengintegrasikan pengetahuan etnomatematika dan STEM dalam menyelesaikan persoalan matematika dengan teknologi AR.

Berbagai studi menunjukkan bahwa kombinasi antara pendekatan PBL dan Ethno-STEM dapat menciptakan lingkungan belajar yang autentik dan menumbuhkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Kelley & Knowles, 2016; English, 2017). Meskipun demikian, implementasi pendekatan tersebut dalam konteks materi kalkulus integral masih sangat terbatas dan jarang menjadi fokus utama dalam penelitian di perguruan tinggi. Penelitian sebelumnya lebih

banyak berfokus pada pengembangan produk Ethno-STEM atau AR secara terpisah dan belum banyak mengeksplorasi implementasi e-modul Ethno-STEM berbasis AR melalui pendekatan PBL pada bidang kalkulus. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan proses implementasi model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) dengan penggunaan media pembelajaran e-modul kalkulus integral dengan Ethno-STEM berbasis *Augmented Reality* serta mengevaluasi respon terhadap kemampuan berpikir kritis mahasiswa.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan tujuan mendeskripsikan proses implementasi model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) menggunakan e-modul kalkulus integral berbasis Ethno-STEM dan *Augmented Reality* (AR) serta mengevaluasi respon terhadap kemampuan berpikir kritis mahasiswa.

Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika yang sedang menempuh mata kuliah kalkulus integral. Subjek penelitian sejumlah 37 mahasiswa yang berasal dari Universitas Hasyim Asy'ari dan Universitas PGRI Jombang. Pemilihan subjek dilakukan secara purposive, yaitu mahasiswa yang sedang menempuh mata kuliah Kalkulus Integral pada semester genap tahun akademik 2024/2025.

Implementasi *Problem Based Learning* dengan menggunakan e-modul kalkulus berbasis Ethno-STEM dan *Augmented Reality* (AR) mengacu pada sintaks berikut:

1. Tahap orientasi;

Pada tahap ini dosen menyajikan masalah kontekstual berbasis etnomatematika terkait materi integral. Masalah kontekstual berbasis etnomatematika berupa penerapan integral Riemann untuk menentukan luas atap bangunan MINHA. Dosen juga memberikan stimulus berupa pertanyaan pemandik yang mendorong mahasiswa untuk berpikir kritis, menjelaskan tujuan pembelajaran dan cara penggunaan e-modul AR.

2. Tahap pengorganisasian kelompok

Tahap ini, mahasiswa dibagi ke dalam kelompok kecil (3–5 orang) dan dosen mulai menjelaskan tugas dan prosedur kerja kelompok dengan menggunakan e-modul berbasis AR. Dosen membagikan lembar kerja kelompok.

3. Tahap investigasi

Mahasiswa mengeksplorasi masalah yang diberikan dalam lembar kerja menggunakan fitur AR pada e-modul, berdiskusi, serta menyusun solusi matematis. Memantau diskusi kelompok, memberikan scaffolding bila ada hambatan. Dosen memberikan pertanyaan pemandu agar mahasiswa lebih kritis dalam menyusun solusi.

4. Tahap pengembangan solusi dan presentasi

Kelompok mempresentasikan hasil diskusi dan strategi penyelesaian dari masalah yang sudah diberikan dalam lembar kerja. Dosen memberikan umpan balik terhadap strategi dan solusi yang dipresentasikan.

5. Tahap analisis dan refleksi

Dosen dan mahasiswa bersama-sama merefleksikan hasil pembelajaran. Dosen menekankan kembali penerapan integral Rieman untuk mencari luas daerah mengeksplor konteks MINHA. Mahasiswa menyimpulkan materi yang telah dipelajari.

Instrumen penelitian ini berupa soal tes sejumlah 2 item yang berkaitan dengan luas daerah bidang digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir kritis mahasiswa setelah diterapkan PBL. Adapun soal tes tersebut meliputi:

1. Misalkan terdapat daerah R yang dibatasi oleh kurva $y = f(x) = x^2$, sumbu x , dan garis $x = 3$. Tentukan luas daerah dibawah kurva dengan pendekatan integral Riemann.
2. Pernyataan “Diketahui luas daerah yang dibatasi oleh kurva $f(x) = 2x - 1$, sumbu x dan garis $-$ garis $x = 1$ dan $x = 2$ adalah 5 satuan luas”. Apakah penyelesaian yang dinyatakan dalam pernyataan tersebut bernilai benar? Jelaskan dan uraikan jawabanmu.

Sedangkan lembar angket berisi 18 item pernyataan terkait respon terhadap penggunaan e-modul berbasis AR dalam pembelajaran kalkulus integral. Penilaian pada angket menggunakan skala 1-5.

Teknik pengumpulan data menggunakan metode tes dan angket. Metode tes digunakan untuk mengumpulkan data kuantitatif berupa hasil kemampuan berpikir kritis mahasiswa setelah diberikan pembelajaran PBL dengan menggunakan e-modul ethno-STEM berbasis AR, sedangkan angket digunakan untuk mengumpulkan data respon mahasiswa terhadap pembelajaran yang diterapkan.

Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Data kemampuan berpikir kritis mahasiswa diperoleh dari hasil penilaian yang dilakukan melalui tes yang diberikan kepada mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran PBL menggunakan e-modul ethno-STEM berbasis AR pada materi penerapan integral tentu pada luas daerah bidang. Hasil tes dianalisis berdasarkan rubrik penilaian kemampuan berpikir kritis mengacu pada indikator FRISCO dalam konversi nilai 0 – 100. Kriteria hasil tes mahasiswa dikatakan tuntas apabila 75% mahasiswa telah mencapai nilai ≥ 75 .

Tabel 1. Kategori Nilai Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa

Rentang Rata-rata Nilai	Kategori	Deskripsi Umum
85 – 100	Sangat Baik	Mahasiswa mampu berpikir kritis dengan sangat jelas, runtut, dan reflektif; menunjukkan penguasaan penuh terhadap fokus, alasan, inferensi, situasi, kejelasan, dan overview.
70 – 84	Baik	Mahasiswa mampu berpikir kritis dengan cukup konsisten; masih ada sedikit kelemahan pada kejelasan penalaran atau refleksi.
55 – 69	Cukup	Mahasiswa menunjukkan kemampuan kritis pada beberapa aspek, tetapi masih sering terjadi kesalahan penalaran, keterbatasan inferensi, atau refleksi yang dangkal.
40 – 54	Kurang	Kemampuan berpikir kritis masih lemah; mahasiswa kesulitan mengidentifikasi fokus masalah dan menarik kesimpulan yang benar.
0 – 39	Sangat Kurang	Hampir tidak menunjukkan kemampuan berpikir kritis; jawaban tidak relevan, tanpa alasan logis, dan minim refleksi.

Sedangkan data hasil angket dianalisis dengan menghitung skor tiap pernyataan pada. Selanjutnya hasil skor masing-masing pernyataan dikategorikan dengan acuan berikut.

Tabel 2. Kategori Rata-rata Respon Mahasiswa

Skor Rata-rata Respon	Kategori	Deskripsi
4,21 – 5,00	Sangat Positif	Mahasiswa merasa sangat terbantu, termotivasi, dan antusias dalam pembelajaran PBL menggunakan e-modul ethno-STEM berbasis AR.
3,41 – 4,20	Positif	Mahasiswa menunjukkan respon baik dalam pembelajaran PBL, merasa e-modul ethno-STEM berbasis AR cukup menarik dan membantu memahami materi integral.
2,61 – 3,40	Cukup Positif	Respon mahasiswa sedang dalam pembelajaran PBL, e-modul ethno-STEM berbasis AR dianggap bermanfaat tetapi masih ada kendala pada penggunaan atau pemahaman.
1,81 – 2,60	Kurang Positif	Mahasiswa kurang termotivasi dalam pembelajaran PBL, merasa kesulitan dalam penggunaan e-modul ethno-STEM berbasis AR PBL.
1,00 – 1,80	Tidak Positif	Mahasiswa tidak termotivasi dalam pada penerapan PBL, tidak terbantu dengan e-modul ethno-STEM berbasis AR, menolak atau merasa terganggu dengan penerapannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Implementasi PBL dengan Pendekatan Ethno-STEM dan AR

Implementasi pembelajaran *Problem Based Learning* dengan menggunakan e-modul ethno-STEM berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi integral dilakukan selama satu kali pertemuan dengan durasi waktu 150 menit.

Tahap Orientasi

Pada tahap awal, dosen membuka pembelajaran dengan memberikan

pemantik berupa masalah kontekstual, yaitu penerapan integral Riemann untuk menentukan luas atap bangunan Museum Islam Indonesia K.H. Hasyim Asy'ari (MINHA). Visualisasi gambar bangunan dan model AR ditampilkan melalui e-modul agar mahasiswa dapat melihat bentuk atap secara nyata. Masalah ini menimbulkan ketertarikan mahasiswa karena berkaitan langsung dengan budaya lokal yang familiar bagi mereka. Berikut eksplorasi MINHA yang dijadikan konteks dalam e-modul untuk mengajarkan konsep integral.



Gambar 1. Sketsa Atap gedung MINHA dalam e-modul

Dosen kemudian menjelaskan tujuan pembelajaran, yakni mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep integral Riemann dan mengaplikasikannya pada masalah kontekstual. Selain itu, dosen memberikan instruksi penggunaan e-modul berbasis AR agar mahasiswa terbiasa dengan teknologi yang digunakan. Pada tahap ini terlihat bahwa mahasiswa mulai terlibat aktif dengan mengajukan pertanyaan seperti “bagaimana cara memodelkan atap MINHA dalam bentuk fungsi matematika?” dan “apakah integral dapat digunakan untuk menghitung luas bentuk yang tidak beraturan?”.

Secara umum, tahap orientasi berhasil membangun motivasi, memunculkan rasa ingin tahu, dan mendorong mahasiswa untuk lebih terbuka terhadap penggunaan teknologi serta etnomatematika sebagai konteks pembelajaran. Hal ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kontekstualisasi masalah mendorong motivasi dan rasa ingin tahu mahasiswa.

Tahap Pengorganisasian Kelompok

Pada tahap ini, mahasiswa kemudian dibagi ke dalam kelompok kecil yang terdiri dari 3–5 orang. Dosen memberikan lembar kerja kelompok yang berisi petunjuk kegiatan investigasi, pertanyaan pemandu, dan ruang jawaban. Pada saat pembagian kelompok, mahasiswa tampak mulai berdiskusi mengenai strategi awal yang akan mereka gunakan.



Gambar 2. Mahasiswa berdiskusi

Beberapa kelompok terlihat antusias mengoperasikan fitur AR dalam e-modul untuk menampilkan model 3D bangunan MINHA, sementara sebagian kelompok masih mengalami kendala teknis seperti kesulitan memindai objek atau memperbesar tampilan. Dosen mendampingi dengan memberikan arahan teknis agar mahasiswa dapat mengoperasikan aplikasi dengan lancar.

Pengorganisasian kelompok ini membuat mahasiswa belajar bekerja sama. Mereka saling berbagi peran, misalnya ada yang bertugas mengoperasikan aplikasi AR, ada yang mencatat hasil diskusi, ada yang memimpin jalannya diskusi, dan ada yang bertanggung jawab atas penyajian hasil kerja kelompok. Situasi ini menumbuhkan keterampilan kolaboratif sekaligus menyiapkan mahasiswa untuk masuk ke tahap investigasi yang lebih menantang.

Tahap Investigasi

Tahap investigasi menjadi inti dari proses PBL. Mahasiswa mulai mengeksplorasi permasalahan yang diberikan dengan memanfaatkan fitur AR untuk memvisualisasikan bangunan seperti atap MINHA. Mereka mencoba menghubungkan bentuk fisik atap dengan representasi fungsi matematis, kemudian menyusun model integral Riemann untuk menghitung luas.

Diskusi kelompok berlangsung dinamis. Beberapa mahasiswa langsung mencoba menyusun integral dari fungsi yang mewakili bentuk atap, sementara yang lain mengusulkan untuk membuat sketsa terlebih dahulu agar lebih jelas. Mahasiswa juga saling mengkritisi hasil perhitungan dan berusaha mencari representasi fungsi yang paling sesuai.

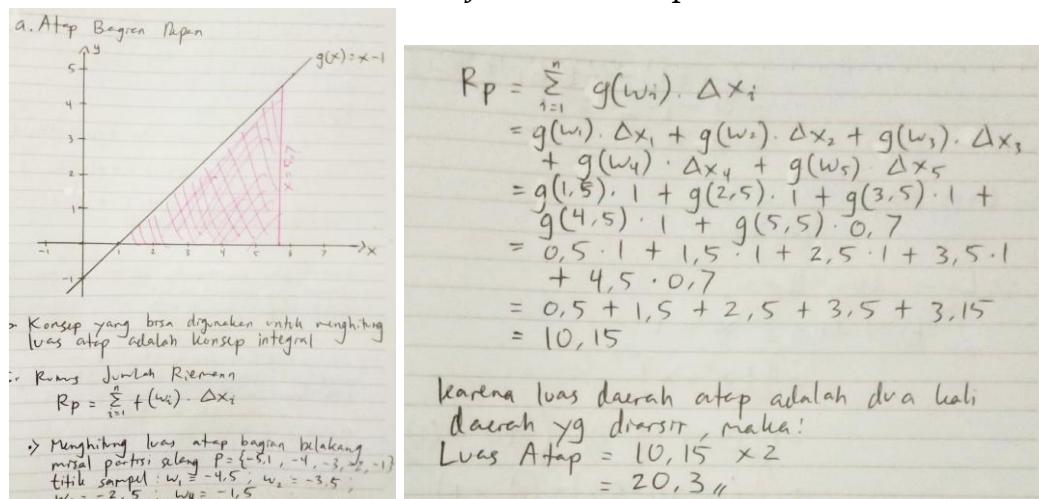
Dosen pada tahap ini tidak hanya mengawasi tetapi juga aktif memberikan *scaffolding* berupa pertanyaan pemandu seperti; “apakah fungsi yang kalian gunakan sudah benar-benar mewakili bentuk atap tersebut?”, “bagaimana jika kalian membandingkan hasil perhitungan integral dengan pendekatan luas numerik?” dan “apa hubungan integral Riemann dengan luas permukaan atap yang kalian hitung?”.

Pertanyaan ini membuat mahasiswa terdorong untuk berpikir lebih kritis dan tidak sekadar mencari jawaban cepat. Dari hasil observasi, tampak bahwa mahasiswa lebih fokus dan berusaha keras untuk menyusun solusi matematis

yang logis, meskipun masih ada kelompok yang mengalami kebingungan dalam menentukan batas integral.

Tahap Pengembangan Solusi dan Presentasi

Setelah diskusi kelompok selesai, setiap kelompok mempresentasikan hasil kerja mereka di depan kelas. Mahasiswa menggunakan bantuan visualisasi AR yang ditampilkan melalui perangkat mereka untuk mendukung argumen matematis. Presentasi berlangsung cukup interaktif karena kelompok lain diberikan kesempatan untuk mengajukan pertanyaan atau memberikan komentar. Berikut salah satu hasil jawaban kelompok.



Gambar 3. Strategi Kelompok 1

Sebagian besar kelompok berhasil menunjukkan strategi perhitungan integral dengan benar dan mampu menjelaskan langkah-langkahnya secara runtut. Namun, terdapat juga kelompok yang masih keliru dalam menentukan batas integral, sehingga hasil luas yang diperoleh kurang tepat. Dosen kemudian memberikan umpan balik berupa klarifikasi konsep integral Riemann dan menunjukkan alternatif strategi yang lebih efisien.

Situasi presentasi memperlihatkan adanya peningkatan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa. Mereka berani mengemukakan pendapat, menjelaskan strategi, serta mempertahankan argumen mereka ketika dikritisi oleh kelompok lain.

Tahap Analisis dan Refleksi

Pada tahap akhir, dosen mengajak mahasiswa untuk melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran. Dosen menekankan kembali bahwa konsep integral Riemann dapat diaplikasikan pada konteks nyata seperti bentuk atap MINHA, sehingga mahasiswa dapat melihat keterkaitan antara matematika, budaya, dan teknologi.



Gambar 4. Dosen dan mahasiswa melakukan refleksi

Mahasiswa menyampaikan bahwa penggunaan e-modul berbasis AR membantu mereka memahami konsep abstrak integral dengan lebih jelas, karena mereka dapat memvisualisasikan bentuk tiga dimensi secara langsung. Selain itu, konteks etnomatematika yang digunakan membuat pembelajaran terasa lebih bermakna dan dekat dengan kehidupan nyata.

Berdasarkan hasil refleksi, sebagian besar mahasiswa merasa bahwa pembelajaran dengan pendekatan PBL berbasis e-modul Ethno-STEM memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik, menantang, dan memacu mereka untuk berpikir kritis. Mereka juga menyatakan bahwa diskusi kelompok serta presentasi membuat mereka lebih percaya diri dalam mengkomunikasikan ide matematis.

Hasil Kemampuan Berpikir Kritis dan Respon Mahasiswa

Pada akhir pembelajaran, mahasiswa diberikan tes untuk mengukur kemampuan berpikir kritis mereka. Hasil kemampuan berpikir kritis mahasiswa disajikan sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa (N=37)

Indikator FRISCO	Skor Rata-rata (0–100)	Kategori	Deskripsi Hasil
<i>Focus</i>	74	Baik	Mahasiswa mampu mengidentifikasi fokus masalah dengan cukup baik, meski ada yang masih bingung menentukan batasan soal integral.
<i>Reason</i>	72	Baik	Alasan matematis cukup jelas, namun masih ada kesalahan logika dalam pengoperasian integral pada beberapa mahasiswa.
<i>Inference</i>	64	Cukup	Sebagian mahasiswa belum dapat menarik kesimpulan akhir yang sesuai konteks, cenderung hanya berhenti di hasil hitungan.
<i>Situation</i>	68	Cukup Baik	Pemahaman situasi kontekstual (atap MINHA, aplikasi integral) sudah muncul, tetapi masih terbatas pada sebagian kelompok.

Clarity	62	Cukup	Penjelasan langkah-langkah masih kurang runtut dan tidak semua mahasiswa menuliskan alasan secara jelas.
Overview	58	Kurang	Refleksi akhir lemah; mahasiswa jarang memeriksa kembali jawaban atau menghubungkan dengan konsep integral secara luas.

Selain itu, mahasiswa diberikan angket untuk melihat respon mereka terhadap implentasi pembelajaran PBL dengan menggunakan e-moudl ethno-STEM berbasis AR. Adapun hasil respon mahasiswa disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Respon Mahasiswa

Aspek yang Dinilai	Rata-rata Skor (1-5)	Kategori Respon
Keterbacaan dan Tampilan E-Modul	4,47	Sangat Positif
Keterpahaman Materi	4,03	Positif
Motivasi Belajar	4,53	Sangat Positif
Kolaborasi dan Diskusi	4,40	Sangat Positif
Pemecahan Masalah	4,18	Positif
Keterkaitan dengan Kehidupan Nyata	4,01	Positif
Kemampuan Berpikir Kritis	4,43	Sangat Positif
Pengalaman Belajar Secara Umum	4,57	Sangat Positif
Rata-rata Keseluruhan	4,46	Sangat Positif

Pelaksanaan pembelajaran dengan memadukan *Problem-Based Learning* (PBL) dan e-modul Ethno-STEM berbasis AR pada materi kalkulus integral terbukti menciptakan lingkungan belajar yang aktif, autentik, dan bermakna. Tahap orientasi menarik motivasi dan rasa ingin tahu mahasiswa melalui konteks budaya (ataupun MINHA), sesuai dengan temuan bahwa PBL meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar karena mendorong eksplorasi masalah nyata (Hmelo-Silver, 2004; Savary, 2006). AR yang digunakan dalam e-modul memvisualisasikan bentuk ataupun secara interaktif sehingga abstraksi integral menjadi lebih konkret. Hal ini paralel dengan penelitian yang menunjukkan AR meningkatkan keterlibatan aktif, visualisasi spasial, dan pemahaman konsep dalam pembelajaran matematika (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Suryani & Khairudin, 2019).

Analisis indikator FRISCO menunjukkan bahwa *focus* dan *reason* memiliki skor lebih tinggi (Baik), menunjukkan mahasiswa mampu mengidentifikasi inti masalah dan melakukan penalaran logis. Sedangkan indikator *inference*, *clarity*, dan *overview* relatif lebih rendah (Cukup – Kurang), menunjukkan kelemahan dalam menarik kesimpulan eksplisit, menjelaskan argumen secara jelas, dan melakukan refleksi kritis terhadap hasil. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Akbar et al., (2025), menemukan bahwa meskipun AR meningkatkan kemampuan berpikir kritis secara umum,

indikator *evaluation* dan *inference* tetap rendah pada mahasiswa. Artinya, teknologi membantu keterlibatan awal dan pemahaman, tapi tidak otomatis meningkatkan kedalaman reflektif atau inferensi kritis tanpa pendampingan intensif.

Respon mahasiswa sangat positif, motivasi belajar meningkat, kolaborasi berjalan baik, dan konteks lokal (atap MINHA) membuat pembelajaran terasa bermakna. Ini selaras dengan hasil penelitian bahwa AR dalam kontekstual STEM yang menunjukkan AR meningkatkan minat, kreativitas, dan engagement siswa (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Lai & Cheong, 2022; Chang et al., 2022). Selain itu, penggunaan konteks budaya sejalan dengan prinsip yang menyatakan bahwa interaksi lingkungan memperdalam pemahaman konseptual (Abrahamson & Lindgren, 2007).

Secara umum, integrasi PBL, e-modul Ethno-STEM, dan AR menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih menstimulasi kemampuan kritis daripada pendekatan konvensional (aktif, reflektif, kolaboratif). Namun, kelemahan pada *Inference*, *Clarity*, *Overview* mengindikasikan perlu adanya *scaffolding* tambahan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Integrasi *Problem-Based Learning* (PBL) dengan e-modul Ethno-STEM berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi kalkulus integral dapat terlaksana dengan baik. Media AR membantu mahasiswa memvisualisasikan konsep integral yang abstrak, sementara PBL memfasilitasi keterlibatan aktif, kolaborasi, serta penyelesaian masalah kontekstual berbasis budaya (atap MINHA).

Hasil analisis menunjukkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa berada pada kategori cukup – baik. Indikator *Focus* dan *Reason* relatif tinggi, menunjukkan kekuatan mahasiswa dalam mengidentifikasi masalah inti dan memberikan alasan logis. Namun, indikator *Inference*, *Clarity*, dan *Overview* masih perlu penguatan, karena mahasiswa cenderung kurang tepat dalam menarik kesimpulan, menjelaskan argumen secara jelas, serta merefleksikan hasil penyelesaian masalah.

Mahasiswa memberikan respon positif terhadap pembelajaran. Mereka merasa lebih termotivasi, mudah memahami konsep abstrak melalui AR, serta mengapresiasi konteks budaya lokal dalam pembelajaran matematika. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis Ethno-STEM dengan dukungan AR tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga menghadirkan makna belajar yang lebih relevan dan kontekstual.

Integrasi PBL, AR, dan Ethno-STEM berpotensi menjadi alternatif model pembelajaran matematika yang inovatif untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Namun, diperlukan strategi tambahan

berupa scaffolding metakognitif, latihan eksplisit dalam menarik inferensi, dan pembiasaan refleksi agar semua aspek berpikir kritis dapat berkembang lebih seimbang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan salah satu luaran hasil penelitian yang sumber pendanaannya berasal dari Kementerian Pendidikan, Riset, dan Teknologi dalam skema Penelitian Fundamental Reguler (PFR) tahun 2024. Atas dukungan dan dana yang diberikan, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasihnya kepada Kementerian Pendidikan, Riset, dan Teknologi yang telah membantu keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Herman, T., Suryadi, D., Mursalim, Alman, Putra, E. D., & Blegur, J. (2025). Integrating Augmented Reality in Mathematics Learning to Improve Critical Thinking Skills of Elementary School Students. *Emerging Science Journal*, 9(2), 764–779. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-02-014>
- Arifin, A. M., Pujiastuti, H., & Sudiana, R. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran STEM dengan Augmented Reality untuk Meningkatkan Kemampuan Spasial Matematis Siswa. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 7(1), 59–73. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v7i1.32135>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Chang, H. Y., Binali, T., Liang, J. C., Chiou, G. L., Cheng, K. H., Lee, S. W. Y., & Tsai, C. C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers and Education*, 191(September), 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- D'Ambrosio, U. (1985). Ethnomathematics and Its Place in the History and Pedagogy of Mathematics. *For the Learning of Mathematics*, 5(1), 44–48.
- D'Ambrosio, U. (2001). In My Opinion: What Is Ethnomathematics, and How Can It Help Children in Schools? *Teaching Children Mathematics*, 7(6), 308–310. <https://doi.org/10.5951/tcm.7.6.0308>
- Danoero, S. W., Suyata, & Jailani. (2024). Teachers' Efforts to Promote Students' Mathematical Thinking Using Ethnomathematics Approach. *Mathematics Teaching-Research Journal*, 16(2), 207–216.
- Dolmans, D. H. J. M., Loyens, S. M. M., Marcq, H., & Gijbels, D. (2016). Deep and surface learning in problem-based learning: a review of the literature. *Advances in Health Sciences Education*, 21(5), 1087–1112. <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9645-6>
- Emilidha, W. P., Wardono, & Waluya, B. (2024). PRISMA, Prosiding

- Seminar Nasional Matematika Integrasi STEAM dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Journal Unnes.ac.id*, 7, 301–308.
- English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15, 5–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>
- Ennis, R. H. (2011). *The Nature of Critical Thinking: An Outline of Critical Thinking Dispositions*.
- Facione, P. a. (2023). Critical Thinking : What It Is and Why It Counts. *Insight assessment, ISBN 13: 978-1-891557-07-1.*, 1–28.
- Fitri, H. S. A., Putri, E., & Chuchai, S. (2025). Trends in Culturally Responsive Teaching for Science EducationL A Bibliometric Analysis. *Journal of Technological Pedagogy and Educational Developmen*, 1(2), 36–52.
- Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27(April 2018), 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Gunadi, F., Isnawan, M, G., Rusmayadi, Muh., Santosa, F, H., Nurafifah, L., Mulyana, D., and Alsulami, & AndM., N. (2024). Eksplorasi Kebutuhan Perkuliahan Kalkulus pada Kelas Kolaboratif: Apakah Integrasi Virtual Reality Berbasis Etnomatika Diperlukan? *Edumatica: Jurnal Pendidikan Matematika*, 14(2).
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Huang, C. H. (2015). Calculus Students ' Visual Thinking of Definite Integral. *American Journal of Educational Research*, 3(4), 476–482. <https://doi.org/10.12691/education-3-4-14>
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers and Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Lai, J. W., & Cheong, K. H. (2022). Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education. *IEEE Access*, 10, 43143–43158. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166478>
- Listiyani, L. R., Wilujeng, I., Suyanto, S., & Pratama, D. H. (2025). EthnoSTEM-based Learning Tools: Connecting Cultural Heritage with STEM Education. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 17(4), 593–609. <https://doi.org/10.26822/iejee.2025.402>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results: What Students Know and Can Do: Vol. I*.

OECD Publishing.

OECD. (2023). *Building The Future of Education 2023*.

Pinter, L., & Siddiqui, M. F. H. (2024). Enhancing Calculus Learning through Interactive VR and AR Technologies: A Study on Immersive Educational Tools. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/mti8030019>

Rosa, M., D'Ambrosio, U., Orey, C. D., Shirley, L., V. Alangui, W., Palhares, P., & Gavarrete, M. E. (2016). *Current and Future Perspectives of Ethnomathematics as a Program*.

Saraswati, S., & Rodliyah, I. (2020). Blended Learning Berbasis Edmodo: Proses Pengembangan pada Mata Kuliah Kalkulus Dasar. *Jurnal Gantang*, 5(2), 133–142. <https://doi.org/10.31629/jg.v5i2.2415>

Savary, J. . (2006). Why Problem-Based Learning? A Case Study of Institutional Change in Undergraduate Education. *Journal Problem-based Learning*, 1(1), 9–20.

Suryani, K., & Khairudin, K. (2019). Pelatihan Pembuatan Media Pembelajaran Interaktif Menggunakan Aplikasi Lectora Di SMK Muhammadyah 1 Padang. *GERVASI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(1), 58. <https://doi.org/10.31571/gervasi.v3i1.1197>

Usman, A., Wati, R., & Ricardo, R. (2025). *The Effectiveness of Problem-Based Learning Models to Improve Students' Mathematical Critical Thinking Skills: A Literature Study*. *Aaice 2023*, 4–22. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-414-3_2