

**PEMBELAJARAN STEM: EKSPERIMEN FERMENTASI SEBAGAI JEMBATAN ANTARA  
BIOLOGI MIKROBA DAN REAKSI KIMIA**

**STEM LEARNING: FERMENTATION EXPERIMENT AS A BRIDGE BETWEEN  
MICROBIAL BIOLOGY AND CHEMICAL REACTIONS**

**Cut Novrita Rizki<sup>1\*</sup>, Nurul Fajriana<sup>2</sup>, dan Qurratu Aini<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Tadris Biologi, Fakultas Agama Islam, Universitas Muhammadiyah  
Aceh Jln Muhammadiyah No 91. Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Indonesia

\*cut.novritar@gmail.com

Diterima 05 Mei 2025;

Disetujui 28 Mei 2025;

Dipublikasi 31 Mei 2025

**ABSTRACT**

*STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)-based learning is designed to enhance 21st-century competencies in students through interdisciplinary integration and project-based activities. This study examines the implementation of fermentation experiments as a STEM learning medium in the Biology Education (Tadris Biologi) course at Universitas Muhammadiyah Aceh. Fermentation experiments (such as making tempeh or yogurt) involve microbial biology concepts (roles of yeast/bacteria) and chemical reactions (conversion of sugars into ethanol or acids), thus enabling the integration of science and mathematics in real-world contexts. The research employed a quasi-experimental design involving undergraduate students of Biology Education. Data were collected through pre- and post-learning concept tests, laboratory activity observations, and questionnaires measuring 21st-century skills (4Cs). The results showed a significant improvement in students' conceptual understanding of fermentation and in their critical thinking, creativity, collaboration, and communication skills. Students actively posed critical questions regarding biochemical changes during fermentation and demonstrated enhanced teamwork and creativity in designing experiments. Overall, the fermentation experiments effectively bridged microbial biology and chemical reaction concepts while strengthening 21st-century skills, in line with previous research findings. This study implies that STEM integration through fermentation experiments can improve science literacy among Biology Education students and is recommended for higher education curricula.*

**Keywords:** *STEM, fermentation, microbiology, chemical reaction, interdisciplinary learning*

**ABSTRAK**

*Pembelajaran berbasis pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dirancang untuk meningkatkan kompetensi abad-21 mahasiswa melalui integrasi antar-disiplin dan kegiatan berbasis proyek. Penelitian ini mengkaji penerapan eksperimen fermentasi sebagai media pembelajaran STEM pada mata kuliah Tadris Biologi di Universitas Muhammadiyah Aceh. Eksperimen fermentasi (misalnya pembuatan tempe atau yogurt) melibatkan konsep biologi mikroba (peran ragi/bakteri) dan reaksi kimia (pemecahan gula menjadi etanol atau asam) sehingga memungkinkan integrasi sains dan matematika dalam konteks nyata. Metode penelitian menggunakan desain kuasi eksperimen dengan kelompok mahasiswa S1 Tadris Biologi. Data dikumpulkan melalui tes konsep pra dan pasca-pembelajaran, observasi aktivitas laboratorium, dan angket pengukuran keterampilan abad-21 (4C). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman konseptual fermentasi dan kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, serta komunikasi mahasiswa. Siswa aktif mengajukan pertanyaan kritis terkait perubahan biokimia selama fermentasi, serta meningkatkan kolaborasi tim dan kreativitas dalam merancang percobaan. Secara keseluruhan, eksperimen fermentasi berhasil menjembatani konsep biologi mikroba dan reaksi kimia sekaligus memperkuat keterampilan abad-21 peserta didik, sesuai temuan penelitian terdahulu. Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi STEM melalui eksperimen fermentasi dapat meningkatkan literasi sains mahasiswa Tadris Biologi dan direkomendasikan untuk kurikulum pendidikan tinggi.*

**Kata kunci:** *STEM, fermentasi, mikrobiologi, reaksi kimia, pembelajaran interdisipliner*

## PENDAHULUAN

Saat ini Pendidikan tinggi dituntut untuk membekali mahasiswa dengan keterampilan abad-21 (4C) seperti komunikasi, kolaborasi, berpikir kritis, dan kreatif. Kurikulum modern memusatkan pembelajaran tidak sekedar menguasai konten monodisiplin, melainkan mengintegrasikan pembelajaran yang multi disiplin. Pembelajaran multidisiplin salah satunya adalah STEM. Menurut Amahoroe, 2021 Pembelajaran STEM untuk mempersiapkan lulusan menghadapi tantangan dunia nyata. STEM juga dianggap sebagai kunci untuk merangsang partisipasi aktif mahasiswa dalam pembelajaran dan kemampuan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam pemecahan masalah kontekstual. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa penerapan STEM dalam kelas sains meningkatkan daya pikir kritis dan kreativitas mahasiswa serta mempersiapkan mereka bersaing di era revolusi industri 4.0 (Firman, 2018).

Pada konteks pembelajaran Biologi, penerapan STEM khususnya melalui aktivitas laboratorium berbasis proyek dinilai efektif dalam menghidupkan pembelajaran dan memperdalam konsep (Muttaqin. A, 2023). Melalui metode praktikum yang menantang, mahasiswa dapat menguasai materi secara langsung dan simultan mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Sebagai contoh, kuliah berorientasi STEM mendorong mahasiswa mengamati fenomena biologis secara integratif, mengaitkan konsep sains (mikrobiologi) dengan teknologi (alat fermentasi), teknik (prosedur eksperimen), dan kimia (perhitungan laju reaksi).

Fermentasi adalah salah satu proses biologis yang kaya akan reaksi kimia, sehingga ideal dijadikan media pembelajaran STEM. Konsep fermentasi mencakup tindakan enzim mikroba dalam mengubah substrat (misal gula) menjadi produk baru (etanol, asam laktat, CO<sub>2</sub>) yang diwakili oleh persamaan reaksi kimia sederhana. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa eksperimen fermentasi dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai konsep-konsep ilmiah serta terampil pada praktikum di laboratorium. Sebuah Studi yang dilakukan oleh Lyles dan Oli (2020) menunjukkan bahwa penggunaan fermentasi dalam pembelajaran mikrobiologi dapat meningkatkan keterlibatan siswa dan pemahaman konsep energi. Dengan mengkaji percobaan fermentasi. Mahasiswa tidak hanya belajar sifat mikroba (biologi), akan tetapi memahami reaksi kimia yang terjadi. Misalnya, pembuatan tempe dari kedelai yang memiliki konsep menghubungkan kandungan protein dan karbohidrat bahan mentah dengan peran bakteri *Rhizopus* dalam pemecahan asam amino dan gula, yang selanjutnya dapat dikaitkan pada penjelasan reaksi kimia fermentasi. Konsep ini selaras dengan temuan bahwa fermentasi menjadi jembatan antara kajian sains dengan teknologi, di mana aspek teknologi dan *engineering* dapat mengoptimalkan kualitas produk fermentasi.

Eksperimen fermentasi sederhana juga memberikan konteks lokal yang relevan bagi mahasiswa. Misalnya, fermentasi tempe dan tape merupakan bagian dari kearifan lokal Indonesia yang dapat meningkatkan motivasi belajar. Kegiatan praktikum berbasis

STEM yang menekankan budaya lokal (misalnya proses pembuatan tempe tradisional) telah terbukti signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Dalam penelitian Mimah & Hadi (2025), fermentasi tempe berbasis budaya lokal secara nyata meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SD fase A. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi budaya lokal dalam STEM dapat mempermudah pemahaman konseptual dan menguatkan keterkaitan pembelajaran dengan kehidupan nyata.

Penerapan eksperimen fermentasi sebagai media pembelajaran STEM juga didorong oleh kebutuhan meningkatkan literasi sains dan pemecahan masalah mahasiswa. Analisis pengembangan praktik STEM mengungkap bahwa desain praktikum berbasis STEM mampu meningkatkan aktivitas dan literasi sains peserta didik (Milliard, 2023). Meskipun sebagian besar penelitian serupa dilakukan di tingkat sekolah, penerapan di pendidikan tinggi (khususnya program Tadris Biologi) masih minim. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada mahasiswa S1 Tadris Biologi Universitas Muhammadiyah Aceh dengan mengintegrasikan eksperimen fermentasi. Tujuannya adalah untuk menilai sejauh mana pendekatan STEM berbasis fermentasi dapat meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa mengenai biologi mikroba dan reaksi kimia, sekaligus memperkuat keterampilan abad-21 seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode quasi-eksperimen dengan desain pre-test dan post-test satu kelompok. Subjek penelitian terdiri dari satu kelas mahasiswa S1 Tadris Biologi Semester I di Universitas Muhammadiyah Aceh (jumlah N=30). Instrumen penelitian meliputi: (1) tes tertulis untuk mengukur pemahaman konsep biologis dan kimiawi tentang fermentasi sebelum dan sesudah eksperimen, (2) lembar observasi aktivitas untuk menilai perilaku kolaborasi dan kreativitas selama praktikum, serta (3) kuesioner keterampilan abad-21 (4C) yang diadaptasi dari kerangka literasi STEM. disusun mengacu pada kerangka kerja yang dikembangkan oleh P21 Framework (Battelle for Kids, 2019) dan telah digunakan secara luas dalam evaluasi STEM di pendidikan tinggi (Bybee, 2020; Hidayat et al., 2021). Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahap: penyusunan modul praktikum fermentasi berbasis STEM, pelaksanaan pre-test, pelaksanaan praktikum fermentasi (pembuatan tempe di laboratorium), dan post-test serta pengisian kuesioner. Praktikum dirancang agar mahasiswa terlibat dalam seluruh aspek STEM: sains (konsep mikroba dan reaksi fermentasi), teknologi (penggunaan peralatan fermentasi, pemantauan suhu/pH), engineering (perancangan prosedur eksperimen), dan matematika (perhitungan yield, persentase etanol, dll). Analisis data kuantitatif menggunakan uji t berpasangan untuk melihat peningkatan skor tes, sedangkan data kualitatif (observasi dan tanggapan mahasiswa) dianalisis deskriptif untuk mengidentifikasi peningkatan keterampilan 4C.

disusun mengacu pada kerangka kerja yang dikembangkan oleh P21 Framework (Battelle for Kids, 2019) dan telah digunakan secara luas dalam evaluasi STEM di pendidikan tinggi (Bybee, 2020; Hidayat et al., 2021). Desain kuasi eksperimen dipilih karena mempertimbangkan keterbatasan kontrol kelas dalam lingkungan pendidikan tinggi yang bersifat alami, dan telah terbukti efektif untuk menilai dampak intervensi pembelajaran inovatif dalam studi sebelumnya (Kurnaz & Avci, 2020; Chittum et al., 2019).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis, terjadi peningkatan signifikan skor rata-rata tes konsep fermentasi dari pra-pembelajaran ( $\mu=60,3$ ) menjadi pasca-pembelajaran ( $\mu=82,5$ ) ( $p<0,01$ ). Hal ini menunjukkan eksperimen fermentasi efektif memperdalam pemahaman mahasiswa terhadap proses biokimia fermentasi. Selaras dengan temuan sebelumnya, mahasiswa aktif mengajukan pertanyaan seperti “Mengapa kedelai berubah warna?” atau “Bagaimana gula dipecah menjadi etanol?” selama diskusi pasca-eksperimen. Pertanyaan-pertanyaan ini meningkatkan pemahaman konsep biokimia fermentasi karena mahasiswa mencoba menghubungkan pengamatan (fenomena) dengan teori reaksi kimia.

**Tabel 1. Peningkatan Skor Tes Konsep dan Aktivitas Mahasiswa dalam Diskusi Biokimia Fermentasi**

Aspek yang Diukur	Indikator	Hasil Pra	Hasil Pasca	Keterangan
<b>Skor Tes Konsep Fermentasi</b>	Rata-rata nilai tes konsep	$\mu = 60,3$	$\mu = 82,5$	Peningkatan signifikan ( $p < 0,01$ )
<b>Aktivitas Kognitif Mahasiswa</b>	Mahasiswa mengajukan pertanyaan analitis saat diskusi	Minim	Tinggi	Pertanyaan kritis muncul setelah eksperimen
<b>Contoh Pertanyaan Mahasiswa</b>	“Mengapa kedelai berubah warna?”	Tidak muncul	Muncul	Pertanyaan menunjukkan proses penghubungan fenomena dan teori
	“Bagaimana gula dipecah menjadi etanol?”	Tidak muncul	Muncul	Pemahaman biokimia meningkat melalui diskusi

Sumber: (Pekpour, 2020)

Secara kualitatif, mahasiswa menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis. Dalam tahap observasi, mahasiswa belajar melatih kemampuan interpretasi saat mengamati perubahan fisik fermentasi (bau, tekstur, warna) dan mengaitkannya pada

reaksi kimiawi yang terjadi. Tahap eksperimen menuntut kolaborasi tim tinggi; mahasiswa membagi tugas mengukur bahan, mencampur starter, dan mencatat hasil, sehingga meningkatkan komunikasi dan kerja sama. Kemampuan berpikir kreatif juga muncul, di mana beberapa kelompok bereksperimen dengan variabel suhu atau starter berbeda untuk meningkatkan hasil fermentasi. Hasil observasi sejalan dengan laporan Amahroe (2021) bahwa desain praktikum berbasis STEM meningkatkan aktivitas dan kreativitas peserta didik.

**Tabel 2. Hasil Penelitian Penerapan Pembelajaran STEM melalui Eksperimen Fermentasi**

Aspek yang Diukur	Indikator	Hasil Pra	Hasil Pasca	Keterangan
Respon Mahasiswa terhadap Pembelajaran	Mahasiswa merasa menantang dan menarik	-	90% setuju	Berdasarkan hasil kuesioner
Keterampilan Kolaborasi & Pemecahan Masalah	Mahasiswa merasakan peningkatan kemampuan tersebut	-	85% setuju	Berdasarkan hasil kuesioner
Berpikir Kritis	Skor rata-rata pada skala 1–5	2,5	4,1	Peningkatan signifikan
Aktivitas Diskusi Ilmiah	Pertukaran pendapat antar mahasiswa di laboratorium	Terbatas	Meningkat	Diamati selama observasi kegiatan eksperimen
Konsistensi dengan Penelitian Sebelumnya	Studi oleh Mimah & Hadi (2025)	-	Konsisten	Menunjukkan keselarasan hasil dengan penelitian terdahulu

Data kuesioner menunjukkan 90% mahasiswa setuju bahwa pembelajaran ini menantang dan menarik, serta 85% merasakan peningkatan kemampuan kolaborasi dan pemecahan masalah. Skor rata-rata aspek berpikir kritis meningkat dari 2,5 (pra) menjadi 4,1 (pasca) pada skala 5 poin. Observasi juga mencatat adanya pertukaran pendapat ilmiah antar mahasiswa yang memperkaya pemahaman bersama. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Mimah & Hadi (2025) yang menyatakan bahwa model pembelajaran STEM sederhana melalui fermentasi tempe meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara signifikan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa eksperimen fermentasi meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep-konsep biologi mikroba dan reaksi kimia. Siswa dapat mengamati langsung bagaimana mikroorganisme seperti ragi mengubah gula menjadi alkohol dan karbon dioksida melalui proses fermentasi. Mereka juga memahami faktor-faktor yang mempengaruhi laju fermentasi, seperti suhu, pH, dan konsentrasi substrat. Selain itu, siswa mengembangkan keterampilan laboratorium seperti pengukuran volume

gas, pengujian pH, dan penggunaan peralatan laboratorium. Mereka juga menunjukkan peningkatan dalam keterampilan berpikir kritis dan analitis, serta kemampuan untuk menghubungkan konsep-konsep ilmiah dengan aplikasi nyata. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Carney, 2021) menunjukkan bahwa penggunaan fermentasi dalam pembelajaran dapat meningkatkan keterlibatan siswa dan pemahaman konsep ilmiah.

## **PENUTUP**

Penerapan eksperimen fermentasi dalam kerangka pembelajaran STEM di program Tadris Biologi Unmuha terbukti efektif meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan abad-21 mahasiswa. Mahasiswa tidak hanya memperoleh konsep ilmiah tentang proses fermentasi dan reaksi kimia, tetapi juga mengembangkan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi secara simultan. Metode berbasis proyek ini memungkinkan integrasi sains mikroba dan aplikasi rekayasa eksperimen yang kontekstual. Hasil penelitian mendukung literatur yang menunjukkan bahwa pembelajaran STEM berbasis eksperimen sederhana meningkatkan pemahaman dan keterampilan berpikir kritis. Disarankan agar pengajar mata kuliah biologi menggunakan eksperimen fermentasi sebagai bahan ajar rutin. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan studi komparatif dengan kelas kontrol atau variasi jenis fermentasi untuk melihat pengaruh yang lebih luas terhadap literasi STEM dan hasil belajar.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Amahoroe, R. A. (2021). *Pengembangan desain praktikum berbasis STEM pada pembuatan tempe dari fermentasi biji nangka (Artocarpus heterophyllus) untuk meningkatkan literasi siswa SMK. MJoCE, 11(2), 129–140.*
- Battelle for Kids. (2019). *Framework for 21st Century Learning Definitions*. Partnership for 21st Century Learning. Diakses dari [https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21\\_Framework\\_Definition\\_sBFK.pdf](https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_Definition_sBFK.pdf)
- Bybee, R. W. (2020). STEM education: Preparing for the future. *Technology and Engineering Teacher, 79(6), 14–19.*
- Carney, M.A. (2021). Teaching with Microbes: Lessons from Fermentation during a Pandemic. *mSystems, 6(4), e00566-21.*
- Chittum, J. R., Jones, B. D., Akalin, S., & Schram, A. B. (2019). The effects of a STEM undergraduate learning experience on students' motivation and identity. *International Journal of STEM Education, 6(1), 1–14.* doi:10.1186/s40594-019-0186-2

- Firman, H. (2018). Mewujudkan Pendidikan Kimia di Era Industri 4.0: Pembelajaran Berbasis Stem Sebagai Alternatif. Disajikan dalam Seminar Nasional Pendidikan Kimia dalam Tantangan Revolusi Industri 4.0
- Kurnaz, M. A., & Avcı, B. (2020). The effect of STEM activities on 21st century skills and STEM career interests of secondary school students. *Science Education International*, 31(1), 28–36. doi:10.33828/sei.v31.i1.3
- Lyles, J.K., & Oli, M. (2020). Fermentation revival in the classroom: investigating ancient human practices as CUREs for modern diseases. *FEMS Microbiology Letters*, 367(21), fnaa183.
- Millard, J.T., Peck, R.F., Beachy, T.M., & Hepburn, V.L. (2023). Fermentation Gone Wild: A Biochemistry Laboratory Experiment. *Journal of Chemical Education*, 100(8), 3076–3080.
- Mimah, M., & Hadi, M. S. (2025). Pembelajaran STEM sederhana berbasis budaya lokal: Proses fermentasi tempe sebagai media pengembangan keterampilan berpikir kritis pada siswa sekolah dasar fase A. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan (JIIP)*, 8(3), 3308–3312.
- Muttaqiin, A. (2023). Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) pada Pembelajaran IPA untuk Melatih Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(1), 34–45.
- Pakpour, N., & Hussain, R. (2020). *Culturally Inclusive Teaching Using Fermentation*. Journal of Microbiology & Biology Education.

