

**PENGARUH LAMA FERMENTASI KOMBUCHA SARI BUAH NANAS
KELUD VARIETAS SIMPLEX TERHADAP PARAMETER KIMIA
SEBAGAI BAHAN AJAR BIOLOGI SMA**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.)
Pada Prodi Pendidikan Biologi



OLEH:

SHAFIRA AURELIA RIZKY AZZAHRA

NPM: 2215020028

FAKULTAS ILMU KESEHATAN DAN SAINS (FIKS)

UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi oleh:

SHAFIRA AURELIA RIZKY AZZAHRA

NPM: 2215020028

Judul:

**PENGARUH LAMA FERMENTASI KOMBUCHA SARI BUAH NANAS
KELUD VARIETAS SIMPLEX TERHADAP PARAMETER KIMIA
SEBAGAI BAHAN AJAR BIOLOGI SMA**

Telah Disetujui untuk Diajukan Kepada
Panitia Ujian/Sidang Skripsi Prodi Pendidikan Biologi
FIKS UN PGRI Kediri

Tanggal: 02 Juli 2026

Pembimbing I



Dra. Budhi Utami, M.Pd.
NIDN. 0729116401

Pembimbing II



Elysabet Herawati, S.Pd., M.Si.
NIDN. 0717058904

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi oleh:

SHAFIRA AURELIA RIZKY AZZAHRA

NPM: 2215020028

Judul:

**PENGARUH LAMA FERMENTASI KOMBUCHA SARI BUAH NANAS
KELUD VARIETAS SIMPLEX TERHADAP PARAMETER KIMIA
SEBAGAI BAHAN AJAR BIOLOGI SMA**

Telah dipertahankan di depan panitia Ujian/Sidang Skripsi
Prodi Pendidikan Biologi FIKS UN PGRI Kediri

Pada Tanggal: 16 Juli 2026

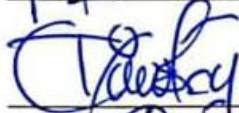
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Persyaratan

Panitia Penguji:

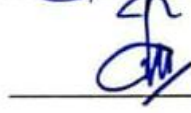
1. Ketua : Dra. Budhi Utami, M.Pd.

: 

2. Penguji 1 : Tutut Indah Sulistiyowati, S.Pd., M.Si.

: 

3. Penguji 2 : Elysabet Herawati, S.Pd., M.Si.

: 

Mengetahui,
Dekan FIKS


Dr. Nur Ahmad Muharram, M.Or.
NIDN. 0703098802

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah: 6-8)

“Success is not the key to happiness. Happiness is the key to success. If you love what you are doing, you will be successful.”

(Albert Schweitzer)

“Pendidikan adalah senjata paling ampuh yang dapat kamu gunakan untuk mengubah dunia.”

(Nelson Mandela)

“Tidak pernah ada kata terlambat untuk menjadi apa yang Anda inginkan.”

(George Eliot)

PERSEMBAHAN

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas Rahmat, karunia, dan kesehatan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Dengan penuh rasa Syukur dan Bahagia, skripsi ini penulis persembahkan kepada orang-orang yang senantiasa menjadi bagian penting dalam hidup penulis, yaitu:

1. Ayah Suparno dan Ibu Nanik Indrawati tercinta, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, dan perjuangan yang tidak pernah putus. Terima kasih karena selalu menjadi alasan penulis untuk terus kuat, tetap semangat, dan tidak menyerah dalam menjalani setiap proses panjang yang telah dilalui. Penulis persembahkan skripsi ini sebagai bentuk kecil dari rasa terima kasih atas semua yang telah ayah dan ibu berikan.
2. Adik tersayang Muhammad Fai'q Rizky Naufal, terima kasih atas dukungan, perhatian, dan semangat yang selalu diberikan. Kehadiranmu menjadi salah satu alasan penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan tanggung jawab ini dengan baik.
3. Keluarga besar, terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan motivasi yang selalu diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi kebanggaan dan memberikan manfaat bagi kita semua.
4. Teman-teman sekelas, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, semangat, dan kenangan selama masa perkuliahan. Kehadiran kalian membuat perjalanan ini terasa lebih ringan, menyenangkan, dan penuh makna.
5. Terakhir, terima kasih untuk diri penulis sendiri karena telah bertahan sejauh ini, tetap berjuang meskipun lelah, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses yang tidak mudah. Skripsi ini adalah bukti bahwa semua usaha, kesabaran, dan air mata akhirnya membuahkan hasil. Teruslah melangkah dan jangan berhenti sampai di sini.

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shafira Aurelia Rizky Azzahra
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat, tanggal lahir : Kediri, 26 Januari 2004
NPM : 2215020028
Fakultas/Prodi : FIKS/Pendidikan Biologi

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana lain di suatu perguruan tinggi. Selain itu, sepanjang pengetahuan saya tidak ada karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali hal tersebut sengaja ditulis dengan disertai sitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 16 Juli 2026

Yang Menyatakan,



Shafira Aurelia Rizky Azzahra
NPM: 2215020028

PRAKATA

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, karena hanya atas perkenan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Jurusan Pendidikan Biologi. Pada kesempatan ini diucapkan terimakasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Poppy Rahmatika Primandiri, M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Nusantara PGRI Kediri.
2. Dra. Budhi Utami, M.Pd., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Elysabet Herawati, S.Pd., M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing, memberikan arahan, dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Tutut Indah Sulistiyowati, S.Pd., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran serta masukan untuk skripsi ini.
5. Agus, S.Pd., selaku guru mata pelajaran biologi di SMA Negeri 7 Kota Kediri yang telah membimbing dan memberikan saran dalam penelitian di sekolah.
6. Kedua orang tua tersayang, saudara, dan keluarga besar yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan semangat agar skripsi ini selesai tepat waktu.
7. Seluruh teman-teman program studi Pendidikan Biologi Angkatan 2022, terimakasih telah membersamai dari awal perkuliahan sampai saat ini, semoga di 2026 kita lulus bersama-sama.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Disadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan masukan dan saran dari berbagai pihak. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Kediri, 02 Juli 2026



Shafira Aurelia Rizky Azzahra
NPM: 2215020028

RINGKASAN

Shafira Aurelia Rizky Azzahra Pengaruh Lama Fermentasi Kombucha Sari Buah Nanas Kelud Varietas Simplex terhadap Parameter Kimia sebagai Bahan Ajar Biologi SMA, Skripsi, Pendidikan Biologi, FIKS Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2026.

Kata kunci: fermentasi, kimia, kombucha, pembelajaran, nanas simplex.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh potensi nanas kelud varietas simplex sebagai bahan baku lokal Kediri, yang dapat diolah menjadi kombucha sekaligus dimanfaatkan sebagai bahan ajar biologi SMA. Secara teoritis, minuman hasil fermentasi larutan teh dan gula oleh simbiosis bakteri dan khamir (SCOBY) yang dikenal memiliki berbagai manfaat kesehatan karena mengandung asam organik, vitamin, senyawa fenolik, dan mikroorganisme probiotik. Salah satu bahan yang berpotensi dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi kombucha adalah nanas Kelud varietas simplex, varietas lokal Kabupaten Kediri yang memiliki cita rasa khas, aroma harum, kandungan gula relatif tinggi, serta senyawa bioaktif yang mendukung proses fermentasi. Dalam konteks pendidikan, materi fermentasi pada bioteknologi dapat dikaitkan dengan pemanfaatan bahan lokal agar peserta didik lebih mudah memahami hubungan antara konsep ilmiah dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, parameter pH, kadar asam laktat, dan total padatan terlarut menjadi indikator penting untuk menilai mutu serta perkembangan proses fermentasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap parameter kimia kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex dan pemanfaatannya sebagai bahan ajar biologi SMA.

Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap. Penelitian tahap I merupakan penelitian eksperimen menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) menggunakan delapan perlakuan lama fermentasi, yaitu 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 hari, dengan masing-masing tiga ulangan. Objek penelitian berupa kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex dengan menggunakan instrumen meliputi alat dan bahan pembuatan kombucha dan alat pengujian parameter kimia. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter, kadar asam laktat dianalisis dengan metode titrasi menggunakan statif, klem, buret dengan bantuan *aquadest*, indikator fenolfalein, serta larutan NaOH sebagai larutan standar, sedangkan total padatan terlarut diukur menggunakan refraktometer brix. Data dianalisis secara kuantitatif melalui uji normalitas, uji homogenitas, ANOVA satu arah, dan uji lanjut sesuai karakteristik data. Pada penelitian tahap II, hasil penelitian tahap I dikembangkan menjadi panduan praktikum biologi tingkat SMA pada materi bioteknologi melalui analisis kebutuhan, FGD, penyusunan draf panduan praktikum, revisi panduan praktikum, dan validasi oleh dosen validator serta guru biologi. Instrumen yang digunakan berupa angket analisis kebutuhan guru terhadap bahan ajar dengan skala penilaian empat tingkat yaitu sangat setuju, setuju, kurang setuju, dan tidak setuju. Selain itu, penilaian validasi panduan praktikum dilakukan menggunakan lembar validasi yang memuat indikator kesesuaian tujuan praktikum, kejelasan dasar teori, kelengkapan alat dan bahan, kejelasan langkah kerja, kelengkapan tabel data, kualitas pertanyaan diskusi, dan kejelasan kesimpulan agar lebih kontekstual dan

sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Subjek penelitian tahap II adalah guru mata pelajaran biologi kelas XII di SMA Negeri 7 Kota Kediri.

Hasil penelitian tahap I menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi, nilai pH menurun dari 4,03 menjadi 3,18; kadar asam laktat meningkat dari 0,276% menjadi 1,944%; dan total padatan terlarut menurun dari 12,60 °Brix menjadi 8,80 °Brix. Perubahan hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme selama fermentasi semakin intens dalam memanfaatkan gula sebagai substrat dan menghasilkan asam organik sehingga meningkatkan keasaman serta menurunkan kandungan padatan terlarut. Hasil penelitian tahap I kemudian dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan panduan praktikum biologi SMA pada materi bioteknologi yang disesuaikan dengan kebutuhan guru. Hasil validasi menunjukkan bahwa panduan praktikum memperoleh tingkat kelayakan sebesar 95% dari dosen validator dan 98% dari guru mata pelajaran biologi dengan kategori sangat layak. Dengan demikian, lama fermentasi berpengaruh terhadap karakteristik kimia kombucha sari buah nanas Kelud varietas simplex, dan hasil penelitian tersebut layak dimanfaatkan sebagai panduan praktikum biologi SMA pada materi bioteknologi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERSEMBAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Kajian Teori.....	7
1. Klasifikasi dan Morfologi Nanas	7
2. Pengertian Kombucha	9
3. Fermentasi Kombucha	11
4. Variasi Lama Fermentasi.....	13
5. Nilai pH Kombucha	14
6. Asam Laktat pada Kombucha	14
7. Total Padatan Terlarut pada Kombucha	15
8. Panduan Praktikum	15
B. Penelitian Sebelumnya	16
C. Kerangka Berpikir.....	16
D. Hipotesis Penelitian.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19

A. Penelitian Tahap I.....	19
1. Desain Penelitian.....	19
2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3. Instrumen Penelitian.....	20
4. Objek Penelitian.....	20
5. Prosedur Pengumpulan Data.....	21
6. Teknik Analisis Data.....	23
B. Penelitian Tahap II.....	24
1. Desain Penelitian.....	24
2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3. Subjek Penelitian.....	24
4. Prosedur Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
A. Hasil Penelitian.....	28
1. Hasil Penelitian Tahap I.....	28
2. Hasil Penelitian Tahap II.....	42
B. Pembahasan.....	46
1. Pembahasan Penelitian Tahap I.....	46
2. Pembahasan Penelitian Tahap II.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
A. Kesimpulan.....	54
B. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Pada 100 gram Nanas.....	8
Tabel 3.1 Desain Penelitian Waktu Fermentasi.....	19
Tabel 3.2 Denah Penelitian Waktu Fermentasi	20
Tabel 3.3 Skala Penilaian Validasi	27
Tabel 3.4 Kriteria Penilaian Validasi.....	27
Tabel 4.1 Nilai pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	28
Tabel 4.2 Uji Normalitas pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	30
Tabel 4.3 Uji Homogenitas pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	30
Tabel 4.4 Uji ANOVA pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	31
Tabel 4.5 Uji Lanjut pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	31
Tabel 4.6 Kadar Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	33
Tabel 4.7 Uji Normalitas Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	34
Tabel 4.8 Uji Homogenitas Kadar Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	35
Tabel 4.9 Uji ANOVA Kadar Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud..	35
Tabel 4.10 Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	37
Tabel 4.11 Uji Normalitas Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	39
Tabel 4.12 Uji Homogenitas Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	39
Tabel 4.13 Uji ANOVA Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	40
Tabel 4.14 Uji Lanjut Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	40
Tabel 4.15 Hasil Validasi Dosen Validator	44
Tabel 4.16 Hasil Validasi Oleh Guru Mata Pelajaran Biologi.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Berpikir pada Penelitian	17
Gambar 4.1 Uji pH Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	29
Gambar 4.2 Kadar Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud.....	33
Gambar 4.3 Total Padatan Terlarut Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jawaban Angket Wawancara Analisis Kebutuhan Bahan Ajar Biologi	61
Lampiran 2. Uji Games-Howell Kadar Asam Laktat Kombucha Sari Buah Nanas Kelud	62
Lampiran 3. Kartu Bimbingan Skripsi	64
Lampiran 4. Surat Undangan FGD Dosen Validator	66
Lampiran 5. Surat Undangan FGD Guru Validator	67
Lampiran 6. Surat Permohonan Validasi Dosen Validator	68
Lampiran 7. Surat Permohonan Validasi Guru Mata Pelajaran Biologi	69
Lampiran 8. Resume Agenda FGD (<i>Focus Group Discussion</i>)	70
Lampiran 9. Daftar Hadir FGD (<i>Focus Group Discussion</i>)	72
Lampiran 10. Lembar Validasi Angket Dosen Validator	73
Lampiran 11. Lembar Validasi Angket Guru Mata Pelajaran Biologi	76
Lampiran 12. BAST (Berita Acara Serah Terima)	79
Lampiran 13. Dokumentasi Proses Pembuatan Kombucha dan Pengujian Parameter Kimia	81
Lampiran 14. Foto Bukti FGD (<i>Focus Group Discussion</i>) dan Penyerahan Bahan Ajar	83
Lampiran 15. Bahan Ajar Panduan Praktikum Biologi	84

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fermentasi merupakan suatu proses biokimia dimana mikroorganisme mengubah substrat organik menjadi produk akhir sehingga timbul perubahan kimia dan biologis pada bahan baku (Carvalho *et al.*, 2024). Kecepatan dan arah perubahan tersebut dipengaruhi oleh komposisi substrat termasuk ketersediaan gula, jenis dan konsentrasi mikroorganisme *starter*, suhu, lamanya fermentasi, serta kondisi oksigen (Wang *et al.*, 2022). Perubahan parameter kimia yang rutin diamati meliputi pH, kadar asam laktat, dan total padatan terlarut mencerminkan aktivitas metabolisme mikroorganisme selama fermentasi (Chen *et al.*, 2025). Pengendalian variabel operasional ini penting untuk menghasilkan produk fermentasi yang konsisten, aman secara mikrobiologis, dan memiliki mutu organoleptik yang stabil (Nurfuzianti & Nurfuzianti, 2021).

Salah satu produk hasil fermentasi yang saat ini banyak dikembangkan adalah kombucha. Kombucha merupakan minuman hasil fermentasi yang pada awalnya dibuat dari teh dan berasal dari kawasan Eurasia. Minuman ini difermentasi menggunakan *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* (SCOBY), yaitu komunitas simbiotik bakteri asam asetat dan ragi yang membentuk lapisan pelikel, sehingga menghasilkan berbagai metabolit seperti asam organik, etanol dalam kadar rendah, serta senyawa bioaktif (Wang *et al.*, 2022). Seiring waktu praktik pembuatan kombucha menyebar ke berbagai negara dan mengalami adaptasi bahan baku, termasuk penggantian teh dengan sari buah untuk memperoleh variasi rasa dan potensi fungsional yang berbeda (Firdaus *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2023). Literatur terkini menekankan pentingnya karakterisasi komunitas mikroba dan profil metabolit untuk optimasi produksi serta jaminan mutu pada kombucha berbasis bahan non teh (Chen *et al.*, 2025).

Parameter kimia yang umum digunakan untuk mengevaluasi mutu kombucha meliputi pH, kadar asam laktat, dan total padatan terlarut. Nilai pH merupakan indikator penting dalam menentukan keamanan mikrobiologis

produk fermentasi karena menunjukkan tingkat keasaman yang berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Menurut Falasifah *et al.* (2025), kombucha yang layak dikonsumsi umumnya memiliki pH berkisar antara 2,5–4,2. Selain pH, kadar asam laktat juga berperan dalam membentuk karakteristik rasa dan mendukung sifat antimikroba produk fermentasi (Winandari *et al.*, 2022). Sebagai acuan pembandingan, SNI 2981:2009 menyebutkan bahwa total asam laktat pada produk fermentasi berkisar antara 0,5%–2,0%, yang dalam penelitian ini digunakan untuk menginterpretasikan hasil pengukuran, bukan sebagai standar khusus kombucha. Total padatan terlarut juga diamati karena mencerminkan jumlah zat terlarut, terutama gula yang dimanfaatkan mikroorganisme selama fermentasi. Penurunan nilai total padatan terlarut menunjukkan berlangsungnya pemanfaatan substrat dan dapat digunakan sebagai indikator perkembangan proses fermentasi (Tirado-Kulieva *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2022).

Salah satu bahan baku lokal yang berpotensi dikembangkan menjadi kombucha adalah nanas kelud varietas simplex. Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri merupakan sentra budidaya nanas yang berada di lereng Gunung Kelud dengan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan varietas simplex (Juwita *et al.*, 2025). Kondisi agroklimat di kawasan tersebut berpengaruh terhadap komposisi gula dan kandungan senyawa bioaktif buah sehingga varietas ini memiliki potensi sebagai bahan baku produk fermentasi (Mehraj *et al.*, 2024; Palachum *et al.*, 2021). Meskipun demikian, pemanfaatan nanas kelud varietas simplex hingga saat ini masih didominasi sebagai buah segar sehingga potensinya sebagai bahan baku minuman fermentasi belum banyak dikembangkan.

Selain memiliki potensi produksi yang tinggi, nanas kelud varietas simplex juga memiliki karakteristik yang mendukung proses fermentasi. Buah nanas mengandung gula sederhana berupa sukrosa, glukosa, dan fruktosa yang berfungsi sebagai sumber karbon bagi khamir dan bakteri selama fermentasi. Selain itu, kandungan asam organik, vitamin C, serta berbagai senyawa bioaktif pada buah nanas dapat mendukung aktivitas mikroorganisme fermentasi dan memengaruhi karakteristik kimia produk yang dihasilkan (Phung *et al.*, 2023).

Kajian pemberdayaan masyarakat menunjukkan bahwa pengolahan nanas menjadi produk bernilai tambah masih belum dimanfaatkan secara optimal sehingga diperlukan inovasi yang mampu meningkatkan nilai ekonomi komoditas tersebut (Juwita *et al.*, 2025). Namun, penerapan teknologi pengolahan nanas menjadi produk fermentasi masih terbatas akibat kurangnya pengetahuan teknis di tingkat petani maupun pelaku UMKM (Manggara *et al.*, 2023).

Potensi nanas kelud varietas simplex tersebut dapat dioptimalkan melalui pengolahan menjadi kombucha sebagai salah satu minuman fermentasi fungsional. Selama proses fermentasi, kultur simbiotik bakteri dan khamir (SCOBY) mengubah gula menjadi berbagai metabolit, seperti asam organik, vitamin, enzim, dan senyawa bioaktif yang berpotensi meningkatkan nilai fungsional produk fermentasi (Palachum *et al.*, 2021). Proses fermentasi juga dilaporkan dapat meningkatkan aktivitas antioksidan dan sifat antimikroba sehingga memberikan manfaat yang lebih tinggi dibandingkan konsumsi buah nanas segar (Kumar *et al.*, 2023). Selain itu, fermentasi menghasilkan cita rasa yang lebih kompleks, mengurangi sebagian kandungan gula, serta memperpanjang daya simpan produk sehingga berpotensi meningkatkan nilai tambah komoditas nanas (Mehraj *et al.*, 2024). Dengan demikian, pengolahan nanas kelud varietas simplex menjadi kombucha tidak hanya bertujuan memanfaatkan hasil panen sebagai buah konsumsi, tetapi juga meningkatkan nilai tambah melalui proses fermentasi yang mampu menghasilkan karakteristik kimia serta senyawa bioaktif yang lebih beragam dibandingkan buah segar. Potensi tersebut menunjukkan perlunya kajian mengenai pengaruh lama fermentasi terhadap karakteristik kimia kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex.

Hingga saat ini masih sangat sedikit penelitian yang mengevaluasi pengaruh lama fermentasi terhadap pH, kadar asam laktat, dan total padatan terlarut kombucha berbahan sari buah nanas kelud varietas simplex (Carvalho *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2025). Keterbatasan informasi tersebut menyebabkan belum tersedianya acuan ilmiah mengenai lama fermentasi yang mampu menghasilkan karakteristik kimia kombucha yang memenuhi kisaran aman

untuk dikonsumsi sekaligus mempertahankan kualitas produk. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai pengaruh lama fermentasi terhadap karakteristik kimia kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan panduan parameter proses yang tepat untuk produksi kombucha buah berbasis varietas lokal (Juwita *et al.*, 2025; Manggara *et al.*, 2023).

Pembelajaran biologi pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) mencakup berbagai materi, salah satunya fermentasi sebagai bagian dari kajian bioteknologi. Proses pembelajaran tersebut akan berlangsung lebih optimal apabila didukung perangkat pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep teoritis dengan fenomena nyata di lingkungan sekitar peserta didik. Pendekatan kontekstual tersebut terbukti membantu peserta didik memahami materi dengan lebih mudah sekaligus meningkatkan kesadaran terhadap penerapan konsep bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari (Randalele *et al.*, 2022). Selain itu, penggunaan panduan praktikum yang disusun secara sistematis mampu mendorong peserta didik untuk lebih aktif, mandiri, dan berinisiatif selama kegiatan pembelajaran, sehingga proses belajar tidak lagi terpusat pada guru, melainkan menjadi pengalaman belajar yang interaktif dan bermakna serta mampu meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik (Darmayanti *et al.*, 2023).

Di Sekolah Menengah Atas (SMA), materi bioteknologi umumnya dilakukan lewat praktikum yang dipandu lembar kerja atau buku instruksi, sehingga peserta didik memperoleh pengalaman langsung tentang bioproses dan fermentasi. Dari hasil wawancara dengan salah satu guru mata pelajaran biologi di SMA Negeri 7 Kota Kediri, guru menilai bahwa penelitian tentang kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex cocok untuk dijadikan bahan ajar praktikum karena relevan dengan ketersediaan bahan baku lokal dan minat peserta didik. Oleh karena itu, hasil penelitian varietas simplex diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan panduan praktikum bioteknologi yang kontekstual sehingga mampu membantu guru dalam menjelaskan konsep fermentasi sekaligus memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna bagi peserta didik.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah lama fermentasi kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex menghasilkan nilai pH yang memenuhi batas aman konsumsi?
2. Apakah lama fermentasi kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex menghasilkan kadar asam laktat yang memenuhi batas aman konsumsi?
3. Bagaimana pengaruh lama fermentasi terhadap total padatan terlarut pada kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex?
4. Apakah hasil penelitian tentang kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar biologi tingkat SMA pada materi bioteknologi?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap nilai pH kombucha sari buah nanas kelud varietas simplex berdasarkan batas aman konsumsi.
2. Mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap kadar asam laktat pada kombucha berbahan dasar sari buah nanas kelud varietas simplex berdasarkan batas aman konsumsi.
3. Mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap total padatan terlarut pada kombucha berbahan dasar sari buah nanas kelud varietas simplex.
4. Mengetahui hasil penelitian tentang kombucha berbahan dasar sari buah nanas kelud varietas simplex yang dapat digunakan sebagai bahan ajar SMA pada materi bioteknologi.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti, penelitian ini memberikan pengalaman langsung dalam mengembangkan produk fermentasi dengan bahan baku lokal serta

meningkatkan kemampuan analisis terhadap parameter kimia selama proses fermentasi.

2. Bagi dunia pendidikan, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam mata pelajaran biologi khususnya materi bioteknologi, karena memuat contoh penerapan fermentasi berbasis komoditas lokal dan analisis mutu produk fermentasi.
3. Bagi masyarakat, penelitian ini diharapkan dapat mendorong pengembangan olahan nanas kelud varietas simplex menjadi produk pangan yang lebih beragam, aman, dan memiliki nilai tambah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afgani, C. A., Nuralita Sari, R., Nairfana, I., Rori Setiawati, V., & Teknologi Hasil, P. (2022). Sosialisasi dan Pelatihan Pembuatan Kombucha dari Buah Nanas di Desa Batu Bulan Kecamatan Moyo Hulu Kabupaten Sumbawa. In *Jurnal Agro Dedikasi Masyarakat (JADM)*, 3(2). <http://journal.ummat.ac.id/index.php/>
- Ardi, J., Akrisa, M., & Arpah MSi, M. (2019). Keragaman Morfologi Tanaman Nanas (*Ananas Comosus* (L) Merr) di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Agro Indragiri*, 4(1).
- Bayu, M. K., Rizqiati, H., & Nurwantoro, N. (2017). Analisis Total Padatan Terlarut, Keasaman, Kadar Lemak, dan Tingkat Viskositas pada Kefir Optima dengan Lama Fermentasi yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Pangan*, 1(2). <https://doi.org/10.14710/jtp.2017.17468>
- Bortolomedi, B. M., Paglarini, C. S., & Brod, F. C. A. (2022). Bioactive Compounds in Kombucha: A Review of Substrate Effect and Fermentation Conditions. *Food Chemistry*, 385, 132719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132719>
- Budiandari, R. U., Azara, R., Adawiyah, R., & Prihatiningrum, A. E. (2023). Studi Karakteristik Kimia Minuman Probiotik Kombucha Sari Kulit Nanas (*Ananas comosus*). *Teknologi Pangan : Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 14(2), 181–188. <https://doi.org/10.35891/tp.v14i2.3890>
- Carvalho, L. C. do N., Sodré, G. da S., Silva, S. M. P. C. da, & Carvalho, C. A. L. de. (2024). Kombucha: Processo Fermentativo, Fatores de Influência na Fermentação e Benefícios À Saúde. In *Bebidas Fermentadas Probióticas: inovação e tecnologia em pesquisa*, (pp. 21–31). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/250118692>
- Chaniago, A. R. D., Siburian, J., & Kartika, W. D. (2022). Uji Kelayakan Panduan Praktikum Perkembangan Hewan Berbasis Keterampilan Proses Sains pada Materi Pengamatan Embriogenesis. *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(1), 79–89. <https://doi.org/10.31849/bl.v9i1.9544>
- Chen, A., Li, J., Yao, A., Du, G., Li, J., & Chen, J. (2025). Advancing Kombucha Fermentation: Microbial Interactions, Functional Metabolites, and Innovative Optimization Strategies. *Food Chemistry*, 494, 146121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146121>
- Cheng, Y., Bartholomew, D., & Qin, Y. (2018). Biology of the Pineapple Plant. In *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models* (Vol. 22, pp. 27–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00614-3_2
- Cohen, G., Sela, D. A., & Nolden, A. A. (2023). Sucrose Concentration and Fermentation Temperature Impact the Sensory Characteristics and Liking of Kombucha. *Foods*, 12(16), 3116. <https://doi.org/10.3390/foods12163116>

- Cvetković, D., Ranitović, A., Savić, D., Joković, N., Vidaković, A., Pezo, L., & Markov, S. (2019). Survival of Wild Strains of *Lactobacilli* During Kombucha Fermentation and Their Contribution to Functional Characteristics of Beverage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(4), 407–415. <https://doi.org/10.31883/pjfn/112276>
- Darmayanti, N. W. S., Suantara, I. W., Astuti, N. P. E., Dari, N. K. A. U., Partini, N. K. S., & Wulandari, K. Y. (2023). Evaluasi Peningkatan Guru dalam Penyusunan Panduan Praktikum IPA Bermuatan Karakter. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 9(2), 324. <https://doi.org/10.31764/orbita.v9i2.19532>
- Değirmencioglu, N., Yildiz, E., Şahan, Y., Gölbaş, M., & GÜRBÜZ, O. (2019). Fermentasyon Süresinin Kombü Çayı Mikrobiyotası ve Canlılık Oranları Üzerine Etkileri. *Akademik Gıda*, 17(2), 200–211. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613567>
- Evangelina, G., & Nugrahani, I. (2025). Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Karakteristik Fisikokimia, Mikrobiologis, dan Sensoris Kombucha Teh Hijau *Zigma*, 40(1).
- Falasifah, R., Dewanti, S. D., Zubaidah, E., & Sucipto, S. (2025). The Influence of Sugar Concentration and Fermentation Time of Green Tea Kombucha (*Camellia sinensis*) on its Halal and Safety Aspects. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 2025(1), 33–42.
- Firdaus, S., Indah, A., Isnaini, L., & Aminah, S. (2020). “Review” Teh Kombucha sebagai Minuman Fungsional dengan Berbagai Bahan Dasar Teh “Review” *Kombucha Tea as a Functional Beverage With Various Tea Bases*. <http://prosiding.unimus.ac.id>
- Hadi, M. J., & Junaidi, Muh. (2020). Prinsip dan Langkah-Langkah Penerapan *Focus Group Discussion* untuk Meningkatkan Keterampilan Berbicara dan Berpikir Kritis Mahasiswa. *Jurnalistrendi: Jurnal Linguistik, Sastra, dan Pendidikan*, 5(2), 126–134. <https://doi.org/10.51673/jurnalistrendi.v5i2.426>
- Hapsari, M., Rizkiprilisa, W., & Sari, A. (2021). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Aktivitas Antioksidan Minuman Fermentasi Kombucha Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata*). *AGROMIX*, 12(2), 84–87. <https://doi.org/10.35891/agx.v12i2.2647>
- Irawan, F., Adawiyah, R., Zubaidah, S., & Arsih, F. (2023). Scientific Literacy and Communication Skills A-Re Significant for Enhancing Students’ Creative Thinking Skills. *AIP Conference Proceedings*, 020017. <https://doi.org/10.1063/5.0112412>
- Ivanišová, E., Meňhartová, K., Terentjeva, M., Harangozo, L., Kántor, A., & Kačániová, M. (2020). The Evaluation of Chemical, Antioxidant, Antimicrobial and Sensory Properties of Kombucha Tea Beverage. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1840–1846. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04217-3>

- Juwita, R., Manggara, A. B., Parwono, E. A., Dewanti, A. K. N., Nisa', F. W., Haryono, N. Y., & Pahrany, A. D. (2025). Empowering Farmers Through Pineapple Processing Innovation as Featured Products of Sidorejo Village. *Community Empowerment*, 10(8), 1765–1776. <https://doi.org/10.31603/ce.14636>
- Kumar, V., Mangla, B., Javed, S., Ahsan, W., Kumar, P., Garg, V., & Dureja, H. (2023). Bromelain: A Review of Its Mechanisms, Pharmacological Effects and Potential Applications. *Food & Function*, 14(18), 8101–8128. <https://doi.org/10.1039/D3FO01060K>
- La Torre, C., Fazio, A., Caputo, P., Plastina, P., Caroleo, M. C., Cannataro, R., & Cione, E. (2021). Effects of Long-Term Storage on Radical Scavenging Properties and Phenolic Content of Kombucha from Black Tea. *Molecules*, 26(18), 5474. <https://doi.org/10.3390/molecules26185474>
- Liao, T., Li, X.-R., Fan, L., Zhang, B., Zheng, W.-M., Hua, J.-J., Li, L., Mahrer, N., & Cheng, L.-H. (2024). Nature of Back Slopping Kombucha Fermentation Process: Insights from the Microbial Succession, Metabolites Composition Changes and Their Correlations. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1433127>
- Maftai, N.-M., Iancu, A.-V., Elisei, A. M., Gurau, T. V., Ramos-Villarroel, A. Y., & Lisa, E. L. (2023). Functional Characterization of Fermented Beverages Based on Soy Milk and Sea Buckthorn Powder. *Microorganisms*, 11(6), 1493. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061493>
- Manggara, A. B., Ulilalbab, A., & Juwita, R. (2023). Journal of Community Engagement and Employment Training in Probiotic Kombucha Pineapple Beverage Production. *Journal of Community Engagement and Employment*, 5(2), 62–68. <http://ojs.iik.ac.id/index.php/JCEE>
- Mehraj, M., Das, S., Feroz, F., Waheed Wani, A., Dar, S. Q., Kumar, S., Wani, A. K., & Farid, A. (2024). Nutritional Composition and Therapeutic Potential of Pineapple Peel – A Comprehensive Review. *Chemistry & Biodiversity*, 21(5). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400315>
- Morales, D., Gutiérrez-Pensado, R., Bravo, F. I., & Muguerza, B. (2023). Novel Kombucha Beverages with Antioxidant Activity Based on Fruits as Alternative Substrates. *LWT*, 189, 115482. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115482>
- Munsofia, A., Sulistiono, & Utami, B. (2021). Analisis Kebutuhan Media Pembelajaran pada Materi Keaneragaman Hayati Biologi Kelas X SMA Analysis of Learning Media Needs on Biological Uniformity Materials Class X High School. *Prosiding Seminar Nasional Kesehatan, Sains Dan Pembelajaran*, 77–83.
- Nordin, N., Sulaiman, R., Bakar, J., & Noranizan, M. (2023). Comparison of Phenolic and Volatile Compounds in MD2 Pineapple Peel and Core. *Foods*, 12(11), 2233. <https://doi.org/10.3390/foods12112233>

- Novita, E. (2020). Pengembangan Buku Pedoman Praktikum Berbasis Keterampilan Proses Dasar Sains Kelas IV Sekolah Dasar. *Journal Evaluation in Education (JEE)*, 1(1), 34–41. <https://doi.org/10.37251/jee.v1i1.38>
- Nurfuzianti, R., & Nurfuzianti, R. (2021). Review: Pengaruh Proses Fermentasi Terhadap Kandungan Asam Laktat pada Makanan Fermentasi. *Parapemikir: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 10(2), 71. <https://doi.org/10.30591/pjif.v10i2.2098>
- Palachum, W., Choorit, W., & Chisti, Y. (2021). Nutritionally Enhanced Probioticated Whole Pineapple Juice. *Fermentation*, 7(3), 178. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030178>
- Phung, L. T., Kitwetcharoen, H., Chamnipa, N., Boonchot, N., Thanonkeo, S., Tippayawat, P., Klanrit, P., Yamada, M., & Thanonkeo, P. (2023). Changes in the Chemical Compositions and Biological Properties of Kombucha Beverages Made from Black Teas and Pineapple Peels and Cores. *Scientific Reports*, 13(1), 7859. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34954-7>
- Purwaningtyas, Y. R., & Cahyaningtyas, Y. D. W. (2024). Effect of Long Fermentation to Titrated Acid Total (TAT) in Lemongrass Kombucha Tea (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.). *International Journal of Health Sciences and Research*, 14(4), 112–118. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20240417>
- Putra, A. A. N. D. A. W., Widnyani, I. A. P. A., & Fitriani, P. P. E. (2022). Kadar Alkohol, Kadar Gula, dan Derajat Keasaman pada Fermentasi Minuman Kombucha Salak Bali. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 11(3), 394. <https://doi.org/10.24843/itepa.2022.v11.i03.p02>
- Randalele, C. E., Budi, B., & Nabu', D. D. (2022). Nilai-Nilai Kristiani dalam Ritual Dipelima Sundun pada Upacara Adat Rambu Solo'. *PEADA': Jurnal Pendidikan Kristen*, 3(2), 89–101. <https://doi.org/10.34307/peada.v3i2.86>
- Rasbawati, R., Irmayani, I., Novieta, I. D., & Nurmiati, N. (2019). Karakteristik Organoleptik dan Nilai pH Yoghurt dengan Penambahan Sari Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L). *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 7(1), 41–46. <https://doi.org/10.29244/jipthp.7.1.41-46>
- Rezaldi, F., Fadillah, M. F., Agustiansyah, L. D., Tanjung, S. A., Halimatusyadiah, L., & Safitri, E. (2022). Aplikasi Metode Bioteknologi Fermentasi Kombucha Buah Nanas Madu (*Ananas comosus*) Subang Sebagai Antibakteri Gram Positif dan Negatif Berdasarkan Konsentrasi Gula yang Berbeda. *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.51213/jamp.v6i1.70>
- Rizal, S., Erna, M., Nurainy, F., & Tambunan, A. R. (2016). Karakteristik Probiotik Minuman Fermentasi Laktat Sari Buah Nanas dengan Variasi Jenis Bakteri Asam Laktat. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), 63–71. <https://doi.org/10.14203/jkti.v18i01.41>
- Sahratullah, S., Seprianingsih, D., & Mardiana, M. (2023). Validitas Petunjuk Praktikum Berbasis POE (Predict, Observe, and Explain). *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(2), 1582. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v11i2.9438>

- Sigüenza-Andrés, T., Mateo, J., Rodríguez-Nogales, J. M., Gómez, M., & Caro, I. (2024). Characterization of a Fermented Beverage from Discarded Bread Flour Using Two Commercial Probiotics Starters. *Foods*, 13(6), 951. <https://doi.org/10.3390/foods13060951>
- Sugiarto, T. S., Purwanto, W., & Arif, A. (2022). Application of Demonstration Methods in Community Service Activities to Improve Psychomotor of Diesel Engine for Vocational School Students in Agam. *Suluh Bendang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 22(2), 686. <https://doi.org/10.24036/sb.02540>
- Sunaryo, S. (2024). Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Fruit Leather Buah Melon (*Cucumis melo L.*) dengan Substitusi Buah Nanas (*Ananas comosus*) [Thesis, Universitas Semarang]. <https://share.google/dg57qYSeoDNvGtLbT>
- Taneja, P., Biresaw, S. S., KumraTaneja, N., Jha, S. K., Zeleke, B., Srivastava, S., Taneja, M., Prasad, S., & Juneja, V. (2022). Chapter 15 - Advances in fermented foods and therapeutics. In H. Thatoi, S. Mohapatra, & S. K. Das (Eds.), *Innovations in Fermentation and Phytopharmaceutical Technologies* (pp. 341–358). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821877-8.00018-X>
- Tirado-Kulieva, V., Quijano-Jara, C., Avila-George, H., & Castro, W. (2024). Predicting the evolution of pH and total soluble solids during coffee fermentation using near-infrared spectroscopy coupled with chemometrics. *Current Research in Food Science*, 9, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100788>
- Touret, T., Oliveira, M., & Semedo-Lemsaddek, T. (2018). Putative Probiotic *Lacticacid* Bacteria Isolated from Sauerkraut Fermentations. *PLOS ONE*, 13(9), e0203501. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203501>
- Wang, B., Rutherford-Markwick, K., Zhang, X.-X., & Mutukumira, A. N. (2022). Kombucha: Production and Microbiological Research. *Foods*, 11(21), 3456. <https://doi.org/10.3390/foods11213456>
- Wang, B., Rutherford-Markwick, K., Naren, N., Zhang, X. X., & Mutukumira, A. N. (2023). Microbiological and Physico-Chemical Characteristics of Black Tea Kombucha Fermented with a New Zealand Starter Culture. *Foods*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/foods12122314>
- Winandari, O. P., Widiani, N., Kamelia, M., & Rizki, E. P. (2022). Potential of Vitamin C and Total Acid as Antioxidants of Rosella Kombucha with Different Fermentation Times. *Jurnal Pembelajaran dan Biologi Nukleus*, 8(1), 141–148. <https://doi.org/10.36987/jpbn.v8i1.2471>
- Younis, B. (2024). Effectiveness of a Professional Development Program Based on the Instructional Design Framework for AI Literacy in Developing AI Literacy Skills Among Pre-service Teachers. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 40(3), 142–158. <https://doi.org/10.1080/21532974.2024.2365663>