

OPTIMASI PRODUKSI BIOETANOL DARI LIMBAH KULIT PISANG MELALUI VARIASI WAKTU FERMENTASI MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Analisi Lahagu¹, Mitra Semestriani Zai², Riniat Lawolo³, Piderman Gulo⁴,
Yuri Waruwu⁵, Novelina Andriani Zega⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Universitas Nias, Jl. Yos Sudarso No. 118/E-S, Gunungsitoli, Sumatera Utara, Indonesia
Email: analisilahagu20@gmail.com

Article History

Received: 12-01-2026

Revision: 22-01-2026

Accepted: 26-01-2026

Published: 29-01-2026

Abstract. This study aims to determine the effect of fermentation duration on the bioethanol yield and to determine the optimal fermentation time using *Saccharomyces cerevisiae* yeast. The research method involved several main stages: preparation of banana peel samples, acid hydrolysis (using H₂SO₄) to convert polysaccharides into glucose, and anaerobic fermentation. The fermentation times used in this study were 3, 5, 7, and 9 days with a constant concentration of *Saccharomyces cerevisiae* inoculum. The bioethanol content was measured using a distillation method followed by alcohol content measurement using an alcohol meter or gas chromatography (GC). The results showed that fermentation time had a significant effect on the bioethanol yield. The bioethanol content increased until it reached an optimal point on the 5th day (or adjust according to your data) with a content of ...%, and tended to decrease at longer fermentation times due to the depletion of nutrients in the medium and the accumulation of by-products that inhibited yeast growth. Based on these results, it can be concluded that banana peel waste is effective for use as a bioethanol substrate with an optimal fermentation time of 5 days.

Keywords: Bioethanol, Banana Peel, Fermentation, *Saccharomyces Cerevisiae*, Hydrolysis

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh durasi fermentasi terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan serta menentukan waktu fermentasi optimal menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama: persiapan sampel kulit pisang, proses hidrolisis asam (menggunakan H₂SO₄) untuk mengubah polisakarida menjadi glukosa, dan proses fermentasi anaerob. Variasi waktu fermentasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3, 5, 7, dan 9 hari dengan konsentrasi inokulum *Saccharomyces cerevisiae* yang tetap. Kadar bioetanol diukur menggunakan metode destilasi yang dilanjutkan dengan pengukuran kadar alkohol menggunakan alkoholmeter atau kromatografi gas (GC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu fermentasi berpengaruh signifikan terhadap rendemen bioetanol yang dihasilkan. Kadar bioetanol mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimal pada hari ke-5 (atau sesuaikan dengan data Anda) dengan kadar sebesar ...%, dan cenderung mengalami penurunan pada waktu fermentasi yang lebih lama akibat berkurangnya nutrisi dalam media serta akumulasi produk samping yang menghambat pertumbuhan khamir. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa limbah kulit pisang efektif digunakan sebagai substrat bioetanol dengan waktu fermentasi optimal selama 5 hari.

Kata Kunci: Bioetanol, Kulit Pisang, Fermentasi, *Saccharomyces Cerevisiae*, Hidrolisis

How to Cite: Lahagu, A., Zai, M. S., Lawolo, R., Gulo, P., Waruwu, Y., & Zega, N. A. (2026). Optimasi Produksi Bioetanol dari Limbah Kulit Pisang Melalui Variasi Waktu Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae*. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 7 (1), 971-978. <http://doi.org/10.54373/imeij.v7i1.5037>

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perkembangan sektor industri. Hingga saat ini, pemenuhan kebutuhan energi masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang bersifat tidak terbarukan dan berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca serta perubahan iklim (Khamwachirapithak et al., 2023). Ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil tidak hanya menimbulkan permasalahan lingkungan, tetapi juga memicu ketidakstabilan pasokan energi dan krisis energi global. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang terbarukan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan sebagai bagian dari upaya transisi energi.

Bioetanol merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar sebagai pengganti parsial bensin atau sebagai bahan campuran bahan bakar (gasohol). Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai jenis biomassa yang mengandung gula, pati, maupun lignoselulosa. Namun, pemanfaatan bahan pangan seperti jagung dan singkong sebagai bahan baku bioetanol menimbulkan persoalan baru berupa konflik antara kebutuhan energi dan ketahanan pangan (Sánchez & Cardona, 2008). Oleh karena itu, pengembangan bioetanol generasi kedua yang memanfaatkan limbah lignoselulosa menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan dan strategis.

Salah satu limbah lignoselulosa yang berpotensi dimanfaatkan adalah kulit pisang. Indonesia sebagai negara agraris dan salah satu produsen pisang terbesar menghasilkan limbah kulit pisang dalam jumlah besar, baik dari konsumsi rumah tangga maupun industri pengolahan pangan. Sayangnya, limbah ini masih belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya dibuang atau digunakan sebagai pakan ternak dalam jumlah terbatas (Priharto et al., 2025). Secara kimiawi, kulit pisang mengandung karbohidrat dalam jumlah cukup tinggi, terutama pati, selulosa, dan hemiselulosa, yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kulit pisang memiliki potensi yang baik sebagai substrat fermentasi untuk produksi bioetanol setelah melalui proses hidrolisis yang tepat (Kumar et al., 2017; Saini et al., 2015).

Proses produksi bioetanol dari kulit pisang umumnya melibatkan dua tahap utama, yaitu hidrolisis untuk mengonversi polimer karbohidrat menjadi gula sederhana, serta fermentasi untuk mengubah gula menjadi etanol menggunakan mikroorganisme. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan khamir yang paling banyak digunakan dalam proses fermentasi bioetanol karena memiliki kemampuan konversi gula yang tinggi, stabilitas proses yang baik, serta toleransi terhadap kadar alkohol yang relatif tinggi (Lin & Tanaka, 2006). Meskipun

demikian, efisiensi produksi bioetanol sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter proses, salah satunya adalah waktu fermentasi.

Waktu fermentasi merupakan faktor kritis yang menentukan keberhasilan konversi gula menjadi etanol. Fermentasi dengan waktu yang terlalu singkat menyebabkan gula belum terkonversi secara optimal, sedangkan fermentasi yang terlalu lama dapat menurunkan kadar etanol akibat berkurangnya nutrisi, akumulasi senyawa penghambat, atau terjadinya metabolisme lanjut oleh khamir (Tadesse, 2024). Beberapa penelitian melaporkan bahwa variasi waktu fermentasi memberikan pengaruh signifikan terhadap rendemen dan kualitas bioetanol, namun waktu fermentasi optimal dapat berbeda bergantung pada jenis substrat dan kondisi proses (Azhar et al., 2017).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan dari limbah kulit pisang menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, serta menentukan waktu fermentasi optimal untuk memperoleh rendemen bioetanol maksimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.

METODE

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kulit pisang, ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*), asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis hidrolisis, akuades, urea atau pupuk NPK sebagai sumber nutrisi tambahan, serta reagen indikator glukosa (DNS atau Luff Schoorl). Alat yang digunakan antara lain blender, ayakan 60 mesh, labu Erlenmeyer, autoklaf, pH meter, inkubator, seperangkat alat destilasi, serta alkoholmeter atau Gas Chromatography (GC) untuk analisis kadar etanol.

Prosedur Penelitian

Persiapan Bahan Baku (Pretreatment)

Kulit pisang dibersihkan dari kotoran, dipotong kecil-kecil, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu $60^\circ C$ hingga kadar air berkurang. Selanjutnya, kulit pisang kering digiling menggunakan blender dan diayak dengan ayakan 60 mesh hingga diperoleh serbuk halus. Tahap ini bertujuan untuk memperluas luas permukaan bahan sehingga proses hidrolisis berlangsung lebih optimal.

Proses Hidrolisis

Serbuk kulit pisang dicampurkan dengan akuades dengan perbandingan 1:10 (b/v). Larutan asam sulfat dengan konsentrasi 1–5% ditambahkan sebagai katalis, kemudian campuran dipanaskan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15–30 menit. Setelah proses hidrolisis selesai, larutan didinginkan dan disaring untuk memperoleh filtrat berupa hidrolisat. Nilai pH hidrolisat kemudian disesuaikan hingga berada pada rentang 4,5–5,0 menggunakan larutan NaOH, sesuai dengan pH optimal pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*.

Persiapan Inokulum

Inokulum *Saccharomyces cerevisiae* dipersiapkan dengan mengaktifkan ragi dalam larutan gula steril atau sebagian hidrolisat. Proses aktivasi dilakukan selama 24 jam pada suhu ruang hingga terlihat aktivitas fermentasi yang ditandai dengan terbentuknya gelembung gas.

Proses Fermentasi

Fermentasi dilakukan secara anaerob dengan memasukkan hidrolisat ke dalam labu Erlenmeyer steril. Nutrisi tambahan berupa urea atau NPK ditambahkan sebanyak 0,5% (b/v), kemudian inokulum *Saccharomyces cerevisiae* dimasukkan sebanyak 10% (v/v). Labu fermentasi ditutup rapat dan dihubungkan dengan selang ke botol berisi air untuk memungkinkan pelepasan gas CO₂ tanpa masuknya oksigen. Fermentasi dilakukan dengan variasi waktu selama 3, 5, 7, dan 9 hari.

Teknik Analisis Data

Setelah fermentasi selesai, cairan hasil fermentasi didestilasi pada suhu $\pm 78^{\circ}\text{C}$ untuk memisahkan bioetanol. Kadar etanol yang diperoleh dianalisis menggunakan alkoholmeter berdasarkan berat jenis atau menggunakan *Gas Chromatography* (GC) untuk hasil yang lebih akurat. Data kadar etanol selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan uji analisis varians (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perbedaan waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan.

HASIL DAN DISKUSI

Data Hasil Pengamatan

Penelitian ini mengukur dua parameter utama, yaitu kadar gula reduksi setelah hidrolisis dan kadar bioetanol setelah proses destilasi pada tiap variasi waktu.

Tabel 1. Hasil pengukuran kadar bioetanol pada berbagai variasi waktu

Waktu Fermentasi (Hari)	Konsentrasi Gula Awal (%)	pH Media Fermentasi	Kadar Bioetanol (% v/v)	Rendemen (%)
3 Hari	14,2	4,8	4,5	10,2
5 Hari	14,2	4,5	9,8	22,4
7 Hari	14,2	4,2	7,6	17,3
9 Hari	14,2	4,0	5,2	11,8

(Budiastuti et al., 2023)

Karakteristik Hidrolisat Kulit Pisang

Proses hidrolisis menggunakan H₂SO₄ bertujuan untuk memecah selulosa dan pati pada kulit pisang menjadi glukosa. Berdasarkan Tabel 1, diperoleh kadar gula awal sebesar 14,2%. Hal ini menunjukkan bahwa limbah kulit pisang memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi untuk dikonversi menjadi substrat fermentasi. Pengaturan pH pada angka 4,5–4,8 dilakukan untuk menciptakan kondisi lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol

Berdasarkan data penelitian, terjadi peningkatan kadar bioetanol yang signifikan dari hari ke-3 hingga hari ke-5.

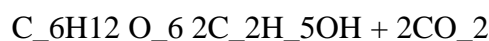
- Hari ke-3 (4,5%): Produksi etanol masih rendah karena mikroorganisme berada dalam fase adaptasi (log) dan mulai memasuki fase pertumbuhan cepat. Gula masih banyak tersedia dan belum terkonversi secara maksimal.
- Hari ke-5 (9,8%): Merupakan titik optimal produksi. Pada waktu ini, *Saccharomyces cerevisiae* bekerja secara maksimal dalam merombak gula menjadi etanol. Rasio nutrisi dan jumlah sel khamir berada pada kondisi setimbang, sehingga efisiensi fermentasi mencapai puncaknya (Tadesse, 2024)
- Penurunan produksi pada Hari ke-7 dan ke-9; Setelah melewati hari ke-5, kadar bioetanol mengalami penurunan yang cukup tajam (menjadi 7,6% dan 5,2%). Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor:

- 1) Keterbatasan nutrisi: sumber karbon (gula) yang tersedia dalam media semakin menipis, menyebabkan laju metabolisme khamir melambat.
- 2) Inhibisi produk: akumulasi etanol dalam kadar tinggi dapat bersifat toksik bagi dinding sel *Saccharomyces cerevisiae*, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan dan menyebabkan kematian sel (fase kematian).
- 3) Oksidasi menjadi asam: penurunan nilai pH (menjadi 4,0 pada hari ke-9) mengindikasikan terjadinya pembentukan asam-asam organik atau oksidasi etanol menjadi asam asetat oleh bakteri kontaminan (seperti *Acetobacter*) jika kondisi anaerob sedikit terganggu.

Pola perubahan kadar bioetanol yang diamati menunjukkan karakteristik umum proses fermentasi alkohol berbasis biomassa lignoselulosa, di mana efisiensi produksi sangat dipengaruhi oleh dinamika pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan ketersediaan substrat. Pada fase awal hingga mencapai waktu fermentasi optimal, aktivitas enzimatik khamir berlangsung efektif dalam mengonversi gula hasil hidrolisis menjadi etanol. Namun, setelah melewati titik optimum, sistem fermentasi mengalami penurunan kinerja akibat keterbatasan nutrisi dan efek inhibisi etanol terhadap sel khamir. Kondisi ini sesuai dengan temuan Saini et al. (2021) dan Balat dan Öz (2020) yang menyatakan bahwa akumulasi etanol dan perubahan pH media dapat menurunkan viabilitas sel serta menghambat jalur metabolisme fermentatif. Selain itu, potensi terbentuknya senyawa asam organik akibat gangguan kondisi anaerob turut berkontribusi terhadap penurunan hasil pada fermentasi lanjutan, sebagaimana dilaporkan oleh Kumar et al. (2019). Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengendalian durasi fermentasi merupakan faktor krusial dalam meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari limbah kulit pisang.

Reaksi Kimia yang Terjadi

Secara teoritis, proses konversi glukosa menjadi etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* mengikuti persamaan reaksi Gay-Lussac (Santosh et al., 2023):



Setiap 1 mol glukosa secara teoritis dapat menghasilkan 2 mol etanol. Namun, dalam prakteknya, sebagian glukosa digunakan oleh khamir untuk pertumbuhan sel dan pembentukan produk samping (seperti gliserol dan asam organik), sehingga rendemen tidak pernah mencapai 100% dari nilai teoritis. Kondisi ini wajar dalam proses fermentasi biologis karena sebagian glukosa tidak sepenuhnya dikonversi menjadi etanol, melainkan dimanfaatkan oleh khamir untuk pertumbuhan biomassa dan pembentukan metabolit samping seperti gliserol, asam

organik, dan senyawa volatil lainnya. Selain itu, faktor lingkungan seperti keterbatasan nutrisi, perubahan pH, serta akumulasi etanol selama fermentasi juga memengaruhi efisiensi kerja enzimatis dalam sel khamir. Dengan demikian, perbedaan antara hasil aktual dan rendemen teoritis mencerminkan dinamika metabolisme mikroorganisme selama fermentasi dan menegaskan pentingnya optimasi kondisi proses, khususnya waktu fermentasi, untuk mendekati hasil etanol yang maksimal secara praktis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai optimasi produksi bioetanol dari limbah kulit pisang menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pengaruh waktu fermentasi: variasi waktu fermentasi berpengaruh signifikan terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan. Terdapat pola kenaikan produksi hingga mencapai titik jenuh, yang kemudian diikuti dengan penurunan kadar seiring dengan bertambahnya durasi fermentasi.
- Waktu fermentasi optimal: waktu fermentasi terbaik untuk memproduksi bioetanol dari limbah kulit pisang adalah selama 5 hari (Budiastuti et al., 2023). Pada durasi ini, diperoleh kadar bioetanol tertinggi sebesar 9,8% (v/v) dengan rendemen sebesar 22,4%.
- Karakteristik penurunan: penurunan kadar bioetanol yang terjadi pada hari ke-7 dan ke-9 disebabkan oleh habisnya nutrisi (glukosa) dalam media fermentasi serta adanya sifat toksisitas etanol terhadap sel khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang menghambat aktivitas metabolisme lanjut (Khamwachirapithak et al., 2023)
- Potensi limbah: limbah kulit pisang terbukti merupakan bahan baku (substrat) yang potensial untuk produksi bahan bakar nabati (bioetanol) karena kandungan karbohidratnya yang cukup tinggi dan ketersediaannya yang melimpah.

REFERENSI

- Azhar, S. H. M., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Faik, A. A. M., & Rodrigues, K. F. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>
- Balat, M., & Öz, C. (2020). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 75, 100789. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.100789>
- Budiastuti, H., Zulfa, I., & Sihombing, N. (2023). *Effect of Fermentation Time on the Production of Ambon Banana Weevil Waste Bioethanol*. 4(1), 17–28.
- Kalsum, U., Mardwita, & Safitri, L. (2022). *Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang Raja Secara Fermentasi Menggunakan Saccharomyces cerevisiae*. 13(01), 33–38.

- Khamwachirapithak, P., Sae-Tang, K., Mhuantong, W., Tanapongpipat, S., Zhao, X.-Q., Liu, C.-G., Wei, D.-Q., Champreda, V., & Runguphan, W. (2023). Optimizing Ethanol Production in *Saccharomyces cerevisiae* at Ambient and Elevated Temperatures through Machine Learning-Guided Combinatorial Promoter Modifications. *ACS Synthetic Biology*, 12(10), 2897–2908. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.3c00199>
- Kumar, D., Murthy, G. S., & Banerjee, R. (2017). Bioethanol production from banana peel using statistical optimization. *Renewable Energy*, 101, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.022>
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), 627–642. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0229-x>
- Nanda, P. I., Zulnazri, Muarif, A., Rozanna, D., Novi, S., & Muhammad, A. (2024). *Pembuatan Etanol dari kulit pisang raja menggunakan Saccharomyces cerevisiae dengan metode hidrolisis*. 2(Mei), 279–288.
- Priharto, N., Saputra, R. A., & Lestari, D. (2025). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai bahan baku bioetanol generasi kedua. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 4(1), 15–24.
- Priharto, N., Setiawan, A., & Astuti, D. I. (2025). *Optimized bioethanol production from banana stem waste via simultaneous saccharification and fermentation with Saccharomyces cerevisiae*. 30(1). <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.98638>
- Saini, J. K., Saini, R., & Tewari, L. (2015). Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: Concepts and recent developments. *3 Biotech*, 5(4), 337–353. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0246-5>
- Santosh, C. A., Santosh, G. R., & Santosh, P. S. (2023). *Bioethanol production from banana peels*. 13(January), 440–444.
- Sánchez, Ó. J., & Cardona, C. A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99(13), 5270–5295. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.013>
- Shitophyta, L. M., Zhirmayanti, R. S., & Khoirunnisa, H. A. (2023). *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan Production of Bioethanol from Kepok Banana Peels (Musa acuminata x Musa balbisiana) using Different Types of Yeast*. 7(3), 897–903.
- Tadesse, A. A. (2024). *Production and Optimization of Bioethanol from Mixed Banana and Papaya Peels Using Saccharomyces Cerevisiae*. 8(2), 45–57.