

OPTIMASI PROSES FERMENTASI LIMBAH PERTANIAN MENJADI BIOETANOL SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN

Andi Baso Rewang^{1*}, Andi Besse Astuti²

Program Agroindustri, Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, Jalan Poros Makassar - Parepare Km. 83, Mandalle, Pangkep, Kabupaten Pangkajene Dan Kepulauan, Sulawesi Selatan 90761.

Email Korespondensi: Basoandirewang@gmail.com

Abstrak. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku energi terbarukan merupakan solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Limbah seperti jerami padi, tongkol jagung, dan kulit singkong memiliki kandungan lignoselulosa tinggi yang berpotensi diubah menjadi bioetanol melalui proses fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses fermentasi limbah pertanian menjadi bioetanol dengan variasi waktu dan konsentrasi substrat menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan faktorial 3×3 dengan variasi waktu fermentasi (48, 72, 96 jam) dan konsentrasi substrat (10%, 15%, 20%). Analisis kadar bioetanol dilakukan dengan metode destilasi dan pengukuran menggunakan alkoholmeter. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi waktu fermentasi 72 jam dan konsentrasi substrat 15% menghasilkan kadar bioetanol tertinggi sebesar 8,9% (v/v). Uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh signifikan interaksi waktu dan konsentrasi substrat terhadap kadar bioetanol ($p < 0,05$). Peningkatan waktu fermentasi di atas 72 jam tidak meningkatkan kadar bioetanol secara signifikan, diduga akibat penurunan aktivitas enzimatis ragi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah pertanian memiliki potensi besar sebagai bahan baku bioetanol, dan optimasi proses fermentasi dapat meningkatkan efisiensi konversi biomassa menjadi energi terbarukan.

Kata kunci: bioetanol, fermentasi, limbah pertanian, energi terbarukan, *Saccharomyces cerevisiae*

Abstract. The utilization of agricultural waste as a renewable energy feedstock offers a sustainable alternative to fossil fuels. Wastes such as rice straw, corn cobs, and cassava peels contain high lignocellulose levels that can be converted into bioethanol through fermentation. This study aimed to optimize the fermentation process of agricultural waste into bioethanol using varying fermentation times and substrate concentrations with *Saccharomyces cerevisiae*. A 3×3 factorial design was applied, with fermentation times (48, 72, 96 hours) and substrate concentrations (10%, 15%, 20%). Bioethanol levels were determined via distillation and measured with an alcoholmeter. The results indicated that the combination of 72-hour fermentation and 15% substrate concentration produced the highest bioethanol yield of 8.9% (v/v). ANOVA analysis showed a significant interaction effect between fermentation time and substrate concentration on ethanol yield ($p < 0.05$). Extending fermentation beyond 72 hours did not improve ethanol concentration significantly, likely due to reduced yeast enzymatic activity. This study concludes that agricultural waste is a promising bioethanol feedstock, and fermentation optimization enhances biomass conversion efficiency into renewable energy.

Keywords: bioethanol, fermentation, agricultural waste, renewable energy, *Saccharomyces cerevisiae*

*Penulis Korespondensi

Diterima : 2 September 2025. Disetujui : 25 September 2025. Dipublikasikan : 30 September 2025

PENDAHULUAN

Krisis energi global dan meningkatnya emisi karbon telah mendorong upaya pengembangan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah bioetanol, bahan bakar cair hasil fermentasi biomassa yang dapat digunakan sebagai substitusi bensin (Balat & Balat, 2009). Di Indonesia, potensi bahan baku bioetanol sangat besar, terutama dari limbah pertanian seperti jerami padi, tongkol jagung, dan kulit singkong yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Limbah pertanian mengandung komponen utama lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan selulosa tinggi (35–50%) dapat dihidrolisis menjadi glukosa, yang selanjutnya difermentasi oleh mikroorganisme menjadi etanol (Sánchez & Cardona, 2008). Tantangan utama dalam produksi bioetanol dari limbah pertanian terletak pada tahap hidrolisis dan fermentasi yang belum optimal, karena struktur lignin yang kompleks dapat menghambat akses enzim terhadap selulosa (Sun & Cheng, 2002).

Optimasi proses fermentasi merupakan kunci untuk meningkatkan efisiensi produksi

bioetanol. Variabel penting yang memengaruhi hasil fermentasi meliputi waktu fermentasi, konsentrasi substrat, suhu, pH, dan jenis mikroorganisme (Kumar et al., 2016). *Saccharomyces cerevisiae* merupakan ragi yang paling umum digunakan karena toleransi tinggi terhadap etanol dan kemampuan memfermentasi glukosa dengan cepat.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi substrat dapat meningkatkan kadar bioetanol hingga titik optimum tertentu, tetapi konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penghambatan osmotik (Taherzadeh & Karimi, 2007). Demikian pula, waktu fermentasi yang terlalu lama dapat menurunkan hasil etanol akibat konsumsi nutrisi oleh sel ragi yang menurun (Zabed et al., 2017).

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kombinasi waktu dan konsentrasi substrat terbaik dalam proses fermentasi limbah pertanian menjadi bioetanol. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar penerapan teknologi produksi bioetanol skala industri sebagai bagian dari strategi nasional energi terbarukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial 3×3 untuk menganalisis pengaruh waktu fermentasi (48, 72, 96 jam) dan konsentrasi substrat (10%, 15%, 20%) terhadap kadar bioetanol. Bahan utama adalah campuran limbah pertanian berupa jerami padi, tongkol jagung, dan kulit singkong yang dikeringkan dan digiling hingga ukuran 60 mesh.

Prosedur Penelitian

Pretreatment: Limbah pertanian direndam dalam larutan NaOH 2% selama 1 jam untuk melunakkan lignin, kemudian dinetralkan dan dikeringkan.

Hidrolisis: Proses dilakukan menggunakan enzim selulase (10 U/mL) pada suhu 50°C selama 24 jam untuk menghasilkan glukosa.

Fermentasi: Dilakukan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* 10% (v/v) pada suhu 30°C dalam wadah tertutup selama 48–96 jam dengan variasi konsentrasi substrat 10–20%.

Analisis Bioetanol: Hasil fermentasi didistilasi pada suhu 78°C dan kadar etanol diukur menggunakan alkoholmeter.

Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA) dua arah untuk mengetahui pengaruh waktu dan konsentrasi substrat serta interaksinya terhadap kadar bioetanol. Uji lanjut

menggunakan Least Significant Difference (LSD) pada taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1. Rata-rata Kadar Bioetanol Berdasarkan Waktu dan Konsentrasi Substrat

Waktu (jam)	10% Substrat	15% Substrat	20% Substrat	Rata-rata (%)
48	5.8	7.1	6.5	6.5
72	7.6	8.9	8.1	8.2
96	7.2	8.3	7.5	7.7
Rata-rata	6.9	8.1	7.4	—

Tabel menunjukkan bahwa peningkatan waktu fermentasi hingga 72 jam menghasilkan kadar bioetanol tertinggi (8,9%) pada konsentrasi substrat 15%.

Namun, setelah 96 jam, kadar etanol menurun, kemungkinan akibat penurunan aktivitas fermentatif ragi dan penumpukan etanol yang bersifat toksik terhadap sel.

Tabel 2. Hasil Uji ANOVA Pengaruh Waktu dan Konsentrasi terhadap Kadar Bioetanol

Sumber Variasi	F hitung	p-value	Keterangan
Waktu fermentasi	15.27	0.001*	Signifikan
Konsentrasi substrat	9.83	0.004*	Signifikan
Interaksi waktu × konsentrasi	5.46	0.010*	Signifikan

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa waktu fermentasi, konsentrasi substrat, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan terhadap kadar

bioetanol ($p < 0,05$). Kondisi optimum diperoleh pada kombinasi waktu 72 jam dan konsentrasi substrat 15%.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi waktu fermentasi 72 jam dan konsentrasi substrat 15% menghasilkan kadar bioetanol tertinggi, yaitu 8,9%. Hasil ini sejalan dengan teori fermentasi yang menyatakan bahwa waktu dan konsentrasi substrat merupakan dua faktor utama yang mempengaruhi laju produksi etanol (Balat, 2011).

Pada awal fermentasi (48 jam), aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* meningkat seiring dengan ketersediaan glukosa hasil hidrolisis. Namun, pada waktu 96 jam, terjadi penurunan produksi etanol akibat kelelahan metabolik dan efek toksik dari etanol terhadap membran sel

ragi (Taherzadeh & Karimi, 2007). Penurunan aktivitas enzimatis juga disebabkan oleh keterbatasan nutrisi dan akumulasi asam organik (Zabed et al., 2017).

Konsentrasi substrat 15% terbukti paling optimal karena menyediakan jumlah glukosa yang cukup tanpa menyebabkan tekanan osmotik berlebih pada sel ragi. Konsentrasi substrat yang terlalu tinggi (20%) menurunkan efisiensi fermentasi karena menghambat difusi nutrisi dan menyebabkan ketidakseimbangan ionik pada medium (Cardona & Sánchez, 2007).

Hasil ANOVA yang menunjukkan interaksi signifikan antara waktu dan konsentrasi substrat memperkuat pentingnya optimasi kedua variabel

tersebut secara bersamaan. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Kumar et al. (2016) dan Lin & Tanaka (2006), yang menunjukkan bahwa kondisi optimum fermentasi bervariasi tergantung pada jenis bahan baku lignoselulosa dan strain ragi yang digunakan.

Secara praktis, proses optimasi ini dapat diterapkan untuk memproduksi bioetanol skala industri dari limbah pertanian lokal. Integrasi teknologi enzimatis-hidrolisis-fermentasi memungkinkan efisiensi konversi biomassa meningkat hingga 80% (Mussatto et al., 2010). Selain itu, penerapan sistem fermentasi dua tahap (separate hydrolysis and fermentation) dapat meningkatkan hasil bioetanol lebih lanjut (Hamelinck et al., 2005).

Produksi bioetanol dari limbah pertanian tidak hanya mengurangi limbah organik tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca hingga 60% dibandingkan bahan bakar fosil (Gnansounou et al., 2009). Di Indonesia, penerapan teknologi ini mendukung program energi nasional melalui B20 policy, yang menargetkan penggunaan biofuel sebagai energi alternatif berkelanjutan.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah terhadap optimasi fermentasi tetapi juga mendukung kebijakan energi bersih dan ekonomi sirkular berbasis biomassa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kombinasi waktu fermentasi 72 jam dan konsentrasi substrat 15% merupakan kondisi optimum dalam proses fermentasi limbah pertanian menjadi bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, dengan kadar bioetanol maksimum 8,9%. Hasil uji ANOVA menunjukkan pengaruh signifikan dari waktu, konsentrasi, dan

interaksinya terhadap produksi bioetanol ($p < 0,05$).

Saran

Diperlukan penelitian lanjutan menggunakan kombinasi enzim dan ragi toleran etanol untuk meningkatkan efisiensi konversi. Implementasi sistem continuous fermentation dan skala pilot plant direkomendasikan untuk mempercepat adopsi teknologi bioetanol di sektor industri energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balat, M. and Balat, H. (2009) 'Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel', *Applied Energy*, 86(11), pp. 2273–2282.
- Balat, M. (2011) 'Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway', *Energy Conversion and Management*, 52(2), pp. 858–875.
- Cardona, C.A. and Sánchez, Ó.J. (2007) 'Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities', *Bioresource Technology*, 98(12), pp. 2415–2457.
- Gnansounou, E. et al. (2009) 'Life cycle assessment of bioethanol production from agricultural residues', *Renewable Energy*, 34(6), pp. 1793–1801.
- Hamelinck, C.N. et al. (2005) 'Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term', *Biomass and Bioenergy*, 28(4), pp. 384–410.
- Kumar, A. et al. (2016) 'Optimization of bioethanol production from agro-wastes', *Renewable Energy*, 86, pp. 965–972.
- Lee, J. (1997) 'Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol', *Journal of Biotechnology*, 56(1), pp. 1–24.
- Lin, Y. and Tanaka, S. (2006) 'Ethanol

- fermentation from biomass resources: current state and prospects', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), pp. 627–642.
- Mussatto, S.I. et al. (2010) 'Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production', *Biotechnology Advances*, 28(6), pp. 817–830.
- Sánchez, Ó.J. and Cardona, C.A. (2008) 'Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks', *Bioresource Technology*, 99(13), pp. 5270–5295.
- Sun, Y. and Cheng, J. (2002) 'Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production', *Bioresource Technology*, 83(1), pp. 1–11.
- Taherzadeh, M.J. and Karimi, K. (2007) 'Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review', *BioResources*, 2(3), pp. 472–499.
- Zabed, H. et al. (2017) 'Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, pp. 475–501.
- Zhao, X. et al. (2012) 'Challenges and opportunities in lignocellulosic bioethanol production', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95(3), pp. 661–672.
- Huang, H. et al. (2015) 'Improvement of ethanol production from corn stover hydrolysate by fed-batch fermentation', *Bioresource Technology*, 177, pp. 147–153.
- Kim, S. and Dale, B.E. (2004) 'Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues', *Biomass and Bioenergy*, 26(4), pp. 361–375.
- Pandey, A. et al. (2011) *Biofuels: Alternative feedstocks and conversion processes*. London: Academic Press.
- Sarkar, N. et al. (2012) 'Bioethanol production from agricultural wastes: An overview', *Renewable Energy*, 37(1), pp. 19–27.
- Sukumaran, R.K. et al. (2010) 'Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass', *BioResources*, 5(2), pp. 919–944.
- Zheng, Y. et al. (2009) 'Improving ethanol yield by fed-batch fermentation using mixed feedstocks', *Biochemical Engineering Journal*, 46(2), pp. 140–145.
- IEA (2022) *Renewables 2022 Report*. Paris: International Energy Agency.