

Optimalisasi Konsentrasi HNO_3 dan Waktu Hidrolisis pada Efisiensi Bioetanol dari Pelepah Pisang Kepok

Indah Puteri Pasha¹⁾, Kgs. A. Roni^{1*)}, Netty Herawati¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang

^{*)}Correspondence Author: kiagusaroni@gmail.com,

 <https://doi.org/10.31851/m00den03>

Received: 30 Juli 2026

Revised: 13 Agustus 2026

Accepted: 30 Agustus 2026

Abstrak

Limbah pelepah pisang kepok merupakan biomassa lignoselulosa yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioetanol. Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh konsentrasi HNO_3 dan waktu hidrolisis terhadap kualitas bioetanol serta menetapkan perlakuan terbaik. Penelitian menggunakan konsentrasi HNO_3 1, 2, 3, dan 4 N serta waktu hidrolisis 15, 30, 45, dan 60 menit sehingga diperoleh 16 kombinasi perlakuan. Delignifikasi dilakukan menggunakan NaOH 10% sebanyak 200 mL pada 100 g tepung pelepah pisang selama 1 jam pada 90°C . Biomassa kemudian dihidrolisis menggunakan 200 mL HNO_3 sesuai perlakuan, difermentasi menggunakan 10 g *Saccharomyces cerevisiae* dengan penambahan urea selama 4 hari pada 30°C , dan didestilasi pada 80°C . Produk dianalisis berdasarkan kadar etanol, densitas, indeks bias, dan kadar air. Perlakuan terbaik diperoleh pada HNO_3 3 N selama 60 menit dengan kadar etanol 52,76% (v/v), densitas 0,799 g/mL, indeks bias 1,3514, dan kadar air 15,18%. Pada HNO_3 4 N, kadar etanol menurun menjadi 44,18%, yang diduga berkaitan dengan pembentukan senyawa inhibitor akibat kondisi hidrolisis yang lebih kuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HNO_3 3 N dan waktu hidrolisis 60 menit merupakan kombinasi perlakuan terbaik pada kondisi penelitian ini.

Kata Kunci: bioetanol, pelepah pisang kepok, asam nitrat, hidrolisis, fermentasi.



© 2026 Author ; Jurnal Redoks licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 Intern

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber yang berpotensi dikembangkan adalah bioetanol dari biomassa lignoselulosa. Bioetanol generasi kedua memanfaatkan bahan nonpangan sehingga penggunaannya tidak bersaing secara langsung dengan kebutuhan pangan. Pemanfaatan biomassa lignoselulosa juga dapat mendukung pengurangan limbah pertanian dan penerapan konsep ekonomi sirkular. Pisang kepok (*Musa balbisiana*) merupakan salah satu jenis pisang yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Selain menghasilkan buah, kegiatan budidayanya menghasilkan limbah berupa pelepah yang belum dimanfaatkan secara optimal. Biomassa pelepah pisang mengandung komponen lignoselulosa yang dapat dikonversi menjadi gula fermentabel melalui tahapan pretreatment dan hidrolisis. Oleh karena itu, pelepah pisang kepok berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioetanol (Zaini et al., 2023).

Konversi lignoselulosa menjadi bioetanol dipengaruhi oleh struktur kompleks selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Pretreatment diperlukan untuk membuka struktur biomassa sehingga komponen karbohidrat lebih mudah dihidrolisis. Hidrolisis asam merupakan salah satu metode yang

banyak digunakan untuk menghasilkan gula dari biomassa lignoselulosa. El-Imam et al. (2022) menunjukkan bahwa kondisi hidrolisis asam, termasuk konsentrasi asam, memengaruhi pembentukan gula yang dapat difermentasi. Namun, kondisi asam yang terlalu kuat dapat meningkatkan pembentukan senyawa penghambat fermentasi, seperti furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF). Selain konsentrasi asam, waktu hidrolisis merupakan parameter penting karena menentukan lama kontak antara asam dan biomassa. Waktu yang terlalu singkat dapat menyebabkan hidrolisis belum berlangsung secara optimal, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat meningkatkan risiko degradasi gula menjadi senyawa lain. Legodi dan LaGrange (2021) menunjukkan bahwa kondisi hidrolisis berpengaruh terhadap hasil fermentasi hidrolisat pelepah pisang. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa waktu dan konsentrasi asam perlu dikendalikan untuk memperoleh kondisi proses yang sesuai (Abril-González et al., 2023).

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, kajian mengenai hidrolisis lignoselulosa telah banyak dilakukan, tetapi penelitian yang secara khusus mengevaluasi kombinasi konsentrasi HNO_3 dan waktu hidrolisis pada limbah pelepah pisang kepok masih terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kecenderungan perubahan kualitas bioetanol pada variasi konsentrasi HNO_3 dan waktu hidrolisis. Tujuan penelitian adalah (1) mengkaji perubahan kualitas bioetanol pada variasi konsentrasi HNO_3 , (2) mengkaji perubahan kualitas bioetanol pada variasi waktu hidrolisis, dan (3) menentukan kombinasi perlakuan yang menghasilkan kadar etanol tertinggi pada kondisi penelitian.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Dasar Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang, pada Januari–April 2026. Bahan yang digunakan adalah limbah pelepah daun pisang kepok, NaOH, HNO_3 , ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*), urea, dan aqua demineralisata. Peralatan utama meliputi beaker glass, magnetic stirrer, hotplate, blender, oven, neraca analitik digital, termometer, dan rangkaian destilasi. Variabel bebas penelitian adalah konsentrasi HNO_3 sebesar 1, 2, 3, dan 4 N serta waktu hidrolisis selama 15, 30, 45, dan 60 menit. Kombinasi kedua variabel menghasilkan 16 perlakuan, dan setiap perlakuan dilakukan sebanyak satu kali (tanpa ulangan), sehingga data yang diperoleh disajikan secara deskriptif tanpa pengujian statistik. Variabel tetap meliputi jumlah sampel, jumlah ragi, dan lama fermentasi.

Tahap pretreatment diawali dengan pencucian, pengeringan, dan penggilingan pelepah pisang hingga diperoleh tepung. Sebanyak 100 g tepung pelepah pisang didelignifikasi menggunakan 200 mL larutan NaOH 10%, kemudian diaduk selama 1 jam pada suhu 90°C . Setelah penyaringan, biomassa dinetralkan menggunakan akuademineralisata hingga pH 6,5–7,5.

Biomassa yang telah dinetralkan kemudian dihidrolisis menggunakan 200 mL larutan HNO_3 dengan konsentrasi 1, 2, 3, dan 4 N selama 15, 30, 45, dan 60 menit sesuai perlakuan. Setelah hidrolisis, hasil proses dicuci hingga pH 4–5. Hidrolisat selanjutnya difermentasi dengan 10 g *Saccharomyces cerevisiae* dan penambahan urea sebagai nutrisi selama 4 hari pada suhu 30°C . Hasil fermentasi kemudian didestilasi pada suhu 80°C .

Produk hasil destilasi dianalisis berdasarkan kadar etanol menggunakan kromatografi gas (GC), densitas menggunakan piknometer terkalibrasi, indeks bias menggunakan refraktometer, dan kadar air. Data hasil pengujian disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel untuk membandingkan kecenderungan perubahan parameter pada setiap perlakuan. Penentuan perlakuan terbaik didasarkan pada kadar etanol tertinggi dengan mempertimbangkan parameter pendukung berupa densitas, indeks bias, dan kadar air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi HNO_3 terhadap Kualitas Bioetanol

Untuk mengisolasi pengaruh konsentrasi HNO_3 , analisis difokuskan pada data waktu hidrolisis 60 menit yang secara konsisten menghasilkan kadar etanol tertinggi pada setiap tingkat konsentrasi Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi HNO_3 terhadap kualitas bioetanol pada waktu hidrolisis 60 menit

HNO_3 (N)	Indeks Bias	Densitas (g/mL)	Kadar Etanol (% v/v)	Kadar Air (%)
1	1,3440	0,859	34,74	24,06
2	1,3477	0,829	47,25	19,62
3	1,3514	0,799	52,76	15,18
4	1,3468	0,834	44,18	21,53

Keterangan: baris diarsir menunjukkan perlakuan optimal (HNO_3 3 N).

Kadar etanol meningkat dari 34,74% pada konsentrasi 1 N menjadi 47,25% pada 2 N, mencapai puncaknya sebesar 52,76% pada 3 N, kemudian menurun menjadi 44,18% pada konsentrasi 4 N. Peningkatan kadar etanol pada konsentrasi HNO_3 1–3 N menunjukkan bahwa proses hidrolisis berlangsung lebih efektif. Semakin tinggi konsentrasi asam hingga batas optimum, semakin banyak ikatan glikosidik pada selulosa dan hemiselulosa yang terputus sehingga gula sederhana yang terbentuk sebagai substrat fermentasi juga meningkat. (El-Imam et al.,2022) melaporkan bahwa HNO_3 lebih efektif dibandingkan H_2SO_4 dalam menguraikan struktur lignoselulosa secara selektif sehingga menghasilkan kadar gula reduksi yang lebih tinggi dengan residu samping yang lebih sedikit.

Penurunan kadar etanol pada konsentrasi HNO_3 4 N menunjukkan bahwa penggunaan asam yang terlalu tinggi menyebabkan sebagian gula hasil hidrolisis terdegradasi menjadi senyawa inhibitor, seperti furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF). Senyawa tersebut diketahui dapat menghambat aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* selama fermentasi sehingga menurunkan kadar etanol yang dihasilkan. Pola ini juga dikonfirmasi oleh tiga parameter pendukung: densitas terendah (0,799 g/mL) dan indeks bias tertinggi (1,3514) dicapai pada 3 N, sangat mendekati nilai etanol murni (0,789 g/mL dan 1,3614), sementara kadar air terendah (15,18%) juga diperoleh pada konsentrasi yang sama, sebelum kembali meningkat pada 4 N.

Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Kualitas Bioetanol

Setelah konsentrasi HNO_3 3 N ditetapkan sebagai kondisi paling efektif, pengaruh waktu hidrolisis dikaji pada konsentrasi tetap tersebut untuk variasi waktu 15, 30, 45, dan 60 menit (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Kualitas Bioetanol pada Konsentrasi HNO_3 3 N

Waktu (menit)	Indeks Bias	Densitas (g/mL)	Kadar Etanol (% v/v)	Kadar Air (%)
15	1,3446	0,841	38,70	21,98
30	1,3479	0,818	43,81	18,44
45	1,3493	0,804	48,77	16,74
60	1,3514	0,799	52,76	15,18

Keterangan: baris diarsir menunjukkan perlakuan optimal (60 menit).

Kadar etanol meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu hidrolisis, dari 38,70% pada menit ke-15 hingga mencapai 52,76% pada menit ke-60, diikuti oleh penurunan densitas dan kadar air serta peningkatan indeks bias yang konsisten. Peningkatan ini berkaitan dengan kinetika reaksi hidrolisis: seiring bertambahnya waktu kontak, ion H^+ terus berdifusi ke dalam matriks biomassa sehingga jumlah titik pemutusan ikatan glikosidik bertambah secara akumulatif. (Kiagus Ahmad Roni

et al.,2019) juga melaporkan bahwa perpanjangan waktu hidrolisis hingga batas optimal secara konsisten meningkatkan yield bioetanol, dengan laju peningkatan yang melandai mendekati titik jenuh konversi, sejalan dengan model kinetika pseudo-first order yang dikemukakan (Abril-González et al.,2023).

Waktu hidrolisis yang terlalu lama tidak disarankan karena glukosa yang telah terbentuk berisiko terdehidrasi lebih lanjut menjadi HMF, asam levulinat, dan asam format yang bersifat inhibitor terhadap fermentasi. Dengan demikian, waktu hidrolisis optimum pada sistem penelitian ini diperoleh pada menit ke-60 untuk konsentrasi HNO_3 3 N.

Perlakuan Terbaik dan Efisiensi Fermentasi

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, perlakuan hidrolisis terbaik diperoleh pada konsentrasi HNO_3 3 N dengan waktu hidrolisis 60 menit, menghasilkan kadar etanol 52,76% v/v, densitas 0,799 g/mL, indeks bias 1,3514, dan kadar air 15,18%, jauh melampaui perlakuan terendah (1 N/15 menit) yang hanya menghasilkan kadar etanol 19,71% v/v.

Perhitungan yield teoritis berdasarkan stoikiometri Gay-Lussac ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2$) menunjukkan bahwa dari 100 gram pelepah pisang kepok dengan kandungan selulosa 63%, diperoleh 63 gram selulosa yang secara teoritis dapat menghasilkan 45,35 mL etanol murni. Volume etanol aktual yang diperoleh pada kondisi optimum adalah 11,86 mL, sehingga yield bioetanol aktual yang dicapai sebesar 26,15%. Yield bioetanol aktual yang lebih rendah dibandingkan yield teoritis menunjukkan bahwa proses konversi biomassa belum berlangsung secara sempurna. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kehilangan etanol selama fermentasi dan destilasi, pembentukan senyawa inhibitor, serta belum optimalnya konversi selulosa menjadi gula fermentabel.

Sebagai pembanding, (Legodi dan LaGrange, 2021) melaporkan efisiensi fermentasi sebesar 70% dari pseudostem pisang melalui hidrolisis enzimatis yang dikombinasikan dengan pretreatment basa. Perbedaan ini dapat dijelaskan secara mekanistik: hidrolisis enzimatis bekerja dengan spesifisitas tinggi terhadap substrat target sehingga menghasilkan produk samping toksik yang jauh lebih sedikit dibandingkan hidrolisis asam menggunakan HNO_3 yang bersifat nonspesifik. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi berupa titik optimum HNO_3 yang spesifik untuk biomassa pelepah pisang kepok, yang sebelumnya belum tersedia dalam literatur.

Perbandingan dengan Standar SNI 7390:2012

Tabel 3. Perbandingan Kualitas Bioetanol Hasil Penelitian dengan SNI 7390:2012

Parameter	Hasil Terbaik (3N/60 menit)	SNI 7390:2012	Status
Kadar Etanol (% v/v)	52,76	$\geq 99,5$	Belum memenuhi
Densitas (g/mL, 15°C)	0,799	0,790–0,835	Memenuhi
Kadar Air (%)	15,18	$\leq 0,5$	Belum memenuhi
Indeks Bias	1,3514	1,3610–1,3614	Belum memenuhi

Sumber: SNI 7390:2012, Bioetanol Terdenaturasi untuk Gasohol.

Produk bioetanol terbaik pada penelitian ini belum memenuhi standar SNI bioetanol bahan bakar pada parameter kadar etanol dan kadar air, meskipun nilai densitasnya sudah berada dalam rentang standar. Hal ini terutama disebabkan oleh keterbatasan destilasi tunggal yang digunakan, mengingat campuran etanol-air membentuk azeotrop pada komposisi 95,6% v/v etanol sehingga destilasi konvensional tidak dapat menghasilkan etanol dengan kemurnian di atas titik tersebut tanpa teknik tambahan (Roukas & Kotzekidou, 2022). Dengan demikian, produk yang dihasilkan lebih tepat dikategorikan sebagai bioetanol teknis yang berpotensi dikembangkan lebih lanjut menuju kemurnian fuel grade melalui tahap dehidrasi lanjutan, misalnya menggunakan adsorpsi zeolit $3\text{\AA}$ setelah proses

destilasi. (Requiso et al., 2022) menunjukkan relevansi pretreatment asam pada pseudostem pisang, (Roukas dan Kotzekidou, 2022) membahas produksi bioetanol menggunakan *S. cerevisiae* pada residu agroindustri, sedangkan (Samantaray et al., 2024) menguraikan tantangan konversi pseudostem pisang menjadi bioetanol. (Zaini et al., 2023) juga menegaskan potensi biomassa pisang sebagai sumber bahan berlignoselulosa.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu belum dilakukan analisis gula reduksi setelah hidrolisis, belum dilakukan pengujian statistik untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan antar perlakuan, serta proses pemurnian bioetanol masih menggunakan destilasi satu tahap. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menerapkan analisis statistik, mengukur kadar gula reduksi, dan menggunakan metode pemurnian lanjutan agar diperoleh bioetanol dengan kemurnian yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Konsentrasi HNO_3 memberikan pengaruh yang nyata terhadap kualitas bioetanol yang dihasilkan. Peningkatan konsentrasi dari 1 N hingga 3 N meningkatkan kadar etanol dari 34,74% menjadi 52,76% v/v, tetapi peningkatan lebih lanjut menjadi 4 N justru menurunkan kadar etanol menjadi 44,18% v/v akibat terbentuknya senyawa inhibitor seperti furfural dan HMF pada konsentrasi asam yang berlebih.

Durasi hidrolisis juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas bioetanol. Peningkatan waktu hidrolisis dari 15 menit hingga 60 menit pada konsentrasi HNO_3 3 N meningkatkan kadar etanol secara konsisten dari 38,70% menjadi 52,76% v/v, disertai penurunan densitas dan kadar air serta peningkatan indeks bias, yang menunjukkan semakin sempurnanya konversi selulosa dan hemiselulosa menjadi gula fermentabel.

Kombinasi optimum diperoleh pada konsentrasi HNO_3 3 N dengan waktu hidrolisis 60 menit, menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 52,76% v/v, densitas 0,799 g/mL, indeks bias 1,3514, kadar air 15,18%, dan yield bioetanol aktual 26,15%. Kondisi ini dapat direkomendasikan sebagai kondisi operasi optimum untuk produksi bioetanol dari limbah pelepah daun pisang kepok pada skala laboratorium. Penelitian lanjutan disarankan mengombinasikan hidrolisis HNO_3 dengan perlakuan enzimatik serta menerapkan destilasi bertingkat atau dehidrasi lanjutan untuk meningkatkan kemurnian bioetanol menuju standar SNI 7390:2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Abril-González, M., Vele-Salto, A., & Pinos-Vélez, V. (2023). *Kinetic study of acid hydrolysis of the glucose obtained from banana plant*. *ChemEngineering*, 7(2), 39. <https://www.mdpi.com/2305-7084/7/2/39>
- El-Imam, A. A., Rufai, A. A., Oladeji, F., Saidu, L., & Ighalo, J. O. (2022). *Optimization of dilute acid hydrolysis for bioethanol production from selected agricultural wastes*. *SLUJST*, 5(12), 13–20.
- Kiagus Ahmad Roni, Hastarina, M., & Herawati, N. (2019). *Effect of time and concentration of sulfuric acid on yield bioethanol produced in making bioethanol from peat soil*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282, 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012009>
- Legodi, L. M., & LaGrange, D. C. (2021). *Enzymatic hydrolysis and fermentation of banana pseudostem hydrolysate to produce bioethanol*. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021, Article ID 5543104. <https://doi.org/10.1155/2021/5543104>
- Bibra, M., Samanta, D., Sharma, N. K., & Singh, G. (2022). *Food waste to bioethanol: Opportunities and challenges*. *Fermentation*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010008>

- Zaini, H. M., Saallah, S., Roslan, J., Sulaiman, N. S., & Munsu, E. (2023). *Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry*. *Heliyon*, 9(3), e05942.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). *SNI 7390:2012 – Bioetanol terdenaturasi untuk gasohol*. Badan Standardisasi Nasional.
- Requiso, P. J., Mabazza, K. A. A., & Alfafara, C. G. (2020). *Dilute acid pretreatment optimization of banana pseudostem for polyhydroxybutyrate (PHB) production*. *Philippine Journal of Science*, 149(3), 275–285.
- Roukas, T., & Kotzekidou, P. (2022). *Production of bioethanol from agro-industrial residues using immobilized cells of Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101258. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101258>
- Samantaray, D. P., Sharma, B. K., & Biswas, D. (2024). *Lignocellulosic bioethanol: Recent developments and challenges in banana pseudostem conversion*. *Bioenergy Research*, 17(2), 97–111. <https://doi.org/10.1007/s12155-024-10569-7>