

Efektivitas Variasi Konsentrasi HCl Pada Proses Hidrolisis Ongkok Singkong Dalam Pembuatan Bioetanol Generasi Kedua

Livia Rhea Alvita ^{1*}, Amelia Sri Rezki ², Faizatin Nadya Roza²

¹ Dosen Program Studi Kimia Terapan, Politeknik Negeri Lampung

² Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung

*liviarhea@polinela.ac.id, ameliasrirezki@polinela.ac.id, faizatinnr@polinela.ac.id

*corresponding author

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 15 April 2025
Direvisi 1 Juni 2025
Diterbitkan 30 Juli 2025

Kata kunci:

Bioetanol, onggok singkong, hidrolisis asam, asam klorida

ABSTRAK

Menurunnya cadangan energi fosil dan meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong pengembangan bioetanol generasi kedua berbasis biomassa lignoselulosa. Ongkok singkong, limbah padat dari industri tapioka, berpotensi dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi karena kandungan pati dan selulosa yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi asam klorida (HCl) terhadap efisiensi hidrolisis asam, kadar gula terlarut, kadar bioetanol, dan rendemen bioetanol dari onggok singkong. Proses penelitian meliputi pretreatment, hidrolisis dengan HCl pada konsentrasi 0,1 N, 0,2 N, dan 0,3 N, fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*, dan penentuan kadar bioetanol hasil destilasi berdasarkan konversi densitas bioetanol yang dihasilkan (mengacu pada tabel *Densities of Aqueous Organic Solution : Ethyl Alcohol*). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl berbanding lurus dengan peningkatan kadar gula (%Brix), kadar bioetanol, dan rendemen. Konsentrasi HCl 0,3 N menghasilkan nilai tertinggi: gula terlarut 8,0 %Brix, bioetanol 11,5%, dan rendemen 22,12%. Penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi tahap hidrolisis untuk meningkatkan efisiensi konversi lignoselulosa menjadi bioetanol. Pemanfaatan onggok singkong tidak hanya mendukung transisi energi terbarukan, tetapi juga membantu mengurangi limbah agroindustri di daerah sentra singkong seperti Provinsi Lampung.

Effectiveness of HCl Concentration Variation in the Hydrolysis Process of Cassava Bagasse in the Preparation of Second Generation Bioethanol

ARTICLE INFO

Received April 15, 2025
Revised June 1, 2025
Published July 30, 2025

Keyword:

Bioethanol, cassava onggok, acid hydrolysis, hydrochloric acid

ABSTRACT

Declining fossil energy reserves and increasing greenhouse gas emissions are driving the development of second-generation bioethanol based on lignocellulosic biomass. Cassava onggok, solid waste from the tapioca industry, has the potential to be utilized as a fermentation substrate due to its high starch and cellulose content. This study aims to assess the effect of variations in hydrochloric acid (HCl) concentration on acid hydrolysis efficiency, soluble sugar content, bioethanol content, and bioethanol yield from cassava onggok. The research process includes pretreatment, hydrolysis with HCl at concentrations of 0.1 N, 0.2 N, and 0.3 N, fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* yeast, and determination of distilled bioethanol content based on the conversion of bioethanol density produced (referring to the table *Densities of Aqueous Organic Solution: Ethyl Alcohol*). The results showed that the increase in HCl concentration was directly proportional to the increase in sugar content (%Brix), bioethanol content, and yield. HCl concentration of 0.3 N produced the highest values: soluble sugar 8.0 %Brix, bioethanol 11.5%, and yield 22.12%. This research confirms the importance of optimizing the hydrolysis stage to increase the

conversion efficiency of lignocellulose into bioethanol. The utilization of cassava onggok not only supports the transition to renewable energy, but also helps reduce agro-industrial waste in cassava growing areas such as Lampung Province.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](#)



1. PENDAHULUAN

Menipisnya sumber energi fosil serta meningkatnya emisi gas rumah kaca telah menjadi tantangan serius bagi keberlanjutan energi global. Ketergantungan berlebihan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan kerentanan pasokan energi, tetapi juga memperburuk perubahan iklim akibat peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer [1]. Oleh karena itu, pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi prioritas utama di berbagai negara, termasuk Indonesia. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah produksi bioetanol generasi kedua, yang mampu mengurangi tekanan terhadap bahan pangan dan membantu mengelola limbah biomassa secara produktif.

Bioetanol generasi kedua diproduksi dari bahan baku lignoselulosa non-pangan seperti limbah pertanian, residu kayu, dan limbah agroindustri. Dibandingkan bioetanol generasi pertama yang berasal dari bahan pangan seperti tebu dan jagung, bioetanol generasi kedua menawarkan keunggulan dalam hal keberlanjutan dan etika pangan. Selain tidak mengganggu ketersediaan bahan pangan, bioetanol generasi kedua juga mampu memanfaatkan limbah biomassa yang melimpah di berbagai wilayah. Penggunaannya dinilai lebih ramah lingkungan karena berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca dalam siklus hidupnya secara signifikan. [2]. Di Indonesia, salah satu limbah agroindustri yang potensial adalah onggok singkong, yaitu residu padat dari industri pengolahan tepung tapioka. Provinsi Lampung sebagai sentra penghasil singkong nasional menyumbang produksi onggok dalam jumlah besar setiap tahunnya [3]. Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian, industri tapioka di Lampung menghasilkan ribuan ton onggok singkong setiap bulan yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini menjadikan onggok singkong sebagai biomassa lignoselulosa yang sangat melimpah dan berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku bioetanol. Secara komposisi, onggok singkong masih mengandung kadar pati yang tinggi (sekitar 50–60% basis kering), serta selulosa, hemiselulosa, dan pectin [4]. Namun, struktur lignoselulosa yang kompleks dan terikat kuat secara kimiawi menjadikannya resisten terhadap hidrolisis enzimatis langsung. Oleh karena itu, diperlukan tahap pretreatment seperti hidrolisis kimia untuk memecah struktur tersebut dan melepaskan gula-gula sederhana yang dapat difermentasi. Jika dikelola dengan baik, limbah ini tidak hanya dapat mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi industri pengolahan singkong [5]. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam proses pretreatment adalah hidrolisis asam menggunakan asam kuat seperti asam klorida (HCl). Asam ini dapat secara efektif memutus ikatan glikosidik dalam rantai polisakarida menjadi monosakarida. Namun, keberhasilan hidrolisis asam sangat dipengaruhi oleh konsentrasi asam yang digunakan [6]. Konsentrasi HCl yang terlalu rendah cenderung tidak mampu menghidrolisis substrat secara optimal, sehingga menghasilkan kadar gula rendah [7]. Sebaliknya, konsentrasi HCl yang terlalu tinggi berisiko merusak gula yang terbentuk dan menghasilkan senyawa toksik seperti furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF), yang dapat menghambat proses fermentasi [8].

Optimalisasi konsentrasi HCl menjadi kunci untuk memaksimalkan konversi lignoselulosa menjadi gula fermentabel tanpa menghasilkan senyawa inhibitor. Oleh karena itu, penting dilakukan evaluasi variasi konsentrasi HCl untuk menentukan kondisi terbaik yang dapat meningkatkan efisiensi proses dan menghasilkan bioetanol dengan kadar tinggi. Pemilihan konsentrasi yang tepat tidak hanya berdampak pada efisiensi produksi, tetapi juga mempengaruhi kelayakan ekonomi dan keberlanjutan proses secara keseluruhan. Penelitian mengenai efektivitas variasi konsentrasi HCl dalam proses hidrolisis onggok singkong menjadi sangat relevan untuk mendukung pengembangan teknologi bioetanol generasi kedua di Indonesia. Selain menjawab tantangan energi masa depan, pemanfaatan limbah agroindustri seperti onggok singkong juga menjadi bentuk kontribusi terhadap pengelolaan limbah berkelanjutan dan peningkatan nilai tambah sektor pertanian. Kajian ilmiah ini sekaligus memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai potensi reaktivitas substrat lignoselulosa lokal dengan reagen kimia sederhana.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi efektivitas variasi konsentrasi HCl pada proses hidrolisis onggok singkong guna memperoleh kondisi optimum dalam menghasilkan kadar

bioetanol tertinggi. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem produksi bioetanol skala laboratorium maupun industri, sekaligus memberikan kontribusi nyata dalam pemanfaatan limbah pertanian untuk ketahanan energi nasional dan pembangunan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah *eksperimen laboratorium* dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang terdiri dari tiga perlakuan berbeda berupa variasi konsentrasi HCl sebesar 0,1 N, 0,2 N, dan 0,3 N (v/v) pada tahap hidrolisis. Penelitian ini diawali dengan tahap pra-perlakuan (*pretreatment*) onggok singkong, dilanjutkan dengan proses hidrolisis asam, kemudian fermentasi, dan diakhiri dengan proses distilasi untuk memperoleh bioetanol.

Hasil hidrolisis (hidrolisat) akan dianalisis kadar gula terlarutnya menggunakan refraktometer digital untuk mengukur nilai °Brix. Sementara itu, kadar etanol setelah distilasi akan ditentukan berdasarkan pengukuran bobot jenis, yang kemudian dikonversi menggunakan Tabel. 3 *Densities of Aqueous Organic Solution (Ethyl Alcohol Table)* [9].

Data hasil penelitian dianalisis secara statistik menggunakan analisis ragam satu arah (*One-Way ANOVA*) dengan bantuan software SPSS versi 21. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan antarperlakuan, maka akan dilanjutkan dengan uji lanjut Fisher's LSD (Least Significant Difference) pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ untuk mengetahui perbedaan nyata antar variasi konsentrasi HCl terhadap kadar etanol yang dihasilkan.

2.1. Pretreatment Onggok Singkong

Onggok singkong segar terlebih dahulu dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama ± 24 jam hingga kadar air rendah. Setelah kering, onggok digiling menggunakan grinder hingga menjadi serbuk halus, kemudian diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam dan disimpan pada suhu ruang.

2.2. Hidrolisis Asam

Serbuk onggok singkong hasil pretreatment ditimbang sebanyak 30 gram, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berkapasitas 500 mL. Selanjutnya, ditambahkan larutan HCl dengan konsentrasi yang berbeda sesuai perlakuan, yaitu 0,1 N, 0,2 N, dan 0,3 N (v/v), masing-masing sebanyak 300 mL. Campuran tersebut dihomogenkan dengan cara diaduk selama 5 menit, lalu dilakukan proses hidrolisis pada suhu 121°C selama 30 menit. Setelah hidrolisis selesai, larutan didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu padat dari larutan hidrolisat. Hidrolisat yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengetahui kadar gula terlarut menggunakan refraktometer digital, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan %Brix sebagai parameter awal sebelum tahap fermentasi.

2.3. Fermentasi

Larutan hidrolisat hasil proses hidrolisis terlebih dahulu disesuaikan tingkat keasamannya pada pH sekitar 4,5–5,0 menggunakan larutan NaOH 1 N. Ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang telah diaktifkan sebelumnya, yaitu dengan cara menginokulasi 3 gram ragi kering ke dalam 30 mL air hangat bersuhu 37°C selama 15 menit, kemudian ditambahkan ke dalam masing-masing larutan hidrolisat. Selain itu, ditambahkan urea 0,3 gram sebagai sumber nitrogen untuk mendukung pertumbuhan ragi. Fermentasi dilakukan dalam erlenmeyer yang ditutup dengan kapas steril dan dilengkapi kunci udara, kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 6 hari. Setelah proses fermentasi selesai, hasil fermentasi disaring untuk memisahkan padatan, dan cairan hasil penyaringan digunakan dalam proses destilasi guna memperoleh bioetanol.

2.4 Penentuan Kadar dan Rendemen Bioetanol

Kadar bioetanol dalam destilat dianalisis melalui metode pengukuran densitas menggunakan piknometer yang telah terkalibrasi, kemudian kadar etanol ditentukan berdasarkan interpolasi dari Tabel 3: *Densities of Aqueous Organic Solution (Ethyl Alcohol)*. Apabila suhu pengukuran tidak tercantum secara langsung dalam tabel, maka nilai densitas dapat ditentukan melalui interpolasi linier. Metode interpolasi linier ini umum digunakan untuk memperkirakan nilai di antara dua titik data yang telah diketahui, sehingga memungkinkan perolehan hasil yang lebih akurat pada suhu antara dua nilai referensi. Rendemen bioetanol diukur dengan membandingkan massa bioetanol yang dihasilkan terhadap jumlah massa sampel yang digunakan, biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Perhitungan rendemen ini memberikan informasi tentang efisiensi proses konversi biomassa menjadi bioetanol.

Rumus interpolasi linier :

Mencari densitas (ρ) yang tepat pada suhu x °C (misal 31,2°C) [10]:

$$\rho = \rho_{\text{bawah}} - \left(\frac{T_{\text{bawah}} - T_{\text{yang didapat}}}{T_{\text{bawah}} - T_{\text{atas}}} \right) \cdot (\rho_{\text{bawah}} - \rho_{\text{atas}}) \quad (1)$$

Keterangan:

- ρ : Densitas (g/mL) pada suhu x °C yang ingin dicari.
 ρ_{bawah} : Nilai densitas pada suhu referensi yang lebih rendah (misalnya 30°C).
 ρ_{atas} : Nilai densitas pada suhu referensi yang lebih tinggi (misalnya 35°C).
 T_{bawah} : Suhu referensi yang lebih rendah.
 T_{atas} : Suhu referensi yang lebih tinggi.
 $T_{\text{yang didapat}}$: Suhu aktual dari pengukuran sampel (misalnya 31,2°C).

Mencari kadar bioetanol (%) yang tepat pada densitas (ρ) yang mendekati sampel [10]:

$$\% \text{ kadar bioetanol} = \%_{\text{bawah}} - \left(\frac{\rho_{\text{bawah}} - \rho_{\text{yang didapat}}}{\rho_{\text{bawah}} - \rho_{\text{atas}}} \right) \cdot (\%_{\text{bawah}} - \%_{\text{atas}}) \quad (2)$$

Keterangan:

- $\%_{\text{bawah}}$: Nilai % kadar bioetanol pada densitas referensi yang lebih rendah.
 $\%_{\text{atas}}$: Nilai % kadar bioetanol pada densitas referensi yang lebih tinggi.
 ρ_{bawah} : densitas referensi yang lebih rendah.
 ρ_{atas} : densitas referensi yang lebih tinggi.
 $\rho_{\text{yang didapat}}$: densitas aktual dari pengukuran sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kadar Gula Terlarut (%Brix) Ongkok Singkong Setelah Proses Hidrolisis

Berdasarkan data yang diperoleh, kadar gula terlarut (%Brix) menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi HCl yang digunakan dalam proses hidrolisis onggok singkong. Gula terlarut yang dihasilkan dari hidrolisis onggok singkong memang terdiri dari berbagai monosakarida, terutama glukosa sebagai hasil utama pemecahan selulosa dan pati, serta gula lain seperti xilosa, arabinosa, galaktosa, dan mannan yang berasal dari hemiselulosa dan pectin [11]. Berdasarkan data tabel 1 dibawah, hasil analisa kadar gula terlarut setelah proses hidrolisis berkisar antara 6,2 – 8 %brix.

Tabel 1. Pengukuran Kadar Gula Terlarut (Brix) Setelah Proses Hidrolisis

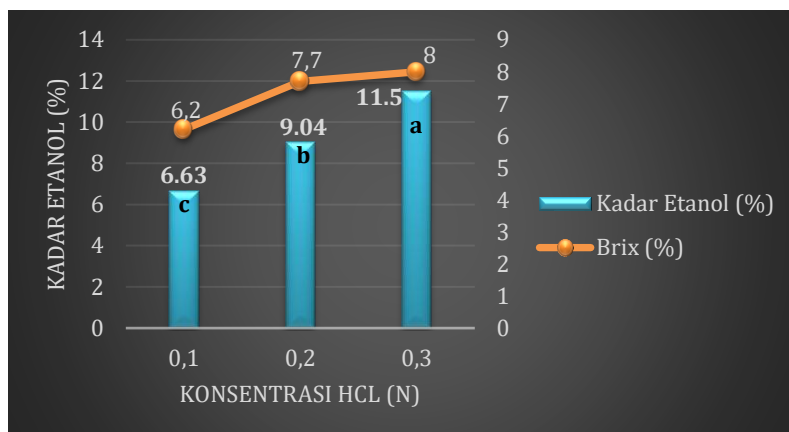
No	konsentrasi HCl (N)	Kadar Gula (%brix)
1	0,1	6,2
2	0,2	7,7
3	0,3	8

Peningkatan kadar gula terlarut ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl, maka semakin banyak ikatan glikosidik pada polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) yang terpecah menjadi monosakarida, terutama glukosa. Studi menunjukkan bahwa glukosa merupakan komponen dominan dalam hidrolisat onggok singkong, dengan konversi glukosa yang sangat tinggi (hingga 88% dari total gula terlarut) pada proses hidrolisis asam atau enzimatis [12][13]. HCl sebagai agen hidrolisis mampu memutus ikatan-ikatan tersebut secara efektif, sehingga konversi biomassa menjadi gula sederhana menjadi lebih optimal. Namun peningkatan kadar gula terlarut yang terjadi pada penelitian ini cukup sedikit pada variasi konsentrasi HCl 0,1 N, 0,2 N, dan 0,3 N kemungkinan besar disebabkan karena perbandingan konsentrasi HCl tersebut masih terlalu rendah untuk secara efektif menghidrolisis struktur selulosa dan hemiselulosa.

3.2. Kadar Bioetanol

Penentuan kadar bioetanol dalam penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran densitas atau bobot jenis hasil destilasi, yang kemudian dikonversi melalui interpolasi pada Tabel *Densities of Aqueous Organic Solution (Ethyl Alcohol Table)* [9]. Metode ini digunakan secara luas karena praktis dan cukup akurat untuk menentukan kadar alkohol dalam larutan hasil fermentasi. Setelah proses destilasi, cairan yang mengandung bioetanol diukur densitasnya menggunakan piknometer. Nilai densitas yang diperoleh dibandingkan dengan

standar densitas larutan etil alkohol pada suhu tertentu, sehingga didapatkan kadar bioetanol dalam bentuk persen volume (% v/v). Penggunaan interpolasi dalam tabel ini penting karena tidak semua nilai densitas tersedia secara langsung, terutama bila hasil pengukuran berada di antara dua nilai dalam tabel. Berdasarkan hasil analisis statistik *Analysis of Variant* menunjukkan hasil perlakuan variasi konsentrasi asam klorida (HCl) memberikan pengaruh yang signifikan ($P < 0.05$) terhadap konsentrasi kadar bioetanol yang dihasilkan. Hasil uji lanjut LSD Fisher menunjukkan bahwa perlakuan penambahan HCl dengan konsentrasi 0,1, 0,2 dan 0,3N menunjukkan hasil yang berbeda nyata dalam menghasilkan kadar bioetanol.



Gambar 1. Hubungan antara Konsentrasi HCl terhadap Kadar Bioetanol (%) dan Kadar Gula Terlarut (%Brix) hasil Hidrolisis Onggok Singkong

Terlihat pada (gambar 1) dengan adanya peningkatan konsentrasi HCl dari 0,1 N hingga 0,3 N berpengaruh terhadap peningkatan Brix (kadar gula terlarut) dan kadar bioetanol secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi asam klorida (HCl) mampu meningkatkan efisiensi proses hidrolisis selulosa dan hemiselulosa pada onggok singkong, sehingga lebih banyak polisakarida yang terurai menjadi gula sederhana yang dapat difermentasi oleh mikroorganisme menjadi bioetanol. Studi pada limbah kulit nenas menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl dari 1M hingga 5M menghasilkan kenaikan Brix dari 7 hingga 24, menandakan semakin banyak gula terlarut yang tersedia untuk di fermentasi dan kemudian diperoleh kadar bioetanol optimum sebesar sebesar 18% [14]. Demikian pula, penelitian pada biomassa laut dan limbah pertanian lain menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl 0,2N hingga 2N, semakin tinggi pula kadar gula hasil hidrolisis, yang kemudian berkontribusi pada peningkatan kadar bioetanol setelah fermentasi [7]. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan konsentrasi HCl yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi gula dan menurunkan efisiensi fermentasi, sehingga diperlukan optimasi untuk mendapatkan hasil maksimal [15].

3.3. Rendemen Bioetanol

Rendemen bioetanol merupakan indikator efisiensi konversi substrat menjadi produk yang diinginkan, dalam hal ini adalah bioetanol. Berdasarkan hasil penelitian, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi asam klorida (HCl) dari 0,1 N menjadi 0,3 N memberikan peningkatan signifikan terhadap rendemen bioetanol, yaitu dari 12,4% pada konsentrasi 0,1 N menjadi 22,12% pada konsentrasi 0,3 N. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrolisis asam yang lebih kuat dapat meningkatkan degradasi polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) menjadi gula sederhana yang selanjutnya difermentasi menjadi etanol.

Tabel 2. Data Densitas, Suhu, dan Rendemen Bioetanol Hasil Fermentasi Onggok Singkong pada Variasi Konsentrasi HCl

Konsentrasi HCl (N)	Densitas (g/mL)	Suhu (°C)	Rendemen Bioetanol (%)
0,1	0,98455	29	12,40%
0,2	0,98229	29	17,89%
0,3	0,97829	27	22,12%

Kenaikan rendemen ini juga mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl, maka semakin efisien pula proses konversi substrat lignoselulosa menjadi monosakarida, selama tidak menghasilkan senyawa inhibitor dalam jumlah signifikan. Proses hidrolisis asam kuat mampu memecah ikatan glikosidik lebih efektif, sehingga lebih banyak gula tersedia untuk proses fermentasi [16].

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl dalam proses hidrolisis asam onggok singkong secara signifikan meningkatkan efisiensi konversi selulosa dan hemiselulosa menjadi gula terlarut dan bioetanol. Konsentrasi HCl 0,3 N menghasilkan kadar gula tertinggi sebesar 8,0 %Brix, kadar bioetanol tertinggi sebesar 11,5% dan rendemen bioetanol tertinggi sebesar 22,12%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi konversi biomassa lignoselulosa menjadi gula sederhana dan selanjutnya menjadi bioetanol meningkat seiring bertambahnya kekuatan hidrolisis asam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Rezki, Y. R. Wulandari, L. R. Alvita, and N. P. Sari, "Potensi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bioenergi pada Produksi Bio-Oil dengan Metode Pirolisis: Efek Temperatur," *Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, 2023, [Online]. Available: <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/2930>.
- [2] M. Broda, D. J. Yelle, and K. Serwańska, "Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions," *Molecules*, vol. 27, no. 8717, 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2023.125445.
- [3] S. T. A. Nurayu, "Studi Potensi Energi Dan Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Limbah Industri Tapioka Di Lampung," Universitas Lampung, 2019.
- [4] S. Varongchayakul, W. Songkasiri, and P. Chaiprasert, "Optimization of Cassava Pulp Pretreatment by Liquid Hot Water for Biomethane Production," *BioEnergy Res.*, vol. 14, no. 4, pp. 1312–1327, 2021, doi: 10.1007/s12155-020-10238-0.
- [5] M. Han, Y. Kim, Y. Kim, B. Chung, and G.-W. Choi, "Bioethanol production from optimized pretreatment of cassava stem," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 119–125, 2011, doi: 10.1007/s11814-010-0330-4.
- [6] S. A. Aksari, L. R. Alvita, F. F. Silmi, and A. S. Rezki, "Perbandingan Konsentrasi Asam Pekat (H₂SO₄) Dalam Proses Hidrolisis Terhadap Kadar Gula Pereduksi Kulit Kakao Sebagai Substrat Dalam Pembuatan Bioetanol," *JoASCE: Journal Applied of Science and Chemical Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 7–13, 2024.
- [7] L. R. Alvita, V. Elsyana, and E. Kining, "Optimization of the hydrolysis process of microalgae *Porphyridium cruentum* biomass with variation of hydrochloric acid (HCl) concentration, temperature, and time using response surface methodology (RSM)," *Alchemy*, vol. 11, no. 2, pp. 51–56, 2023.
- [8] V. B. Shet *et al.*, "Acid hydrolysis optimization of cocoa pod shell using response surface methodology approach toward ethanol production," *Agric. Nat. Resour.*, vol. 52, no. 6, pp. 581–587, 2018, doi: 10.1016/j.anres.2018.11.022.
- [9] R. H. Perry and D. W. Green, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed. McGraw-Hill, 1997.
- [10] K. Erwin, *Advanced Engineering Mathematics*, 10th Editi. John Wiley & Sons, 2011.
- [11] J. I. Ona, P. J. Halling, and M. Ballesteros, "Enzyme Hydrolysis of Cassava Peels : Treatment by Amylolytic and Cellulolytic Enzymes.," *Biocatal. Biotransformation*, vol. 37, no. 2, pp. 77–85, 2019, doi: 10.21626/vestnik/2017-3/11.
- [12] P. Prasertsilp, K. Pattaragulwanit, B. S. Kim, and S. C. Napathorn, "Microwave-assisted cassava pulp hydrolysis as food waste biorefinery for biodegradable polyhydroxybutyrate production," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 11, no. March, pp. 1–14, 2023, doi: 10.3389/fbioe.2023.1131053.
- [13] I. Maulina, L. R. Alvita, and D. Ayu Afifah, "Optimasi Konsentrasi Substrat Dan Enzim Dalam Pembuatan Gula Cair Berbahan Dasar Tepung Ketan Putih Dengan Response Surface Methodology (RSM)," *JoASCE (Journal Appl. Sci. Chem. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 17–21, 2023, doi: 10.25181/joasce.v1i1.3027.
- [14] F. Fadly *et al.*, "Formulation of Bioethanol from Pineapple Skin Waste and Applied as Wax Inhibitors," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1034, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1034/1/012026.
- [15] P. Moodley and E. B. Gueguim Kana, "Comparative study of three optimized acid-based pretreatments for sugar recovery from sugarcane leaf waste: A sustainable feedstock for biohydrogen production," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 1, pp. 107–116, 2018, doi: 10.1016/j.jestch.2017.11.010.
- [16] B. V. dos Santos, R. Travaini, A. Lorenzo-Hernando, D. Pasquini, and M. A. Baffi, "Biomass Sorghum: Effect of Acid, Basic and Alkaline Peroxide Pretreatments on the Enzymatic Hydrolysis and Ethanol Production," *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, vol. 64, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1590/1678-4324-2021200117.

Tabel 3. *Densities Of Aqueous Organic Solutions (Ethy Alcohol)[9]*

%	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
0	0.99973	0.99913	0.99823	0.99708	0.99568	0.99406	0.99225
1	785	725	636	520	379	217	34
2	602	542	453	336	194	31	98846
3	426	365	275	157	14	98849	663
4	258	195	103	98984	98839	672	485
5	98	32	98938	817	670	501	311
6	98946	98877	780	656	507	335	142
7	801	729	627	500	347	172	97975
8	660	584	478	346	189	9	808
9	524	442	331	193	31	97840	641
10	393	304	187	43	97875	685	475
11	267	171	47	97897	723	527	312
12	145	41	97910	753	573	371	150
13	26	97914	775	611	424	216	96989
14	97911	790	643	472	278	63	829
15	800	669	514	334	133	96911	670
16	692	552	387	199	96990	760	512
17	583	433	259	62	844	607	352
18	473	313	129	96923	697	452	189
19	363	191	96997	782	547	294	23
20	252	68	864	639	395	134	95856
21	139	96944	729	495	242	95973	687
22	24	818	592	348	87	809	516
23	96907	689	453	199	95929	643	343
24	787	558	312	48	769	476	168
25	665	424	168	95895	604	306	94991
26	539	287	20	738	442	133	810
27	406	144	95867	576	272	94955	625
28	268	95996	710	410	98	774	438
29	125	844	548	241	94922	590	248
30	95977	686	382	67	741	403	55
31	823	524	212	94890	557	214	93860
32	665	357	38	709	370	21	662
33	502	186	94860	525	180	93825	461
34	334	11	679	337	93986	626	27
35	162	94832	494	146	790	425	51
36	94986	650	306	93952	591	221	92843
37	805	464	114	756	390	16	634
38	620	273	93919	556	186	92808	422
39	431	79	720	353	92979	597	208
40	238	93882	518	148	770	385	91992
41	42	682	314	92940	558	170	774
42	93842	478	107	729	344	91952	554
43	639	271	92897	516	128	733	332
44	433	62	685	301	91910	513	108
45	226	92852	472	85	692	291	90884
46	17	640	257	91868	472	69	660
47	92806	426	41	649	250	90845	434
48	593	211	91823	429	28	621	207
49	379	91995	604	208	90805	396	89979
50	0.92126	0.91776	0.91384	0.90985	0.9058	0.90168	0.8975
51	91943	555	160	760	353	89940	519
52	723	333	90936	534	125	710	288

53	502	110	711	307	89896	479	56
54	279	90885	485	79	667	248	88823
55	55	659	258	89850	437	16	589
56	90831	433	31	621	206	88784	356
57	607	207	89803	392	88975	552	122
58	607	89980	574	162	744	319	87888
59	381	752	344	88931	512	85	653
60	154	523	113	699	278	87851	417
61	89927	293	88882	446	44	615	180
62	698	62	650	233	87809	379	86943
63	468	88830	417	87998	574	142	705
64	237	597	183	763	337	86905	466
65	6	364	87948	527	100	667	227
66	541	130	713	291	86863	429	85987
67	308	87895	477	54	625	190	747
68	74	660	241	86817	387	85950	407
69	87839	424	4	579	148	710	266
70	602	187	86766	340	85908	470	25
71	365	86949	527	100	667	228	84783
72	127	710	287	85859	426	84986	540
73	86888	470	47	618	184	743	297
74	648	229	85806	376	84941	500	53
75	4408	85988	564	134	698	257	83809
76	168	747	322	84891	455	13	546
77	85927	505	79	647	211	83768	319
78	685	262	84835	403	83966	523	74
79	442	18	590	158	720	277	82827
80	197	84772	344	83911	473	29	578
81	84950	525	96	664	224	82780	329
82	702	277	83848	415	82974	530	79
83	453	28	599	164	724	279	81828
84	203	83777	348	82913	473	27	576
85	83951	525	95	660	220	81774	322
86	697	271	82840	405	81965	519	67
87	441	14	583	148	708	262	80811
88	181	82754	323	81888	448	3	552
89	82919	492	62	626	186	80742	291
90	654	227	81797	362	80922	478	28
91	386	81959	529	94	655	211	79761
92	114	688	257	80823	384	79941	491
93	81839	413	80983	549	111	669	220
94	561	134	705	272	79835	393	78947
95	278	80852	424	79991	555	114	670
96	80991	566	138	706	271	78831	388
97	698	274	79846	415	78981	542	100
98	399	79975	547	117	684	247	77806
99	94	670	243	78814	382	77946	507
100	79784	360	78934	506	75	641	203
