

Konversi Selulosa Dari Limbah Kulit Nangka Melalui Hidrolisis Asam Sebagai Bahan Baku Bioetanol

Siti Firda Musiyanti*, Dilia Puspa, Aneasari Meidinariasty

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: sitifirdamsy@gmail.com

Diterima: 20 Agustus 2025

Disetujui: 28 Agustus 2025

Abstract

Bioethanol is a form of renewable energy with significant potential to reduce organic waste and dependence on fossil fuels. Jackfruit peel waste constitutes a biomass resource with considerable potential for conversion into glucose due to its relatively high cellulose content. This cellulose can be hydrolyzed into glucose through acid-catalyzed hydrolysis, using sulfuric acid (H_2SO_4) as a catalyst to cleave the glycosidic bonds within the cellulose structure. This study aims to examine the effect of varying sulfuric acid (H_2SO_4) concentrations and hydrolysis durations on the glucose yield, as well as to evaluate the characteristics of bioethanol produced at both laboratory and mini-plant scales. The experimental procedure comprised delignification using 6% NaOH solution, hydrolysis with H_2SO_4 at concentrations of 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, and 4% at $100^\circ C$ for 60 and 120 minutes, followed by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* for seven days, and purification through distillation. Analyses included glucose concentration using a Brix refractometer, ethanol content using GC-MS, density measurement with a pycnometer, pH, and viscosity determination with an Ostwald viscometer, in accordance with SNI 7390:2012 and SNI 06-3565-1994 standards. The results indicated that hydrolysis using 3% H_2SO_4 for 120 minutes yielded the highest glucose concentration of 8.5%. Furthermore, the bioethanol produced at the mini-plant scale exhibited superior quality compared to the laboratory scale, with an ethanol content of 18.36%, viscosity of 0.0137 P, pH of 7, and density of 0.85 g/mL.

Keywords: *bioethanol, jackfruit peel waste, acid-catalyzed hydrolysis, glucose yield, saccharomyces cerevisiae*

Abstrak

Bioetanol merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berpotensi mengurangi limbah organik dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Limbah kulit nangka termasuk biomassa yang berpotensi dikonversi menjadi glukosa karena kandungan selulosanya yang relatif tinggi. Selulosa tersebut dapat diuraikan menjadi glukosa melalui proses hidrolisis menggunakan katalis asam, seperti asam sulfat (H_2SO_4) yang berfungsi sebagai pemutus ikatan glikosidik pada struktur selulosa. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) dan waktu hidrolisis terhadap kadar glukosa yang dihasilkan, serta mengevaluasi karakteristik bioetanol yang dihasilkan dari skala laboratorium dan skala mini plant. Prosedur penelitian yang dilaksanakan meliputi delignifikasi dengan larutan NaOH 6%, hidrolisis menggunakan H_2SO_4 pada konsentrasi 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4% pada suhu $100^\circ C$ selama 60 dan 120 menit, kemudian fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* selama 7 hari, dan pemurnian melalui distilasi. Analisa yang dilakukan meliputi kadar glukosa menggunakan refraktometer brix, kadar etanol menggunakan GC-MS, densitas menggunakan piknometer, pH, dan viskositas menggunakan alat Ostwald berdasarkan SNI 7390:2012 dan SNI 06-3565-1994. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi H_2SO_4 3% dengan waktu hidrolisis 120 menit menghasilkan kadar glukosa tertinggi sebesar 8,5% serta karakteristik bioetanol skala mini plant memiliki kualitas lebih baik dibandingkan skala laboratorium, dengan kadar etanol 18,36%, viskositas 0,0137 P, pH 7, dan densitas 0,85 g/mL.

Kata Kunci: *acid-catalyzed hydrolysis, bioetanol, limbah kulit nangka, glucose yield, saccharomyces cerevisiae*

1. Pendahuluan

Krisis lingkungan dan keterbatasan energi fosil dalam beberapa tahun terakhir telah menjadi isu global yang harus segera diatasi. Salah satu solusi yang dapat diusulkan adalah peralihan dari bahan bakar fosil menuju sumber energi terbarukan. Energi terbarukan seperti bioetanol merupakan salah satu bentuk bioenergi yang memiliki potensi besar dalam mengurangi limbah sekaligus memanfaatkan sumber daya local [1]. Bioenergi merupakan salah satu alternatif sumber energi yang berasal dari bahan

organik/biomassa. Salah satu jenis biomassa yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi terbarukan adalah limbah kulit nangka. Menurut [2], produksi buah nangka di Indonesia mencapai 867.786 ton per tahun yang berarti menghasilkan limbah kulit dalam jumlah besar.

Keuntungan utama dari produksi bioetanol dari limbah kulit nangka adalah dapat menjadi nilai ekonomi tambahan dan mengurangi limbah organik. Hal ini memberikan manfaat bagi petani dan masyarakat lokal. Selain itu, proses konversi limbah menjadi bioetanol dapat menciptakan lapangan kerja baru dalam sektor energi terbarukan, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat [3].

Kulit nangka mengandung beberapa komponen penting, di antaranya selulosa sebesar 38,69%, lignin 26,50%, dan hemiselulosa 20,80% [4]. Kandungan selulosa yang tinggi dalam kulit nangka menjadikannya sebagai sumber yang potensial untuk proses hidrolisis menjadi glukosa [4]. Proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa dapat dilakukan melalui perlakuan kimia atau enzimatis [5]. Dalam hal ini, penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis dalam proses hidrolisis asam dapat secara efektif memecah ikatan glikosidik dalam selulosa, sehingga menghasilkan glukosa yang dapat difermentasi lebih lanjut menjadi bioetanol oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* [6], [7].

Selain selulosa, kulit nangka juga mengandung lignin dalam jumlah yang cukup tinggi, sehingga dapat menjadi penghalang dalam proses hidrolisis [8]. Lignin yang memiliki struktur kompleks dan tahan terhadap dekomposisi dapat menghambat aksesibilitas enzim terhadap selulosa, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan efisiensi hidrolisis [5]. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan awal dengan larutan alkali atau asam untuk mengurangi kandungan lignin dan meningkatkan ketersediaan selulosa bagi proses hidrolisis [9]. Pada penelitian [10], membahas proses pembuatan bahan dasar bioetanol dari limbah kulit nangka melalui dua tahap utama, yaitu hidrolisis dan fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit buah nangka memiliki potensi yang signifikan sebagai sumber bahan baku untuk produksi bioetanol. Dari 10 orang yang mengikuti pelatihan, hampir 100% berhasil membuat gula reduksi yang dapat digunakan dalam proses fermentasi. Proses hidrolisis yang dilakukan menghasilkan kadar pati yang cukup tinggi, dengan komposisi kulit nangka yang terdiri dari 13,45% pati dan 65,05% air. Setelah proses fermentasi, bioetanol yang dihasilkan menunjukkan potensi untuk digunakan sebagai alternatif bahan bakar.

Menurut [11], hasil penelitian produksi bioetanol dari kulit nangka dengan menggunakan enzim dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger*, serta fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* menunjukkan bahwa kadar gula tertinggi setelah perlakuan crude enzim dengan rasio 1:3 adalah 14,21%, dan setelah fermentasi dengan rasio 1:2 adalah 14,73%. Sementara itu, kadar etanol tertinggi yang dihasilkan adalah 1,32% pada rasio crude enzim 1:1. Kesimpulannya, kulit nangka memiliki potensi sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol, dengan rasio enzim optimal untuk meningkatkan kadar gula adalah 1:3, sedangkan kadar etanol tertinggi dicapai pada rasio 1:1.

Perencanaan rangkaian alat bioetanol didasarkan pada kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi produksi, yang hingga saat ini masih terbatas pada skala laboratorium. Dengan adanya inovasi dalam desain dan pengembangan alat, diharapkan proses konversi bahan baku yang mengandung selulosa menjadi glukosa dapat dilakukan secara lebih optimal, efisien, dan berkelanjutan sebagai bioetanol. Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) dan waktu hidrolisis terhadap proses hidrolisis kulit Nangka, serta menganalisis karakteristik bioetanol yang dihasilkan ditinjau dari yield, kadar etanol, densitas, pH dan viskositas berdasarkan SNI 7390:2012 dan SNI 06-3565-1994.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya dari bulan Mei hingga Juni 2025. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kulit nangka, H_2SO_4 , NaOH, Aquadest, *Saccharomyces cerevisiae*, urea. Alat yang digunakan yaitu, serangkaian alat bioetanol, hotplate, agitator, beaker glass, termometer, chopper.

Langkah pertama dimulai dengan persiapan limbah kulit nangka. Limbah kulit nangka seberat 1 kg dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran, kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil agar memudahkan proses selanjutnya. Potongan kulit nangka tersebut kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama tiga hari guna mengurangi kadar air. Setelah kering, kulit nangka dihancurkan menggunakan chopper hingga berbentuk serbuk [8].

Tahap berikutnya adalah delignifikasi, yaitu proses pengurangan kandungan lignin dari serbuk kulit Nangka [12]. Sebanyak 100 gram serbuk dimasukkan ke dalam gelas kimia berkapasitas 1000 mL, kemudian ditambahkan 500 mL larutan natrium hidroksida (NaOH) 6%. Campuran tersebut dipanaskan selama 60 menit pada suhu $100^\circ C$ sambil diaduk secara perlahan. Setelah proses pemanasan selesai, larutan hasil delignifikasi disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dari larutan. Padatan

hasil penyaringan kemudian dibilas dengan aquadest hingga mencapai pH netral (sekitar 6–7) guna menghilangkan sisa NaOH yang masih tertinggal dalam sampel [13].

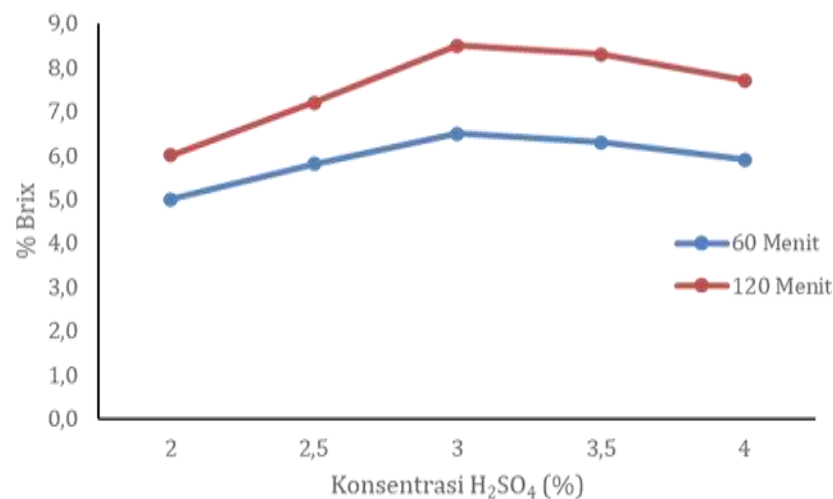
Kemudian, sebanyak 1 kg sampel kulit nangka yang telah melalui tahap pre-treatment dimasukkan ke dalam tangki hidrolisis. Selanjutnya, disiapkan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan variasi konsentrasi yaitu 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4% sebanyak 5000 mL. Campuran antara sampel dan larutan asam sulfat tersebut kemudian dipanaskan pada suhu $100^\circ C$ sambil diaduk. Proses hidrolisis dilakukan dengan dua variasi waktu, yaitu selama 60 menit dan 120 menit. Setelah proses hidrolisis selesai, campuran disaring untuk memisahkan cairan hasil hidrolisis dari padatan yang tersisa. Cairan hasil penyaringan kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Kandungan glukosa dalam filtrat diuji menggunakan alat refraktometer Brix, dan pH larutan dinetralkan dengan menambahkan larutan natrium hidroksida (NaOH) sebelum melanjutkan ke tahap fermentasi [5].

Sampel hasil hidrolisis dengan kandungan glukosa tertinggi dipilih untuk lanjut ke proses fermentasi dan dimasukkan ke dalam tangki fermentor. Ke dalam tangki tersebut ditambahkan urea sebanyak 0,5% dari volume hasil hidrolisis sebagai nutrisi, serta *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 3% dari volume larutan sebagai mikroorganisme fermentatif. Proses fermentasi dilakukan selama tujuh hari pada kondisi anaerob. Setelah fermentasi selesai, cairan hasil fermentasi disaring untuk memisahkan endapan atau padatan, sehingga diperoleh larutan bioetanol kasar. Tahap selanjutnya adalah destilasi untuk memurnikan bioetanol. Alat destilasi disiapkan dan larutan fermentasi dituang ke dalam labu destilasi. Etanol akan menguap pada suhu sekitar $78^\circ C$ lalu melewati kondensor sehingga uap tersebut berubah menjadi cairan. Hasil distilat berupa bioetanol kemudian ditampung dan disimpan dalam wadah tertutup rapat untuk mencegah penguapan [4], [14].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 dan Waktu Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa

Pada tahap hidrolisis skala laboratorium menggunakan larutan H_2SO_4 dengan variasi waktu hidrolisis selama 60 dan 120 menit serta konsentrasi asam sebesar 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4% pada suhu $100^\circ C$. Kemudian, dilakukan analisa glukosa dari proses hidrolisis menggunakan alat refraktometer brix. Parameter dari %Brix digunakan untuk mengukur kadar zat padat terlarut dalam larutan hasil hidrolisis, yang merepresentasikan jumlah gula yang terbentuk [15]. Hasil kadar glukosa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 dan Waktu Hidrolisis terhadap Kadar Glukosa

Gambar 1 menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari variasi konsentrasi H_2SO_4 dan waktu hidrolisis terhadap konversi selulosa menjadi glukosa. Pada waktu hidrolisis 60 menit dengan konsentrasi H_2SO_4 sebesar 2% diperoleh kadar glukosa sebesar 5%. Kadar ini menunjukkan hasil hidrolisis awal yang masih rendah, karena baik konsentrasi asam maupun waktu hidrolisis belum cukup untuk memecah struktur selulosa secara optimal. Selanjutnya, pada konsentrasi 3% H_2SO_4 kadar glukosa meningkat lebih lanjut menjadi 6,5%. Namun, ketika konsentrasi ditingkatkan menjadi 3,5%, kadar glukosa mengalami sedikit penurunan menjadi 6,3%. Hal ini menunjukkan sebagai awal dari terjadinya reaksi degradasi glukosa, di mana glukosa yang terbentuk mulai mengalami kerusakan akibat paparan kondisi asam yang berlebihan [16], [17]. Peningkatan konsentrasi H_2SO_4 di atas 3% tidak memberikan efisiensi

terhadap hidrolisis, bahkan cenderung menurunkan hasil akibat hasil degradasi glukosa. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] yang menyebutkan bahwa kadar asam sulfat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi hemiselulosa menjadi furfural dan hidroksifurfural, yang pada akhirnya menurunkan kadar gula reduksi.

Pada waktu hidrolisis yang lebih panjang yaitu 120 menit, hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan kadar glukosa yang lebih signifikan. Pada konsentrasi H₂SO₄ sebesar 2% kadar glukosa tercatat sebesar 6,0% lebih tinggi dibandingkan waktu 60 menit dengan konsentrasi yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa waktu hidrolisis yang lebih lama memberikan peluang lebih besar terjadinya pemutusan ikatan glikosidik dalam struktur selulosa. Kemudian, pada konsentrasi 3% kadar glukosa mencapai nilai tertinggi, yaitu 8,5%. Kondisi ini dapat diidentifikasi sebagai kondisi optimum, di mana konsentrasi asam dan waktu hidrolisis berada pada titik keseimbangan yang ideal untuk konversi maksimum selulosa menjadi glukosa [19].

Selanjutnya, variabel dengan konsentrasi 3% dan waktu hidrolisis 120 menit diaplikasikan pada skala mini plant menggunakan serangkaian alat bioetanol namun menambah volume hidrolisis menjadi 5 liter. Pada percobaan ini, hasil hidrolisis skala mini plant mendapatkan kadar glukosa sebesar 8,5%, hasil ini berbanding lurus dengan skala laboratorium hanya saja terdapat di perbedaan volume hasil hidrolisis yaitu 4520 ml.

3.2 Yield

Proses produksi bioetanol pada penelitian ini dilakukan pada dua skala berbeda, yaitu skala laboratorium dan skala mini plant dengan tujuan untuk membandingkan efisiensi proses. Pada skala laboratorium, digunakan volume bahan baku fermentasi sebanyak 430 mL, dan setelah proses destilasi diperoleh bioetanol sebanyak 15 ml. Berdasarkan perhitungan, persentase hasil atau yield pada skala ini sebesar 3,49%. Sementara itu, pada skala mini plant volume bahan baku yang digunakan sebanyak 4520 mL dan menghasilkan volume bioetanol sebesar 230 mL, dengan yield sebesar 5,09%.

Peningkatan %yield pada skala mini plant menunjukkan adanya optimasi proses yang lebih baik seiring dengan perbesaran skala. Hal ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor teknis. Pertama, distilasi pada mini plant yang dirancang memiliki pengendalian suhu dan tekanan yang lebih stabil, sehingga proses pemisahan etanol dari campuran fermentasi berlangsung lebih efisien. Kedua, kapasitas alat yang lebih besar memungkinkan pengolahan volume bahan secara lebih merata dan meminimalkan kehilangan etanol akibat penguapan yang tidak tertangkap.

3.3 Analisis Karakteristik Bioetanol

Produk bioetanol yang dianalisis karakteristiknya ini merupakan sampel hasil hidrolisis yang mengandung glukosa tertinggi sebesar 8,5% secara skala laboratorium dan skala mini plant, kemudian dilakukan fermentasi selama 7 hari. Produk dianalisa dengan beberapa parameter yang ada di SNI 7390:2012 dan SNI 06-3565-1994 yaitu kadar etanol, pH, densitas dan viskositas [20], [21].

Tabel 1. Karakteristik Bioetanol Skala Laboratorium

	%Yield	Parameter Uji			
		Etanol content (%)	Viskositas (P)	pH	Densitas (gr/mL)
SNI 06-3536-1994	-	-	0,0122 (Etanol Absolut) 0,0141 (Etanol Teknik)	-	0,730 – 0,820
SNI 7390:2012	-	99,5 (before denature added) 94 (after denature added)	-	6,5 - 9	-
Sampel (B3)	3,49	14,94	0,0150	6	0,94

Tabel 2. Karakteristik Bioetanol Skala Mini Plant

	%Yield	Parameter Uji			
		Etanol content (%)	Viskositas (P)	pH	Densitas (gr/mL)
SNI 06-3536-1994	-	-	0,0122 (Etanol Absolut) 0,0141 (Etanol Teknik)	-	0,730 – 0,820
SNI 7390 : 2012	-	99,5 (before denature added) 94 (after denature added)	-	6,5 - 9	-
Sampel (B3)	5,09	18,36	0,0137	7	0,85

3.3.1 Kadar Etanol

Analisa kadar etanol yang dilakukan menggunakan Gas Chromatography –Mass Spectrometry (GC-MS) di Laboratorium Forensik Kepolisian Daerah Sumatra Selatan – Palembang. Berdasarkan perhitungan, didapatkan hasil kadar etanol skala laboratorium sebesar 14,94% dan kadar etanol skala mini plant sebesar 18,36%. Nilai ini menunjukkan bahwa etanol memang terbentuk sebagai hasil fermentasi, namun dalam konsentrasi yang masih jauh lebih rendah dari standar [20]

3.3.2 Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan atau hambatan aliran dari bioetanol yang dihasilkan pada dua skala proses, yaitu skala laboratorium dan skala mini plant. Pengukuran dilakukan menggunakan viskometer Ostwald. Jika dibandingkan dengan [21]. tentang parameter kualitas bioetanol, nilai viskositas etanol absolut berada pada kisaran 0,0122 P sedangkan etanol teknis memiliki viskositas 0,0141 P. Artinya, viskositas bioetanol skala mini plant lebih dekat dengan standar viskositas etanol teknis, sementara viskositas bioetanol dari skala laboratorium lebih tinggi dari kedua nilai acuan tersebut. Selisih nilai viskositas ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik fisik antara kedua sampel bioetanol yang dipengaruhi oleh parameter massa jenis dan laju alir.

3.3.3 pH

Analisis terhadap sifat keasaman sampel bioetanol skala laboratorium dan skala mini plant dilakukan menggunakan kertas indikator pH. Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa bioetanol skala mini plant telah memenuhi standar karena berada dalam kisaran pH yang ditetapkan, yaitu pH 7 yang tergolong netral. Sementara itu, bioetanol skala laboratorium dengan pH 6 masih sedikit berada di bawah batas minimum SNI.

3.3.4 Densitas

Pengujian densitas terhadap bioetanol hasil destilasi skala laboratorium dan skala mini plant menggunakan alat piknometer berkapasitas 5 mL. Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa densitas bioetanol dari kedua skala lebih rendah dari air, namun masih lebih tinggi dari densitas etanol menurut [22] yang berada dalam rentang 0,730 – 0,820 g/mL pada suhu 20°C. Hal ini mengindikasikan bahwa baik bioetanol skala laboratorium maupun mini plant masih mengandung air atau senyawa pengotor lain. Namun hasil dari skala mini plant menunjukkan nilai densitas yang lebih mendekati standar SNI. Penurunan nilai densitas dari 0,94 g/mL ke 0,85 g/mL menunjukkan adanya peningkatan kemurnian, meskipun belum mencapai spesifikasi densitas etanol menurut SNI. Adanya alat destilasi pada mini plant yang lebih besar dan lebih stabil dalam menjaga suhu pemisahan dapat menjadi salah satu alasan pemisahan etanol dari campuran air menjadi lebih baik.

4. Kesimpulan

Konsentrasi asam sulfat (H₂SO₄) dan waktu hidrolisis berpengaruh signifikan terhadap proses konversi selulosa kulit nangka menjadi glukosa sebagai bahan baku bioetanol. Kadar glukosa tertinggi yaitu sebesar 8,5% diperoleh pada konsentrasi asam sulfat sebesar 3% dengan waktu hidrolisis selama 120 menit. Peningkatan konsentrasi H₂SO₄ di atas 3% mengakibatkan degradasi glukosa, sedangkan waktu hidrolisis yang lebih lama meningkatkan efektivitas pemutusan ikatan glikosidik pada selulosa.

Bioetanol yang dihasilkan pada skala *mini plant* menunjukkan karakteristik yang lebih baik dibandingkan skala laboratorium. Hal ini ditunjukkan oleh kadar etanol yang lebih tinggi sebesar 18,36%

dibandingkan dengan 14,94% pada skala laboratorium, meskipun keduanya masih belum memenuhi persyaratan kadar etanol sesuai SNI 7390:2012. Dari segi densitas, nilai pada skala *mini plant* sebesar 0,850 g/mL lebih mendekati rentang standar SNI 06-3565-1994 yaitu 0,730–0,820 g/mL. Viskositas skala *mini plant* sebesar 0,0137 P yang lebih mendekati SNI 06-3565-1994 yaitu 0,0122 P. Sementara itu, nilai pH pada skala *mini plant* sebesar 7 berada dalam rentang yang sesuai dengan SNI 7390:2012 yaitu 6,5 – 9.

5. Daftar Singkatan

Singkatan	Keterangan
GC - MS	Gass Chromatography – Mass Spectrometry
SNI	Standar Nasional Indonesia

6. Daftar Pustaka

- [1] G. M. Hamdi, M. N. Abbas, and S. A. K. Ali, “Bioethanol Production From Agricultural Waste: A Review,” Mar. 01, 2024, *Mustansiriyah University College of Engineering*. doi: 10.31272/jeasd.28.2.7.
- [2] BPS, “Produksi Tanaman Buah–Buahan dan Sayuran Tahunan Menurut Jenis Tanaman, 2024 - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Indonesia.” Accessed: Aug. 13, 2025.
- [3] R. Kaviani, “Economic Review and Environmental Benefits of Bioethanol,” *J. Chem. Lett*, vol. 2, pp. 144–149, 2021.
- [4] D. Pertiwi and T. Widyaningrum, “Pengaruh Rasio Crude Enzim *Aspergillus niger* dan *Trichoderma reesei* terhadap Kadar Gula dan Bioetanol Hasil Fermentasi Kulit Buah Nangka (*Artocarpus heterophyllus Lamk.*),” *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, vol. 9, no. 2, p. 390, Oct. 2022, doi: 10.24843/metamorfosa.2022.v09.i02.p18.
- [5] D. Guntama, Y. Herdiana, U. A. Sujiana, R. L. Endes, and E. Sunandar, “Bioethanol Dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) Melalui Metode Hidrolisa Dan Fermentasi Dengan Bantuan *Saccharomyces Cerevisiae*,” *J Teknol*, vol. 7, no. 1, pp. 86–96, Nov. 2019, doi: 10.31479/jtek.v7i1.35.
- [6] K. Agriliani Meyrinta, R. Dwi Putri, and an Fatoni, “Pembuatan Bioetanol Dari Jerami Nangka Dengan Metode Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae*,” 2018. [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- [7] P. A. Wulandari, M. Fatimura, and R. Fitriyanti, “Pengaruh Konsentrasi H₂SO₄ Dan Waktu Fermentasi Terhadap Proses Pembuatan Bioetanol Berbahan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*),” *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*, vol. 04, no. 02, 2023.
- [8] Amani, Zata Dini. *Analisis Pemanfaatan Limbah Kulit Nangka Menjadi Carboxymethyl Cellulose Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Rheologi Lumpur Pemboran*. Diss. Universitas Islam Riau, 2021.
- [9] M. F. Zhang *et al.*, “Depolymerization of microcrystalline cellulose by the combination of ultrasound and Fenton reagent,” *Ultrason Sonochem*, vol. 31, pp. 404–408, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.01.027.
- [10] H. Setyawati and E. Junita Sinaga, “Pembuatan Bahan Dasar Bioethanol Sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Nangka Pada Cv. Kajeye Food Malang,” 2021.
- [11] T. C. Rini and T. Widyaningrum, “Production of bioethanol from jackfruit rind-waste using *Saccharomyces cerevisiae* with crude enzyme treatment of *Trichoderma reesei* and *Aspergillus niger*,” *Journal on Biology and Instruction*, vol. 1, no. 2, pp. 61–70, Feb. 2022, doi: 10.26555/joubins.v1i2.4936.
- [12] V. Menon and M. Rao, “Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept,” 2012, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.peccs.2012.02.002.
- [13] K. M. D. Puspitasari, Suwandi, and H. A. Bharata, “Process of Bioethanol from Rise Straw with SSF Acid Delignification and SHF Method,” Mar. 2018.
- [14] S. Wahyuna Saragih, “Production Of Bioethanol From Oil Palm (*Elaeis Guineensis Jacq*) Stem Through Pretreatment Processusing H₂SO₄ And Fermentation Using Bread Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*),” vol. 5, no. 2, pp. 2656–4831, 2023.
- [15] N. R. Az’zahrah, E. Dewi, and M. Yerizam, “Pengolahan Pati Rumbia menjadi Serbuk Glukosa secara Hidrolisis Enzimatis dengan Variasi Perbandingan Pati dan Air, Suhu Evaporasi, dan Suhu Pengeringan,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 13, no. 1, pp. 24–31, Mar. 2024, doi: 10.32734/jtk.v13i1.13327.

-
- [16] Wignyaningsuma, Galih, and M. Fuadi Ir Ahmad. *Pengaruh pH, Suhu Dan Waktu Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa Pereduksi Dari Limbah Biji Alpukat Dengan Metode Hidrolisis Asam*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [17] Kurniati, Yuni, Iis Elfy Khasanah, and Kurniawati Firdaus. "Kajian pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas (*Ananas comosus*. L)." *Jurnal Teknik Kimia USU* 10.2 (2021): 95-101.
- [18] Chusna, Firda Mahira Alfiata, Sinta Cahaya, and Siti Aprianita. "Optimasi Pembuatan Bioetanol dari Limbah Bonggol Jagung Berdasarkan Beda Waktu Fermentasi dan Berat Ragi." *Jurnal Serambi Engineering* 9.1 (2024): 8140-8145.
- [19] Haryani, Nina, Viesta Listuyeri Syarif, and Soraya Rizky Ananda. "Pengaruh konsentrasi asam dan waktu hidrolisis pada pembentukan bioetanol dari daun nanas." *Jurnal Teknik Kimia* 21.4 (2015): 39-46.
- [20] Thahir, Muhammad Taufiq, and Saadatul Husna. "Production and Characterization of Bioethanol from Straw Waste Through Hydrolysis and Fermentation Processes." *Jurnal Sains dan Teknik Terapan* 2.1 (2024): 9-19.
- [21] BSN, "SNI 06-3565-1994: Syarat Mutu Etanol.," *Badan Standarisasi Nasional*, 1994.