

Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat (H_2SO_4) pada Proses Hidrolisis Lignoselulosa Batang Kelapa Sawit Terhadap Kadar Gula Terlarut dan Gula Reduksi

Asylih Za'rara Hasibuan ^{1✉}, Heri Purwanto ²

(1) Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Deli Serdang, Indonesia

(2) Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Deli Serdang, Indonesia

Abstrak: Perkebunan kelapa sawit menghasilkan biomassa padat, salah satunya yaitu batang kelapa sawit yang mengandung selulosa. Kandungan selulosa pada batang kelapa sawit berpotensi menghasilkan produk bioetanol jika diolah melalui proses hidrolisis untuk memecah polisakarida menjadi gula. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) pada proses hidrolisis untuk menghasilkan gula fermentable dari substrat batang kelapa sawit. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap Non-Faktorial yang terdiri dari 3 taraf perlakuan yaitu variasi konsentrasi H_2SO_4 (1 M, 2 M, 3 M) masing-masing 3 kali pengulangan (total 9 sampel). Analisis statistik menggunakan uji ANOVA dan uji lanjut DUNCAN dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengujian kadar gula terlarut menggunakan alat Refraktometer, (% Brix), sedangkan gula reduksi menggunakan metode Nelson-Somogyi dengan Spektrofotometer UV-Vis pada gelombang 540 nm. Dengan kondisi suhu hidrolisis 90°C dalam waktu 100 menit. Konsentrasi kadar gula tertinggi diperoleh dari variasi 3 M yaitu sebesar 18,80 % Brix dengan kadar gula reduksi 428,54 ppm. Uji Duncan menunjukkan konsentrasi 3 M berbeda signifikan dengan 1 M (310,71 ppm) dan 2 M (340,23 ppm), sedangkan 1 M dan 2 M tidak berbeda signifikan. Kesimpulannya, konsentrasi H_2SO_4 3 M merupakan kondisi optimal untuk hidrolisis batang kelapa sawit dengan menghasilkan kadar gula reduksi tertinggi yang signifikan.

Abstract: Oil palm plantations produce solid biomass, one of which is the oil palm trunk, which contains cellulose. The cellulose content in oil palm trunks has the potential to produce bioethanol if processed through hydrolysis to break down polysaccharides into sugars. The objective of this study was to determine the effect of varying sulfuric acid (H_2SO_4) concentrations on the hydrolysis process for producing fermentable sugars from oil palm trunk substrate. The study design employed a Non-Factorial Complete Randomized Design consisting of 3 treatment levels—variations in H_2SO_4 concentration (1 M, 2 M, 3 M)—each with 3 replicates (for a total of 9 samples). Statistical analysis utilized ANOVA and Duncan's post-hoc test at a 95% confidence level. Dissolved sugar content was measured using a refractometer (% Brix), while reducing sugar was determined using the Nelson-Somogyi method with a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 540 nm. The hydrolysis was conducted at 90°C for 100 minutes. The highest sugar concentration was obtained from the 3 M treatment, at 18.80% Brix with a reducing sugar content of 428.54 ppm. Duncan's test showed that the 3 M concentration differed significantly from 1 M (310.71 ppm) and 2 M (340.23 ppm), while 1 M and 2 M did not differ significantly. In conclusion, a 3 M H_2SO_4 concentration is the optimal condition for the hydrolysis of oil palm stems, yielding a significantly higher reducing sugar content.

Article history:

Received: 20 June 2026

Revised: 08 July 2026

Accepted: 11 July 2026

Published: 14 July 2026

Kata kunci:

Batang kelapa sawit, Asam sulfat (H_2SO_4), Hidrolisis, Gula reduksi, Gula terlarut

Keyword:

Oil palm stems, Sulfuric acid (H_2SO_4), Hydrolysis, Reducing sugar, Soluble sugar

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



How to cite: Hasibuan, A. Z., & Purwanto, H. (2026). Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat (H_2SO_4) pada Proses Hidrolisis Lignoselulosa Batang Kelapa Sawit Terhadap Kadar Gula Terlarut dan Gula Reduksi. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 4(3), 377–385. <https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.639>

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman yang memiliki banyak manfaat, bahkan limbah kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk membuat bioetanol. Limbah kelapa sawit termasuk bioetanol generasi kedua karena menggunakan biomassa lignoselulosa yang tidak mengganggu pasokan pangan, berasal dari sisa tanaman atau bagian yang tidak dimanfaatkan langsung. Kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa besar berupa pelepah, tandan kosong, dan batang yang kaya selulosa dan hemiselulosa, komponen utama yang dapat dihidrolisis menjadi gula untuk fermentasi bioetanol (Santi, 2022).

Salah satu limbah kelapa sawit yang berpotensi dimanfaatkan adalah batang kelapa sawit. Batang kelapa sawit mengandung komponen lignoselulosa terdiri dari tiga komponen serat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Batang kelapa tersusun atas 47% selulosa, 32% hemiselulosa, 17% lignin, 3% ekstraktif dan 1% abu (Matsunaga et al., 2015). Serat vaskular pada batang kelapa sawit yang akan kaya selulosa dengan dinding sel yang tebal dan kandungan lignin yang cukup tinggi, memberikan bahan baku yang ideal untuk proses hidrolisis dan fermentasi menjadi bioetanol (Erwinsyah, 2020). Struktur lignoselulosa yang kompleks dan resisten terhadap degradasi menjadi tantangan utama dalam mengkonversi menjadi gula terfermentasi yang dibutuhkan dalam produksi bioethanol. Metode yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Hidrolisis berfungsi untuk memecah ikatan-ikatan dalam hemiselulosa dan Sebagian selulosa, sehingga menghasilkan gula sederhana seperti glukosa yang dapat difermentasi sebagai etanol (Restu Widiastuty & Nur Ramadhani, 2019).

Untuk mengatasi kendala tersebut, diperlukan tahapan pretreatment dan hidrolisis. Namun selulosa masih terikat pada lignin dalam suatu ikatan lignoselulosa (Misri Gozan, 2014). Tujuan dilakukannya proses pretreatment pada biomassa lignoselulosa adalah untuk memecah struktur kompleks dari matriks selulosa dan hemiselulosa, membantu mengurangi derajat kristalinitas selulosa karena selulosa memiliki bentuk kristalin yang strukturnya lebih padat dan sulit diakses oleh enzim, meningkatkan fraksi amorf selulosa agar lebih mudah untuk dihidrolisis dalam menghasilkan gula, proses pretreatment juga dapat mengurangi senyawa yang dapat menghambat laju hidrolisis serta meningkatkan efisiensi proses hidrolisis dalam menghasilkan gula (Hidayat, 2015; Yuniarti et al., 2024). Proses pretreatment basa menggunakan natrium hidroksida (NaOH) berdasarkan penelitian (Mega Mustikaningrum et al., 2021) efektif menembus bagian amorf dari selulosa sehingga semakin besar konsentrasi NaOH, maka semakin tinggi selulosa yang dihasilkan. Hidrolisis adalah proses untuk mengubah polimer karbohidrat (polisakarida), yaitu selulosa dan hemiselulosa, menjadi glukosa (Tejo Purboyo, 2015). Asam sulfat (H_2SO_4), merupakan asam penghidrolisis untuk mempercepat laju reaksi. Hidrolisis dengan asam seperti asam sulfat (H_2SO_4), kecepatan reaksinya sebanding dengan konsentrasi asamnya. Adapaun faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis yaitu suhu, waktu, pencampuran reaksi, konsentrasi asam, dan kadar substrat. Suhu reaksi yang meningkat mempercepat proses reaksi, namun suhu yang terlalu tinggi menurunkan konversi karena glukosa terdegradasi menjadi arang sehingga warna larutan berubah kecoklatan. Waktu hidrolisis yang lebih lama meningkatkan konversi, namun pertambahan konversi menurun jika waktu terlalu Panjang. Konsentrasi yang tinggi akan mempercepat reaksi hidrolisis. sedangkan substrat berlebihan mengurangi kecepatan reaksi (Yustinah et al., 2018).

Penelitian mengenai pemanfaatan batang kelapa sawit sebagai bahan baku bioetanol masih perlu dikembangkan lebih lanjut, terutama terkait pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat terhadap hasil

hidrolisis. Penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada limbah kelapa sawit lain, seperti tandan kosong dan pelepah, sehingga informasi mengenai batang kelapa sawit masih relatif terbatas. Padahal, batang kelapa sawit memiliki potensi besar sebagai substrat karena ketersediaannya melimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi H_2SO_4 yang paling efektif dalam menghasilkan gula terlarut dan gula reduksi dari batang kelapa sawit.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) pada proses hidrolisis batang kelapa sawit terhadap kadar gula terlarut dan kadar gula reduksi yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit sebagai bahan baku bioetanol generasi kedua yang lebih efisien dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Proses tahapan penelitian dilakukan di Laboratorim Kampus 1 Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI), Jl. William Iskandar, Medan Estate 20371, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, Jl. Tri Dharma No.9, Padang, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara. Waktu penelitian dilakukan mulai dari bulan April-Mei 2026.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi batang kelapa sawit, larutan asam sulfat (H_2SO_4) 1M, 2M, 3M, aquades, larutan natrium hidroksida (NaOH) 1 M, larutan glukosa standar, reagen nelson-somogyi, arsenomolibdate 25 mL.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi oven, hot plate, neraca analitik, ayakan 100 mesh, pH meter, magnetic stirrer, gelas ukur 100 mL, pipet ukur 10 mL, thermometer, spatula, gelas beaker, aluminium foil, refraktometer, spektrofotometer UV-Vis.

Prosedur Penelitian

Persiapan bahan baku

Batang kelapa sawit diambil pada bagian sekitar satu meter dari ujung atas, kemudian dicacah untuk memperkecil ukuran batang. Batang dikeringkan di bawah sinar matahari selama beberapa hari hingga batang mengering sempurna. Setelah kering, batang dihaluskan selama menggunakan chopper, kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh (Giyanto et al. 2023).

Pretreatment

Sebanyak 25 gram sampel batang kelapa sawit yang telah dihaluskan ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker berukuran 500 mL. Selanjutnya, ditambahkan larutan NaOH 1 M sebanyak 500 mL. Proses pretreatment dilakukan selama 30 menit pada suhu $90^{\circ}C$ dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Hasil pretreatment disaring, lalu sampel dicuci menggunakan aquades hingga

mencapai pH 7. Sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu 105°C (Giyanto et al. 2023; Mawarda Rilek et al. 2017).

Hidrolisis

Larutan H₂SO₄ dengan konsentrasi 1 M, 2 M dan 3 M masing-masing sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker berukuran 150 mL, kemudian dicampurkan dengan sampel hasil pretreatment. Proses hidrolisis dilakukan selama 100 menit dengan suhu 80-90°C dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Setelah proses hidrolisis selesai, sampel disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu dan filtrat (Mawarda Rilek et al. 2017).

Netralisasi

Kemudian netralisasikan sampel dengan NaOH 3 M sampai pH 7 untuk menghindari kerusakan Reagent Nelson-Somogyi, lalu analisa kadar gula terlarut dengan menggunakan Refractometer dan analisa kadar gula reduksi dengan Spectrophotometer UV-Vis dengan Metode Nelson-Somogyi (Aksari et al., 2024).

Parameter Pengamatan

Analisis Kadar Gula Terlarut

Prisma refraktometer dibersihkan terlebih dahulu menggunakan aquades. Selanjutnya, 1-3 tetes filtrat yang telah dinetralkan ditetaskan ke permukaan prisma refraktometer. Nilai skala kemudian dibaca pada bagian yang bercahaya.

Analisis Kadar Gula Reduksi

Pengukuran gula pereduksi secara kuantitatif menggunakan metode Somogyi-Nelson Sampel sebanyak 1 mL dicampurkan dengan reagent Nelson sebanyak 1 mL dan dipanaskan pada air mendidih selama 20 menit. Selanjutnya sampel ditambahkan reagent arsenolmolibdat sebanyak 1 mL kemudian dikocok dan diencerkan dengan aquades sebanyak 7 mL hingga volume pada tabung tepat 10 mL. Ukur kadar gula pereduksi sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm. Hasil absorbansi yang didapat kemudian dibandingkan dengan kurva regresi linier larutan standar. Pembuatan kurva standar larutan glukosa dengan cara menyiapkan larutan glukosa standar dengan konsentrasi masing-masing 0, 15, 30, 70 ppm (Aksari et al., 2024).

$$\text{Kadar Gula Pereduksi} = \frac{(y - c)}{m} \times FP$$

Ket :

y = Nilai absorbansi sampel

c = Nilai intersep

m = Nilai slope

FP = Faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

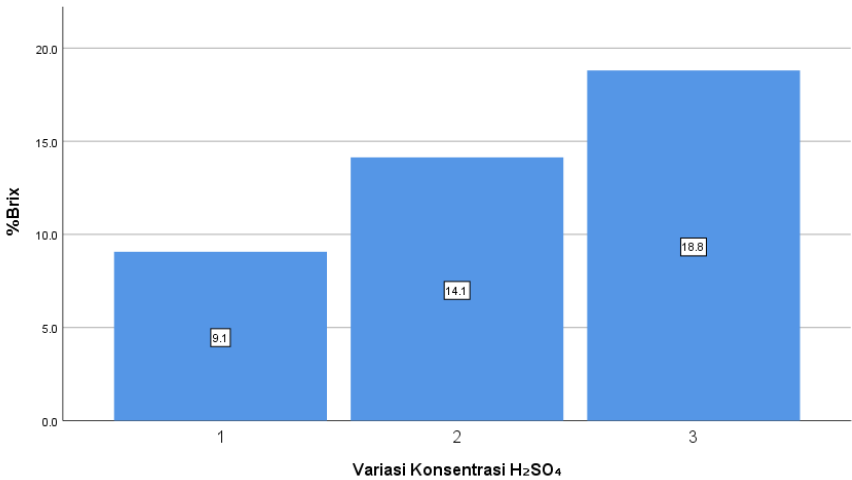
Kadar Gula Terlarut (Brix) Batang Kelapa Sawit Setelah Proses Hidrolisis

Berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi, kadar gula terlarut (Brix) pada perlakuan H₂SO₄ 1 M sebesar 9,067 ± 1,002, pada 2 M sebesar 14,133 ± 1,007, dan pada 3 M sebesar 18,800 ± 0,436.

Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa data pada masing-masing perlakuan memiliki sebaran yang sempit dan hasil pengulangan cenderung konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa variasi hasil di dalam setiap kelompok relatif rendah, sehingga perbedaan antarperlakuan dapat terlihat dengan lebih jelas.

Tabel 1. Rata-rata ± standar deviasi kadar gula terlarut (Brix) hasil hidrolisis batang kelapa sawit

Konsentrasi H ₂ SO ₄	Ulangan	Kadar gula terlarut (Brix)
1 M	3	9,067 ± 1,002
2 M	3	14,133 ± 1,007
3 M	3	18,800 ± 0,436



Gambar 1. Grafik Hasil Analisis Kadar Gula Terlarut (Brix) Batang Kelapa Sawit

Hasil tersebut selaras dengan analisis ragam (ANOVA) yang menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000, yang berarti terdapat pengaruh yang sangat nyata dari variasi konsentrasi H₂SO₄ terhadap kadar gula terlarut. Dengan demikian, perbedaan rata-rata Brix yang diperoleh pada masing-masing perlakuan tidak terjadi secara kebetulan, melainkan dipengaruhi oleh konsentrasi asam yang digunakan pada proses hidrolisis. Hasil uji lanjut Duncan juga menunjukkan bahwa setiap perlakuan berada pada subset yang berbeda, sehingga ketiga konsentrasi H₂SO₄ memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar gula terlarut, sehingga peningkatan konsentrasi H₂SO₄ terbukti meningkatkan proses depolimerisasi lignoselulosa menjadi gula yang dapat dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi bioetanol (Z. Zhou et al., 2021).

Berdasarkan tabel diatas hasil analisa kadar gula terlarut (brix) setelah proses hidrolisis terjadi peningkatan. Proses ini terjadi karena adanya pemanasan dan penambahan asam selama proses hidrolisis dapat mendegradasi struktur sel dan membran sampel. Hal ini memungkinkan pelepasan gula terlarut yang sebelumnya terperangkap dalam sel. Peningkatan konsentrasi asam yang digunakan berkorelasi dengan kenaikan kadar gula terlarut. Penambahan asam sulfat dalam proses hidrolisis batang kelapa sawit terbukti dapat mempercepat laju reaksi hidrolisis. Namun, konsentrasi asam yang

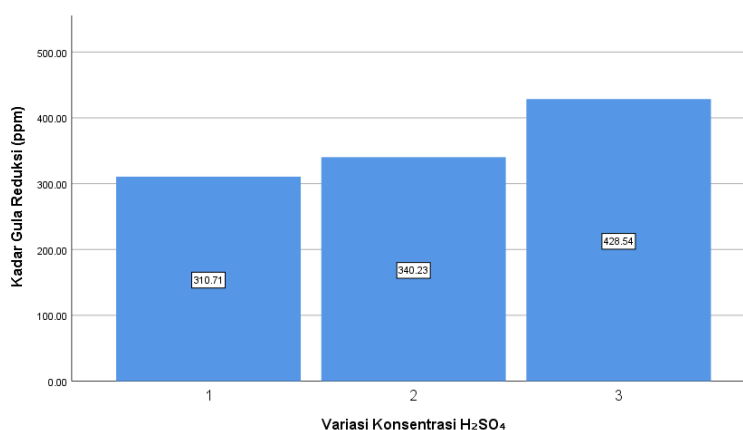
terlalu tinggi atau waktu reaksi yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi gula menjadi senyawa inhibitor, seperti furfural dan 5-hidroksimetilfurfural (HMF), yang dapat menurunkan efisiensi fermentasi bioetanol. Oleh karena itu, optimasi konsentrasi H_2SO_4 menjadi faktor penting untuk memperoleh kadar gula yang tinggi sekaligus meminimalkan pembentukan produk samping selama proses hidrolisis (Z. Zhou et al., 2021).

Kadar Gula Pereduksi Batang Kelapa Sawit setelah Proses Hidrolisis

Berdasarkan hasil penelitian, nilai standar deviasi pada masing-masing perlakuan menunjukkan tingkat variasi data ulangan terhadap nilai rata-ratanya. Perlakuan 1 M memiliki standar deviasi sebesar 21,91 ppm dan perlakuan 2 M sebesar 12,79 ppm, yang menunjukkan bahwa sebaran data pada kedua perlakuan tersebut relatif lebih homogen. Sementara itu, perlakuan 3 M memiliki standar deviasi yang lebih besar, yaitu 52,69 ppm, sehingga menunjukkan bahwa variasi data antarulangan pada perlakuan tersebut lebih tinggi.

Tabel 2. Rata-rata $\pm$ standar deviasi kadar gula reduksi hasil hidrolisis batang kelapa sawit

Konsentrasi H_2SO_4	Ulangan	Kadar gula reduksi (ppm)
1 M	3	310,71 $\pm$ 21,91
2 M	3	340,23 $\pm$ 12,79
3 M	3	428,54 $\pm$ 52,69



Gambar 2. Grafik Hasil Analisis Kadar Gula Pereduksi Batang Kelapa Sawit

Berdasarkan hasil analisis ragam ANOVA, variasi konsentrasi H_2SO_4 menunjukkan pengaruh yang signifikan (berbeda nyata) terhadap kadar gula reduksi dengan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,013. Nilai tersebut lebih kecil daripada 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan konsentrasi H_2SO_4 memberikan pengaruh nyata terhadap kadar gula reduksi yang dihasilkan.

Kadar gula pereduksi terendah yang terkandung dalam filtrat batang kelapa sawit yaitu 310,71 ppm pada konsentrasi H_2SO_4 yaitu 1 M. Peningkatan ke konsentrasi 2 M menghasilkan nilai rata-rata yaitu 340,23 ppm. Namun, secara statistik konsentrasi 1 M dan 2 M tidak berbeda nyata. Sedangkan kadar gula pereduksi tertinggi yang terkandung pada dalam filtrat batang kelapa sawit yaitu 428,54

ppm pada konsentrasi H_2SO_4 yaitu 3 M. Menandakan bahwa konsentrasi 3 M menghasilkan kadar gula reduksi yang berbeda nyata secara signifikan dan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi 1 M maupun konsentrasi 2 M.

Semakin tinggi konsentrasi asam maka kadar gula pereduksi akan meningkat. Batang kelapa sawit mengandung selulosa sebagai penghasil gula pereduksi melalui proses hidrolisis. Pada saat proses hidrolisis polisakarida menggunakan asam, ikatan di dalamnya akan terputus dan mengurai molekul tersebut menjadi monosakarida. Monosakarida yang dihasilkan inilah yang disebut dengan gula pereduksi. Fenomena peningkatan konsentrasi asam berbanding lurus dengan peningkatan kadar gula reduksi. Semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan, maka densitas ion hidrogen (H^+) di dalam larutan hidrosilat akan semakin melimpah. Ketersediaan proton yang tinggi akan mempermudah terjadinya penetrasi katalis ke dalam matriks lignoselulosa batang kelapa sawit dan mempercepat laju reaksi pemutusan ikatan glikosidik selulosa, sehingga volume monomer gula pereduksi yang terlepas ke dalam filtrat semakin maksimal (S. Zhou et al., 2023). Hal ini terbukti dengan penelitian yang dilakukan (Z. Zhou et al., 2021) bahwa yield gula pereduksi dari biomassa selulosa akan meningkat secara signifikan seiring dengan optimasi konsentrasi katalis asam kuat karena asam sulfat mampu menyumbangkan dua proton secara efektif.

Uji Duncan menunjukkan Konsentrasi 1 M dan 2 M tidak berbeda nyata, yang mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi pada tingkat awal belum cukup menghasilkan energi aktivasi atau ion H^+ yang masif diperlukan untuk menguraikan struktur kristalin selulosa. Degradasi selulosa yang optimal terjadi pada konsentrasi 3 M, dengan peningkatan yang signifikan kadar gula reduksi menjadi 428,54 ppm.

Berdasarkan penelitian (Novindra et al., 2025), semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 maka kadar gula hasil hidrolisis akan cenderung meningkat, karena asam pekat dapat menguraikan lebih banyak selulosa. Namun, konsentrasi asam yang terlalu tinggi dapat memecah glukosa menjadi senyawa HMF dan furfural, yang dapat menghasilkan asam format. Monosakarida (glukosa) yang terbentuk dalam larutan asam kuat rentan mengalami dehidrasi yang menghasilkan senyawa turunan furan, yaitu hidrosimetil furfural (HMF) dari heksosa dan furfural dari pentosa. Degradasi ini menurunkan kadar gula fermentable sekaligus menghasilkan produk sampingan bersifat inhibitor yang menghambat mikroorganisme dalam fermentasi bioethanol (Nggai et al., 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data statistik dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi H_2SO_4 3 M memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar gula reduksi dari hidrolisis lignoselulosa batang kelapa sawit. Dengan demikian, penggunaan H_2SO_4 3 M berpotensi menjadi kondisi hidrolisis yang efektif untuk meningkatkan produksi gula fermentable sebagai bahan baku pembuatan bioethanol dari biomassa batang kelapa sawit.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi rentang konsentrasi H_2SO_4 yang lebih luas dengan tetap mempertimbangkan kemungkinan degradasi gula menjadi senyawa inhibitor seperti furfural dan HMF. Selain itu, perlu dilakukan optimasi parameter proses lainnya, seperti waktu hidrolisis, suhu, rasio, biomassa terhadap pelarut, serta tahap fermentasi untuk memperoleh kondisi optimum yang menghasilkan rendemen gula fermentable dan bioethanol yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksari, S. A., Alvita, L. R., Silmi, F. F., Rezki, A. S., & Hanifah, W. (2024). Perbandingan Konsentrasi Asam Pekat (H_2SO_4) Dalam Proses Hidrolisis Terhadap Kadar Gula Pereduksi Kulit Kakao Sebagai Substrat Dalam Pembuatan Bioetanol. *Journal Applied of Science and Chemical Engineering*, 2(1), 7–13.
- Erwinsyah, A. W. dan. (2020). Analisis Sebaran Serabut Vaskular dan Sifat Fisis Batang Kelapa Sawit Varietas DxP Pada Berbagai Zona dan Ketinggian Batang Distribution of Vascular Bundles and Physical Properties Analysis of Variety DxP Oil Palm Trunk Based on Various Zones and Trunk Height. *Perkebunan dan Pertanian*, 28(1), 1–14.
- Giyanto, Sri Wahyuna Saragih, & Rahimah. (2023). Pembuatan Bioetanol Dari Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) Melalui Proses Pretreatment Menggunakan H_2SO_4 dan Fermentasi Menggunakan Ragi Roti (*Saccharomyces cerevis*). *AGRO FABRICA Jurnal Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit dan Karet* 5(2), 2656–4831.
- Hidayat, M. R. (2015). Teknologi Pretreatment Bahan Lignoselulosa Dalam Proses Produksi Bioetanol (Pretreatment Technologies of Lignocellulosic Materials in Bioethanol Production Process).
- Matsunaga, K., Inoue, H., & Sakanishi, K. (2015). Produksi Bioetanol Dari Batang Tua Kelapa Sawit Dengan Air Panas Bertekanan dan Ball Mill Production of Bioethanol from Old Trunks of Palm Oil Using Hot Compressed Water and Ball Mill. *BIOTEKNOLOGI & BIOSAINS INDONESIA* <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JBBI>
- MEGA MUSTIKANINGRUM, Ir. Ahmad Tawfiequrrahman Y., ST., MT., D.Eng., IPM ; Ir. Rochim Bakti Cahyono., ST., M.Sc., Ph.D., I. (2021). Peningkatana Fungsi Limbah Batang Kelapa Sawit untuk Biosorben sebagai DYE Removal dengan Variasi Konsentrasi NaOH pada Alkaline Treatment dan Waktu Sonikasi. *Universitas Gajah Mada*.
- Misri Gozan. (2014). *Teknologi Bioetanol Generasi-Kedua* (Gozan Mosri (a c. di)). Erlangga.
- Novindra, Y., Putra, T. A., & Rizwandi, M. (2025). Analisis Variasi Waktu dan Konsentrasi H_2SO_4 pada Proses Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa Limbah Ampas Tebu Menjadi Bioetanol. 6 (Desember), 1200–1208.
- Restu Widiastuty, Y., & Nur Ramadhani, A. (2019). Review: Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar. <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- Rilek, N. M., Hidayat, N., & Sugiarto, Y. (2017). Hidrolisis Lignoselulosa Hasil Pretreatment Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) menggunakan H_2SO_4 pada Produksi Bioetanol Lignocellulose Hydrolysis of Oil Palm Frond (*Elaeis guineensis Jacq*) Pretreatment Result Using H_2SO_4 in Bioethanol Production. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 6, 76–82. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2017.006.02.3>
- Santi, S. (2022). Produksi Bioetanol Dari Limbah Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Menggunakan *Zymomonas mobilis* dengan Perlakuan Crudeenzim *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger*. *Jurnal Biolokus : Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi dan Biologi*, 5, 18–23. <https://jurnaltarbiyah.uinsu.ac.id/index.php/biolokus/article/view/1260/937>
- Stevanny Yulia Margarita Nggai, Sefrinus Maria Dolfi Kolo, Y. S. (2022). Pengaruh Perlakuan Awal Hidrolisis Ampas Sorgum (*Sorgum bicolor L.*) terhadap Fermentasi untuk Produksi Bioetanol sebagai Energi Terbarukan. *Lchemy : journal of chemistry. LCHEMY : JOURNAL OF CHEMISTRY*, 10, 2–9.
- Tejo Purboyo, G. (2015). Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 ISSN Sustainable Energy and Mineral Processing for National Competitiveness Yogyakarta.
- Yuniarti, R., Satria, A. W., Wiandini, W., Zaezarini, N., Achmad, F., & Yusupandi, F. (2024). Pengaruh Perlakuan Awal terhadap Karakteristik Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong Karet (*Manihot glaziovii*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.32734/jtk.v13i1.13174>
- Yustinah, Y., Hasyim, U. H., Syamsudin, A. B., & ... (2018). Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Pada

- Proses Hidrolisis Dedak Padi Menjadi Glukosa Untuk Pembuatan Plastik Biodegradabel. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2460 – 8416, 1–5. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3587>
- Zhou, S., Zhang, M., Zhu, L., Zhao, X., Chen, J., Chen, W., & Chang, C. (2023). Hydrolysis of lignocellulose to succinic acid: a review of treatment methods and succinic acid applications. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13068-022-02244-5>
- Zhou, Z., Liu, D., & Zhao, X. (2021). Conversion of lignocellulose to biofuels and chemicals via sugar platform: An updated review on chemistry and mechanisms of acid hydrolysis of lignocellulose. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146(May), 111169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111169>