

PEMANFAATAN LIMBAH PATI AREN SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PEMBUATAN BIOETANOL

Anggun Oktaviani¹, Nur Isnaini¹, Elok Kharisma Putri¹, Malik Musthofa¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: malik.musthofa@ums.ac.id

Abstrak

Bioetanol merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai campuran bensin. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah pati aren dari industri mie soun di Desa Daleman, Klaten, sebagai bahan baku produksi bioetanol serta menentukan kadar selulosa, glukosa hasil hidrolisis, dan etanol hasil fermentasi. Limbah pati aren dipreparasi melalui proses delignifikasi menggunakan ayakan 60 mesh dan larutan H₂SO₄ untuk memecah kandungan lignin. Proses hidrolisis dilakukan dengan variasi waktu 24–120 jam, pH 4–6, dan suhu 35–45°C, sedangkan proses fermentasi dilakukan selama 5, 9, dan 13 hari. Analisis kadar selulosa dan lignin menggunakan metode Chesson-Datta menunjukkan kadar selulosa sebesar 6,786% dan lignin 0,714%. Pengujian glukosa dengan spektrofotometer UV-Vis menghasilkan kadar tertinggi sebesar 82,224% pada kondisi pH 4, suhu 40°C, dan waktu hidrolisis 120 jam. Sementara itu, analisis etanol menggunakan refraktometer menunjukkan kadar tertinggi sebesar 1,3392% dengan volume 7,2 mL pada hari ke-9 fermentasi. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah pati aren memiliki potensi sebagai bahan baku produksi bioetanol yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: bioetanol, fermentasi, hidrolisis, limbah pati aren

1. Pendahuluan

Penggunaan BBM di Indonesia saat ini masih tergantung pada bahan bakar fosil, dimana pada tahun 2021 mencapai 33 Juta TOE (26,8%), dan konsumsi BBM tertinggi terdapat pada sektor transportasi 44,3% dan sektor industri 33,5%. Penggunaan BBM yang berasal dari bahan fosil meninggalkan residu yang dapat mencemari lingkungan dan meningkatkan suhu bumi. Penggunaan BBM yang tinggi dapat menyumbang 76% emisi gas rumah kaca (CO₂) (Bria & Kolo, 2024).

Ketergantungan dalam impor minyak dan penggunaan BBM yang cenderung menimbulkan dampak negatif pada lingkungan ini yang membuat pemerintah mencari cara lain untuk menciptakan ketahanan energi nasional. Cara tersebut yaitu dengan berupaya mencari sumber alternatif energi baru terbarukan seperti bioetanol.

Bioetanol merupakan etanol yang dibuat dari biomassa yang mengandung komponen pati atau selulosa. Bioetanol memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak (BBM) yaitu diantaranya memiliki oksigen lebih tinggi sebesar 35% sedangkan BBM sebesar 16,66% sehingga dapat terbakar secara sempurna, memiliki angka oktan tinggi sebesar 118 sedangkan BBM sebesar 88 dan memiliki kandungan emisi gas CO₂ sebesar 0,89% sedangkan BBM sebesar 2,5% sehingga penggunaannya ramah lingkungan (Kurniati et al., 2021).

Tingkat bioetanol yang dihasilkan oleh sakarifikasi dan fermentasi dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk waktu fermentasi. Waktu fermentasi diperlukan untuk mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* untuk mengubah glukosa menjadi bioetanol. Peran mikroorganisme dalam proses fermentasi relatif memakan waktu, sehingga diperlukan optimalisasi peran mikroorganisme. Mikroorganisme mengalami beberapa fase, mulai dari adaptasi hingga pelepasan enzim dan produksi substrat. Hasil bioetanol terbaik dilihat pada kandungan bioetanol tertinggi dengan waktu fermentasi optimum sehingga waktu fermentasi mempengaruhi hasil konsentrasi bioetanol (Listiandari 2022).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dalam penelitian ini kami menggunakan limbah pati aren untuk dijadikan sumber energi alternatif dalam pembuatan bioetanol. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah pati aren menjadi bioetanol dengan variasi waktu dan kadar enzim pada proses hidrolisis. Hasil optimum pada proses hidrolisis akan dilanjutkan pada proses fermentasi.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan

Bahan baku utama yang digunakan adalah limbah pati aren yang diperoleh dari industri pembuatan mie soun berbahan dasar tepung aren di Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Bahan pendukung yang digunakan meliputi *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisiae*, molase, akuades, serta berbagai bahan kimia

antara lain CaCl_2 , $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, HCl , HNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, urea, pepton, ekstrak yeast, dan reagen DNS.

2.2. Prosedur

Penelitian diawali dengan persiapan bahan baku melalui proses pencucian, pengeringan, penggilingan, dan pengayakan limbah pati aren menggunakan saringan berukuran 60 mesh. Tahap delignifikasi dilakukan dengan menambahkan 400 mL larutan H_2SO_4 2,5% ke dalam 25 gram sampel, kemudian dipanaskan pada suhu 120°C selama 30 menit, dinetralkan hingga pH 5, dan dikeringkan.

Larutan nutrisi dibuat dengan melarutkan urea, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , dan $\text{CaCl}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ dalam 500 mL akuades, disesuaikan hingga pH 5, dan didiamkan selama 24 jam. Tahap produksi enzim selulase dilakukan dengan mencampurkan 10 gram sampel hasil delignifikasi dengan 100 mL larutan nutrisi, disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit, kemudian diinokulasi *Aspergillus niger* dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang.

Larutan buffer disiapkan dengan melarutkan $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dalam larutan asetat 0,1 M dan diatur hingga pH 4. Proses hidrolisis dilakukan dengan mencampurkan 5 gram sampel delignifikasi, larutan buffer hingga volume 150 mL, dan enzim selulase. Reaksi dijalankan pada variasi suhu (35°C, 40°C, dan 45°C) serta pH (4, 5, dan 6). Analisis kadar glukosa dilakukan setiap 24 jam selama enam hari menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Hasil hidrolisis difermentasi dengan penambahan molase, ragi, dan akuades, kemudian difermentasi secara anaerob pada suhu ruang selama 5, 9, dan 13 hari. Larutan hasil fermentasi disaring dan didistilasi pada suhu 80°C selama 3,5 jam untuk memperoleh bioetanol. Analisis kadar selulosa dilakukan menggunakan metode Chesson-Datta, sedangkan kadar glukosa dan etanol masing-masing ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan refraktometer.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Waktu, pH, dan Suhu pada Proses Hidrolisis terhadap Kadar Gula Reduksi

Pada penelitian ini, dilakukan *pre-treatment* berupa proses delignifikasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) 98% untuk mendegradasi lignin. Tahap ini bertujuan mengurangi kandungan lignin pada sampel sehingga tidak menghambat proses hidrolisis. Setelah proses delignifikasi, kadar selulosa dan lignin dianalisis menggunakan metode Chesson-Datta, diperoleh kadar selulosa sebesar 6,786% dan kadar lignin sebesar 0,714%.

Selanjutnya, sampel hasil delignifikasi dihidrolisis dengan variasi waktu, pH, dan suhu. Kadar glukosa yang ditentukan melalui spektrofotometer UV-Vis. Hasil analisis kadar glukosa disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kadar Gula Reduksi pada pH 4

Waktu Hidrolisis	% Selulosa	Kadar Glukosa (%) pada pH 4		
		35°C	40°C	45°C
24	6,786	76,560	81,283	81,658
48	6,786	59,429	65,464	67,920
72	6,786	65,313	69,343	74,645
96	6,786	70,958	73,961	79,068
120	6,786	73,451	82,224	76,736

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kadar Gula Reduksi pada Variasi pH 5

Waktu Hidrolisis	% Selulosa	Kadar Glukosa (%) pada pH 5		
		35°C	40°C	45°C
24	6,786	69,502	78,163	77,446
48	6,786	69,984	65,917	73,790
72	6,786	77,983	63,826	60,674
96	6,786	77,268	77,268	59,156
120	6,786	76,384	76,736	77,090

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kadar Gula Reduksi pada pH 6

Waktu Hidrolisis	% Selulosa	Kadar Glukosa (%) pada pH 5		
		35°C	40°C	45°C
24	6,786	38,994	58,749	56,105
48	6,786	56,234	64,121	60,674
72	6,786	48,865	65,163	63,096
96	6,786	61,518	60,674	59,156
120	6,786	61,235	58,479	62,087

Berdasarkan data pada tabel, kadar glukosa tertinggi diperoleh pada kondisi pH 4, waktu hidrolisis 120 jam, dan suhu 40°C, dengan nilai sebesar 82,224%. Variasi waktu hidrolisis, suhu, dan pH menunjukkan pengaruh signifikan terhadap konsentrasi glukosa yang dihasilkan. Secara umum, peningkatan waktu hidrolisis berbanding lurus dengan kenaikan kadar glukosa, meskipun pada beberapa kondisi terjadi penurunan kadar, seperti pada pH 4 (48 jam), pH 5 (48–72 jam pada 40°C dan 72–96 jam pada 45°C), serta pH 6 (72 jam pada 35°C). Penurunan ini disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan, terutama suhu dan pH, yang memengaruhi aktivitas enzim selama proses hidrolisis berlangsung.

Selain itu, suhu juga berperan penting terhadap hasil hidrolisis. Pada suhu 45°C, kadar glukosa cenderung lebih rendah dibandingkan pada 35°C dan 40°C. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi hidrolisis, suhu yang terlalu tinggi menyebabkan denaturasi enzim, sehingga menurunkan aktivitas katalitik dan mengurangi konversi glukosa.

3.2 Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi terhadap Kadar Etanol

Berikut ini merupakan hasil uji kadar etanol, penentuan densitas, dan pengukuran volume etanol yang dihasilkan dari proses distilasi hasil fermentasi. Dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Data Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi terhadap Kadar Etanol

No	Waktu Fermentasi (hari)	Massa Ragi (gram)	pH Fermentasi	Kadar Etanol (%)	Densitas (gr/cm ³)	Volume Etanol (mL)
1	5	10	4,5	1,3385	0,2	2,2
2	9	10	4,5	1,3392	0,692	7,2
3	13	10	4,5	1,3361	0,93	11,4

Dari tabel diatas kadar etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh jumlah glukosa yang tersedia pada tahap hidrolisis. Semakin tinggi kadar glukosa, semakin besar pula konsentrasi bioetanol yang terbentuk. Variasi waktu fermentasi menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kadar etanol, di mana hasil optimum diperoleh pada waktu fermentasi selama 9 hari, dengan kadar etanol sebesar 1,3392%, menggunakan 10 gram *Saccharomyces cerevisiae* dan pH fermentasi 4,5.

Selama proses fermentasi 5–13 hari, kadar etanol mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum pada hari ke-9, kemudian menurun pada hari ke-13. Penurunan tersebut disebabkan oleh berkurangnya aktivitas metabolik *Saccharomyces cerevisiae* akibat keterbatasan nutrisi dan akumulasi produk sampingan, yang menandakan bahwa mikroorganisme telah memasuki fase kematian (death phase). Sebaliknya, pada hari ke-9, mikroorganisme berada pada fase stasioner, di mana aktivitas enzimatik mencapai titik maksimum dan menghasilkan pemecahan glukosa secara intensif menjadi etanol. Dengan demikian, waktu fermentasi selama 9 hari menjadi kondisi optimum untuk menghasilkan kadar bioetanol tertinggi.

3.3 Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi terhadap Densitas Bioetanol

Berdasarkan **Tabel 4** densitas bioetanol diukur untuk mengetahui massa per satuan volume produk hasil fermentasi. Berdasarkan hasil analisis, nilai densitas meningkat seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi.

Densitas tertinggi diperoleh pada waktu fermentasi 13 hari, dengan nilai 0,93 g/mL, sedangkan pada fermentasi 9 hari diperoleh 0,692 g/mL, dan pada 5 hari sebesar 0,2 g/mL.

Peningkatan densitas menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi dan semakin optimal aktivitas ragi, semakin banyak glukosa yang diubah menjadi etanol. Namun, pada waktu fermentasi 5 hari, densitas menurun karena *Saccharomyces cerevisiae* belum sepenuhnya beradaptasi dengan substrat (fase lag). Pada kondisi tersebut, pertumbuhan mikroorganisme belum optimal sehingga konversi glukosa menjadi etanol masih rendah.

3.3 Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi terhadap Volume Etanol

Dilihat dari **Tabel 4** volume bioetanol yang dihasilkan meningkat dengan bertambahnya waktu fermentasi. Berdasarkan hasil analisis menggunakan refraktometer, volume bioetanol tertinggi diperoleh pada waktu fermentasi 13 hari, yaitu sebesar 11,4 mL, dengan penggunaan 10 gram *Saccharomyces cerevisiae* dan pH fermentasi 4,5. Pada fermentasi 5 hari, volume etanol yang dihasilkan sebesar 7,2 mL.

Peningkatan volume bioetanol seiring waktu menunjukkan bahwa aktivitas khamir *Saccharomyces cerevisiae* berlangsung optimal dalam mengonversi glukosa menjadi etanol. Namun, fermentasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan hasil karena menipisnya nutrisi dan meningkatnya produk sampingan seperti CO₂ yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme. Dengan demikian, waktu fermentasi berpengaruh langsung terhadap volume dan efisiensi produksi bioetanol, di mana kondisi optimum dicapai pada lama fermentasi 13 hari.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, limbah padat pati aren yang berasal dari industri mie soun di Desa Daleman, Klaten berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Pemanfaatan limbah ini dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta berkontribusi dalam mitigasi pemanasan global.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Analisis menggunakan metode Chesson-Datta menghasilkan kadar selulosa sebesar 6,786% dan lignin sebesar 0,714%.
2. Kadar glukosa tertinggi sebesar 82,224% diperoleh pada kondisi pH 4, waktu hidrolisis 120 jam, dan suhu 40°C.
3. Kadar etanol tertinggi sebesar 1,3392% dengan volume 7,2 mL diperoleh pada hari ke-9 fermentasi. Nilai ini menunjukkan persentase etanol yang dihasilkan terhadap substrat fermentabel (glukosa hasil hidrolisis), di mana peningkatan kadar etanol dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi glukosa yang tersedia sebagai hasil proses hidrolisis. Glukosa tersebut kemudian dikonversi oleh mikroorganisme selama fermentasi menjadi etanol, sehingga semakin besar glukosa yang terbentuk, semakin tinggi etanol yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Aditama, F., dan Hermansyah, T. (2022). Dinamika Pemberdayaan Masyarakat Berbasis Potensi Desa : Studi Kasus Pengolahan Limbah di Desa Daleman, Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 1(1), 1-2.
- Bria, P.M., & Kolo, S.M.D. (2024). Sintesis Bioetanol dari Limbah Kulit Pisang Kepok dan Limbah Sabut Pinang sebagai Energi Terbarukan, 9(1), 55.
- Djaeni, M. et al. (2024). Pemanfaatan Limbah Ampas Kayu Aren Pada Sentra UKM Soun Klaten: Upaya Mengatasi Limbah Produksi Dengan *Waste To Product*, Jurnal Pasopati, 6(1), 18-20.
- Fitriani, et al. (2013). Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi, *Online Journal of Natural Science*, 2(3), pp. 66–4.
- Gayatri, N.P. dan Herawati, D.A. (2021). Variasi Massa *Saccharomyces cerevisiae* dan Waktu Fermentasi pada Pembuatan Bioetanol dari Limbah Padat Pati Aren Metode *Simultaneous of Saccharification and Fermentation*, Jurnal Kimia dan Rekayasa, 1(2), 65-67.
- Hartini F., Jannah A., Maunatin A. (2014). “Fermentasi Tetes Tebu Dari Pabrik Gula Pagotan Madiun Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae* Untuk Menghasilkan Bioetanol Dengan Variasi pH dan Lama Fermentasi”. Jurusan Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, 3(2), pp. 93-100
- Handayani S.S., Amrullah. (2018). “EKSTRAKSI SELULOSA BATANG TEMBAKAU SEBAGAI PERSIAPAN PRODUKSI BIOETANOL”. Jurnal penelitian Pendidikan IPA, 4(2).
- Kurniati, Y., Khasanah, I. E., & Firdaus, K. (2021). JURNAL TEKNIK KIMIA USU *Study on Making Bioethanol from Pineapple Peel Waste (Ananas comosus. L)*. Jurnal Teknik Kimia USU, 10(2), 95–96.
- Listiandari, Intan.F., & Herdyastuti, N. (2022). *The effect of adding NaOH and fermentation time on Robusta coffee husk (Coffea canephora) bioethanol production with SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) method*. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 15(2), 631.
- Moeksin R., Francisca S., (2010). “PEMBUATAN ETANOL DARI BENGKUANG DENGAN VARIASI BERAT RAGI, WAKTU, DAN JENIS RAGI”. Jurnal Teknik Kimia Fakultas Teknik Sriwijaya, 17(2).

- Nadliroh, K. dan Fauzi, A.S. (2021). Optimasi Waktu Fermentasi Produksi Bioetanol dari Sabut Kelapa Muda Melalui Destilator Refluks, *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), pp. 124–133.
- Putri, W. O., Amri, A., & Utami, S. P. (2015). Pengaruh pH Pada Proses Hidrolisis *Mikroalga Chlorella Vulgaris* Menjadi Glukosa Menggunakan Enzim Selulase. In *JOM FTEKNIK* (Vol. 2, Issue 1).
- Saiful Fajri, M., Arfin Satrio Pratama, M., Indriati Utami, L., Nurma Wahyusi, K., Studi Teknik Kimia, P., Pembangunan Nasional, U., & Timur Jl Raya Rungkut Madya, J. (2022). PRODUKSI GULA CAIR DENGAN PROSES HIDROLISIS ASAM DENGAN BAHAN PATI SINGKONG. In *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro* (Vol. 3, Issue 1). www.chempro.upnjatim.ac.id