PENGARUH ADSORBEN NANOZEOLIT PADA PRODUKSI BIOETANOL DARI LIMBAH KULIT BIJI COKLAT (CACAO HUSK SHELL) MELALUI METODE HIDROLISIS ENZIMATIK

Eric Krisna Effendy
S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: eric.22122@mhs.unesa.ac.id

Handini Novita Sari
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: handinisari@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu produsen kakao terbesar di dunia, namun sebagian besar limbah kulit buah kakao belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah ini sebenarnya kaya akan senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat diolah menjadi bioetanol sebagai bahan bakar alternatif terbarukan.Penelitian ini membuktikan bahwa ragi dengan berat 30 gram dapat menghasilkan kadar etanol yang tinggi. Pada tahap distilasi ke tiga penggunaan adsorben zeolite variasi berat 65 gram menghasilkan kondisi terbaikdengan peningkatan kadar etanol dari 43% menjadi 47%. Lalu hasil tersebut digunakan kosisten sampai distilalsi ke-7 hingga mencapai kadar 99,5%. Hasil pengujian karakteristi bioetanol menunjukan nilai densitas sebesar 0, 806 g/ml, viskisitas sebesar 1, 15 Cp, titik nyala 120C, dan nilai kalor sebesar 7, 388 kal/g. Analisis FTIR menunjukan bahwa adanya gugus fungsiu khas penyusun etanol yaitu gugus 0-H, C H, dan C-O, yang mengindikasikan terbentuknya senyawa etanol hasil fermentasi dan pemurnian..
Kata Kunci: bioetanol, hidrolisis enzimatik, nanozeolite, fermentasi, distilasi bertingkat

Abstract

Indonesia is one of the world's largest cocoa producers, but much of its cocoa pod waste remains underutilized and potentially pollutes the environment. This waste is rich in cellulose, hemicellulose, and lignin, which can be processed into bioethanol as a renewable alternative fuel. This study demonstrates that using 30 grams of yeast can yield high ethanol concentrations. During the third distillation stage, the use of 65 grams of zeolite adsorbent produced the optimal result, increasing the ethanol concentration from 43% to 47%. This process was consistently applied through the seventh distillation stage, ultimately achieving a purity of 99.5%. Bioethanol characterization tests yielded a density of 0.806 g/mL, a viscosity of 1.15 cP, a flash point of 12°C, and a calorific value of 7.388 cal/g. FTIR analysis revealed the presence of characteristic functional groups associated with ethanol specifically O H, C-H, and C-O indicating the successful formation of ethanol through fermentation and purification.
Keywords: *bioethanol, enzymatic hydrolysis, nanozeolite, fermentation, fractional distillation*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kakao (Theobroma cacao L) terbesar di dunia, dengan total produksi nasional mencapai 798.000ton pada tahun 2020. Provinsi Kalimantan Timur menjadi salah satu sentra utama produksi kakao, dengan luas areal tanam mencapai 68.830 hektar dan total produksi sebesar 250.370 ton. Kabupaten Berau termasuk daerah dengan kontribusi produksi yang signifikan (Azah dkk., 2020). Namun, dari keseluruhan bagian buah kakao, hanya sekitar 21,74% yang dimanfaatkan sebagai biji, sedangkan sisanya terutama kulit buah yang mencapai sekitar 75,65% dari total bobot buah umumnya tidak dimanfaatkan secara optimal dan berakhir sebagai limbah di area perkebunan (Tidar, 2024). Ketidaktahuan sebagian petani dalam mengelola limbah kulit kakao menyebabkan tumpukan sampah organik yang dibiarkan begitu saja, sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan.

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3 (Ditjen PSLB3) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021, total produksi sampah nasional mencapai 68,5 juta ton dan diprediksi meningkat menjadi 70 juta ton pada tahun 2022. Dari total tersebut, hanya 7% yang berhasil didaur ulang, sedangkan sebagian besar lainnya (69%) dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA). Sampah organik yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menjadi sumber penyakit, polusi udara akibat bau tak sedap, dan media pertumbuhan vektor penyakit (Haderiah dkk., 2024).

Ironisnya, limbah kulit buah kakao sebenarnya memiliki potensi besar untuk diolah menjadi produk bernilai tambah tinggi, salah satunya sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Kulit bij kakao kaya akan senyawa, 31,25% selulosa, 48,64% hemiselulosa, dan 31,25% lignin, yang merupakan komponen utama dalam proses produksi bioetanol melalui fermentasi biomassa. Pemanfaatan limbah ini sebagai bahan baku bioenergi bukan hanya menjadi solusi pengelolaan sampah organik, tetapi juga sebagai alternatif sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan demikian, inovasi dalam pengolahan limbah kulit kakao menjadi bioetanol dapat memberikan dua manfaat utama: mengurangi akumulasi limbah organik yang mencemari lingkungan serta menyediakan sumber energi alternatif yang mendukung ketahanan energi nasional(Sari, t.t.).

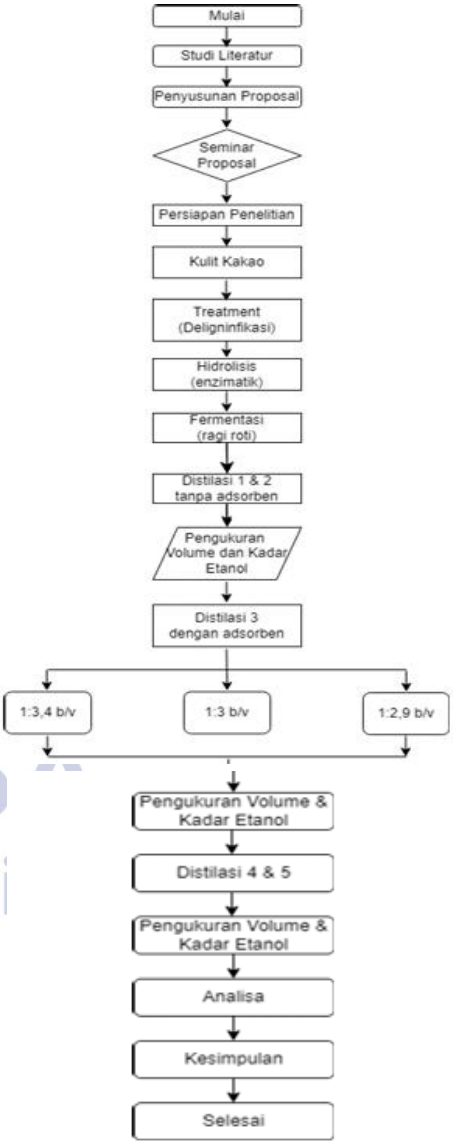
Tanaman kakao (Theobroma cacao L) merupakan komoditas pertanian strategis yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Buah kakao terdiri dari beberapa komponen, yakni kulit buah (75,65%), biji (21,74%), dan plasenta (2,59%). Selama ini, pemanfaatan buah kakao lebih difokuskan pada bijinya sebagai bahan baku utama industri cokelat, sementara bagian kulitnya belum dimanfaatkan secara optimal dan cenderung menjadi limbah pertanian. Kulit buah kakao memiliki kandungan senyawa bioaktif yang cukup tinggi, terutama mineral seperti kalium dan nitrogen, serta senyawa polifenol golongan flavonoid seperti katekin dan epikatekin. Senyawa polifenol tersebut memiliki sifat antioksidan alami yang dapat menangkal radikal bebas dan memberikan manfaat kesehatan bagi tubuh.

Produksi bioetanol dari limbah non-pangan seperti kulit kakao memberikan keunggulan karena tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Beberapa studi pendukung menunjukkan bahwa parameter fermentasi sangat mempengaruhi hasil produksi bioetanol. Misalnya, Agrawal dkk. (2019) melaporkan bahwa fermentasi agrowaste dengan S. cerevisiae dapat menghasilkan bioetanol maksimum sebesar 9,68% pada suhu 30°C, pH 6, dan durasi fermentasi 48 jam. Sementara itu, Falaah & Kusumayanti (2021) membuktikan bahwa fermentasi 200 gram bekatul padi dalam 1 liter air dengan penambahan 3 gram ragi dan 2,5% urea NPK selama 48 jam dapat menghasilkan bioetanol hingga 30%. Tahap akhir dalam produksi bioetanol adalah pemurnian, yang umumnya dilakukan melalui distilasi. Salah satu inovasi yang terbukti efektif untuk meningkatkan kadar bioetanol adalah penggunaan adsorben nanozeolit. Berdasarkan hasil penelitian Universitas Brawijaya dkk. (2019), metode adsorpsi dengan nanozeolit pada rasio massa adsorben:volume bioetanol sebesar 1:1 dan waktu adsorpsi selama 3 jam dapat meningkatkan kadar bioetanol hingga 95,565% (v/v).

Penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan bioetanol berkualitas tinggi dengan karakteristik yang memenuhi standar SNI 7390:2022 khususnya melalui optimalisasi penggunaan adsorben nanozeolit dalam proses pemurnian. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat menunjukkan bahwa pemanfaatan nanozeolit sebagai adsorben secara tepat dapat meningkatkan kadar bioetanol hingga mencapai tingkat bioetanol bahan bakar (≥99,5%), sehingga dapat diaplikasikan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan mendukung program ketahanan energi nasional.

METODE

Bagan alir penelitian



Gambar 3. 12 Diagran Alir Penelitian

Tempat Dan Waktu Penelitian

1. **Tempat penelitian**

   Produksi bioetanol dari kulit kakao dilakukan di Lab Bahan Bakar, Universitas Negeri Surabaya. Uji kadar etanol, uji viskositas, dan uji densitas dilakukan di Laboratorium Biologi, Universitas Negeri Surabaya. Uji nilai kalor, kadar air, dan FTIR dilakukan di Laboratorium bahan bakar Universitas Negeri Malang.

2. **Waktu Penelitian**

   Rentang waktu penelitian dilakukan ketika setelah seminar proposal diujikan dan disetujui.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. **Variabel Bebas**

   Variabel bebas dalam penelitian ini adalah adsorben nanozeolite dengan variasi berat 55, 60, 65 gram

2. **Variabel Terikat**

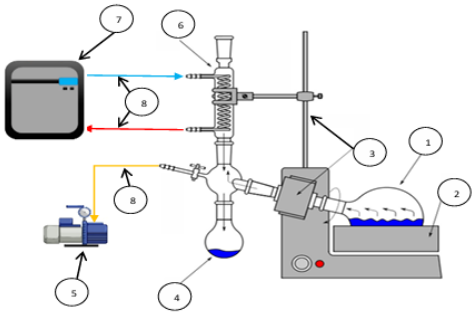
   Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah viskositas, densitas, kadar etanol, kadar air, titik nyala, nilai kalor, dan FTIR.

3. **Variabel Kontrol**

   a. Pembuatan bioetanol yang menggunakan bahan baku dari kulit buah coklat yang didapatkan di kota Mojokerto. Jawa Timur.
   b. Menggunakan NaOH sebagai pretreatmen kulit buah coklat pada produksi bioetanol.
   c. Proses hidrolisis enzimatis pada kulit buah coklat ditambahkan 0,2ml enzim amylase dan dipanaskan pada suhu 90o selama 1 jam, setelah itu ditambahkan 0,6ml enzim glucoamylase dipanaskan pada suhu 60o selama 30 menit.
   d. Menggunakan bahan baku kulit buah coklat dengan berat 300gram dan air sebanyak 2000ml yang difermentasi selama 8 hari dengan menggunakan 30gram ragi Saccharomyces cerevisiae.
   e. Suhu yang digunakan pada proses distilasi adalah 40°C dan waktu yang digunakan 45 – 60 menit.
   f. Adsorben nanozeolite ditambahkan tepat di distilasi ke tiga dengan perbandingan rasio dan volume 186ml. g. Menggunakan ayakan mesh 60.

1. **Alat dan Bahan**

   a. Water bath
   b. Pompa vakum
   c. Chiller
   d. Timbangan digital
   e. Saringan mesh 60
   f. Rangkaian alat distilasi rotary evaporator



Gambar 3. 6 Rangkaian Alat Evaporator

1. Labu alas bulat
2. *Water Bath*
3. *Main Unit*
4. Labu Alas Bulat
5. Pompa Vacum
6. Kondensor
7. *Chiller*
8. Selang

2. **Bahan**

   a. Ragi roti
   b. Kulit coklat
   c. Enzim *amylase*
   d. Enzim *glucoamylase*
   e. Naoh
   f. Nanozeolite

Prosedur Penelitian

1. Persiapan
   a. Bahan utama yaitu kulit buah coklat.
   b. Menimbang kulit buah coklat beserta ragi dengan timbangan digital sesuai ukuran.
   c. Mencampurkan 2000ml air dan 300 gram kulit buah coklat lalu diaduk sampai merata.
2. Pretreatment (deligninfikasi)
   a. Menyiapkan larutan NaOH sebanyak 14%.
   b. Shaker pada 100 rpm selama 6 jam pada suhu kamar 60°C.
   c. Kemudian larutan disaring dan residu yang disaring dicuci dengan air suling sampai pH-nya netral lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam.
3. Hidrolisis
   a. Menyiapkan bahan dan alat untuk proses hidrolisis.
   b. Mencampurkan kulit buah kakao yang sudah dihaluskan seberat 300 gram lalu ditambahkan enzim a amylase sebanyak 0,2 gram, lalu dipanaskan atau direbus selama 60 menit dengan temperature suhu 90˚C.
   c. Setelahnya ditambahkan enzim glucoamylase sebanyak 0,6gram lalu direbus lagi selama 30 menit dengan temperature suhu 60˚C.
   d. Hasil campuran yang sudah direbus tadi setelah berubah tekstur menjadi bubur lalu

UNESA Universitas Negeri Surabaya

dimasukan kedalam wadah tertutup untuk selanjutnya difermentasi.

4. Fermentasi
   a. Menghaluskan 30 gram ragi roti (Saccharomyces cerevisiae) hingga berbentuk halus.
   b. Mencampurkan ragi yang sudah halus ke dalam wadah yang tertutup berisi bubur kulit buah coklat.
   c. Menutup wadah dengan rapat sampai terbentuk kondisi anaerob
   d. Simpan wadah tertutup tadi di ruangan tertutup dan kedap sinar matahari selama 8 hari.
   e. Menyaring dengan halus hasil fermentasi kulit buah kakao dengan kain.
5. Persiapan Nanozeolite
   a. Menyiapkan alat yaitu berupa timbangan digital.
   b. Menimbang nanozeolite dengan variasi ukuran 55, 60, 65 gram.
6. Distilasi
   a. Distilasi tahap pertama
      1) Menyiapkan alat distilasi rotary evaporator dengan menyalakan chiller, mengisi water bath, dan menyalakan pompa vacum.
      2) Cairan yang sudah dihasilkan dari hasil fermentasi dimasukan kedalam labu alas bulat, lalu dikunci pada main unit rotary evaporator.
      3) Mengatur panel tekanan dan temperature agar sesuai dengan etanol.
      4) Memenaskan sample titik didih alkohol yaitu 40˚C.
      5) Mengatur kecepatan pada panel agar putaran labu menjadi 60 rpm.
      6) Mengukur kadar etanol dari hasil proses distilasi.
      7) Pada distilasi ke-2 proses yang dilakukan akan sama dengan proses distilasi ke-1.
   b. Distilasi bertingkat (3, 4, dan 5)
      1) Pada tahap distilasi ketiga ditambahkan nanozeolite sesuai dengan variasi takaran 55, 60 dan 65 gram, selanjutnya dimasukkan ke dalam labu alas bulat bersamaan dengan bioetanol. Peneiti melakukan distilasi dengan Rotary evaporator secara continue.
      2) Pada proses distilasi keempat dan kelima akan dilakukan dengan menambahkan adsorben dengan perbandingan rasio 1:1 b/v
7. Perhitungan Kadar Etanol

   Perhitungan kadar etanol dilakukan dari awal sebelum dilakukan distilasi hingga distilasi akhir, pengukuran ini berguna untuk mengetahu efektivitas metode distilasi dalam produksi bioetanol, berikut langkah Langkah untuk mengukur kadar etanol menggunakan alcoholmeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Hasil Dan Pembahasan Variasi Berat Adsorben Terhadap Kadar Etanol Dan Yield Bioetanol

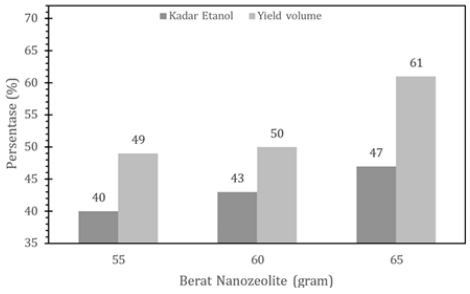
Dalam penelitian pembuatan bioetanol dari kulit ari kedelai dengan variasi berat zeolit 55 gr, 60 gr, dan 65 gr, mesh 60, masing-masing dalam 100 ml volume distilasi. Hasil penelitian yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Kadar Dan Volume Bioetanol Pada Proses Distilasi Ke-3 Dengan Adsorben

Berat (gram)	Volume Bioetanol (ml)		Kadar Etanol	*Yield* (%)	Ket.
	Awal	Akhir			
55	100	49	40	49	Adsorben (nanozeolite)
60	100	50	43	50	
65	100	61	47	61	

Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa Adsorben zeolit digunakan pada tahap pemurnian bioetanol untuk mengurangi kandungan air dalam campuran etanol air setelah fermentasi dan distilasi. Zeolit berpori bertindak sebagai ayakan molekuler pori dan sifat permukaannya membantu air teradsorpsi secara selektif, sementara kinerja pemisahan dipengaruhi oleh jenis zeolit, ukuran pori, luas permukaan, kondisi operasi, dan kejenuhan adsorben Purbasari (2013).

Penelitian lain membuat nanofilter dari nanozeolit alam Pahae dan arang aktif kulit kakao material berukuran nano tersebut dilaporkan memiliki kapasitas serap air 52,08% dan meningkatkan konsentrasi bioetanol hingga 78,92% pada waktu kontak 45 menit Hargono (2023).



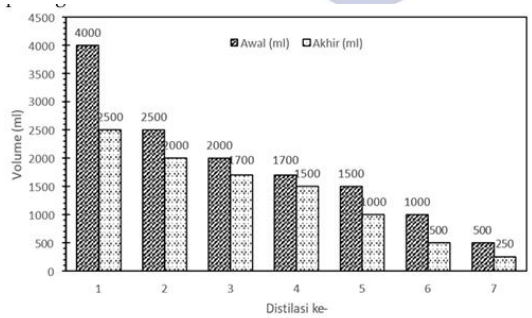
Gambar 4. 4 Pengaruh Berat Adsorben Nanozeolite Terhadap Kadar Etanol Dan *yield*

Berdasarkan data eksperimental, penambahan adsorben nanozeolite dengan berat 55 gram menghasilkan kadar etanol sebesar 40%. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun nanozeolite telah mampu menyerap sebagian air, kapasitas adsorpsinya masih terbatas sehingga kadar etanol yang dihasilkan belum maksimal. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa waktu kontak yang lebih lama antara adsorben dengan campuran etanol air mengakibatkan air yang diserap oleh adsorben semakin banyak Hendrawan et al. (2019).

Ketika dosis dinaikkan menjadi 60 gram, kadar etanol meningkat menjadi 43%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa pada titik ini adsorben bekerja secara optimal, dimana kemampuan adsorpsi terhadap air berada pada kapasitas yang cukup untuk menurunkan kadar air dalam campuran secara signifikan. Dengan berkurangnya air, proporsi etanol meningkat dan kemurniannya menjadi lebih tinggi. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai titik optimum karena nanozeolite masih selektif menyerap air tanpa terlalu mengadsorpsi etanol, sesuai dengan prinsip bahwa zeolite dengan ukuran pori yang tepat dapat memisahkan molekul berdasarkan perbedaan ukuran molekular Santoso et al. (2021).

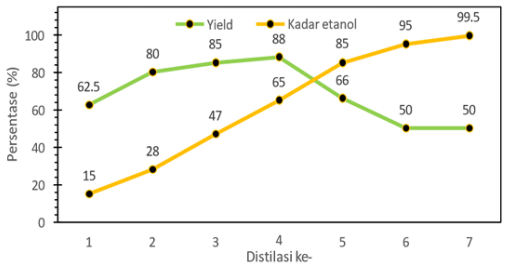
Pada penambahan adsorben lebih lanjut dengan berat 65 gram, kadar etanol justru mengalami kenaikan menjadi 47%. Kenaikan kadar etanol ini dapat dijelaskan karena adsorben mampu menyerap air lebih banyak dibandingkan kondisi sebelumnya, mengakibatkan penurunan kadar air yang lebih signifikan dalam campuran. Proses adsorpsi yang lebih intensif ini memungkinkan pemisahan air-etanol yang lebih efektif Hendrawan et al. (2019).

2) Hasil dan Pembahasan Kadar dan Volume Bioetanol pada Proses Distilasi



Gambar 4. 2 Volume Awal Dan Akhir dari Distilasi ke-1 Sampai Dengan ke-7

Berdasarkan Gambar 4.2, terlihat bahwa volume hasil distilasi mengalami penurunan secara bertahap dari distilasi ke-1 hingga distilasi ke-7. Pada distilasi ke-1, volume awal sebesar 4.000 ml menghasilkan volume akhir sebesar 2.500 ml, kemudian pada distilasi ke-2 volume erkurang dari 2.500 ml menjadi 2.000 ml. Selanjutnya, pada distilasi ke-3 volume awal sebesar 2.000 mL menghasilkan volume akhir 1.700 ml, sedangkan pada distilasi ke-4 terjadi penurunan dari 1.700 ml menjadi 1.500 ml. Pada distilasi ke 5, volume kembali berkurang dari 1.500 ml menjadi 1.000 mL, kemudian pada distilasi ke-6 dari 1.000 ml menjadi 500 ml, dan pada distilasi ke-7 diperoleh volume akhir sebesar 250 ml dari volume awal 500 ml. Penurunan volume tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak tahapan pemisahan yang dilakukan, semakin kecil volume cairan yang diperoleh sebagai produk akhir. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan proses pemurnian bioetanol, dimana distilasi tidak hanya menyebabkan pemisahan air dan komponen lain, tetapi juga dapat menyebabkan sebagian fraksi etanol mengalami kehilangan selama proses penguapan dan pemisahan



Gambar 4. 3 Kadar Etanol Dan *Yield* Pada Distilasi Ke -1 Sampai Dengan Ke-7

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa proses distilasi bertingkat memberikan pengaruh terhadap perubahan yield dan kadar etanol yang dihasilkan. Pada distilasi ke-1, diperoleh yield sebesar 62,5% dengan kadar etanol sebesar 15%. Pada distilasi ke-2, yield meningkat menjadi 80%, sedangkan kadar etanolGambar 4.3, dapat diketahui bahwa proses distilasi bertingkat memberikan pengaruh terhadap perubahan yield dan kadar etanol yang dihasilkan. Pada distilasi ke-1, diperoleh yield sebesar 62,5% dengan kadar etanol sebesar 15%. Pada distilasi ke-2, yield meningkat menjadi 80%, sedangkan kadar etanol meningkat menjadi 28%. Selanjutnya, pada distilasi ke-3 diperoleh yield sebesar 85% dengan kadar etanol 47%, dan pada distilasi ke-4 yield mencapai nilai tertinggi sebesar 88% dengan kadar etanol sebesar 65%. Setelah distilasi ke-4, terjadi perubahan yang cukup signifikan, dimana kadar etanol terus mengalami peningkatan menjadi 85% pada distilasi ke-5, 95% pada distilasi ke-6, hingga mencapai 99,5% pada distilasi ke-7. Namun, peningkatan kadar etanol tersebut diikuti dengan penurunan yield, yaitu menjadi 66% pada distilasi ke-5 dan 50% pada distilasi ke-6 serta ke-7. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan tahapan pemurnian mampu meningkatkan konsentrasi etanol, tetapi menyebabkan jumlah produk yang diperoleh semakin berkurang. Penurunan yield dapat disebabkan oleh adanya kehilangan sebagian fraksi cair selama proses distilasi maupun akibat sebagian etanol tertahan pada adsorben selama proses pemurnian.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi berat adsorben zeolit mesh 60 berpengaruh terhadap proses pemurnian bioetanol. Peningkatan berat zeolit dari 55 gr, 60 gr, hingga 65 gr menyebabkan peningkatan kadar etanol karena zeolit mampu mengadsorpsi molekul air secara selektif. Penggunaan zeolit 65 gr menghasilkan kadar etanol tertinggi yaitu 47% pada tahap distilasi ketiga dengan nilai yield sebesar 61%, sehingga kondisi tersebut digunakan secara konsisten pada tahap distilasi selanjutnya

.**DAFTAR PUSTAKA**

Agrawal, T., Jadhav, S. K., & Quraishi, A. (2019). Bioethanol production from an agrowaste, deoiled rice bran by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 4780 via optimization of fermentation parameters. *EnvironmentAsia, 12*(1), 20–24. https://doi.org/10.14456/ea.2019.3

Falaah, M., & Kusumayanti, H. (2021). Proses fermentasi pada produksi bioetanol dedak padi dengan hidrolisis enzimatis. *METANA, 17*(2), 81–87. https://doi.org/10.14710/metana.v17i2.43335

Haderiah, H., La Taha, L. T., & Rahayu, S. (2024). Pemanfaatan limbah kulit kakao sebagai pupuk organik. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat, 24*(1), 148–156. https://doi.org/10.32382/sulo.v24i1.480

Hendrawan, Y., Nahmudiyah, S. A., & Susilo, B. (2019). Pengaruh rasio massa adsorben dengan volume etanol dan waktu adsorbsi terhadap kenaikan kadar etanol pada pemurnian bioetanol dari nira aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem, 7*(2), 130–136. https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2019.007.02.3

Hargono, H., Handayani, N. A., Andani, S. D., Wardani, E., Fisama, U. A., & Seng, K. S. (2023). Adsorption method using zeolite to produce fuel grade bioethanol. International Journal of Renewable Energy Development, 12(4), 808–815. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.50936

Purbasari, A., Istirokhatun, T., Devi, A. M., Mahsunnah, L., & Susanto, H. (2013). Preparation and characterization of zeolite membrane for bioethanol purification. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 8*(1), 47–53. https://doi.org/10.9767/bcrec.8.1.4062.47-53

Susilawati, Sihombing, Y. A., Rahayu, S. U., Waldiansyah, L., & Sembiring, Y. Y. B. (2022). The effectiveness of Pahae natural zeolite–cocoa shell activated charcoal nanofilter as a water adsorber in bioethanol purification. *ACS Omega, 7*(43), 38417–38425. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03614

Saputro, E. A., Bobsaid, A. A., Hutabarat, M. C., Ariyanti, D., & Panjaitan, R. (2023). Pengembangan metode pemurnian bioetanol dari berbagai jenis bahan baku: Kajian Pustaka. Jurnal Teknik Kimia, 29(1), 19–28. https://doi.org/10.36706/jtk.v29i1.1088

Sayin Kul, B., & CiNiViZ, M. (2019). A research on fuel properties of bioethanol produced from waste bread. International Journal of Energy Applications and 97 Technologies, 6(4), 96–101. https://doi.org/10.31593/ijeat.647206

Sinaga, P. V. H., Suanggana, D., & Haryono, H. D. (2022). ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF PADA KOMPOR BIOGAS MENGGUNAKAN CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN AMPAS TAHU. JTT (Jurnal Teknologi Terapan), 8(1), https://doi.org/10.31884/jtt.v8i1.348

Sulaiman, D. (2021). ANALISIS UJI KARAKTERISTIK BIOETANOL DARI PISANG HUTAN TERHADAP VARIASI MASSA RAGI. Jurnal Kumparan Fisika, 4(3), 169–176. https://doi.org/10.33369/jkf.4.3.169 176

Sumalatha, M., PhaniDeepthi, A. N., Vamsi, S. S., Raman, N. P. S. S. V., & Krishna, Y. G. (2022). Modeling and Static Analysis of Rotary Evaporator Parts using Solidworks. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 873–883. https://doi.org/10.46254/IN02.20220258

Tadmourt, W., Khiari, K., Boulal, A., & Tarabet, L. (2024). Waste paper valorization for bioethanol production: Pretreatment and acid hydrolysis optimization. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 46(1), 16145–16164. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1815908

Van Rooyen, J., Mbella Teke, G., Coetzee, G., Van Rensburg, E., & Ferdinand Görgens, J. (2024). Enhancing bioethanol yield from food waste: Integrating decontamination strategies and enzyme dosage optimization for sustainable biofuel production. Fuel, 378, 133026. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133026

Wahono, S. K., Hernawan, Kristiani, A., Tursiloadi, S., & 99 Abimanyu, H. (2014). Characterization and Utilization of Gunungkidul Natural Zeolite for Bioethanol Dehydration. Energy Procedia, 47, 263–267. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.223

Yumas, M. (2017). PEMANFAATAN LIMBAH KULIT ARI BIJI KAKAO (Theobroma cacao L) SEBAGAI SUMBER ANTIBAKTERI Streptococcus mutans. (Utilization of Cocoa Beans Epidermis Waste (Theobroma cacao L) as Antibacterial Streptococcus mutans). Jurnal Industri Hasil Perkebunan, 12(2), 7. https://doi.org/10.33104/jihp.v12i2.2764