

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI BERAT ZEOLIT SEBAGAI ADSROBEN DALAM PROSES ADSORPSI BIOETANOL KULIT ARI KEDELAI

Aishya Infahnia Nakitandra

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: aishya.22076@mhs.unesa.ac.id.

Handini Novita Sari

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: handinisari@unesa.ac.id.

Abstrak

Persediaan minyak bumi di dunia semakin lama semakin menipis sedangkan kebutuhan sumber energi yang semakin meningkat, terutama minyak bumi. Bioetanol menjadi salah satu kandidat energi terbarukan yang berpotensi menggantikan bahan bakar minyak sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis variasi berat adsorben batu zeolit yang paling efektif dalam proses distilasi. Penelitian ini menggunakan kulit ari kedelai sebagai bahan baku bioetanol dengan variasi berat adsorben batu zeolit 3A, 80 mesh 16 gr, 18 gr, dan 20 gr. Proses *pre-treatment* menggunakan NaOH 2% rasio 1:10. Proses hidrolisis menggunakan HCl 4% (v/v) selama 90 menit pada suhu 85°C. Proses fermentasi menggunakan ragi roti 14%, waktu fermentasi selama 5 hari dengan suhu 25-33°C. Aktivasi zeolit pada suhu 250°C selama 2 jam. Proses distilasi menggunakan *rotary evaporator* dengan tekanan 45-65 mbar dan suhu 40-50°C. Pada tahap distilasi ketiga penggunaan adsorben zeolit 3A, variasi berat 16 gr, 18 gr, dan 20 gr mesh 80 masing-masing dalam 300 ml volume distilat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi menggunakan variasi berat 20 gr batu zeolit menghasilkan kondisi terbaik dengan peningkatan kadar etanol semula 39% menjadi 63% dibandingkan dengan variasi berat 18 gr menjadi 57% dan 16 gr menjadi 51%. Selanjutnya berat batu 20 gr digunakan secara konsisten hingga mencapai standar bioetanol sesuai Keputusan Direktorat Jenderal EBTKE, 2023.

Kata Kunci: bioetanol, kulit ari kedelai, variasi adsorben, zeolit 3A

Abstract

Global oil reserves are steadily declining, while demand for energy sources, particularly petroleum. Bioethanol is one of the renewable energy candidates with the potential to replace petroleum-based fuels while reducing negative environmental impacts. The objective of this study is to analyze the most effective variations in the weight of zeolite adsorbent used in the distillation process. This study used soybean hulls as the raw material for bioethanol, with variations in the weight of 3A zeolite adsorbent (80 mesh) at 16 g, 18 g, and 20 g. The pretreatment process used 2% NaOH at a 1:10 ratio. The hydrolysis process used 4% (v/v) HCl for 90 minutes at 85°C. The fermentation process used 14% baker's yeast, with a fermentation time of 5 days at 25–33°C. Zeolite activation was performed at 250°C for 2 hours. The distillation process was conducted using a rotary evaporator at a pressure of 45–65 mbar and a temperature of 40–50°C. In the third distillation stage, 3A zeolite adsorbent was used, with weight variations of 16 g, 18 g, and 20 g (80-mesh) in 300 mL of distillate volume, respectively. The results of the study showed that the adsorption process using 20 g of zeolite produced the best results, increasing the ethanol concentration from the initial 39% to 63%, compared to 57% with 18 g and 51% with 16 g. Therefore, a 20-gram weight of zeolite was consistently used until the bioethanol met the standards set by the Directorate General of NREEC (2023).

Keywords: bioethanol, soybean hulls, adsorbent variations, zeolite 3A

PENDAHULUAN

Persediaan minyak bumi di dunia semakin lama semakin menipis dan harganya semakin lama semakin melonjak tajam. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan sumber energi yang semakin meningkat, terutama minyak bumi (Priswanto & Subagyo, 2019). Menurut laporan International Energy Agency (2022), kebutuhan energi global terus meningkat secara signifikan, mencapai puncaknya dengan konsumsi energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam yang mendominasi hingga 80% dari total pasokan energi dunia. Situasi ini menunjukkan bahwa ketergantungan pada energi fosil, khususnya minyak bumi, masih dominan, sementara cadangan yang tersedia semakin menipis. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan krisis energi berupa kelangkaan bahan bakar apabila tidak segera ditemukan sumber bahan bakar baru (Martins *et al.*, 2019)

Ketergantungan ini tidak hanya mempercepat penipisan sumber daya alam yang tidak terbarukan, tetapi juga berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), yang menjadi pemicu utama perubahan iklim global seperti pemanasan bumi dan kenaikan permukaan laut (Gani, 2021). Oleh karena itu, diperlukan upaya nyata dalam mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif berbahan biomassa yang memiliki sifat berkelanjutan dan ramah lingkungan. Bioetanol menjadi salah satu kandidat energi terbarukan yang berpotensi menggantikan bahan bakar minyak sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Bioetanol dapat dicampur dengan bensin konvensional dalam bentuk E10 atau E20, dan berpotensi mengurangi emisi CO₂ hingga 30-50% dibandingkan bahan bakar fosil murni (Iskandar Ridwan *et al.*, 2022). Hal ini juga sesuai dengan Rencana Umum Energi Nasional

(RUEN) yang menargetkan 23% energi terbarukan pada 2025.

Bioetanol adalah alkohol (etanol) yang dihasilkan melalui fermentasi mikroba dari karbohidrat tumbuhan atau alga, seperti biomassa lignoselulosa, gandum, tebu, jagung, dan sebagainya (Abdul Kareem Joyia *et al.*, 2024). Namun, produksi bioetanol konvensional masih menghadapi permasalahan mendasar yang menghambat skalabilitasnya, terutama keterbatasan lahan pertanian untuk bahan baku pangan seperti tebu dan jagung, yang bersaing langsung dengan kebutuhan pangan global dan berpotensi memicu isu food versus fuel (Broda *et al.*, 2022). Di Indonesia, terdapat sektor pertanian yang menghasilkan limbah biomassa melimpah, termasuk kulit ari kedelai (*Glycine max (L.) Merrill*), hasil sampingan dari industri pengolahan kedelai seperti tempe dan tahu, dengan produksi tahunan mencapai lebih dari 2 juta ton berdasarkan data Kementerian Pertanian (2024).

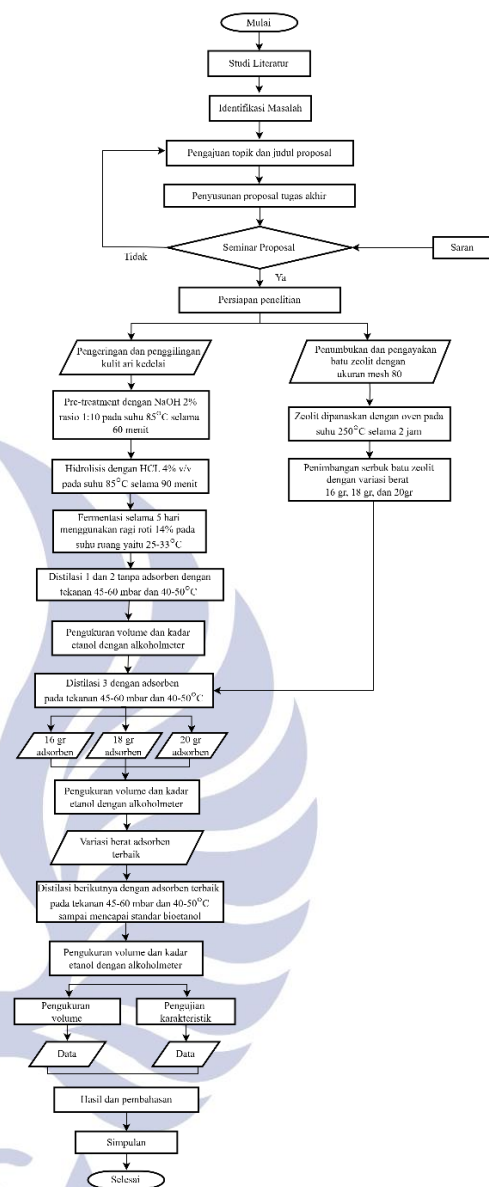
Limbah kulit ari kedelai sering kali dibuang ke TPA atau dibakar secara terbuka, hal tersebut tidak hanya menyebabkan pemborosan potensi energi tetapi juga polusi udara melalui emisi dan metana yang memperburuk kualitas udara. Kulit ari kedelai mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana, sehingga berpotensi dijadikan substrat dalam produksi bioetanol (Gil Rolón *et al.*, 2023). Menurut penelitian Robles Barros *et al.* (2020), kulit ari kedelai mengandung selulosa 40,6%, hemiselulosa 33,8%, lignin 7,8%, 9,4% protein, dan extractives+ashes 4,8%. Sedangkan pada penelitian Debiagi *et al.* (2020), kulit ari kedelai mengandung 32,91% selulosa, 3,02% hemiselulosa, 2,05% lignin. Pada penelitian Toro-Trochez *et al.* (2019), kulit ari kedelai mengandung 52,3% selulosa, 18,5% hemiselulosa, dan 3,7% lignin.

Proses produksi bioetanol dari kulit ari kedelai mencakup beberapa tahap, yaitu pre-treatment, hidrolisis, fermentasi, distilasi, dan dehidrasi. Bioetanol hasil fermentasi umumnya masih bercampur dengan air, sehingga diperlukan proses dehidrasi untuk meningkatkan kadar etanol. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan penambahan adsorben zeolit. Zeolit memiliki struktur berpori dengan kemampuan menyerap molekul air, sehingga efektif digunakan untuk meningkatkan kemurnian etanol (Anas Ibrahim *et al.*, 2022). Dosis adsorben (berat adsorben per volume larutan) adalah faktor paling berpengaruh dalam proses adsorpsi, dengan kontribusi sebesar 59,97% terhadap kapasitas adsorpsi. Semakin besar dosis adsorben, efisiensi penyerapan meningkat secara signifikan (Darla *et al.*, 2023). Penelitian Alghamdi *et al.* (2019), menemukan bahwa peningkatan dosis adsorben dapat membuat kapasitas per gram menurun akibat agregasi partikel dan berkurangnya luas permukaan efektif. Penentuan jenis dan jumlah adsorben yang tepat diharapkan dapat menghasilkan bioetanol dengan karakteristik fisikokimia yang sesuai standar sebagai bahan bakar (Haryadi *et al.*, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Berat Batu Zeolit sebagai Adsorben dalam Proses Adsorpsi Bioetanol Kulit Ari Kedelai” perlu dilakukan.

METODE

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Proses produksi bioetanol berbahan baku kulit ari kedelai dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Laboratorium Kimia Organik Program Studi S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 8 Januari 2026 sampai 24 Juni 2026.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah batu zeolit tipe 3A sebagai adsorben dengan variasi berat 16 gr, 18 gr, dan 20 gr.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar etanol dan volume serta *yield* bioetanol.

3. Variabel Kontrol

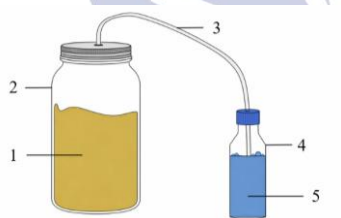
Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

- Bahan baku yang digunakan adalah kulit ari kedelai.
- Batu zeolit 3A mesh 80 untuk adsorben.
- Proses *pre-treatment* kulit ari kedelai menggunakan NaOH 2% pada suhu 85°C selama 60 menit.
- Proses hidrolisis kulit ari kedelai menggunakan HCl 4% (v/v), pada suhu 85°C selama 90 menit.
- Proses fermentasi kulit ari kedelai dilakukan selama 5 hari dengan ragi roti 14% pada suhu 25-33°C.
- Proses distilasi menggunakan *rotary evaporator* dengan tekanan 45-60 mbar dan suhu 40-50°C.
- Pada proses pemanasan adsorben batu zeolit menggunakan temperatur 250°C selama 2 jam.

Alat dan Bahan

1. Alat

- Oven
- Blender Chopper
- Ayakan 80 mesh
- Kain saringan
- Magnetic stirrer
- Hotplate stirrer
- Aluminium foil
- Set alat fermentasi



Gambar 2. Set alat fermentasi

Keterangan:

- Larutan hidrolisat
- Toples penyimpanan
- Selang bening
- Botol air
- Air

i. Rotary Vacuum Evaporator



Gambar 3. Rotary Vacuum Evaporator

Keterangan:

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1) Chiller | 7) Rotary flask |
| 2) Inlet valve | 8) Water bath |
| 3) Condenser | 9) Vacuum pump |
| 4) Temperature control panel | 10) Rotary control panel |
| 5) Motor | 11) Lift lever |
| 6) Adjust lever | 12) Collecting flask |
| | 13) Flask clamp |

2. Bahan

- Kulit ari kedelai
- Asam klorida (HCl)
- Ragi Roti "Fermipan"
- Aquades
- Batu Zeolit 3A
- NaOH

Prosedur penelitian

1. Tahap *Pre-treatment*

- Menyiapkan dan membersihkan kulit ari kedelai dari kotoran, kemudian mengeringkannya pada suhu 100°C hingga mencapai kadar air yang rendah.
- Menggiling kulit ari kedelai yang telah dikeringkan hingga menjadi bubuk halus, kemudian mengayaknya dengan ukuran homogen.
- Menyiapkan larutan NaOH konsentrasi 2%.
- Mencampurkan kulit ari kedelai dengan larutan NaOH pada rasio 1:10 (w/v), kemudian memanaskan campuran pada suhu 85 °C sambil mengaduknya selama 60 menit.
- Mendinginkan campuran hingga mencapai suhu ruang, kemudian menyaringnya untuk memisahkan padatan dan larutan.
- Mencuci padatan secara berulang hingga pH mencapai kondisi netral, pada rentang 6,5-7.
- Mengeringkan kembali padatan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2 jam.

2. Tahap Hidrolisis

- Mencampurkan kulit ari kedelai sebanyak 400 g dengan larutan HCl 4% (v/v) sebanyak 4.000 ml.
- Melakukan reaksi hidrolisis menggunakan hotplate stirrer dengan bantuan magnetic stirrer pada suhu 85°C selama 90 menit.
- Mendinginkan larutan hingga mencapai suhu ruang.
- Netralisasi larutan hidrolisat ke pH 4-5 menggunakan larutan NaOH.
- Saring untuk memisahkan residu padatan. Simpan larutan untuk fermentasi.

3. Tahap Fermentasi

- Memasukkan larutan hidrolisat yang telah dinetralkan ke dalam botol fermentasi sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
- Inokulasi dengan ragi 14% terhadap hidrolisat.
- Fermentasi dijalankan secara anaerob pada suhu 25-35°C, pH 4,5-5,5, selama 5 hari.

4. Tahap Distilasi

a. Distilasi 1 dan 2

- Setelah fermentasi selesai, pisahkan padatan (filtrat) dan lakukan distilasi pada laboratorium.
- Memasukkan larutan distilasi ke dalam rotary flask lalu mengatur tekanan pada 45-60 mbar dan suhu 40-50°C dan rotasi 70 rpm.
- Distilasi hingga fraksi etanol terkumpul, lalu catat volume distilat untuk analisis kadar etanol.
- Lakukan hal yang sama untuk distilasi selanjutnya

b. Distilasi 3

- Menyiapkan batu zeolit, kemudian mengaktifasi menggunakan oven pada suhu 250°C selama 2 jam.

- 2) Menghaluskan zeolit yang telah diaktivasi dan mengayaknya hingga ukuran 80 mesh, kemudian menimbang adsorben sesuai variasi berat, yaitu 16 g, 18 g, dan 20 g.
 - 3) Membagi distilat hasil distilasi tahap kedua menjadi tiga bagian masing-masing sebanyak 300 mL, lalu menambahkan zeolit dengan berat 16 g, 18 g, dan 20 g ke dalam masing-masing wadah distilat.
 - 4) Melakukan proses distilasi dengan kondisi tekanan 45-60 mbar, suhu 40-50 °C, rpm 70 seperti tahap sebelumnya.
 - 5) Mengumpulkan distilat setelah melewati proses adsorpsi, kemudian mencatat volume dan mengambil sampel untuk analisis kadar etanol.
 - 6) Hasil distilasi dengan adsorben terbaik akan dipakai untuk distilasi tahap selanjutnya.
- d. Distilasi 4, 5, dan 6
- 1) Melakukan distilasi berikutnya menggunakan adsorben terbaik pada tekanan 45-60 mbar dan suhu 40-50 °C untuk memastikan konsistensi hasil. Distilasi hingga fraksi etanol terkumpul.
 - 2) Setelah hasil distilat terkumpul, catat volume dan kadar etanol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil dan Pembahasan Variasi Berat Batu Zeolit terhadap Kadar Etanol dan Yield Bioetanol

Dalam penelitian pembuatan bioetanol dari kulit ari kedelai dengan variasi berat batu zeolit 16 gr, 18 gr, dan 20 gr, mesh 80, masing-masing dalam 300 ml volume distilasi. Hasil penelitian yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil variasi berat batu zeolite terhadap kadar etanol

Perlakuan Batu Zeolit		Hasil Distilasi						
Berat Zeolit (gr)	Temp Pemanasan (°C)	Kadar Etanol* (%)					Volume Etanol (ml)	
		Awal	P1	P2	P3	Rata-rata	Awal	Akhir
16	250		51	52	53	51	180	60
18		39	56	55	57	57	300	187
20			61	63	62	63		198

*Pengujian menggunakan alkoholmeter

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat diketahui hasil kadar etanol tertinggi diperoleh pada variasi berat batu zeolit 20 gr dengan rata-rata kadar etanol 63%, lalu diikuti oleh variasi berat batu zeolit 18 gr dengan rata-rata kadar etanol 57%, lalu diikuti oleh variasi berat batu zeolit 16 gr dengan rata-rata kadar etanol 51%.

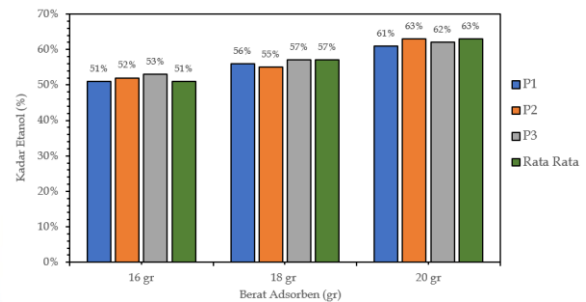
Hal ini linear dengan perolehan *yield* yang didapat, diketahui *yield* tertinggi terdapat pada variasi berat 20 gr dengan *yield* 66%, lalu diikuti oleh variasi berat 18 gr dengan *yield* 62,3%, lalu diikuti oleh variasi berat 16 gr dengan *yield* 60%.

Pada proses pemurnian bioetanol, variasi berat adsorben dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah adsorben batu zeolit terhadap peningkatan kadar etanol melalui proses dehidrasi dan mendapatkan hasil terbaik

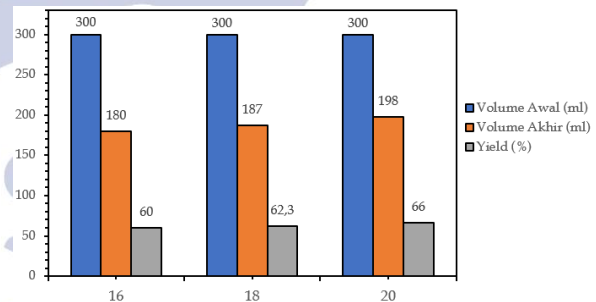
dari variasi tersebut yang akan digunakan secara konsisten untuk proses distilasi berikutnya. Penggunaan adsorben bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang masih terdapat dalam bioetanol hasil distilasi sebelumnya.

Zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorben karena struktur porinya mampu menyerap molekul air secara selektif, sehingga kadar etanol yang diperoleh dapat meningkat (Anas Ibrahim *et al.*, 2022).

Ma'ruf & Damajanti (2012), dalam penelitiannya menggunakan zeolit sebagai adsorben dalam proses adsorpsi bioetanol mencapai kadar hingga 99,52%. Zeolit sintesis 3A dipilih karena memiliki ukuran pori sekitar 3 Å yang bersifat selektif terhadap molekul air, sehingga mampu menyerap molekul air tanpa banyak menyerap molekul etanol yang memiliki ukuran molekul lebih besar (Sudibandriyo & Putri, 2020). Oleh karena itu, zeolit 3A banyak digunakan pada proses pemurnian bioetanol untuk meningkatkan kadar etanol melalui mekanisme adsorpsi air. Proses aktivasi adsorben dilakukan pada suhu 250°C selama 2 jam untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi.



Gambar 4. Hasil Variasi Berat Adsorben terhadap Kadar Etanol



Gambar 5. Hasil Variasi Berat Adsorben terhadap Yield Bioetanol

Peningkatan kadar etanol seiring bertambahnya massa adsorben menunjukkan bahwa jumlah zeolit yang lebih banyak mampu menyerap kandungan air lebih besar dari campuran etanol-air. Molekul air memiliki sifat lebih polar dibandingkan etanol sehingga lebih mudah teradsorpsi pada permukaan zeolit. Semakin banyak jumlah adsorben, luas permukaan aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi semakin besar sehingga proses dehidrasi menjadi lebih efektif dan kadar etanol meningkat. Penggunaan zeolit sebagai adsorben pada pemurnian bioetanol mampu meningkatkan kemurnian melalui mekanisme penyerapan air dari campuran etanol-air (Anas Ibrahim *et al.*, 2022).

Hasil ini sesuai dengan penelitian Hernawan *et al.* (2015), mengenai pemurnian bioetanol menggunakan zeolite, bahwa jumlah adsorben berpengaruh terhadap peningkatan kadar etanol, namun terdapat kondisi optimum karena penggunaan adsorben berlebih dapat menyebabkan kehilangan etanol akibat proses adsorpsi.

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

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan hasil kadar dan volume bioetanol pada proses distilasi 1 sampai 6 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kadar dan Volume Bioetanol pada Proses Distilasi

Distilasi Ke-	Volume Bioetanol (ml)		Kadar Etanol (%)	Yield (%)	Keterangan
	Awal	Akhir			
1	9000	2880	17*	32	Tanpa adsorben
2	2880	2090	39*	72,6	
3	2090	1380	63*	66,0	
4	1380	956	84*	69,3	Dengan adsorben
5	956	713	95*	74,6	
6	713	585	99,7*	82,0	
			99,39**		

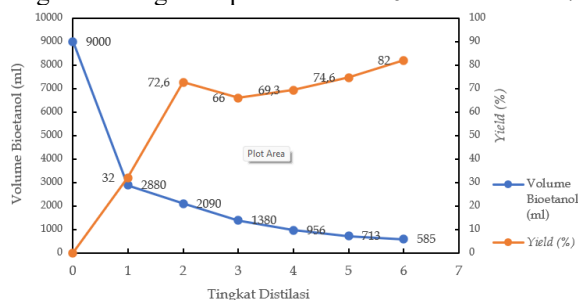
*Pengujian menggunakan alkoholmeter

** Pengujian menggunakan gas chromatography

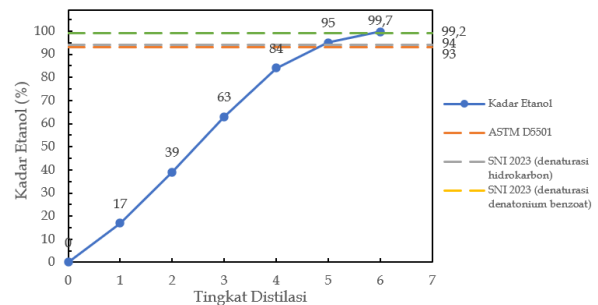
Pada distilasi pertama, volume awal sampel 9000 ml mengalami penurunan menjadi 2880 ml dengan kadar etanol yang diperoleh 17% dan *yield* 32%. Penurunan volume terjadi karena sebagian air dan senyawa pengotor mengalami pemisahan selama proses distilasi (Janković *et al.*, 2024). Pada distilasi kedua, volume bioetanol mengalami penurunan dari 2880 ml menjadi 2090 ml, namun terjadi peningkatan kadar etanol menjadi 39% dengan *yield* 72,5%. Peningkatan kadar etanol dari 17% pada distilasi pertama menjadi 39% pada distilasi kedua menunjukkan bahwa proses pemurnian bertahap efektif dalam meningkatkan konsentrasi bioetanol.

Sedangkan, peningkatan kadar etanol pada distilasi ketiga hingga keenam dengan menggunakan adsorben dari 63% menjadi 99,7% (alkoholmeter) dan 99,39% (*gas chromatography*) setelah beberapa tahap distilasi menunjukkan bahwa adsorben membantu proses dehidrasi bioetanol dengan mengurangi kandungan air yang masih tersisa.

Hasil kadar dan volume bioetanol ditunjukkan pada Tabel 2, yang telah dikonversikan dalam bentuk diagram dan grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Hasil Tingkat Distilasi terhadap Volume dan Yield Bioetanol pada Distilasi 1 sampai 6



Gambar 7. Hasil Tingkat Distilasi terhadap Kadar Bioetanol pada Distilasi 1 sampai 6

Peningkatan kadar etanol dari distilasi ke-3 hingga distilasi ke-6 menunjukkan bahwa proses distilasi berulang dengan penggunaan adsorben zeolit 3A efektif dalam mengurangi kandungan air pada bioetanol. Pada proses distilasi, pemisahan terjadi berdasarkan perbedaan volatilitas antara etanol dan air, dimana etanol memiliki titik didih lebih rendah dibandingkan air sehingga lebih mudah menguap dan terkondensasi. Namun, karena campuran etanol-air memiliki sifat azeotrop, peningkatan kadar etanol melalui distilasi biasa memiliki keterbatasan. Penambahan zeolit 3A membantu mengatasi keterbatasan tersebut dengan menyerap molekul air yang tersisa dalam campuran, sehingga kadar etanol dapat meningkat lebih tinggi (Khaidir *et al.*, 2011).

Peningkatan kadar etanol pada setiap tahap distilasi juga dipengaruhi oleh kemampuan adsorpsi zeolit sintesis 3A. Struktur pori zeolit 3A memungkinkan molekul air masuk dan terperangkap di dalam rongga zeolit karena ukuran molekul air lebih kecil dibandingkan ukuran pori zeolit (Sudibandriyo & Putri, 2020).

Selain meningkatkan kadar etanol, proses distilasi bertingkat dengan adsorben juga menunjukkan peningkatan *yield*. *Yield* meningkat dari 66% pada distilasi ke-3 menjadi 82% pada distilasi ke-6. Penggunaan zeolit 3A yang bersifat selektif terhadap air menyebabkan kehilangan etanol selama proses adsorpsi dapat diminimalkan. Namun, penurunan volume bioetanol pada tahap distilasi menunjukkan pengurangan massa larutan akibat semakin banyaknya air dan komponen pengotor yang berhasil dipisahkan (Hargono *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil tersebut, kadar etanol bioetanol kulit ari kedelai yang diperoleh pada penelitian ini telah memenuhi karakteristik bioetanol sesuai dengan standar Direktorat Jenderal EBTKE (2023), yaitu 99,2%.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi berat adsorben batu zeolit sintesis 3A mesh 80 berpengaruh terhadap proses pemurnian bioetanol. Peningkatan berat zeolit dari 16 gr, 18 gr, hingga 20 gr menyebabkan peningkatan kadar etanol karena zeolit mampu mengadsorpsi molekul air secara selektif. Penggunaan zeolit 20 gr menghasilkan kadar etanol tertinggi yaitu 63% pada tahap distilasi ketiga dengan nilai *yield* sebesar 66%, sehingga kondisi tersebut digunakan secara konsisten pada tahap distilasi selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kareem Joyia, M., Ahmad, M., Chen, Y. F., Mustaqeem, M., Ali, A., Abbas, A., & Ashraf Gondal, M. (2024). Trends and advances in sustainable bioethanol production technologies from first to fourth generation: A critical review. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 321). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119037>
- Alghamdi, A. A., Al-Odayni, A. B., Saeed, W. S., Al-Kahtani, A., Alharthi, F. A., & Aouak, T. (2019). Efficient adsorption of lead (II) from aqueous phase solutions using polypyrrole-based activated carbon. *Materials*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/ma12122020>
- Anas Ibrahim, M., Hafizh Musyaffa, M., Heriyanto, H., & Haryadi, H. (2022). Purification Of Ethanol By Continuous Adsorption Method Using Zeolite 3a And Calcium Oxide. In *Jurnal Kimia Riset* (Vol. 7, Number 1).
- Broda, M., Yelle, D. J., & Serwańska, K. (2022). Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions. In *Molecules* (Vol. 27, Number 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules27248717>
- Darla, U. R., Lataye, D. H., Kumar, A., Pandit, B., & Ubaidullah, M. (2023). Adsorption of phenol using adsorbent derived from *Saccharum officinarum* biomass: optimization, isotherms, kinetics, and thermodynamic study. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42461-y>
- Debiagi, F., Faria-Tischer, P. C. S., & Mali, S. (2020). Nanofibrillated cellulose obtained from soybean hull using simple and eco-friendly processes based on reactive extrusion. *Cellulose*, 27(4), 1975–1988. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02893-0>
- Direktorat Jenderal EBTKE. (2023). *Keputusan Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Nomor: 95K/EK05/DJE/2023*. <https://www.scribd.com/document/754878831/Kep-dirjen-Ebtke-No-95-Kek-05dje2023-1>
- Gani, A. (2021). Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126526>
- Gil Rolón, M., Leonardi, R. J., Bolzico, B. C., Seluy, L. G., Benzzo, M. T., & Comelli, R. N. (2023). Multi-Response Optimization of Thermochemical Pretreatment of Soybean Hulls for 2G-Bioethanol Production. *Fermentation*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/fermentation9050454>
- Hargono, H., Jos, B., Purwanto, P., Sumardiono, S., & Zakaria, M. (2021). Bioethanol Purification from Fermentation of Suweg Starch Using Two Stage Distillation Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012114. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012114>
- Haryadi, Sariadi, & Fona, Z. (2024). Utilization Of Natural Zeolite As An Adsorbent In Ethanol Purification. In *Journal of Science and Technology) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 22, Number 01).
- Hernawan, Wahono, S. K., Maryana, R., & Pratiwi, D. (2015). Modification of Gunungkidul Natural Zeolite as Bioethanol Dehydrating Agents. *Energy Procedia*, 65, 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.042>
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. www.iea.org/t&c/
- Iskandar Ridwan, Hadiyanto, & Suherman. (2022). Utilization of Biopertalite for Fuel Efficiency and Reduction in CO and CO2 Gas Emissions in Four-Wheel Motor Vehicles. *Makara Journal of Technology*, 26(3), 117–123. <https://doi.org/10.7454/mst.v26i3.1603>
- Janković, T., Straathof, A. J. J., McGregor, I. R., & Kiss, A. A. (2024). Bioethanol separation by a new pass-through distillation process. *Separation and Purification Technology*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126292>
- Khaidir, Setyaningsih, D., & Hery Haerudin. (2011). *Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Material Molekular Sieve Pada Proses Dehidrasi Bioetanol Mahasiswa Pascasarjana Departemen Tip Fateta Ipb 2 Staff Pengajar Departemen Tip Fateta Ipb*.
- Martins, F., Felgueiras, C., Smítikova, M., & Caetano, N. (2019). Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in european countries. *Energies*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/en12060964>
- Ma'ruf, A., & Damajanti, N. (2012). *Synthesis of Zeolite Pellets From Natural Zeolite and Starch as Adsorbent For Fuel Grade Bioethanol Production*. International Conference on Chemical and Material Engineering.
- Priswanto, A. E., & Subagyo, R. (2019). *Analisis Hasil Fermentasi Pembuatan Bioetanol Dengan Variasi Massa Ragi Menggunakan Bahan (Beras Ketan Hitam, Beras Ketan Putih Dan Singkong)*. 01.
- Robles Barros, P. J., Ramirez Ascheri, D. P., Siqueira Santos, M. L., Morais, C. C., Ramirez Ascheri, J. L., Signini, R., dos Santos, D. M., de Campos, A. J., & Alessandro Devilla, I. (2020). Soybean hulls: Optimization of the pulping and bleaching processes and carboxymethyl cellulose synthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.074>
- Sudibandriyo, M., & Putri, F. A. (2020). The Effect of Various Zeolites as an Adsorbent for Bioethanol Purification using a Fixed Bed Adsorption Column. *International Journal of Technology*, 11(7), 1300–1308. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i7.4469>
- Toro-Trochez, J. L., Carrillo-Pedraza, E. S., Bustos-Martínez, D., García-Mateos, F. J., Ruiz-Rosas, R. R., Rodríguez-Mirasol, J., & Cordero, T. (2019). Thermogravimetric characterization and pyrolysis of soybean hulls. *Bioresource Technology Reports*, 6, 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.02.009>