

Pemurnian Bioetanol Menggunakan Adsorben Silika Gel dari Limbah Botol Kaca di Industri Kecap

Purification of Bioethanol Using Silica Gel Adsorbent from Waste Glass Bottles in the Soy Sauce Industry

Adhi Setiawan¹, Achmad Fatoni^{2*}, Tarikh Azis Ramadani³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Email: ¹adhi.setiawan@ppns.ac.id, ²a.fatoni@student.ppns.ac.id, ³tarikh@ppns.ac.id

*Penulis korespondensi: adhi.setiawan@ppns.ac.id

Direview: 1 September 2022

Diterima: 7 Oktober 2022

ABSTRAK

Limbah botol kaca merupakan limbah anorganik yang jumlahnya mencapai 0,7 juta ton per tahun dengan kandungan utama silika, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam pembuatan silika gel. Di industri kecap, limbah botol kaca pada umumnya dihasilkan dari botol kaca yang pecah pada saat aktivitas *depalletizer* yaitu kegiatan pemindahan botol kaca menuju area *pembersihan botol kaca*. Timbulan limbah botol kaca tersebut pada umumnya hanya ditampung dan belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah botol kaca sebagai bahan baku pembuatan adsorben silika gel dengan metode hidrotermal dan pendekatan sol-gel. Silika gel menjadi adsorben dalam pemurnian bioetanol dari air limbah pencucian tangki *dissolving* menggunakan metode adsorpsi. Pembuatan bioetanol menggunakan variasi berat ragi 0, 2, 5, dan 8 g serta variasi waktu fermentasi selama 4, 7, dan 10 hari. Proses pemurnian bioetanol menggunakan variasi waktu adsorpsi selama 40, 60, dan 80 menit. Karakterisasi silika gel menggunakan uji BET dan SEM-EDX. Pengujian kadar bioetanol setelah melalui proses adsorpsi dianalisis menggunakan metode GC-MS. Hasil pengujian BET menunjukkan bahwa silika gel teraktivasi memiliki luas permukaan spesifik 231,851 m²/g. Analisis dengan SEM-EDX menunjukkan bahwa partikel silika gel teraktivasi berbentuk gumpalan berpori dengan kandungan kimia unsur Si dan O secara berturut-turut sebesar 40,94% dan 51,92%. Hasil uji GC-MS, 60 menit adalah waktu adsorpsi yang paling optimum untuk meningkatkan kadar bioetanol dari 39,8±9,9% menjadi 72,0±1,1%.

Kata kunci: adsorben, bioetanol, industri kecap, limbah botol kaca, silika gel.

ABSTRACT

Waste glass bottles is an inorganic waste that amounts to 0.7 million tons per year with the main content of silica, so it can be used as the main ingredient to produce silica gel. In the soy sauce industry, glass bottle waste is generally produced from broken glass bottles during *depalletizer* activity, namely the activity of moving glass bottles to the glass bottle cleaning area. The glass bottle waste is generally only accommodated and has not been used optimally. This research aims to utilize waste glass bottles as a raw material for producing silica gel adsorbents using the hydrothermal method and the sol-gel approach. Silica gel becomes an adsorbent in the purification of bioethanol from wastewater washing *dissolving* tanks using the adsorption method. Variations in the bioethanol production are yeast weight as 0, 2, 5, and 8 g as well as fermentation time for 4, 7, and 10 days. The bioethanol purification process used variations in adsorption time for 40, 60, and 80 minutes. Characterization of silica gel using BET and SEM-EDX test. Bioethanol levels after going through the adsorption process were analyzed using the GC-MS method. The BET test results show that activated silica gel has a surface area of 231,851 m²/g. Analysis with SEM-EDX showed that activated silica gel particles were in the form of porous lumps with chemical content of Si and O elements of 40.94% and 51.92%, respectively. Based on the results of the GC-MS test, 60 minutes is the best adsorption time to increase the bioethanol content from 39,8±9,9% to 72,0±1,1%.

Keywords: adsorbent, bioethanol, soy sauce industry, glass bottle waste, silica gel.

1. PENDAHULUAN

Limbah botol kaca menjadi salah satu limbah anorganik yang tidak dapat terdekomposisi oleh mikroorganisme. Menurut Saputra dkk. (2014) jumlah limbah botol kaca di Indonesia mencapai 0,7 juta ton per tahun. Di industri kecap, limbah botol kaca bersumber dari salah satu kegiatan produksi seperti kegiatan *depalletizer*. Kegiatan *depalletizer* adalah kegiatan pemindahan botol kaca menuju area pembersihan botol. Proses pemindahan botol kaca menggunakan mesin *vacuum*, sehingga terdapat potensi botol kaca yang pecah. Limbah botol kaca umumnya hanya terbatas untuk didaur ulang, sehingga diperlukan pengolahan menjadi bahan yang lebih berguna. Beberapa peneliti telah melaporkan bahwa limbah botol kaca dapat dikonversi menjadi material lain yang lebih bermanfaat. Sudjarwo dan Bee (2017) memanfaatkan limbah botol kaca sebagai silika gel untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas di dalam minyak goreng bekas. Abdelli dkk. (2020) dalam penelitiannya melaporkan bahwa limbah kaca dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat atau semen pada pembuatan beton. Penggunaan limbah kaca dalam pembuatan beton dapat memperbaiki kinerja beton dan berpartisipasi dalam mengurangi dampak lingkungan akibat limbah kaca yang sulit diuraikan lingkungan. Menurut Pakpahan (2016) limbah botol kaca berpotensi dimanfaatkan menjadi bahan baku dalam pembuatan silika gel karena memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi. Pengolahan limbah botol kaca menjadi silika gel menurut Alkatiri dkk., (2017) dilakukan melalui proses pembentukan natrium silikat yang dihasilkan dari reaksi antara silika dalam limbah botol kaca dengan natrium hidroksida. Larutan natrium silikat yang telah terbentuk kemudian direaksikan dengan asam klorida yang akan terpolimerasi menjadi silika gel. Menurut Kurniawan (2016) silika gel termasuk jenis adsorben polar yang bersifat hidrofilik sehingga dapat menyerap air.

Kemampuan adsorben silika gel dalam menyerap air dapat digunakan ketika proses pemurnian lanjutan kadar bioetanol. Hal ini karena terdapat titik *azeotrope* antara campuran etanol dan air ketika proses pemurnian bioetanol menggunakan metode distilasi yang menyebabkan kadar bioetanol tidak optimal. Bioetanol pada penelitian ini terbuat dari air limbah pencucian tangki *dissolving* industri kecap karena kadar glukosa pada air limbah tersebut sebesar 7,55%. Berdasarkan SNI 7390 (2012) bioetanol merupakan energi terbarukan yang dapat diproduksi dari bahan bergula, sehingga dapat langsung difermentasi dengan menambahkan ragi atau *yeast*. Proses fermentasi pada penelitian ini menggunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* yang terdapat pada ragi roti. Hal ini karena mikroorganisme tersebut dapat memproduksi bioetanol dalam jumlah besar serta toleran terhadap kadar bioetanol yang tinggi (Febriana dkk., 2018). Kadar bioetanol yang dihasilkan ketika proses fermentasi dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah berat ragi dan waktu fermentasi. Penelitian Yuniarti dkk. (2018) menunjukkan bahwa pembuatan bioetanol dari ampas tebu dapat menghasilkan kadar tertinggi sebesar 4,91% (b/b), dihasilkan dari sampel yang difermentasi selama 7 hari dengan penambahan 5 g ragi.

Pemurnian lanjutan kadar bioetanol dengan metode adsorpsi membutuhkan adsorben yang berpori seperti silika gel, sehingga kadar bioetanol yang dihasilkan dapat meningkat. Menurut Wulandari dan Utami (2015) bahwa kadar bioetanol memiliki fungsi yang berbeda-beda. Bioetanol dengan kadar 99% digunakan sebagai substitusi premium, kadar 80% digunakan untuk sterilisasi alat kesehatan, kadar 40% dapat dijadikan *substituent* minyak tanah, dan kadar 20% dapat digunakan sebagai bahan campuran parfum. Pemurnian bioetanol menggunakan metode adsorpsi secara *batch* dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satu faktornya adalah waktu proses adsorpsi (Arnata dan Yoga, 2015). Waktu adsorpsi yang terlalu singkat memungkinkan air pada campuran bioetanol belum teradsorb secara optimal. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka diperlukan penelitian mengenai proses peningkatan kadar bioetanol yang dihasilkan dari air limbah pencucian tangki *dissolving* industri kecap menggunakan adsorben silika gel. Penelitian bertujuan untuk melakukan sintesis dan karakterisasi adsorben silika gel dari limbah botol kaca, menganalisis pengaruh waktu fermentasi dan massa ragi terhadap kadar bioethanol, serta menganalisis pengaruh waktu adsorpsi silika gel terhadap kadar bioetanol.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada penelitian ini terdiri dari persiapan alat dan bahan serta prosedur kerja yang terdiri dari proses pembuatan silika gel, proses pembuatan bioetanol, dan proses adsorpsi menggunakan adsorben silika gel.

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu timbangan digital, termometer, pH meter digital, rangkaian alat *rotary vacuum evaporator*, *stopwatch*, erlenmeyer, gelas ukur, hidrometer, ayakan 230 mesh, *hot plate*,

refluks kondensor, *magnetic stirrer*, oven, pengaduk, dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah botol kaca industri kecap, air limbah pencucian tangki *dissolving* industri kecap, larutan HCl dan NaOH p.a, mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* dalam bentuk fermipan ragi roti, urea dan NPK p.a, dan akuades.

2.2. Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada penelitian ini terdiri dari proses pembuatan silika gel, proses pembuatan bioetanol, dan proses pemurnian bioetanol menggunakan metode adsorpsi.

2.2.1. Pembuatan Silika Gel

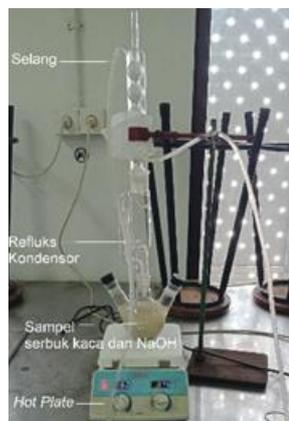
Silika gel yang dihasilkan pada penelitian ini berasal dari limbah botol kaca di industri kecap. Pembuatan silika gel pada penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Owoeye dkk. (2020). Pembuatan silika gel meliputi tahapan antara lain preparasi limbah botol kaca, sintesis natrium silikat, sintesis silika gel, serta aktivasi silika gel.

a. Preparasi Limbah Botol Kaca

Sebanyak 1 kg limbah botol kaca bening yang telah diambil dari industri kecap dibersihkan dari pengotor-pengotornya, kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 230 mesh.

b. Sintesis Natrium Silikat (Metode Hidrotermal)

Sebanyak 62,5 g serbuk kaca halus yang telah diayak dengan ayakan 230 mesh ditambahkan dengan 500 mL NaOH 3 M ke dalam labu Erlenmeyer dan dipanaskan menggunakan *hotplate* yang terhubung dengan refluks kondensor seperti Gambar 1. Pemanasan dilakukan pada suhu 200°C selama 3 jam dan diaduk secara konstan pada kecepatan 50 rpm. Pengadukan konstan bertujuan untuk melarutkan silika dan menghasilkan larutan natrium silikat. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring *Whatman* No. 41 untuk memperoleh larutan natrium silikat.



Gambar-1. Rangkaian Alat Proses Sintesis Natrium Silikat

c. Sintesis Silika Gel (Pendekatan Sol-Gel)

Asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 3 M ditambahkan kedalam larutan natrium silikat tetes per tetes hingga hingga pH 10, kemudian diaduk secara konstan sampai diperoleh campuran seperti gel berwarna putih. Diamkan campuran gel selama 18 jam, kemudian saring dan oven pada suhu 80°C selama 12 jam (hingga berat konstan) untuk mendapatkan silika gel.

d. Aktivasi Silika Gel

Sebanyak 20 g silika gel dimasukkan kedalam larutan 100 mL asam klorida (HCl) 1 M, kemudian dipanaskan pada suhu 80°C sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit, lalu dicuci dengan aquades hingga pH netral. Residu (silika gel) disaring dan dioven pada suhu 120°C selama 3 jam (Ramadani, 2018).

2.2.2. Pembuatan Bioetanol

Bioetanol pada penelitian ini terbuat dari air limbah pencucian tangki *dissolving* di industri kecap. Proses pembuatan bioetanol terdiri dari kegiatan pengambilan sampel, proses fermentasi, proses distilasi, dan pengukuran kadar bioetanol.

a. Pengambilan Sampel Air Limbah

Sebanyak 50 L air limbah pencucian tangki *dissolving* dari industri kecap diambil menggunakan jerigen sesuai ketentuan SNI 6989.59:2008. Penelitian ini menggunakan variasi sampel sebanyak 24 varian dengan pengulangan sebanyak dua kali (duplo). Jumlah air limbah pada masing-masing varian sebanyak 1 L.

b. Fermentasi

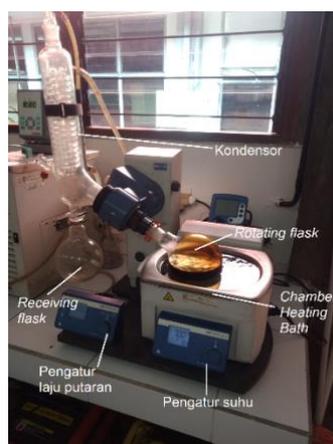
Sebanyak 1 L air limbah pencucian tangki *dissolving* yang digunakan dalam proses fermentasi diukur pH nya dan diatur nilainya menjadi pH 3. Sampel air limbah kemudian dimasukkan ke dalam fermentor seperti Gambar 2. Mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* pada fermipan ragi roti juga dimasukkan sesuai variasi yaitu 0, 2, 5, dan 8 g. Sebanyak 1 g nutrisi berupa urea dan NPK ditambahkan ke dalam sampel. Ketika semua bahan sudah dimasukkan, maka jerigen ditutup dengan penutup yang sudah terhubung dengan selang dan botol air. Fermentasi dilakukan sesuai variasi waktu yaitu 4, 7, dan 10 hari. Nilai pH pada sampel yang telah selesai variasi waktu fermentasinya diukur menggunakan alat pH meter digital.



Gambar-2. Rangkaian Fermentor

c. Distilasi

Proses distilasi pada penelitian ini menggunakan alat *rotary vacuum evaporator* seperti Gambar 3. Alat *rotary vacuum evaporator* memanfaatkan perbedaan titik didih antara air dan etanol, sehingga suhu pada *chamber heating bath* diatur menjadi 78,3°C dengan kecepatan putaran 100 rpm. Sampel dimasukkan ke dalam labu *rotating flask*, kemudian uap akan dialirkan pada kondensor. Proses distilasi dilakukan selama 2 jam hingga sampel tertampung pada labu *receiving flask*.



Gambar-3. Alat Rotary Vacuum Evaporator

Semua sampel distilat diukur kadar bioetanolnya menggunakan alat hidrometer. Pengukuran dilakukan dengan memasukkan sampel hasil proses distilasi serta alat hidrometer ke dalam gelas ukur. Persentase kadar bioetanol dapat diketahui ketika alat hidrometer berhenti mengambang pada angka tertentu.

Sampel dengan kadar bioetanol tertinggi dianalisis kadar bioetanolnya menggunakan pengujian *Gas Chromatography and Mass Spectroscopy* (GC-MS).

2.2.3. Proses Adsorpsi

Sampel yang digunakan pada proses adsorpsi yaitu sampel dengan kadar bioetanol tertinggi berdasarkan hasil pengukuran hidrometer dan GC-MS. Proses adsorpsi dilakukan dengan memasukkan 3,75 g silika gel teraktivasi ke dalam erlenmeyer, kemudian sebanyak 15 mL distilat juga dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Waktu proses adsorpsi disesuaikan dengan variasi yaitu 40, 60, dan 80 menit. Pengadukan dengan *magnetic stirrer* pada sampel dilakukan setiap 20 menit dengan kecepatan 100 rpm. Persentase kadar bioetanol hasil adsorpsi dianalisis menggunakan GC-MS.

2.3. Karakterisasi Silika Gel

Analisis morfologi dan komposisi unsur penyusun silika gel sebelum dan setelah proses aktivasi di analisis menggunakan metode *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Karakteristik permukaan silika gel dianalisis menggunakan metode Brunauer Emmett Teller (BET) untuk mengetahui luas permukaan spesifik, diameter pori, dan volume pori dari partikel silika gel.

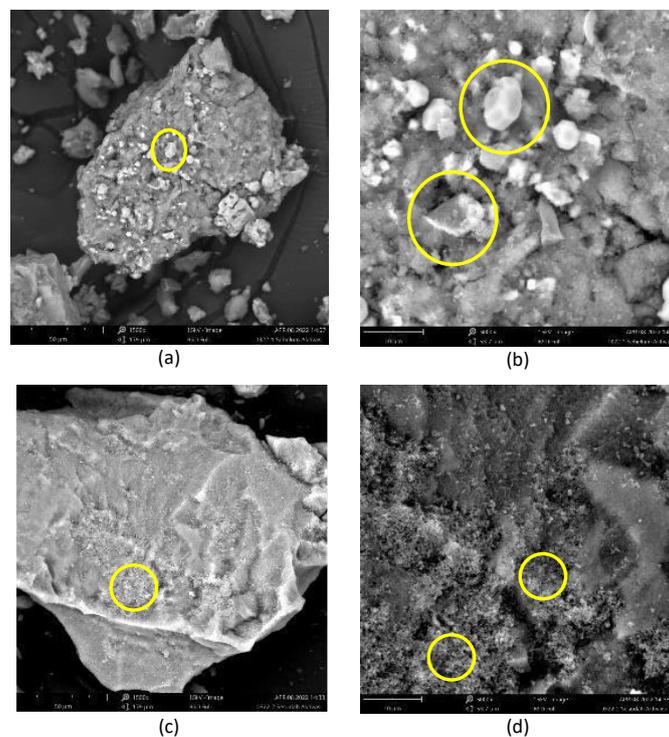
2.4. Karakterisasi Kadar Bioetanol

Kadar bioetanol setelah proses adsorpsi dianalisis menggunakan metode GC-MS. Kondisi GC-MS pada saat proses analisis menggunakan suhu inlet sebesar 250°C. Suhu oven konstan pada 50°C selama 5 menit. Suhu *transfer line*, *MS quad*, dan *MS source* masing-masing sebesar 280, 150, dan 250°C. Volume injeksi sampel sebesar 1 µL (split 1/100) dengan kondisi fase gerak helium pada laju alir volume sebesar 1 mL/menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakterisasi Silika Gel

Karakterisasi silika gel menggunakan SEM-EDX dilakukan untuk menganalisis bentuk morfologi permukaan dan komposisi unsur penyusun silika gel. Uji SEM-EDX dilakukan pada silika gel tanpa aktivasi dan teraktivasi menggunakan HCl. Karakterisasi hasil SEM dengan perbesaran 1.500x dan 5.000x dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar-4. Hasil Karakterisasi SEM dengan Perbesaran (a) 1.500x Tanpa Aktivasi (b) 5.000x Tanpa Aktivasi (c) 1.500x Teraktivasi (d) 5.000x Teraktivasi

Lingkar kuning pada Gambar 4 menunjukkan adanya perbedaan bentuk morfologi permukaan pada silika gel tanpa aktivasi (a-b) dengan silika gel teraktivasi (c-d). Jumlah pori pada silika gel teraktivasi lebih banyak dibandingkan silika gel tanpa aktivasi yang memiliki jumlah pori lebih sedikit karena terdapat gumpalan-gumpalan pada permukaannya. Menurut Ramadhani dkk. (2021) gumpalan pada permukaan silika gel disebabkan adanya pengotor yang menyumbat pori-pori. Analisis EDX pada silika gel teraktivasi dan tanpa aktivasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel -1. Analisis EDX Silika Gel

Tanpa Aktivasi		Teraktivasi	
Unsur	% Berat	Unsur	% Berat
O	44,41	O	51,92
Si	25,81	Si	40,94
Na	12,76	Na	0,22
Al	0,69	Al	0,68
C	3,77	C	6,24
Cl	12,56	Cl	-

Hasil karakterisasi EDX silika gel pada Tabel 1 menunjukkan unsur kimia pada permukaan silika gel tanpa aktivasi yaitu oksigen 44,41%, silika 25,81%, sodium 12,76%, aluminium 0,69%, karbon 3,77% dan klorin 12,56%. Unsur kimia pada silika gel teraktivasi yaitu oksigen 51,92%, silika 40,94%, sodium 0,22%, aluminium 0,68%, dan karbon 6,24%. Aisah dkk. (2018) telah membuat silika gel dari *fly ash* batubara dengan kandungan beberapa unsur seperti oksigen 50,28%, silika 43,21%, aluminium 2,65%, dan sodium 3,27%. Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat unsur lain sebagai pengotor (*impurities*) pada permukaan silika gel selain unsur Si dan O. Meskipun demikian, unsur yang tetap mendominasi adalah Si dan O karena keduanya merupakan unsur penyusun dari senyawa SiO_2 . Menurut Oktaviani dkk. (2017) adsorben yang memiliki molekul senyawa SiO_2 (silika) bersifat hidrofilik atau dapat berikatan dengan air, sehingga pemurnian bioetanol dalam proses adsorpsi lebih optimum. Proses aktivasi menggunakan HCl pada penelitian ini dapat mempengaruhi jumlah komposisi unsur silika gel, hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan unsur Si dan O serta terlarutnya unsur Cl. Pengotor pada silika gel berupa natrium klorida (NaCl) yang dihasilkan ketika proses titrasi natrium silikat dengan asam klorida (HCl).

Karakterisasi silika gel menggunakan BET dilakukan untuk mengidentifikasi luas permukaan pori silika gel. Pengujian BET dilakukan pada silika gel tanpa aktivasi dan teraktivasi HCl. Hasil analisis BET silika gel terdapat pada Tabel-2.

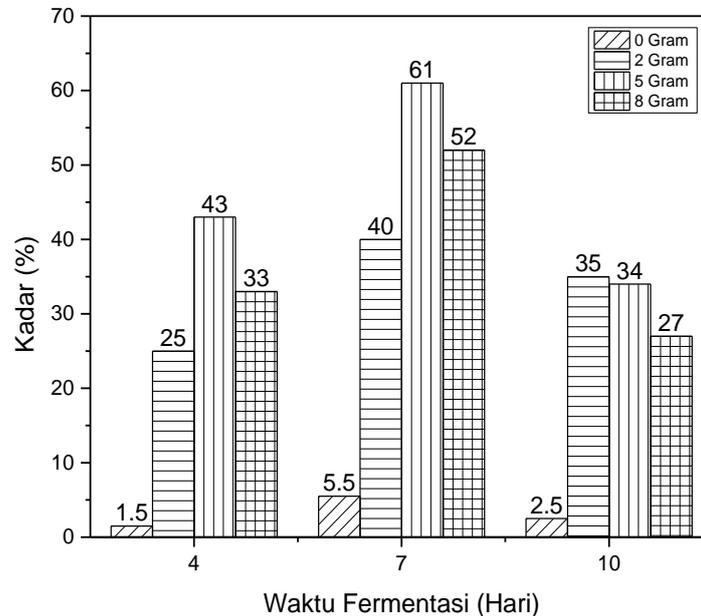
Tabel -2. Analisis BET Silika Gel

Kondisi	Luas Permukaan spesifik (m^2/g)	Diameter Pori (nm)	Volume Pori (cc/g)
Tanpa Aktivasi	41,73	3,23	$3,38 \times 10^{-1}$
Teraktivasi	231,85	14,36	$8,33 \times 10^{-1}$

Hasil karakterisasi BET silika gel pada Tabel 2 menunjukkan bahwa proses aktivasi menggunakan larutan HCl mempengaruhi luas permukaan adsorben. Aktivasi menggunakan HCl menyebabkan komponen pengotor berupa oksida logam seperti halnya oksida Na dan Al akan larut ke dalam asam. Hal tersebut menyebabkan struktur pori silika menjadi lebih terbuka dan mengarah pada peningkatan luas permukaan adsorben (Bendou dan Amrani, 2014). Pernyataan tersebut tersebut dapat diverifikasi dari hasil EDX pada Tabel 1 yang menunjukkan terjadinya penurunan kadar unsur Na dan Al setelah proses aktivasi silika. Proses aktivasi menurut Menad dkk. (2016) dapat memperbesar permukaan pori, sehingga luas permukaan media semakin besar. Luas permukaan silika gel tanpa aktivasi hanya sebesar $41,728 \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan luas permukaan silika gel teraktivasi sekitar 5 kali lebih besar yaitu $231,851 \text{ m}^2/\text{g}$. Aktivasi pada silika gel dari pasir kuarsa telah dilakukan oleh Susanti dkk. (2017) dengan luas permukaan media sebesar $222,068 \text{ m}^2/\text{g}$. Semakin besar luas permukaan silika gel maka daya adsorpsi akan semakin besar juga, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan silika gel. Berdasarkan data pada Tabel 2 penggunaan HCl sangat efektif untuk memperbesar luas permukaan silika gel, karena proses aktivasi dapat menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan silika gel.

3.2. Pengaruh Waktu Fermentasi dan Massa Ragi Terhadap Kadar Bioetanol

Fermentasi merupakan proses konversi glukosa menjadi etanol oleh mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* dalam kondisi anaerob. Penelitian ini menggunakan fermipan ragi roti yang berperan sebagai mikroorganisme ketika proses fermentasi. Berdasarkan data pengukuran semua sampel distilat menggunakan hidrometer, dibuat grafik seperti Gambar 5 hubungan antara berat ragi dan waktu fermentasi terhadap rata-rata kadar bioetanol.

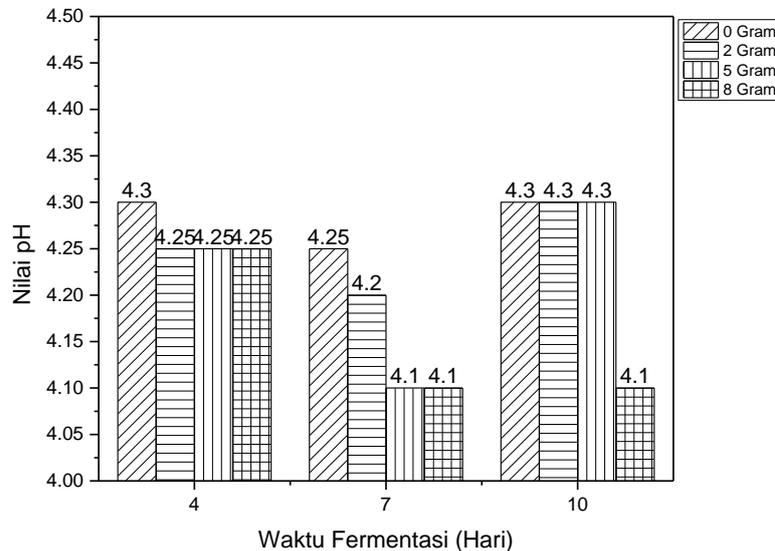


Gambar-5. Pengaruh Waktu fermentasi dan Massa ragi Terhadap Kadar Bioetanol

Berdasarkan Gambar 5 penambahan fermipan ragi roti memberikan pengaruh terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan. Penambahan ragi yang terlalu sedikit menyebabkan kadar bioetanol yang dihasilkan rendah, sedangkan penambahan ragi yang berlebihan menyebabkan kadar bioetanol yang dihasilkan juga tidak optimal. Besar kecilnya ragi yang ditambahkan berhubungan dengan kandungan glukosa yang terdapat dalam sampel, karena glukosa digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber karbon. Berdasarkan Gambar 5 jumlah ragi yang optimum untuk mengkonversi 7,55% glukosa pada air limbah pencucian tangki *dissolving* menjadi bioetanol yaitu sebanyak 5 g. Glukosa pada air limbah pencucian tangki *dissolving* dirombak menjadi bioetanol oleh mikroorganisme melalui jalur EMP dan menghasilkan 2 ATP dari setiap glukosa yang dikonsumsi (Kang dan Lee, 2015). Sampel yang tidak diberi ragi hanya menghasilkan kadar bioetanol minimal 1,5% dan maksimal 5,5%. Kadar bioetanol yang dihasilkan pada penambahan 2 g ragi akan meningkat ketika diberi 5 g ragi, namun kadar bioetanol dapat menurun ketika diberi 8 g ragi. Tingginya kadar bioetanol pada penambahan 5 g ragi sejalan dengan penelitian Febriasari dkk. (2021) ketika membuat bioetanol dari kulit nanas dengan kadar bioetanol tertinggi sebesar 30%. Peningkatan kadar bioetanol tersebut disebabkan peningkatan aktivitas metabolisme mikroorganisme selama proses fermentasi sehingga meningkatkan kadar bioetanol. Massa ragi optimum dari hasil penelitian ini diperoleh pada kondisi sebesar 5 g. Peningkatan massa ragi menyebabkan peningkatan produksi dan aktivitas enzim. Aktivitas produksi enzim oleh mikroba sampai batas tertentu menyebabkan peningkatan konversi glukosa menghasilkan bioetanol. Penurunan kadar bioetanol setelah tercapai kondisi optimum disebabkan *Saccharomyces cerevisiae* tidak lagi bekerja secara optimal (Roni dkk., 2019).

Hasil penelitian pada Gambar 5 menunjukkan bahwa fermentasi selama 7 hari merupakan waktu yang paling optimum untuk menghasilkan kadar bioetanol tertinggi sebesar 61%. Sampel yang difermentasi selama 4 hari cenderung memiliki kadar bioetanol yang lebih rendah dibandingkan sampel yang difermentasi selama 7 hari. Menurut Wulandari dan Utami (2015) penentuan waktu optimum pada sampel fermentasi didasarkan pada fase perkembangan mikroba selama proses fermentasi. Menurunnya kadar bioetanol pada fermentasi selama 10 hari menurut Visca dkk. (2020) disebabkan karena mikroorganisme telah memasuki fase pertumbuhan lambat, hal ini ditandai dengan berkurangnya zat nutrisi dalam medium. Penambahan 1 gram urea dan NPK pada penelitian ini merupakan cara yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Urea dan NPK memiliki fungsi yang sama ketika proses

fermentasi yaitu sebagai nutrisi untuk pertumbuhan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* (Susmanto dkk., 2020). Nilai pH awal pada air limbah pencucian tangki *dissolving* dikondisikan sebesar 3. Hal ini karena menurut Adlhani dkk. (2014) pH optimum mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* berada pada kisaran 3,0 sampai 6,0. Rata-rata nilai pH setelah proses fermentasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar-6. Nilai pH Setelah Proses Fermentasi

Nilai pH menjadi indikator yang penting dalam pembuatan bioetanol, karena nilai pH dapat mempengaruhi perkembangan mikroorganisme. Nilai pH perlu diukur peneliti agar kesesuaian pertumbuhan mikroorganisme ketika memproduksi bioetanol selama fermentasi dapat dianalisis. Selama 4 hari fermentasi terjadi peningkatan pada pH awal. Menurut Fadilah dkk. (2017) terjadinya fase pertumbuhan menyebabkan peningkatan jumlah gugus OH⁻ sehingga dapat meningkatkan pH (basa). Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan pH awal 3 menjadi 4,3 dan pH awal 3 menjadi 4,25. Berdasarkan Gambar 6 terjadi penurunan pH selama proses fermentasi berlangsung. Menurut Oktavia dkk. (2013) selama proses fermentasi terjadi penurunan pH karena terdapat produk hasil samping metabolisme mikroorganisme seperti asetaldehid dan CO₂ sebagai hasil akhir pemecahan asam piruvat yang dikeluarkan ke dalam media.

3.4. Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Kadar Bioetanol

Pemurnian lanjutan kadar bioetanol pada penelitian ini menggunakan metode adsorpsi dengan satu sampel distilat yang memiliki kadar bioetanol tertinggi. Sampel distilat dengan kadar bioetanol tertinggi juga diukur kadarnya menggunakan uji GC-MS. Hasil pengukuran kadar bioetanol menggunakan hidrometer dan GC-MS terdapat pada Tabel 3.

Tabel -3. Hasil Pengujian Kadar Bioetanol dengan Hidrometer dan GC-MS

Nama Sampel	Metode Pengujian	
	Hidrometer (%)	GC-MS (%)
Sampel A	64%	39,8±9,9

Sampel A pada penelitian ini adalah sampel dengan 5 g ragi yang difermentasi selama 7 hari. Hasil pengujian kadar bioetanol menggunakan GC-MS pada sampel adsorpsi terdapat pada Tabel 4.

Tabel -4. Hasil Pengujian Kadar Bioetanol Setelah Proses Adsorpsi Silika Gel

Kadar Awal (%)	Waktu Adsorpsi (menit)	Kadar Akhir (%)	Persentase Kenaikan (%)
39,8±9,9	40	57,7±9,9	17,9
39,8±9,9	60	72,0±1,1	32,2
39,8±9,9	80	69,2±1,1	29,4

Hasil analisis pada Tabel 4 menunjukkan bahwa variasi waktu adsorpsi memberikan pengaruh nyata terhadap kadar akhir bioetanol. waktu adsorpsi selama 60 menit merupakan waktu yang paling optimum untuk memurnikan kadar bioetanol menjadi $72,0 \pm 1,1$ %. Arnata dan Yoga (2015) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa proses adsorpsi selama 24 jam dapat meningkatkan kadar bioetanol menjadi 82,5% lebih tinggi dibandingkan adsorpsi selama 12 jam dan 36 jam. Proses adsorpsi selama 40 menit hanya meningkatkan kadar akhir bioetanol menjadi $57,7 \pm 9,9$ % sedangkan adsorpsi selama 80 menit meningkatkan kadar bioetanol menjadi $69,2 \pm 1,1$ %. Peningkatan kadar akhir bioetanol menunjukkan bahwa silika gel teraktivasi mampu mengadsorb air pada sampel sehingga kadarnya meningkat. Berdasarkan Tabel 4 sampel yang difermentasi selama 80 menit mengalami penurunan kadar. Menurut Irawan dkk. (2015) penurunan kadar akhir bioetanol diakibatkan adanya fase kejenuhan yang terjadi pada silika gel, sehingga semakin lama waktu adsorpsi menyebabkan adsorben tidak mampu mengadsorpsi lagi. Penurunan kadar akhir bioetanol menurut Krismawati (2012) juga disebabkan adanya proses pengadukan yang dapat menyebabkan air mengalami desorpsi sehingga air yang terserap adsorben keluar lagi.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah botol kaca dapat dimanfaatkan sebagai silika gel sebagai adsorben dalam pemurnian bioethanol. Hasil pengujian SEM-EDX menunjukkan bahwa morfologi silika gel teraktivasi berbentuk gumpalan dengan unsur penyusun utama berupa Si dan O masing-masing sebesar 40,94% dan 51,92% dengan luas permukaan spesifik sebesar $231,85 \text{ m}^2/\text{g}$. Kadar bioetanol tertinggi dihasilkan dari sampel yang difermentasi selama 7 hari dengan penambahan 5 g ragi. Berdasarkan uji GC-MS sampel tersebut memiliki kadar sebesar $39,8 \pm 9,9$ % serta mengalami peningkatan kadar menjadi $72,0 \pm 1,1$ % setelah diadsorpsi selama 60 menit dengan adsorben silika gel teraktivasi.

SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya dilakukan variasi massa adsorben agar diperoleh kadar optimum dari bioetanol yang dihasilkan serta pemurnian bioetanol menggunakan silika gel yang disintesis dari sumber limbah padat lainnya seperti abu layang, abu dasar, serta ampas tebu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelli, H.E., Mokrani, L., Kennouche, S., dan de Aguiar, J.B. (2020). Utilization of Waste Glass In The Improvement of Concrete Performance: A Mini Review. *Waste Management & Research*, 38(11):1–10.
- Adlhani, E., Komari, N., dan Abdullah, A. (2014). Pengaruh pH, Kadar Gula, Berat dan Waktu Inkubasi Sel Ragi Imobil Terhadap Efisiensi Fermentasi Limbah Nenas Menjadi Bioetanol. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 1(1): 9–18.
- Aisah, S., Zulfikar, Z., dan Sulistiyo, Y.A. (2018). Sintesis Silika Gel Berbasis *Fly Ash* Batu Bara PLTU Paiton Sebagai Adsorben Zat Warna *Rhodamin B*. *Jurnal Berkala Sainstek*, 6(1): 31–35.
- Alkatiri, D.S.F., Insani, M.A., Marjuki, E.I., dan Fitriyah, N.H. (2017). Pembuatan Gel Silika dari Limbah Kaca dengan Bantuan *Ultrasound Bath* dan *Microwave*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. p- ISSN : 2407 – 1846.
- Arnata, I.W., dan Yoga, I.W.G. S. (2015). Pengaruh Jenis Adsorben dan Waktu Perendaman pada Proses Pemurnian Bioetanol. Prosiding Seminar Nasional PERTETA, 1-11.
- Bendou, S., dan Amrani, M. (2014). Effect of Hydrochloric Acid on the Structural of Sodic-Bentonite Clay. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2(5): 404–413.
- Fadilah, U., Wijaya, I.M.M., dan Antara, N.S. (2017). Studi Pengaruh pH Awal Media dan Lama Fermentasi pada Proses Produksi Etanol dari Hidrolisat Tepung Biji Nangka dengan Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 6(2): 92–102.
- Febriana, I., Sofiah, S., dan Indah, P. (2018). Pengaruh Temperatur Inkubasi dan Jenis Ragi dalam Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Pisang (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Kinetika*, 9 (1): 1–6.
- Irawan, C., Dahlan, B., dan Retno, N. (2015). Pengaruh Massa Adsorben, Lama Kontak dan Aktivasi Adsorben Menggunakan HCl Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat (Fe) dengan Menggunakan Abu Layang Sebagai Adsorben. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 3(2): 107–116.
- Kang, A., dan Lee, T. S. (2015). Converting Sugars to Biofuels : Ethanol and Beyond. *Bioengineering Journal*, 2(4): 184–203.

- Krismawati, N. (2012). Optimasi Konsentrasi Adsorben dan Waktu Adsorpsi Menggunakan Silika Gel dan Zeolit Sintetis 3Å Terhadap Kadar Bioetanol Sorgum (*Sorghum bicolor L.*). Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Kurniawan, D. (2016). Pemanfaatan Media Bambu sebagai Adsorben Penyerap Logam Timbal (Pb) dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi dengan Asam Sitrat. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Menad, K., Feddag, A., dan Rubenis, K. (2016). Synthesis and Study of Calcination Temperature Influence on The Change of Structural Properties of The LTA Zeolite. *Rasayan Journal Chemical*, 9(4): 788–797.
- Oktavia, H.T., Sumiyati, S., dan Sutrisno, E. (2013). Pemanfaatan Limbah Air Cucian Beras Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Padat Secara Fermentasi Oleh *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1): 1–8.
- Oktaviani, S., Chairul, C., dan Yenti, S.R. (2017). Pemurnian Bioetanol Hasil Fermentasi Nira Nipah Menggunakan Proses Destilasi-Adsorpsi Menggunakan Adsorben Silika Gel. *Jom FTEKNIK*, 4(2): 1–7.
- Owoeye, S.S., Jegede, F.I., dan Borisade, S.G. (2020). Preparation and Characterization of Nano-Sized Silica Xerogel Particles Using Sodium Silicate Solution Extracted from Waste Container Glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 248: 122915.
- Pakpahan, I.R. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Silika Mesopori dari Limbah Kaca Bening. Skripsi. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Ramadani, K. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Kaca untuk Menurunkan Kesadahan Air. *Jurnal Saintifik*, 4 (2) : 179–185.
- Ramadhani, I., Oktavia, B., Putra, A., dan Sanjaya, H. (2021). Penentuan Kondisi Optimum Pembentukan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) Menggunakan Material Dasar Silika Alam dan Natrium Hidroksida (NaOH). *Chemistry Journal of State University of Padang*, 10(2): 22–27.
- Roni, K.A., Kartika, D., Apriyadi, H., dan Herawati, N. (2019). The Effect of Type and Concentration Yeast with Fermentation Time and Liquifaction Variations on the Bioethanol Concentration Resulted by Sorgum Seeds with Hydrolysis and Fermentation Processes. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 16, 5228–5232.
- Saputra., R.M., Rudiyansyah, R., dan Wahyuni, N. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Kaca Termodifikasi Asam Stearat. *Kimia Khatulistiwa*, 3(3): 36–42.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59 : 2008. Air dan Air Limbah – Bagian 59, Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7390 : 2012. Bioetanol Terdenaturasi untuk Gasohol.
- Sudjarwo, W.A.A., dan Bee, M.F.F. (2017). Synthesis of Silica Gel from Waste Glass Bottles and Its Application for the Reduction of Free Fatty Acid (FFA) on Waste Cooking Oil. Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application Fakultas Teknik-Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1–6.
- Susanti, S., Widiarti, N., dan Prasetya, A.T. (2017). Sintesis Silika Gel Teraktivasi dari Pasir Kuarsa untuk Menurunkan Kadar Ion Cu^{2+} dalam Air. *Jurnal MIPA*, 40(1): 39–42.
- Susmanto, P., Yandriani., Dania, B., dan Ellen, E. (2020). Pengaruh Jenis dan Waktu Terhadap Efisiensi Substrat dan Kinetika Reaksi Fermentasi dalam Produksi Bioetanol Berbahan Baku Biji Durian. *Jurnal Integrasi Proses*, 9(2): 1–8.
- Visca, R., Dewi, M.N., Sinaga, M., dan Nurcahyati, S. (2020). Optimasi Dosis Enzim Glukoamilase dan Waktu Fermentasi dalam Produksi Bioetanol dari Air Cucian Beras. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 7(3): 101–107.
- Wulandari, R.R.A., dan Utami, B. (2015). Pembuatan Bioetanol dari Air Kelapa Tua Menggunakan Proses Fermentasi. Prosiding Seminar Nasional Kimia FMIPA Universitas Yogyakarta, 147–152.
- Yuniarti, Dewi, P., Hatina, S., dan Efrinalia, W. (2018). Pengaruh Jumlah Ragi dan Waktu Fermentasi pada Pembuatan Bioetanol dengan Bahan Baku Ampas Tebu. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(2): 1–12.