



ADSORPSI *FREE FATTY ACID* PADA ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI NaOH

Oleh

Zhilal Shadiq^{1*}, Rosita Dwityaningsih², Ilma Fadlilah

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Cilacap

e-mail : ^{1*}zhilalshadiq@pnc.ac.id, ²rosita.dwityaningsih@pnc.ac.id, ³ilma.fadlilah@pnc.ac.id

Abstrak

Salah satu hasil alam Indonesia yang memiliki nilai produksi dan ekspor yang besar adalah kelapa sawit dengan hasil olahannya berupa minyak sawit mentah (CPO) yang mengandung nutrisi makro dan mikro dengan nilai yang cukup tinggi, sehingga banyak digunakan dalam industri farmasi dan pangan. Keberadaan komponen-komponen yang tidak diinginkan seperti asam lemak bebas (FFA) dapat menyebabkan ketengikan dan menimbulkan aroma yang tidak menyenangkan, sehingga mengakibatkan turunnya kualitas dari CPO tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang cukup efektif dan bernilai ekonomis untuk menurunkan kadar FFA pada CPO demi menjaga dan meningkatkan kualitasnya. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan cara adsorpsi menggunakan zeolit alam teraktivasi NaOH sebagai adsorben. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dari ukuran zeolit alam teraktivasi dan suhu proses adsorpsi terhadap nilai *removal* FFA dari CPO. Adsorpsi dilakukan secara batch dengan menggunakan adsorben zeolit seberat 25% (b/b) campuran. Zeolit yang digunakan berukuran 150 μm dan 200 μm , dan proses adsorpsi dilakukan pada variasi suhu 25 $^{\circ}\text{C}$, 50 $^{\circ}\text{C}$, dan 70 $^{\circ}\text{C}$. Kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi FFA ditentukan dengan menguji nilai FFA yang tersisa dalam CPO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi FFA oleh zeolit meningkat dengan semakin kecilnya ukuran zeolit dan semakin tingginya suhu pada proses adsorpsi, sehingga nilai *removal* FFA tertinggi diperoleh dari adsorpsi menggunakan zeolit alam teraktivasi berukuran 150 μm pada suhu 70 $^{\circ}\text{C}$ yaitu 57,8%.

Kata Kunci: Adsorpsi, Aktivasi, Asam Lemak Bebas, NaOH, Zeolit Alam

PENDAHULUAN

Salah satu hasil produksi kelapa sawit yang menjadi komoditas ekspor Indonesia adalah minyak sawit mentah atau Crude Palm Oil (CPO). Pada tahun 2021, Indonesia menjadi negara penyumbang ekspor terbesar CPO dengan nilai ekspor sebesar USD 26 miliar atau 56% dari total nilai penjualan ekspor CPO dunia [1], sehingga hasil produksi kelapa sawit Indonesia yang berupa CPO memiliki potensi besar untuk menjadi sumber devisa negara.

Crude Palm Oil (CPO) merupakan minyak yang diperoleh sebagai hasil dari proses ekstraksi serabut buah kelapa sawit. Secara alami CPO berwarna kemerahan karena

mengandung beta-karoten yang tinggi. Selain itu, CPO juga banyak mengandung nutrisi makro dan mikro yang bermanfaat untuk kesehatan manusia antara lain, vitamin E, lycopene, lutein, sterol, asam lemak, serta ubiquinone sehingga CPO banyak digunakan di dalam industri pangan, farmasi, serta industri-industri kimia lainnya [2]. Sebanyak 90% dari total kebutuhan CPO digunakan sebagai bahan pangan seperti minyak goreng, margarin, shortening, serta memenuhi kebutuhan industri roti, cokelat, es krim, biskuit, dan makanan ringan [3].



Sumberdaya CPO yang dihasilkan melalui proses ekstraksi serabut buah kelapa sawit secara komersial pada umumnya masih mengandung komponen-komponen pengotor yang tidak diinginkan seperti asam lemak bebas, kandungan air, logam, produk oksidasi, serta komponen-komponen lain yang memiliki aroma yang kuat. Keberadaan komponen pengotor pada CPO membuatnya tidak baik untuk langsung dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan, khususnya di bidang pangan [4][5]. Kualitas CPO ditentukan oleh beberapa parameter antara lain, kandungan asam lemak bebas, kandungan air, kadar pengotor, serta bilangan yodium atau peroksida.

Asam Lemak Bebas (FFA) merupakan asam yang dihasilkan dari hidrolisis lemak terkatalisis enzim lipase yang terkandung dalam buah karena pecahnya dinding sel buah, atau karena keberadaan mikroorganisme pada keadaan lembab, sehingga enzim dapat bersinggungan dengan minyak dan mendorong reaksi hidrolisis antara trigliserida dengan air membentuk gliserol dan asam lemak bebas [6].

Pemerintah melalui Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah menetapkan standar mutu CPO khususnya untuk kadar FFA maksimum yang ditinjau berdasarkan kandungan asam palmitat adalah 0,5 % sedangkan hasil uji mutu 205 sampel produk CPO Indonesia menunjukkan bahwa kadar FFA rata-rata yang terkandung dalam produk CPO Indonesia bernilai 3,94% [7]. Oleh karena itu, penelitian untuk meningkatkan atau menjaga kualitas CPO dalam hal penurunan nilai kandungan FFA menjadi penting untuk dilakukan agar mendapatkan CPO yang memenuhi standar mutu.

Beberapa peneliti telah mempelajari tentang penurunan nilai FFA dengan metode adsorpsi, antara lain oleh Irawan *et al.* (2013) [8] yang mempelajari pengaruh berat adsorben pada adsorpsi FFA dalam minyak goreng bekas menggunakan arang campuran serabut kelapa dan sekam padi teraktivasi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa keberadaan situs aktif

pada struktur adsorben yang dapat berinteraksi dengan FFA dari minyak mempengaruhi keefektifan proses adsorpsi FFA tersebut, sehingga jumlah adsorben yang digunakan berbanding lurus dengan nilai penurunan kandungan FFA dari minyak. Selain itu, Rahayu dan Purnavita (2014) [9] mempelajari pengaruh suhu pada proses adsorpsi FFA dari minyak goreng bekas menggunakan ampas pati aren dan bentonit. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semakin tingginya suhu yang digunakan pada proses adsorpsi membuat energi kinetik yang menyebabkan terjadinya tumbukan antar molekul menjadi semakin besar, sehingga efektivitas adsorpsi yang ditunjukkan melalui kapasitas adsorpsi FFA oleh adsorben menunjukkan nilai yang cenderung meningkat. Chavan *et al.* (2021) [10] mengadsorpsi FFA yang terkandung dalam limbah minyak nabati menggunakan resin penukar ion yang memiliki gugus amino dalam strukturnya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa keefektifan adsorpsi dikendalikan oleh interaksi yang merupakan ikatan hidrogen antara pasangan elektron dari gugus amin pada struktur resin dengan hidrogen dari asam lemak. Sehingga semakin banyak jumlah gugus pada struktur adsorben yang memungkinkan terjadinya interaksi ikatan hidrogen antara adsorben dengan asam lemak, maka nilai asam lemak yang teradsorp akan semakin besar.

Bahan alam lain yang memiliki potensi untuk dijadikan adsorben pada proses adsorpsi FFA dari minyak nabati adalah zeolit alam yang merupakan padatan yang terbentuk melalui beragam perubahan pada batuan beku di alam karena terjadinya proses fisika dan kimia yang kompleks seperti proses alami pada gunung berapi dengan produk yang membeku menjadi batuan vulkanik, sedimen, dan metamorf, kemudian mengalami pelapukan (*weathering*) oleh perubahan suhu. Selain itu, zeolit juga terbentuk dari endapan debu-debu gunung berapi di dasar perairan yang mengalami beragam perubahan membentuk berbagai sedimen-sedimen [11]. Mineral zeolit memiliki

banyak keunikan karena ditunjang oleh sifat fisika dan kimianya, antara lain:

a) Sifat dehidrasi

Zeolit dapat melepaskan molekul air pada strukturnya jika dipanaskan, sehingga struktur zeolit dapat menyusut tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan.

b) Sifat adsorben dan penyaring molekul

Struktur zeolit yang berongga mampu menyerap sejumlah besar molekul dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran rongganya sehingga zeolit dapat berperan sebagai adsorben selektif dengan efektivitas adsorpsi yang tinggi.

c) Sifat katalis

Keberadaan situs aktif yang berupa gugus asam Bronsted atau Lewis di saluran rongga zeolit menyebabkan kemampuan zeolit sebagai katalis reaksi.

d) Sifat penukar ion

Keberadaan kation logam alkali atau alkali tanah yang dapat bergerak bebas dalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation lain dari luar menyebabkan zeolit dapat berperan sebagai agen penukar ion.

Zeolit telah digunakan secara luas dalam bidang industri maupun pertanian. Penggunaan zeolit dalam bidang pertanian diantaranya sebagai suplemen pakan ternak dan perbaikan (*improvers*) tanah, sedangkan dalam bidang industri dan lingkungan digunakan sebagai agen penukar ion, adsorben, katalis, dan penjernih air tercemar. Kemampuan adsorpsi zeolit yang bernilai baik dikarenakan zeolit memiliki pori dengan kriteria yang spesifik membuatnya mampu memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi Van der Waals, interaksi elektrostatis, dan ikatan hidrogen dengan adsorbat [12].

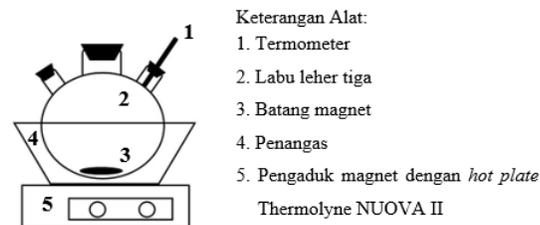
METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan kimia kualitas pro

analysis produksi Merk, yaitu NaOH dan indikator PP. Etanol 96% dan asam oleat diperoleh dari CV. Bratachem. Zeolit alam diperoleh dari Klaten, Jawa Tengah. *Crude Palm Oil* (CPO) diperoleh dari PT. Sawit Raiu Makmur, Rokan Hilir, Riau.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, buret 50 mL, piknometer 10 mL, pendingin balik, saringan 70 dan 100 mesh, furnace, shaker, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA), dan seperangkat alat utama yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat adsorpsi sistem Batch

Prosedur Penelitian

Kerikil zeolit alam direndam sambil diaduk dalam akuades selama 24 jam untuk membersihkan pengotor-pengotor yang mengontaminasi zeolit saat proses penyimpanan. Setelah itu zeolit dan air dipisahkan, kemudian zeolit dikeringkan dalam oven bersuhu 100 °C. Zeolit yang sudah kering diayak dengan menggunakan mesin ayakan dan saringan hingga mendapatkan zeolit dengan berukuran 70 mesh (200 µm) dan 100 mesh (150 µm). Zeolit diaktivasi dengan cara direndam ke dalam larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 0,25 M; 0,5 M; 0,75 M; 1 M; dan 1,25 M selama 24 jam sambil diaduk pada suhu ruang. Zeolit alam yang telah diaktivasi kemudian dicuci dengan akuades hingga filtrat bersifat netral (pH 7). Selanjutnya, zeolit dipanaskan dengan furnace pada suhu 400 °C selama 3 jam.

Zeolit alam berukuran 150 µm yang telah teraktivasi dengan berbagai variasi konsentrasi



NaOH dimasukkan ke dalam botol vial bersama CPO dengan berat zeolit sebesar 25% dari berat total campuran. Setelah itu, proses adsorpsi dilakukan menggunakan alat shaker selama 24 jam pada suhu ruang. Kadar FFA sisa dari masing-masing sampel CPO yang digunakan dianalisis untuk menentukan konsentrasi optimum NaOH yang digunakan untuk aktivasi zeolit. Zeolit alam tanpa aktivasi dan zeolit yang teraktivasi dengan konsentrasi NaOH optimum dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SAA.

Zeolit yang telah teraktivasi NaOH dengan konsentrasi optimum dimasukkan ke dalam botol vial bersama CPO dengan berat zeolit sebesar 25% dari berat total campuran. Setelah itu, proses adsorpsi dilakukan menggunakan alat shaker selama 24 jam pada variasi suhu yaitu, 25 °C, 50 °C, dan 70 °C. Kadar FFA sisa dari masing-masing sampel CPO dianalisis untuk menentukan pengaruh suhu pada proses adsorpsi terhadap nilai *removal* FFA.

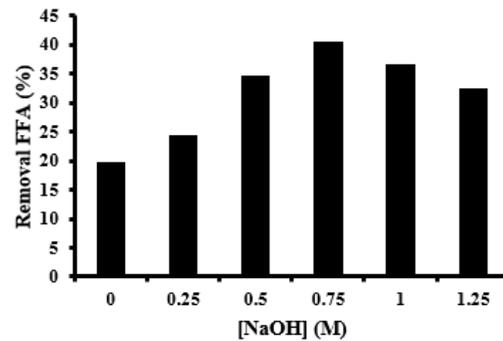
Zeolit alam berukuran 70 mesh (200 µm) dan 100 mesh (150 µm) yang telah teraktivasi NaOH dengan konsentrasi optimum dimasukkan ke dalam botol vial bersama CPO dengan berat zeolit sebesar 25% dari berat total campuran. Setelah itu, proses adsorpsi dilakukan menggunakan alat shaker selama 24 jam. Kadar FFA sisa dari masing-masing sampel CPO dianalisis untuk menentukan pengaruh ukuran zeolit terhadap nilai *removal* FFA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan konsentrasi NaOH optimum pada aktivasi zeolit alam

Perlakuan aktivasi zeolit menggunakan larutan NaOH dengan berbagai konsentrasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH yang digunakan untuk aktivasi zeolit pada kemampuannya dalam adsorpsi asam lemak bebas (FFA) dari Crude Palm Oil (CPO). Penentuan konsentrasi NaOH optimum untuk aktivasi zeolit alam

dilakukan dengan menggunakan zeolit berukuran tetap yaitu 150 µm, berat zeolit yang digunakan pada proses adsorpsi adalah 25% dari berat total campuran, dan dilakukan pada suhu ruang (25 °C) selama 24 jam. Hubungan antara konsentrasi NaOH yang digunakan untuk aktivasi zeolit dengan kemampuannya dalam mengadsorpsi FFA yang diinterpretasikan dengan nilai *removal* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Kemampuan adsorpsi zeolit alam teraktivasi NaOH dengan berbagai konsentrasi

Nilai *removal* FFA yang dapat dicapai dengan menggunakan zeolit tanpa aktivasi, serta zeolit teraktivasi NaOH 0,25 M, 0,5 M, 0,75 M, 1 M, dan 1,25 M secara berturut-turut adalah 9,73 %, 24,32 %, 34,69 %, 40,45 %, 36,69 %, dan 32,54 %. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa kemampuan zeolit untuk mengadsorpsi FFA menjadi meningkat setelah diberikan perlakuan aktivasi menggunakan larutan NaOH. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan aktivasi zeolit dengan NaOH menyebabkan terjadinya pelarutan komponen-komponen pengotor anorganik seperti SiO₂ yang terkandung secara alami dan menutupi pori-pori zeolit, sehingga pori zeolit menjadi lebih terbuka dan luas bidang kontak atau luas permukaan zeolit menjadi lebih besar [13]. Selain itu, perlakuan aktivasi zeolit menggunakan NaOH juga dapat menyebabkan permukaan zeolit yang cenderung bersifat elektronegatif sehingga terdapat semakin banyak kation penyeimbang di permukaan zeolit, serta menyebabkan munculnya gugus

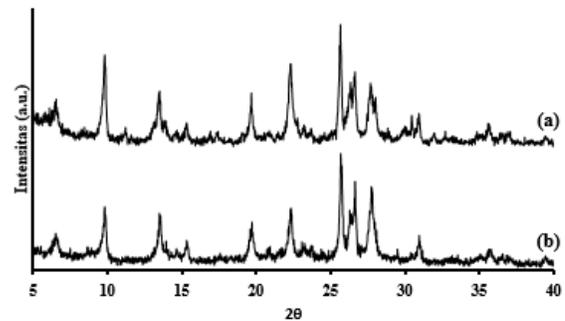
hidroksil yang merupakan hasil dari perombakan ikatan Si-O-Si atau Si-O-Al di permukaan zeolit [14]. Keberadaan kation penyeimbang dan gugus hidroksil pada struktur zeolit tersebut menyebabkan afinitas zeolit terhadap gugus karboksil dari FFA menjadi lebih tinggi.

Kemampuan adsorpsi FFA oleh zeolit yang ditunjukkan melalui nilai *removal* FFA menunjukkan angka yang terus meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi larutan NaOH yang digunakan, tetapi mengalami penurunan pada zeolit teraktivasi NaOH dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari 0,75 M. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan aktivasi zeolit dengan konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi tidak hanya merombak ikatan Si-O-Si atau Si-O-Al menjadi Si-OH dan Al-OH pada struktur kerangka zeolit di bagian luar tetapi dapat juga merombak ikatan-ikatan tersebut pada struktur kerangka zeolit di bagian dalam untuk membentuk silikat dan aluminat yang melarut dalam larutan basa, sehingga terjadi pengurangan drastis komponen penyusun kerangka yang memicu kerusakan atau deformasi struktur kerangka zeolit tersebut. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Kurniasari *et al.* (2011) [15] yang menunjukkan bahwa daya adsorpsi air pada alat pengering bersuhu rendah oleh zeolit alam semakin menurun untuk zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH berkonsentrasi lebih dari 1 M.

Karakterisasi zeolit

a. Karakterisasi zeolit dengan X-ray Diffraction (XRD)

Pola difraksi Zeolit Alam (ZA), Zeolit Alam Teraktivasi (ZAA) ditunjukkan oleh Gambar 3.



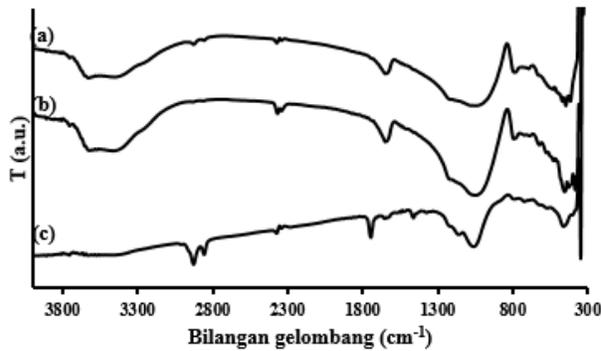
Gambar 3. Pola difraksi ZA (a), dan ZAA (b)

Pada pola difraksi zeolit alam Klaten (ZA) yang digunakan, terlihat serapan kuat pada sudut difraksi 6,51; 9,77; 13,45; 19,61; 25,63; 26,25; 27,67; 27,87; dan 30,89 mengindikasikan mineral mordenit. Serapan kuat pada sudut difraksi 26,65 mengindikasikan mineral kuarsa. Serapan pada sudut difraksi 26,91; 27,36; 22,36; 30,30; dan 32,01 mengindikasikan keberadaan mineral klinoptilolit. Dari pola difraksi tersebut dapat diketahui bahwa jenis mineral dominan penyusun zeolit alam Klaten yang digunakan adalah mineral mordenit.

Dari pola difraksi ZAA, dapat terlihat bahwa serapan pada sudut difraksi 26,91; 27,36; 30,30; dan 32,01 yang merupakan identitas mineral klinoptilolit pada ZA menghilang setelah perlakuan aktivasi menggunakan NaOH. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan aktivasi zeolit alam menggunakan NaOH memungkinkan terjadinya pertukaran ion-ion alkali maupun alkali tanah penyeimbang seperti K^+ , Mg^+ , dan Ca^{2+} yang terkandung secara alami pada struktur zeolit dengan kation Na^+ dari NaOH, sehingga zeolit mendekati kondisi homoionik [20], dan mengurangi jumlah struktur mineral yang teridentifikasi sebagai klinoptilolit.

b. Karakterisasi zeolit dengan FTIR

Spektra FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4 merupakan spektra dari Zeolit Alam (ZA), Zeolit Alam Teraktivasi (ZAA), dan ZAA setelah adsorpsi FFA.



Gambar 4. Spektra FTIR ZA (a), ZAA (b), dan ZAA setelah adsorpsi FFA (c)

Berdasarkan spektra inframerah ZA yang digunakan, terlihat tujuh puncak serapan dominan yang menginterpretasikan ikatan-ikatan kovalen dari gugus-gugus fungsi penyusun kerangka zeolit tersebut. Karakteristik serapan IR dari ZA ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik serapan IR dari ZA

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Karakteristik serapan
3626,17 dan 3448,72	Vibrasi ulur O-H dan T-O-H
1651,07	Vibrasi tekuk H-O-H
1219,01 dan 1056,99	Vibrasi ulur asimetris TO ₄
779,24 dan 694,37	Vibrasi ulur simetris TO ₄
470,63; 447,49; dan 416,62	Vibrasi tekuk O-T-O

Serapan pada bilangan gelombang 3626,17 cm⁻¹ dan 3448,72 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi ulur T-OH dengan T adalah Si atau Al yang berinteraksi melalui ikatan hidrogen, dan vibrasi ulur O-H dari air, selain itu serapan pada bilangan gelombang sekitar 1651,07 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi tekuk H-O-H dari air yang terjebak pada kerangka zeolit. Serapan pada bilangan gelombang 1219,01 dan 1056,99 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi ulur asimetris dari struktur TO₄ internal dan eksternal. Serapan pada bilangan gelombang 779,24 dan 694,37 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi ulur simetris TO₄ internal dan eksternal. Serapan pada bilangan gelombang 470,63 cm⁻¹, 447,49 cm⁻¹, dan 416,62 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi

tekuk O-T-O dari gugus-gugus silanol (Si-OH) dan aluminol (Al-OH) pada struktur eksternal kerangka internal zeolit, serta pengotor-pengotor yang terkandung secara alami dan berada di permukaan zeolit alam seperti SiO₂.

Tabel 2. Karakteristik serapan IR dari ZAA

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Karakteristik serapan
2337,72	Vibrasi ulur T-O
385,76	Vibrasi pori terbuka

Aktivasi zeolit alam dengan larutan NaOH menghasilkan perubahan struktur pada kerangka zeolit alam tersebut. Hal ini ditandai dengan munculnya puncak-puncak serapan baru seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, serta terjadi pergeseran puncak-puncak dari bilangan gelombang 3626,17 cm⁻¹ bergeser ke 3649,32 cm⁻¹, dari 3448,72 cm⁻¹ bergeser ke 3464,15 cm⁻¹, dari 1056,99 cm⁻¹ bergeser ke 1049,28 cm⁻¹, dari 779,24 cm⁻¹ bergeser ke 794,67 cm⁻¹, dari 694,37 cm⁻¹ bergeser ke 686,66 cm⁻¹, dari 470,83 cm⁻¹ bergeser ke 455,20 cm⁻¹, dan dari 447,49 cm⁻¹ bergeser ke 432,05 cm⁻¹. Puncak serapan pada bilangan gelombang 1651,07 cm⁻¹ tidak mengalami perubahan dari zeolit alam tanpa aktivasi dan zeolit alam teraktivasi NaOH.

Pergeseran-pergeseran puncak serapan dari zeolit alam setelah diaktivasi dengan NaOH mengindikasikan terjadinya perombakan gugus Si-OH dan Al-OH membentuk silikat dan aluminat, serta perombakan Si-O-Si dan Si-O-Al menjadi kelompok silanol dan aluminol. Penjelasan ini didukung oleh menguatnya serapan pada bilangan gelombang sekitar 2337,72 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur T-O kerangka tetrahedral zeolit yang cenderung bermuatan negatif, serta hilangnya puncak serapan pada bilangan gelombang 1219,01 cm⁻¹ dan 416,62 cm⁻¹.

Puncak serapan yang muncul pada bilangan gelombang 385,76 cm⁻¹ merupakan serapan vibrasi pori terbuka jalinan eksternal kerangka zeolit. Kemunculan puncak serapan ini dikarenakan perlakuan aktivasi zeolit



dengan menggunakan larutan NaOH dapat melarutkan pengotor anorganik seperti SiO₂ yang terkandung secara alami dan menutupi pori-pori zeolit [13], dan perlakuan pemanasan zeolit teraktivasi NaOH pada suhu 400 °C menyebabkan pengurangan pengotor organik yang ditunjukkan dengan melemahnya serapan di sekitar bilangan gelombang 2931,8 cm⁻¹ dan 2862,36 cm⁻¹ sehingga luas permukaan zeolit menjadi lebih besar. Hal ini didukung oleh data nilai rasio Si/Al serta data nilai luas permukaan dari ZA dan ZAA yang ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Rasio Si/Al dan luas permukaan ZA dan ZAA

Zeolit	Rasio Si/Al	Luas Permukaan (m ² /g)
ZA	7,59	30,270
ZAA	6,78	60,323

Berdasarkan interpretasi spektra inframerah, dapat diketahui bahwa peningkatan jumlah situs bermuatan dan gugus-gugus hidroksil, serta luas permukaan zeolit yang semakin besar akibat dari perlakuan aktivasi zeolit menggunakan larutan basa dapat menjadi sisi aktif zeolit untuk berinteraksi dengan asam lemak bebas (FFA) pada proses adsorpsi.

Tabel 4. Karakteristik serapan IR ZAA setelah adsorpsi FFA

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Karakteristik serapan
2924,09 dan 2854,65	Vibrasi ulur CH ₂
1743,65	Vibrasi ulur C=O

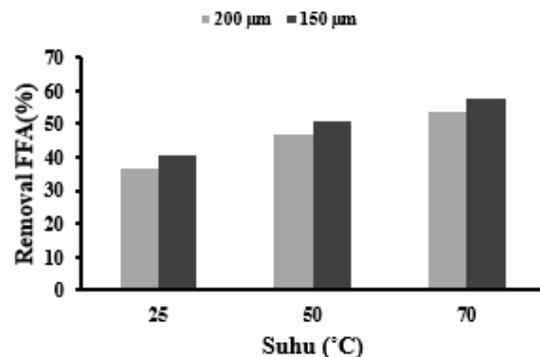
Zeolit alam teraktivasi (ZAA) yang telah digunakan untuk adsorpsi FFA memiliki spektra inframerah dengan kemunculan puncak serapan kuat pada bilangan gelombang seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4. Serapan kuat pada bilangan gelombang 2924,09 cm⁻¹ dan 2854,65 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi ulur ikatan -CH₂- dari rantai hidrokarbon pada molekul asam lemak yang teradsorp. Selain itu, kemunculan serapan kuat pada bilangan gelombang 1743,65 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi ulur ikatan C=O dari gugus karboksil

pada molekul asam lemak yang dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil atau kation penyeimbang pada zeolit melalui ikatan hidrogen atau interaksi elektrostatik, sehingga asam lemak dapat teradsorp di permukaan zeolit yang digunakan.

Serapan melebar pada bilangan gelombang sekitar 3417,86 cm⁻¹ terjadi karena ZAA cenderung bersifat lebih polar sehingga mudah berinteraksi dengan air yang terkandung pada CPO. Oleh karena itu, serapan melebar di sekitar bilangan gelombang 3417,86 cm⁻¹ terjadi karena adanya vibrasi ulur ikatan O-H dari air dan gugus karboksil asam lemak yang teradsorp.

Pengaruh ukuran ZAA dan suhu proses adsorpsi terhadap nilai *removal* FFA

Profil peningkatan kemampuan adsorpsi FFA oleh ZAA berukuran 200 µm dan 150 µm yang diinterpretasikan melalui nilai *removal* FFA pada berbagai variasi suhu ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan nilai *removal* FFA oleh zeolit berukuran 200 µm dan 150 µm pada berbagai suhu

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai *removal* FFA tertinggi yang diperoleh dari proses adsorpsi menggunakan zeolit berukuran besar (200 µm) pada suhu 25 °C, 50 °C, dan 70 °C secara berturut-turut adalah 36,32 %, 46,52 %, dan 53,86 %. Sedangkan nilai *removal* FFA tertinggi yang diperoleh dari proses adsorpsi menggunakan zeolit berukuran kecil (150 µm) pada suhu 25 °C, 50 °C, dan 70 °C secara



berturut-turut adalah 40,41 %, 51,02 %, dan 57,79 %.

Berdasarkan data nilai *removal* FFA tersebut dapat diketahui bahwa adsorpsi yang dijalankan dengan menggunakan zeolit dengan ukuran yang lebih kecil menunjukkan nilai *removal* FFA yang lebih baik daripada adsorpsi yang dijalankan dengan menggunakan zeolit berukuran besar. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan ukuran butir zeolit menyebabkan efektivitas proses aktivasi saat perendaman dengan larutan NaOH menjadi berbeda. Larutan NaOH berdifusi lebih cepat ke dalam pori-pori zeolit yang berukuran lebih kecil, sehingga untuk durasi waktu aktivasi yang sama, reaksi kimia yang terjadi di permukaan maupun di dalam pori zeolit untuk mengeliminasi pengotor dan memunculkan gugus-gugus yang dapat menjadi situs interaksi zeolit dengan FFA cenderung terjadi lebih efektif pada zeolit dengan ukuran yang lebih kecil.

Adsorpsi yang dijalankan dengan menggunakan zeolit berukuran 200 μm dan 150 μm menunjukkan angka *removal* FFA tertinggi dengan nilai yang tidak berbeda jauh, yaitu sekitar 5% untuk tiap adsorpsi yang dijalankan pada suhu yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan ukuran zeolit dengan selisih sekitar 50 μm tidak membuat perbedaan efektivitas proses aktivasi zeolit yang signifikan, sehingga kemampuan kedua zeolit tersebut untuk adsorpsi FFA yang ditunjukkan oleh nilai *removal* FFA tidak menunjukkan perbedaan yang besar.

Removal FFA oleh masing-masing zeolit yang digunakan menunjukkan nilai yang berbanding lurus dengan suhu pada proses adsorpsi, yakni nilai *removal* FFA menjadi semakin besar dengan semakin tingginya suhu pada proses adsorpsi. Hal ini dapat terjadi karena kenaikan suhu dapat mengubah viskositas atau kekentalan CPO, yakni dengan semakin tinggi suhu maka kekentalan CPO akan menurun atau CPO menjadi semakin encer. Semakin rendahnya tingkat kekentalan

CPO pada proses adsorpsi menyebabkan adsorben zeolit yang digunakan menjadi lebih mudah terdispersi merata di dalam campuran pada proses batch saat pengadukan dilakukan, sehingga kontak antara adsorbat yang berupa FFA dengan zeolit menjadi semakin efektif pada suhu yang tinggi. Oleh karena itu, walaupun interaksi antara zeolit dengan FFA yang melalui interaksi elektrostatik dan ikatan hidrogen tergolong ke dalam jenis interaksi pada adsorpsi fisik, tetapi nilai *removal* FFA cenderung mengalami peningkatan dengan semakin tingginya suhu pada proses adsorpsi. Hal ini mirip dengan penelitian Ilgen dan Dulger (2016) [16] yang menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi FFA dari minyak bunga matahari pada zeolit 13X mengalami peningkatan dengan semakin tingginya suhu proses adsorpsi dan ΔH yang diperoleh menunjukkan nilai positif.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan aktivasi menyebabkan peningkatan luas permukaan pada zeolit alam serta selektivitasnya terhadap molekul dengan gugus polar seperti asam lemak, sehingga nilai kapasitas adsorpsi FFA oleh zeolit teraktivasi (ZAA) menjadi lebih besar
2. Nilai *removal* FFA meningkat dengan semakin kecil ukuran zeolit yang digunakan, dan semakin tinggi suhu pada proses adsorpsi. Sehingga, nilai *removal* FFA tertinggi diperoleh dari zeolit alam teraktivasi NaOH 0,75 M (ZAA) berukuran 150 μm pada suhu adsorpsi 70 °C yaitu 57,79 %
3. Perlakuan aktivasi menyebabkan peningkatan afinitas zeolit alam terhadap FFA, sehingga laju adsorpsi FFA menggunakan zeolit alam teraktivasi (ZAA) menjadi lebih cepat

DAFTAR PUSTAKA



- [1] Riwaldi S, Kartika I, Wijayanti E, Kusnaman D. Analisis Daya Saing Ekspor CPO Indonesia Di Pasar Internasional. 2023;7:1244–57. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2023.007.04.5>.
- [2] Boonie, TY dan Choo, YM. Valuable Minor Constituents of Commercial Red Palm Olein: Carotenoids, Vitamin E, Ubiquinones and Sterols. *J. Oil Palm Res.*, 2000;12:14-24.
- [3] Ayustaningwarno, F. Proses Pengolahan Dan Aplikasi Minyak Sawit Merah Pada Industri Pangan. *Jurnal Vitasphere*. 2012;2:1-11.
- [4] Shahidi, F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Memorial University of Newfoundland. 2005;6.
- [5] Veronika N, Jumadi Sihotang A. Pengaruh Konsentrasi Bleaching Earth Pada Proses Pembuatan Minyak Goreng Sawit (Palm Olein). 2023;6.
- [6] Mangoensoekarjo, S dan Semangun, H. Manajemen Agrobisnis Kelapa Sawit, UGM Press, Yogyakarta. 2003.
- [7] Hasibuan HA. The Study of Quality and Characteristic on Indonesian Palm Oil and Its Fractionation Products. 2011.
- [8] Irawan C, Awalia TN, W.P.H SU. Pengurangan Kadar Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*) Dan Warna Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Campuran Serabut Kelapa Dan Sekam Padi. *Konversi*. 2013;2:28. <https://doi.org/10.20527/k.v2i2.82>.
- [9] Rahayu LH, Purnavita S, Kimia A, Santo I, Semarang P, Sriwijaya J. Pengaruh Suhu Dan Waktu Adsorpsi Terhadap Sifat Kimia-Fisika Minyak Goreng Bekas Hasil Pemurnian Menggunakan Adsorben Ampas Pati Aren Dan Bentonit. *Momentum*. 2014;10:35–41.
- [10] Khedkar MA, Satpute SR, Bankar SB, Chavan P V. Adsorptive Removal of Unsaturated Fatty Acids Using Ion Exchange Resins. *J Chem Eng Data*. 2021;66:308–21. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.0c00700>.
- [11] Margeta K, Zabukovec N, Siljeg M, Farkas A. Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. Water Treatment, *InTech*. 2013. <https://doi.org/10.5772/50738>.
- [12] Masduqi A. Penurunan Kadar Besi Oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu. *Jurnal Purifikasi*. 2004;5:169-174
- [13] Zhu G, Tan W, Sun J, Gong Y, Zhang S, Zhang Z, et al. Effects and mechanism research of the desilication pretreatment for high-aluminum fly ash. *Energy and Fuels*. 2013;27:6948–54. <https://doi.org/10.1021/ef4012005>.
- [14] Jozefaciuk G, Bowanko G. Effect of acid and alkali treatments on surface areas and adsorption energies of selected minerals. *Clays Clay Miner*. 2002;50:771–83. <https://doi.org/10.1346/000986002762090308>.
- [15] Kurniasari L, Djaeni M, Purbasari A. Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Pengereng Bersuhu Rendah. 2011;13.
- [16] Ilgen, O. dan Dulger, H.S. Removal of Oleic Acid from Sunflower Oil on Zeolite 13X: Kinetics, Equilibrium, and Thermodynamics Studies, *Ind. Corps Prod*. 2016;81:66-71