

Sintesis Zeolit dari *Bottom Ash* Batubara untuk Menurunkan Kadar FFA pada *Crude Palm Oil* (CPO)

Winda Maniza Putri¹, Indah Purnamasari², Muhammad Yerizam³

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

e-mail: windamanizaputri@gmail.com

Abstrak

Bottom Ash merupakan limbah yang berasal dari pembakaran batubara. Salah satu proses untuk menangani limbah *bottom ash* adalah dengan membuatnya sebagai penyerap. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkonversi *bottom ash* menjadi zeolit untuk menyerap kadar FFA CPO. Setelah dihasilkan zeolit diaplikasikan dan dibandingkan dengan zeolit alam teraktivasi untuk menurunkan kadar FFA menggunakan variasi konsentrasi massa Zeolit, 35%, 40% dan 45% dari massa bahan baku 50 gram dengan waktu pengadukan 30, 50, 70, 90, 110 (menit). Analisa yang dilakukan adalah XRD dan SEM untuk zeolit sintesis serta pengujian FFA dari kedua zeolit. Dari hasil XRD zeolit yang dihasilkan termasuk jenis zeolit Faujasit. Zeolit sintetik mampu menurunkan kadar FFA paling tinggi sebesar 33,32% dari 39,72% pada konsentrasi 45% dan waktu 110 menit, sementara zeolit alam yang teraktivasi sebesar 27,30% dari 39,72% pada konsentrasi 45% dan waktu 110 menit. Zeolit sintetik dari *Bottom Ash* dan zeolit alam sama-sama mengikuti adsorpsi Isoterm langmuir.

Kata kunci: *Bottom Ash, Zeolit, Adsorpsi, FFA, CPO*

Abstract

Coal bottom ash is a waste generated from coal combustion. One of the processes to handle bottom ash waste is to make it as an absorbent. The purpose of this research is to convert bottom ash into zeolite to absorb CPO FFA levels. After the zeolite was produced, it was applied and compared with activated natural zeolite to reduce FFA levels using variations in Zeolite mass concentration, 35%, 40% and 45% of the 50 gram raw material mass with stirring times of 30, 50, 70, 90, 110 (minutes). The analysis carried out is XRD and SEM for synthesized zeolite and FFA testing of both zeolites. From the XRD results, the zeolite produced included the Faujasite zeolite type. The synthetic zeolite was able to reduce the highest FFA content by 33,32% from 39,72% at a concentration of 45% and a time of 110 minutes, while the activated natural zeolite was 27,30% from 39,72% at a concentration of 45% and a time of 110 minutes. Synthetic zeolite from Bottom Ash and natural zeolite both followed Langmuir adsorption isotherm.

Keywords : *Bottom Ash, Zeolite, Adsorption, FFA, CPO*

PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber bahan bakar yang banyak digunakan dalam proses pembakaran di industri misalnya pada pembangkit listrik PLTU (Wardani dkk, 2021). Pada proses pembakarannya menghasilkan limbah berupa *fly ash* maupun *Bottom Ash* (BA), serta polutan berbahaya lainnya seperti CO₂, NO_x, CO, SO₂ dan hidrokarbon (Roziqin dkk, 2017). Jumlah limbah batubara yang relatif besar menimbulkan efek pencemaran yang cukup berbahaya, sehingga perlu dipikirkan alternatif penyelesaian masalah pencemaran ini [1]. Berdasarkan hasil penelitian Sunarti dan Nazudin (2021) menunjukkan bahwa BA batubara mengandung beberapa oksida seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO dan LOI. Adanya senyawa SiO₂ dan Al₂O₃ pada *bottom ash* dapat dimanfaatkan untuk

mereduksi limbah karbon karena kedua senyawa tersebut merupakan komponen penyusun zeolit. Zeolit adalah senyawa anorganik yang tersusun dari silika-alumina terhidrasi dengan saluran dan rongga yang diisi dengan ion logam dan molekul air yang bergerak bebas (Sari dan Muttaqin, 2016). Penggunaan zeolit sebagai adsorben telah banyak diteliti seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Robiah dkk (2022) adsorpsi FFA *pretreatment* CPO menggunakan zeolit alam proses kontinu. Adsorpsi FFA pada minyak jelantah dengan zeolit alam oleh Hidayat dkk (2022) hasil penelitian menunjukkan bahwa TiO_2 -zeolit alam efektif dalam menurunkan kadar FFA pada minyak jelantah yaitu dapat menurunkan kadar FFA menjadi 0,7703 % dari 3,7707%. Kemudian penelitian yang dilakukan dengan konsentrasi adsorben zeolit alam (15, 20, 25, 30, dan 35%) pada putaran pengadukan 270 rpm, waktu 90 menit dan suhu 70°C, penggunaan adsorben terbaik adalah pada konsentrasi 30% didapatkan kadar FFA 5,85% dari kadar FFA awal 6,61% atau penurunan kadar FFA-nya 0,7611% (Ifa, 2018).

Proses adsorpsi pada penelitian ini menggunakan Isoterm freundlich dan langmuir. Isoterm freundlich merupakan persamaan empiris dengan menggunakan pendekatan penyerapan secara fisis. Model persamaan isoterm freundlich sebagai berikut:

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \quad (1)$$

Jika dilogaritman, persamaan menjadi:

$$\text{Log} \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (2)$$

Tipe isoterm langmuir adalah proses adsorpsi yang terjadi secara *chemisorption* monolayer. *Chemisorption* merupakan proses adsorpsi terjadi melalui ikatan kimia yang kuat antara situs surfaktan dan molekul adsorben dan dipengaruhi oleh kerapatan elektron. Isoterm langmuir diturunkan berdasarkan persamaan:

$$\frac{w}{m} = \frac{\alpha\beta c}{1 + \beta c} \quad (3)$$

α dan β diperoleh dari kurva hubungan $\frac{c}{x/m}$ versus c dengan persamaan:

$$\frac{c}{x/m} = \frac{1}{\alpha\beta} + \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

METODE

Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah *Bottom Ash* diperoleh dari PT Pupuk Sriwijaya Palembang, Natrium hidroksida (NaOH) dan Asam Klorida (HCl) digunakan sebagai aktivator zeolit sintesis dan zeolit alam (ZA), akuades (H_2O) digunakan sebagai penetral dan pembuatan larutan, CPO, *Isopropyl Alcohol* (IPA) *Fenolftalein* (PP) digunakan untuk pengecekan kadar FFA. Untuk peralatan yang digunakan yaitu ayakan 80 mesh, gelas kimia, neraca analiti, kaca arloji, spatula, kendi, furnace, kertas saring, penyaring bucher, cawan porselin, kertas pH, erlenmeyer, pengaduk statif, bola karet, pipet tetes, pipet volum, dan alat titasi. *Bottom Ash* dikarakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui komposisinya, X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui jenis zeolit yang terbentuk dan analisa SEM untuk mengetahui morfologi zeolit sintesis yang dihasilkan dan titrasi asam basa untuk analisa kadar FFA awal dan kadar FFA setelah proses adsorpsi.

Prosedur penelitian

Preparasi Bahan Baku

Sebelum disintesis *Bottom Ash* di preparasi terlebih dahulu dengan cara mengeringkan *Bottom Ash* selama 30 menit menggunakan *Traydryer*. Dihaluskan dengan lumpang dan mortar porselin sampai halus. Kemudian Diayak menggunakan ayakan ukuran 80 mesh (agar menghasilkan BA dengan ukuran yang halus dan seragam).

Sintesis Zeolit dari *Bottom Ash*

Bottom Ash yang sudah di preparasi dicuci dengan 500 ml HCl, diaduk dengan magnet pada suhu 90°C selama 5 jam. Campuran dinetralkan menggunakan akuades dan disaring menggunakan penyaring buchner. Lalu dioven pada suhu 105°C selama 30 menit. Campuran yang telah dioven ditambahkan NaOH dengan rasio NaOH: BA yaitu 1:1,2. Selanjutnya campuran dilebur pada suhu 550°C selama 1 jam. BA yang didapatkan dari hasil peleburan dengan NaOH ditambahkan akuades dengan perbandingan 1 gram abu di tambah 10 ml akuades kemudian dikeringkan dengan penyaring buchner. Campuran kemudian dioven pada suhu 100°C selama 9 jam dan dinetralkan dengan akuades sampai pH larutan 10-11. padatan yang telah netral di disaring kembali. Setelah itu dioven dengan suhu 105°C selama 120 menit. Sampel zeolit sintesis dari *Bottom Ash* dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM.

Aktivasi Zeolit Alam

Aktivasi ZA pertama-tama dilakukan dengan cara menghaluskan ZA menggunakan lumpang dan mortar. Lalu diayak dengan ayakan ukuran ayakan 80 mesh untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Selanjutnya zeolit yang sudah diayak ditimbang sebanyak 350 gram. Kemudian Zeolit tersebut ditambahkan 500 ml HCl 0.05 M sampai pH= 3-4. Campuran kemudian didihkan selama 15 menit dan diaduk, lalu didinginkan dan dinetralkan dengan akuades sampai pH= 7. Campuran kemudian disaring dengan penyaring buchner. setelah itu dioven pada suhu 105°C selama 15 menit. Terakhir zeolit di furnace dengan suhu 300°C selama 2 jam.

Proses Adsorpsi Zeolit Sintetik dan Zeolit Alam

Proses adsorpsi zeolit sintetik dan zeolit alam menggunakan cara *batch*. Metode batch terdiri dari pengadukan dengan pengaduk pada 575 rpm dengan suhu 25°C. Variabel dalam proses ini adalah jumlah zeolit sintetik dan alam serta lamanya waktu pengadukan. Dimana konsentrasi massa yang digunakan yaitu 35%, 40% dan 45% dan waktu pengadukan 30, 50, 70, 90 dan 110 (menit). Minyak CPO yang digunakan dalam proses adsorpsi sebanyak 50 gr dimasukkan dalam gelas kima 250 ml (Zahro dkk, 2014). Sampel setelah proses adsorpsi didiamkan selama 15 menit. Kemudian kadar FFA dianalisa dengan cara dititrasi menggunakan NaOH 0,1 N.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi *Bottom Ash* Batubara dengan XRF

Hasil analisa kandungan *Bottom Ash* Batubara PT Pupuk Sriwijaja dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

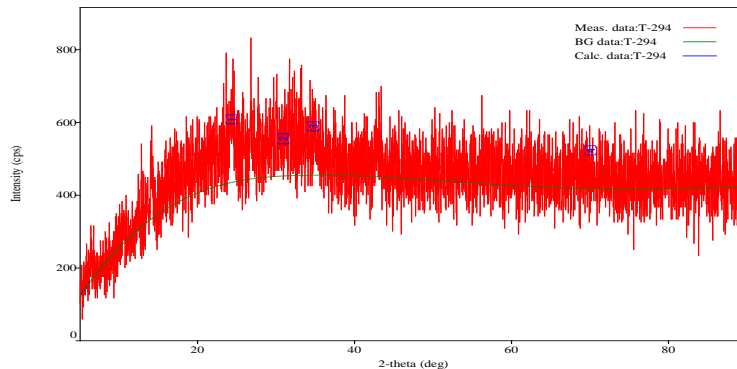
Tabel 1. Komposisi Kimia *Bottom Ash* PT Pusri

Komponen	Komposisi (% berat)
Silicium di-Oxide, SiO ₂	64,30
Aluminium Oxide, Al ₂ O ₃	2,22
Ferri Oxide, Fe ₂ O ₃	0,82
Total Oxide = SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	67,34
Calcium Oxide, CaO	2,43
Magnesium Oxide, MgO	0,00
Lost of ignition, LOI	30,85

BA yang digunakan diperoleh dari PT Pupuk Sriwijaja Palembang. Komposisi kimia BA yang ditunjukkan pada Tabel 1 merupakan komponen penyusun Dari BA berupa silika, alumina dan oksida besi dengan kandungan silika yang lebih tinggi yaitu sebesar 64,30%, besarnya kandungan silika pada *bottom ash* batubara dapat digunakan sebagai komponen utama zeolit sintetik selain alumina, salah satunya adalah zeolit Y (Ginting dan Nurfiqih, 2018).

Karakteristik Zeolit Sintetik dari *Bottom Ash* Menggunakan NaOH sebagai Aktivator

Sampel zeolit sintetik dikarakterisasi menggunakan XRD. Karakterisasi XRD mempunyai tujuan untuk mengetahui struktur kristal dan jenis zeolit yang terbentuk. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 data tersebut kemudian dibandingkan dengan standar yang diajukan oleh Ballmoss (1984).

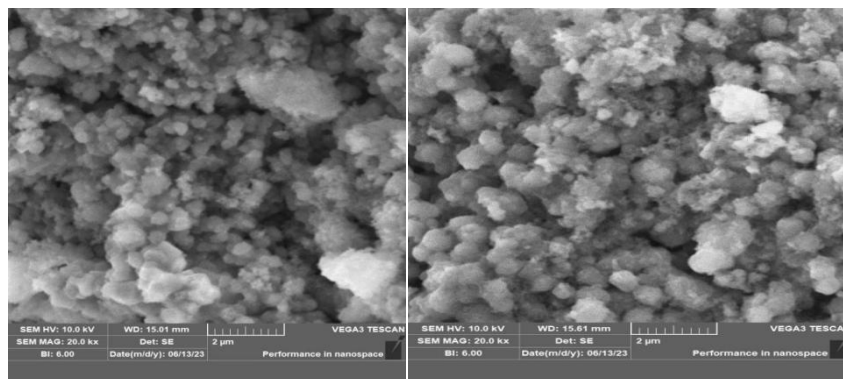


Gambar 1. Difraktogram Sinar X Zeolit Sintetik dari *Bottom ash*

Difraktogram pada Gambar 1 memberikan pola difraksi BA hasil peleburan dengan NaOH rasio berat BA/NaOH 1:1,2 dengan waktu refluks 5 jam pada suhu 550°C. Dari gambar diatas terlihat pola difraksi sinar muncul puncak-puncak kecil yang tidak beraturan pada $2\theta = 24,30$ ($d=3,656 \text{ \AA}$); $30,94$ ($d=2,890 \text{ \AA}$) dan $34,74$ ($d=2,582 \text{ \AA}$), pola difraksi tersebut dicocokkan dengan data pola Difraksi Sinar X JCPDS atau hasil penelitian sebelumnya, sehingga senyawa yang ada dalam sampel bisa diidentifikasi. Puncak-puncak yang muncul tersebut merupakan puncak untuk zeolit faujasit (Sutarno dkk, 2004).

Morfologi Zeolit Sintetik dari *Bottom Ash* Batubara

Untuk melihat morfologi permukaan dan keseragaman bentuk partikel sampel zeolit sintetik dilakukan analisa mikrostruktur dengan menggunakan SEM (Hanipa dkk, 2017).



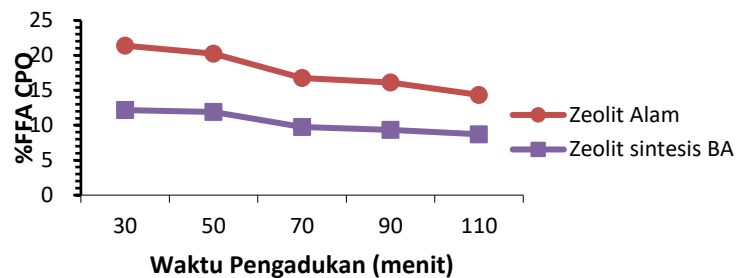
Gambar 2. SEM dari Sampel Zeolit Sintetik

Berdasarkan Gambar 2 Zeolit dari *Bottom Ash* pada penelitian ini permukaan masih cukup besar dan belum berskala nano karena belum berada pada kisaran 1-100nm (Feng dkk, 2014). Foto SEM partikel hasil padatan sintetik BA terlihat semua padatan sintetik adalah kristal tetapi ada juga bentuk butiran seperti yang ditutupi oleh fase lain yang direpresentasikan sebagai fase amorf BA. Bentuk yang tidak teratur pada morfologi sampel dikarenakan oleh adanya kandungan air yang tinggi (Silitoga, 2016) Ukuran partikel zeolit hasil sintesis sebesar 2 μm , sementara ukuran partikel dari FFA adalah $\pm 200 \text{ Da}$ atau 0,0004 μm (Adhani dkk, 2016) dengan demikian zeolit sintetik memiliki ukuran partikel yang

lebih besar daripada FFA sehingga dapat dijadikan adsorben dalam menurunkan kadar FFA pada CPO.

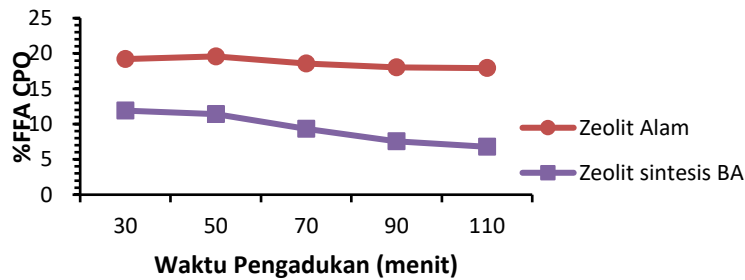
Pengaruh Konsentrasi Adsorben Zeolit Sintetik dan Zeolit Alam Terhadap Kadar FFA CPO

Free Fatty Acid (FFA) adalah parameter yang dapat mempengaruhi kualitas CPO, untuk itu kadar FFA pada minyak CPO harus dikurangi dengan menggunakan berbagai macam pemurnian salah satunya dengan menggunakan adsorben. Kadar FFA sampel CPO diadsorpsi menggunakan zeolit alam dan zeolit sintetik dari BA. Proses adsorpsi dilakukan sebanyak 30 sampel dengan konsentrasi adsorben 35%, 40% dan 45% dari sampel CPO. Dengan variasi waktu pengadukan 30, 50, 70, 90 dan 110 menit. Dari hasil analisa kadar FFA pada CPO menggunakan adsorben zeolit sintetik dan alam. Hasil penelitian disajikan pada Gambar 3 s.d. 5.



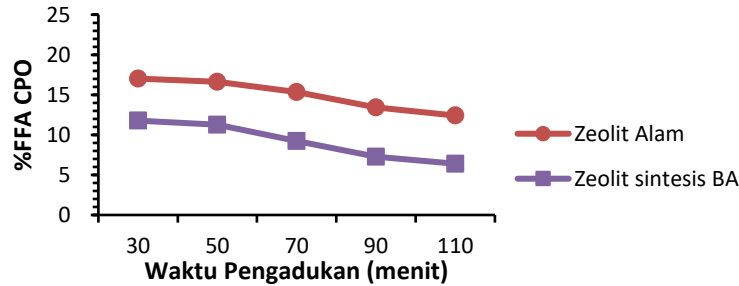
Gambar 3. Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Kadar FFA CPO Konsentrasi Massa Adsorben 35%

Pada konsentrasi massa adsorben zeolit alam 35% didapatkan kadar FFA terendah yaitu pada waktu pegadukan 110 menit 14,34% dari FFA awal sebesar 39,72% atau penurunan kadar FFAnya sebesar 25,39%. Kemudian zeolit sintetik dari BA konsentrasi massa adsorben 35% mampu mereduksi kadar FFA terendah pada waktu pengadukan 110 sebesar 8,70% dari kadar FFA awal 39,72 hal ini menunjukkan zeolit sintetik mampu menurunkan kadar FFA sebesar 31,02%.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Kadar FFA CPO Konsentrasi Massa Adsorben 40%

Pada konsentrasi massa adsorben zeolit alam 40% (Gambar 4) didapatkan kadar FFA terendah pada waktu pegadukan 110 menit yaitu 17,92% dari kadar FFA awal sebesar 39,72% atau penurunan kadar FFA-nya sebesar 21,80%. Untuk zeolit sintetik dari BA pada konsentrasi massa adsorben 40% mampu menurunkan kadar FFA terendah pada waktu pengadukan 110 sebesar 6,78% dari kadar FFA awal 39,72% hal ini menunjukkan Zeolit sintetik mampu menurunkan kadar FFA sebesar 32,94%.

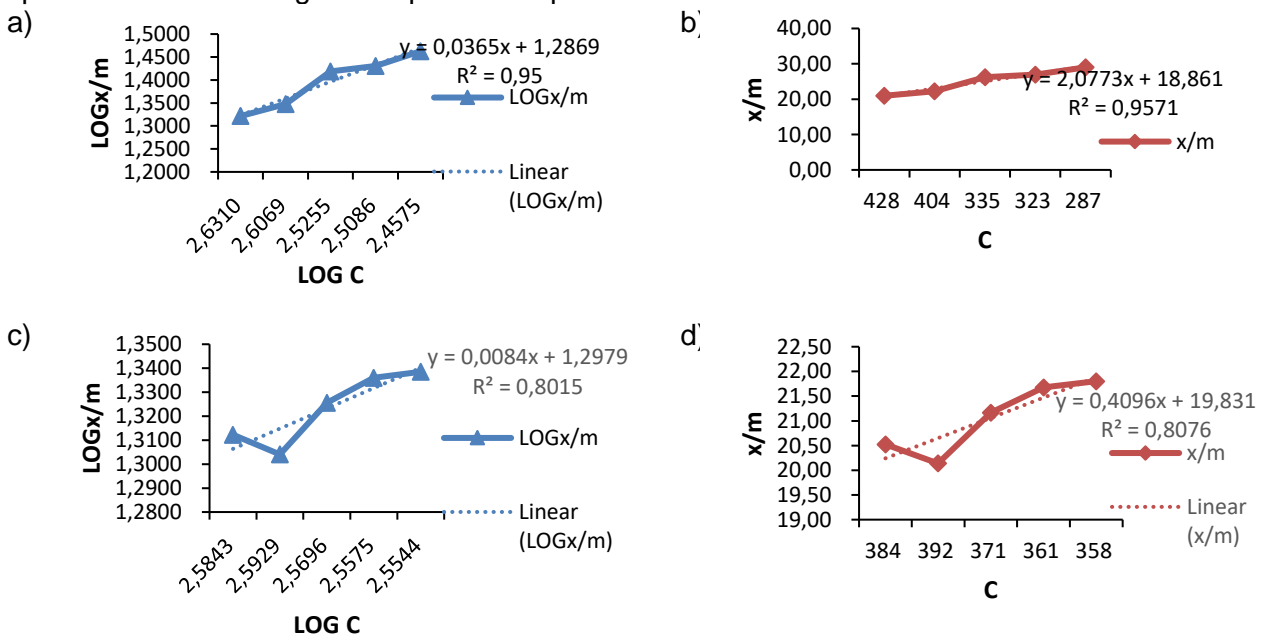


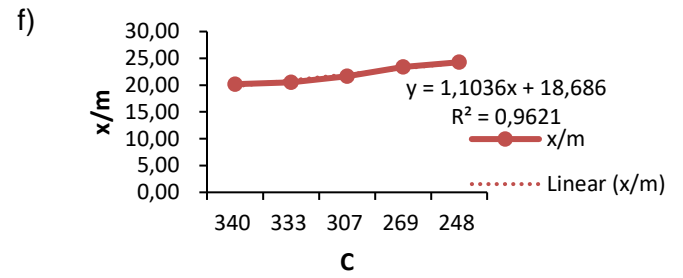
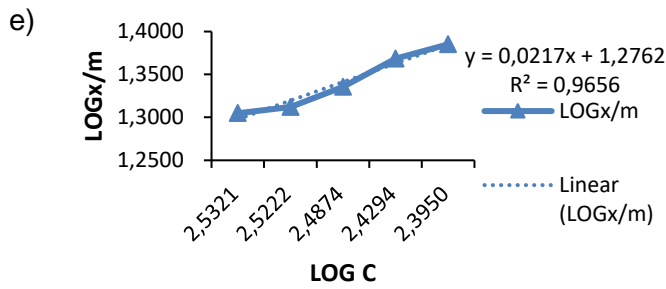
Gambar 5. Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Kadar FFA CPO Konsentrasi Massa Adsorben 45%

Pada Gambar 5 dengan konsentrasi massa adsorben zeolit alam 45% didapatkan kadar FFA terendah pada waktu pegadukan 110 menit yaitu 12,42% dari kadar FFA awal sebesar 39,72% atau penurunan kadar FFA-nya sebesar 27,30%. Zeolit sintetik dari BA konsentrasi massa adsorben 45% mampu mereduksi kadar FFA terendah pada waktu pengadukan 110 sebesar 6,80% dari kadar FFA awal 39,72 hal ini menunjukkan Zeolit sintetik mampu menurunkan kadar FFA sebesar 33,32%. Semakin lama waktu pengadukan dan semakin banyak massa adsorben maka kadar FFA yang didapatkan semakin rendah. Penambahan konsentrasi zeolit dapat meningkatkan luas permukaan total dan jumlah pori yang digunakan untuk meningkatkan adsorben selama adsorpsi (Anugrahwati dkk, 2021). Konsentrasi massa adsorben yang sedikit akan menyebabkan pembentukan situs aktif yang kurang sempurna hal ini tampak pada gambar 3 dan 4.

Isoterm Adsorpsi untuk Penyerapan Kadar FFA pada *Crude Palm Oil* (CPO) oleh Zeolit Alam dan Zeolit Sintetik dari BA

Tipe isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zeolit alam dan sintetik terhadap kadar FFA pada CPO biasanya menganut tipe isoterm freundlich dan langmuir (Anggara dkk, 2013). Isoterm adsorpsi untuk zeolit alam dan zeolit sintetik dari BA tipe freundlich dan langmuir dapat di lihat pada Gambar 6 berikut ini.

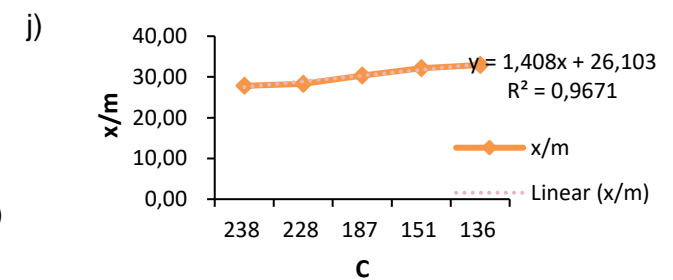
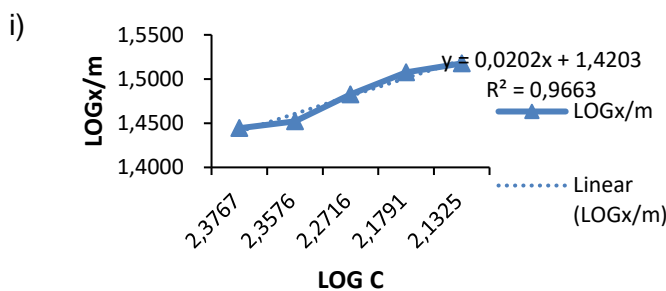
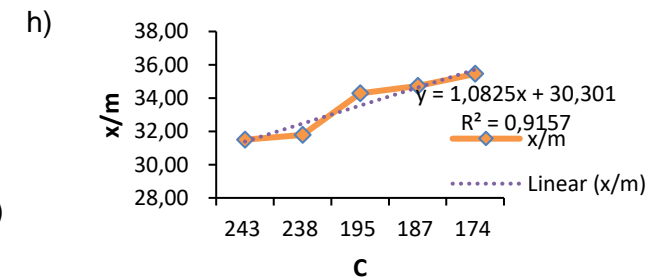
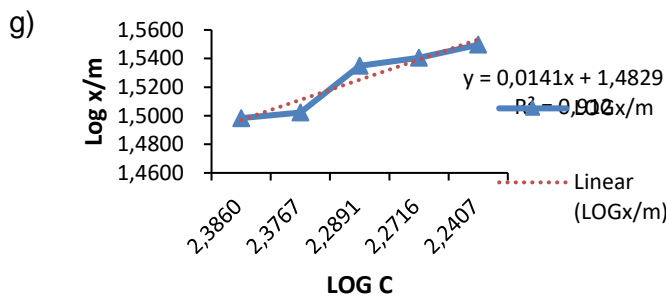


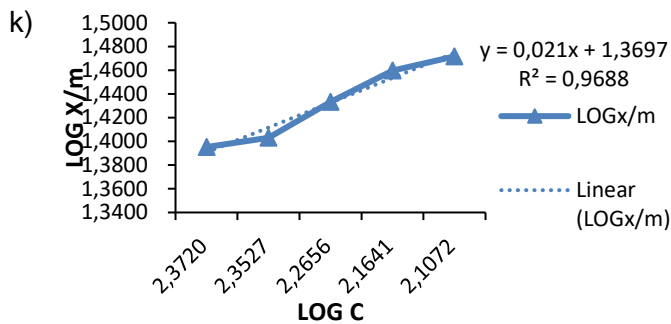


Gambar 6. Isoterm Freundlich Konsentrasi Massa Adsorben ZA a) 35% c) 40% dan e) 45%

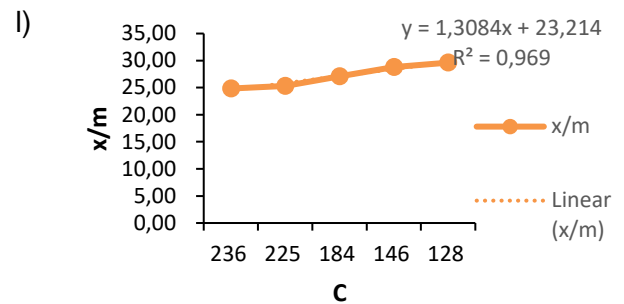
Gambar 7. Isoterm Langmuir Konsentrasi Massa Adsorben ZA b) 35% d) 40% dan f) 45%

Dari Gambar 6 dan 7 menunjukkan isoterm adsorpsi freundlich dan langmuir ZA dari grafik dapat dianalisa isoterm adsorpsi kadar FFA pada CPO menunjukkan nilai linieritas yang berbeda untuk kedua isoterm pada ketiga massa adsorben yaitu pada massa 35% untuk isoterm freundlich 95% untuk isoterm langmuir 95,71% kemudian untuk massa adsorben 40% untuk isoterm freundlich 80,15% untuk isoterm langmuir 80,76%, pada massa adsorben 45% untuk isoterm freundlich 96,56% untuk isoterm langmuir 96,21%, dari hasil diatas dapat disimpulkan proses adsorpsi zeolit alam mengikuti tipe isoterm langmuir hal ini karena linieritas untuk tipe isoterm langmuir lebih tinggi dibandingkan tipe freundlich. Zeolit alam yang diaktivasi HCl cenderung mengikuti isoterm langmuir karena penambahan HCl dapat meningkatkan sisi aktif adsorben, sehingga permukaan adsorben menyerap adsorben lebih efisien.





Gambar 8. Isoterm Freundlich Konsentrasi Massa Adsorben Zeolit Sintetik g) 35% i) 40% dan k) 45%



Gambar 9. Isoterm Langmuir Konsentrasi Massa Adsorben Zeolit Sintetik h) 35% j) 40% dan l) 45%

Gambar 8 dan 9 menggambarkan isoterm freundlich dan langmuir zeolit sintetik dari *Bottom Ash*, dari gambar tersebut menunjukkan nilai linearitas kedua isoterm. Pada massa adsorben 35% untuk isoterm freundlich 91,2% untuk isoterm langmuir 91,51% kemudian untuk massa adsorben 40% untuk isoterm freundlich 96,63% untuk isoterm langmuir 96,71%, pada massa adsorben 45% untuk isoterm freundlich 96,88% untuk isoterm langmuir 96,9%. Jika dilihat dari grafik secara keseluruhan proses adsorpsi zeolit alam dan sintetik cenderung mengikuti tipe langmuir, karena mengingat zeolit alam dan zeolit sintetik diaktivasi menggunakan aktivator sehingga sesi aktif akan lebih banyak. Zeolit alam diaktivasi menggunakan HCl sementara zeolit sintetik diaktivasi menggunakan NaOH pada penelitian yang dilakukan (Hasrianti, 2015) semakin tingginya pH adsorpsi terjadi relatif lebih tinggi dibandingkan pada kondisi pH yang rendah.

SIMPULAN

Didapatkan adsorben zeolit dari BA Batubara yang telah disintesis dengan menggunakan Aktivator NaOH untuk menurunkan kadar FFA pada *Crude Palm Oil* (CPO). Jenis zeolit sintesis yang dihasilkan termasuk jenis zeolit faujasit dengan ukuran partikel dari analisa SEM 2 mikrometer. Zeolit sintetik dari *Bottom Ash* yang dihasilkan dengan menggunakan aktivator NaOH, mampu menurunkan kadar FFA jauh lebih tinggi dibandingkan zeolit alam yang sudah diaktivasi, zeolit sintetik mampu menurunkan kadar FFA paling tinggi sebesar 33,32%, sementara zeolit alam yang teraktivasi sebesar 27,30%. Kemudian kedua zeolit ini, zeolit sintetik dari *Bottom Ash* dan zeolit alam sama-sama mengikuti adsorpsi Isoterm langmuir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah menyediakan tempat penelitian dan PT Pupuk Sriwijaya Palembang yang telah menyediakan bahan baku.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, P. A., Wahyuni. S., dan Prasetya, A.T. 2013. *Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan proses Aktivasi secara Fisis dan Kimia*. Indonesian Journal of Chemical Science. Vol. 2 (1).
- Anugrahwati, M., Safitri, R. A., dan Fajarwati, F. I. 2021. *Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isoterm Adsorpsi*. Indonesian Journal of Chemical Research. Vol. 6(2): 1-11.
- Adhani, L., Aziz, I., Nurbayti., dan Oktaviana, C. O. 2016. *Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas*, vol. 2, (15): 71–80.

- Feng, X. X., Yu, X. T., Li, W. J., Kong, S. Z., Liu, Y. H., Zhang, X., Xian, Y. F., dan Jun, X. 2014. *Effect of topical Application of Patchouli Alcohol on the UV-Induced Skin Photoaging in Mice*. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 63: 113-123.
- Ginting, S. B., dan Nurfiqih, M. Y. 2018. *Sintesis Zeolit A dari Coal Bottom Ash dengan Metode Step Change of Synthesis Temperature dengan Variadi Suhu Kalsinasi Duplicatesikan untuk Dehidrasi Etanol*. Jurnal Mechanical. Vol. 9(1).
- Hidayat, J.P., Hariyadi, A., dan Chosta, F. 2022. *Unjuk Kinerja Adsorpsi Bentonit dan Arang Aktif Terhadap Karakteristik Minyak Jelantah*. J. Sains dan Teknol. Pangan, vol. 7(6): 5600–5614.
- Hasrianti, H. 2015. *Adsorpsi Ion Cd²⁺ pada Limbah Cair menggunakan Kulit Singkong*. Journal Dinamika. Vol. 4(2).
- Hanipa, H., Pardoyo., Taslimah., Arnelli., dan Astuti, Y. 2017. *Pengaruh Variasi Waktu Hidrotermal terhadap Sintesis dan Karakterisasi Nanokristal Zeolit A dari abu Sekam Padi*. Jurnal Kimia sains dan Aplikasi. Vol. 20(2): 79-83
- Ifa, L. 2018. *Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Adsorben (Zeolit dan Bioarang Sekam Padi)*. Journal of Chemical Process Engineering (JCPE). Vol. 3 (2): 8-11.
- Robiah, R., Melani, A., dan Rifdan, R. 2022. *A Adsorpsi Asam Lemak Bebas Pretreatment Cpo Menggunakan Zeolit Alam Proses Kontinyu*. Jurnal Teknik Patra Akademika. Vol. 13 (02): 110-114.
- Roziqin, K., Rahmayanti, A., dan Pratama, A. D. 2017. *Variabel Sintesis Zeolit A, X, dan K dari Abu Batu Bara dengan Metode Hidrotermal*.
- Sari, N. K., dan Muttaqin, A. 2016. *Pengaruh Waktu Sonikasi terhadap Konduktivitas Listrik Zeolit Berbahan Abu Dasar Batubara Menggunakan Metode Peleburan Alkali Hidrotermal*. Jurnal Fisika Unand. Vol. 5 (4): 322-326.
- Silitoga, R. S. 2016. *Penurunan Asam Lemak Bebas dari Minyak Kelapa Sawit Mentah Menggunakan Membran Serat Berongga PVDF dengan Kitosan dan Pengikat Silang Glutaraldehyd*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Sutarno., Arryanto, T., dan Budhyantoro, A. 2004. *Sintesis faujasit dari Abu Layang Batubara : pengaruh Refluks dan penggerusan Abu Layang Batubara terhadap Kristalinitas Faujasite*. Jurnal Matematika dan Sains. Vol. 9(3): 285-290.
- Sunarti., dan Nazudin., 2021. *Sintesis Zeolit A dari Abu Dasar Batubara (Coal Bottom Ash) Dengan Metode Peleburan dan Hidrotermal*. MjoCE. Vol. 11 (1): 8-16.
- Wardani, F., Khamidinal., Sedyadi, E., dan Krisdiyanto, D. 2020. *Pengaruh Waktu Refluks Terhadap Hasil Sintesis Zeolit Dari Bahan Abu Dasar Batubara Dengan Metode Hidrotermal*. Indonesian Journal of Material Chemistry. Vol 3 (1): 9-4.
- Zahro, A., Amelia, S., Adi, T.K dan Aini, N. 2014. *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y dari Abu Ampas Tebu variasi Rasio Molar SiO₂/Al₂O₃ dengan Metode Sol Gel Hidrotermal*. Jurnal ALCHEMY. Vol. 3(2):108-117.