



SYNTHESIS OF ZEOLITE-A PELLETS FROM BANGKA KAOLIN AND ITS APPLICATION IN ETHANOL DEHYDRATION

Maria Ulfah*, Pasymi, Amelia Amir, Burmawi, M Iqbal, Nandita Hadi
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta,
Jln. Gajah Mada No. 19-Ulak Karang, Padang, 25137, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 09 Dec 2024,

Revised 16 Mar 2025,

Accepted 17 Mar 2025,

Available online 21 May 2025

Keywords:

- ✓ Bangka Kaolin
- ✓ Zeolite A pellet
- ✓ Dehydration
- ✓ Ethanol

*corresponding author:

mariaulfah@bunghatta.ac.id

Phone: +62-0895-2447-3568

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.776)

[15i2.776](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.776)

ABSTRACT

Indonesia has abundant natural clay resources, including kaolin. In the Bangka Belitung Province, the kaolin reserves are estimated at 376,687,532 tons with identified reserve reaching 5,990,630 tons. The primary mineral constituents of kaolin are alumina and silica, which are essential raw materials for zeolite synthesis. Additionally, kaolin is widely utilized as a binder in various industrial applications. The research aimed to evaluate the potential of kaolin as a source of alumina and silica, as well as its effectiveness as a binder. This study investigated the influence of calcination temperature and the composition of reactants (metakaolin, NaOH, and water) on the performance of zeolite A pellets. The general process for yielding zeolite A pellets involved three main stages: transforming kaolin to metakaolin; preparing zeolite A powder and forming the pellets by mixing the synthesized zeolite A powder with calcined kaolin (metakaolin). In this study, kaolin was calcined at two temperatures at 570°C and 670°C, to produce metakaolin. The variables adjusted in the production of zeolite. The molar ratios of H₂O to Na₂O used in zeolite synthesis were varied at 37, 40, and 43, while the molar ratio of SiO₂ to Al₂O₃ was maintained at 2.4, based on the chemical composition of the kaolin. Additionally, the Na₂O to SiO₂ ratio was kept constant at 2.5. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the synthesized material was zeolite A. The performance of the developed zeolite A pellets was found to be comparable to that of commercial catalysts. The optimal synthesis conditions were achieved with an H₂O/Na₂O ratio of 43 and kaolin calcined at 670°C. These results demonstrate that Bangka kaolin serves considerable potential for use both as a source of alumina and silica, and as a binder.

ABSTRAK

Sintesis Zeolite A Pelet Dari Kaolin Bangka Dan Aplikasinya Pada Dehidrasi Etanol

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam *clay* seperti kaolin. Provinsi Bangka Belitung memiliki sumber daya kaolin sebesar 376.687.532 ton dan cadangan sebesar 5.990.630 ton. Komposisi mineral utama kaolin adalah alumina dan silika yang merupakan bahan baku yang diperlukan dalam sintesa zeolit. Pada beberapa industri, kaolin juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*). Penelitian bertujuan untuk mengkaji potensi kaolin sebagai sumber alumina, silika dan sebagai *binder* melalui efek temperatur kalsinasi kaolin dan komposisi reaktan (metakaolin, NaOH dan air) terhadap kinerja zeolit A pelet. Secara garis besar pembuatan zeolit A pelet meliputi tahapan: transformasi kaolin menjadi metakaolin; persiapan zeolit A bubuk; dan pembuatan zeolit A pelet melalui pencampuran zeolit A bubuk hasil pengembangan dengan metakaolin. Temperatur kalsinasi untuk konversi kaolin menjadi metakaolin dipelajari pada 570 dan 670 °C. Pada tahap pembuatan zeolit A bubuk, variabel yang divariasikan adalah rasio molar H₂O/Na₂O = 37; 40 dan 43 sedangkan rasio molar SiO₂/Al₂O₃ adalah 2,4 (disesuaikan dengan kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ dalam kaolin) dan Na₂O/SiO₂ 2,5 diset tetap. Dari hasil analisa XRD, zeolit hasil sintesis merupakan jenis zeolit A. Kinerja zeolit A pelet hasil pengembangan mirip dengan kinerja katalis komersial. Zeolit A pelet tersebut disintesis dengan rasio H₂O/Na₂O = 43 dan kaolin dikalsinasi pada 670°C. Berdasarkan hasil penelitian ditunjukkan bahwa kaolin Bangka memiliki peran multi-fungsi yaitu sebagai sumber gabungan alumina dan silika serta sebagai pengikat (*binder*).

Kata kunci: adsorben; kaolin Bangka; XRD; zeolit A pelet



PENDAHULUAN

Tiap tahunnya Indonesia mengalami peningkatan jumlah penduduk, hal ini berpengaruh pada pemakaian kendaraan yang tentunya linier terhadap konsumsi bahan bakar. Untuk mencegah terjadinya kelangkaan bahan bakar, pengadaan bahan bakar alternatif diantaranya bioetanol merupakan solusi yang tepat. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015, penggunaan bioetanol E20 pada tahun 2025 diwajibkan dengan formulasi 20% bioetanol dan 80% bensin. Bioetanol yang dimanfaatkan untuk campuran bahan bakar harus mencapai tingkat kemurnian minimum 99,5%. Bioetanol dengan kemurnian diatas 99,5% dikenal dengan istilah gasohol atau etanol *fuel grade*. Proses distilasi hanya mampu menghasilkan bioetanol/etanol dengan persentase < 97,20%. Salah satu metode yang efisien dalam produksi etanol *fuel grade* adalah proses adsorpsi dengan zeolite A sebagai adsorbent (Karimi et al., 2019).

Penggunaan kaolin dari beberapa negara sebagai bahan baku sintesis zeolit A telah dilaporkan seperti kaolin Nigeria (Eluwa et al., 2024), kaolin Korea (Lim et al., 2021), kaolin Brazil (Maia et al., 2019), kaolin Malaysia (Somderam et al., 2019) dan Turki (Kirdeciler & Akata, 2020). Penggunaan kaolin ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya produksi zeolit dan meningkatkan nilai ekonomi kaolin. Ketersediaan kaolin di Indonesia sangat melimpah terutama di Bangka Belitung sebesar 376.687.532 ton dan cadangan sebesar 5.990.630 ton (Nurhidayati et al., 2020). Endapan kaolin Bangka ini memiliki karakteristik umumnya berwarna putih, berbutir halus, lunak, memiliki kandungan besi dan titanium yang rendah serta memiliki kandungan silika dan alumina yang relatif tinggi, sehingga kaolin Bangka juga berpotensi sebagai bahan dasar sintesis zeolit (Sari et al., 2018).

Dalam pembuatan zeolite bubuk, diperlukan 4 komponen yaitu sumber silika, sumber alumina, alkali dan air. Komposisi dan kondisi reaksi pembentukan zeolite dari kaolin dipengaruhi oleh karakteristik kaolin dan untuk tiap-tiap daerah, karakteristik kaolin bervariasi. Akan tetapi, secara umum rasio massa Si/Al yang terkandung dalam kaolin berada dalam rentang 1-2, yang mana pada rasio ini diperlukan untuk persiapan zeolit A (Maia et al., 2019).

Di skala industri, zeolite pelet atau bentuk lainnya sangat diperlukan untuk menghindari fluidisasi dan kehilangan bahan (Nikolopoulos et

al., 2022) sehingga, zeolit bubuk memerlukan tambahan komponen *binder* (pengikat) seperti kaolin. Namun, *binder* sering kali merupakan komponen yang tidak aktif dan dapat menyebabkan penyumbatan pori zeolit yang konsekuensinya terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Jika kandungan *binder* dikurangi kekuatan mekanis rendah atau bahkan zeolit yang dipeletkan mudah pecah. Saat ini telah dikembangkan zeolit pelet tanpa *binder* (*binderless pellet zeolite*); *binder* dan zeolit bubuk dipeletkan melalui ekstrusi dan selanjutnya *binder* dalam pelet diubah menjadi zeolit melalui perlakuan hidrotermal. Zeolit pelet tanpa *binder* ini memiliki sifat adsorpsi yang sebanding dengan zeolit bubuk (Li et al., 2024). Peneliti-peneliti sebelumnya baru mengkaji potensi kaolin dari daerah tertentu membentuk zeolit A bubuk saja. Publikasi tentang pembuatan zeolite A pelet berbasis kaolin Bangka yang diawali dengan tahap sintesis zeolite A bubuk dan dilanjutkan dengan sintesis zeolit A pelet belum ditemui. Pemakaian kaolin Bangka sebagai *binder* pada sintesis zeolit A pelet dengan sumber silika adalah *water glass* dan sumber alumina telah dipelajari yaitu natrium aluminat dan disimpulkan bahwa kaolin Bangka berpotensi sebagai *binder* (Ulfah et al., 2023).

Penelitian bertujuan untuk mengkaji multi fungsi kaolin Bangka sebagai sumber silika, alumina dan sebagai *binder* dalam sintesis zeolit A pelet dan menguji kinerja zeolit A hasil pengembangan sebagai adsorben pada proses dehidrasi etanol. Variabel yang dipelajari yaitu efek temperatur kalsinasi kaolin dan efek rasio mol komposisi reaktan pada tahap sintesa zeolite A bubuk terhadap kemampuan mengadsorpsi air dalam campuran etanol-air.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *muffle furnace*, *heating mantel*, botol HDPE (*High Density Polyethylene*), kertas lakmus, labu leher tiga, kondensor, oven, alkoholmeter, difraktometer sinar-X. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kaolin dari Bangka, NaOH (natrium hidroksida) teknis, aqua demin, KCl (kalium klorida) Merck dan etanol teknis.

Metode

Sintesis zeolite A bubuk

Sintesis zeolit A bubuk dari kaolin diawali dengan melakukan proses kalsinasi kaolin (variasi

suhu pada 570 dan 670°C) kemudian dilanjutkan dengan pencampuran NaOH. Perbandingan molar masing-masing bahan dalam sintesis zeolit A bubuk dapat dilihat pada Tabel 1. Campuran reaktan diaduk selama 15 menit, dimasukkan dalam botol HDPE dan berikutnya diperam (*aging*) selama 7 hari pada temperatur ruangan. Setelah itu dilakukan proses kristalisasi dalam oven pada 90°C selama 3 jam. Produk kristalisasi dicuci hingga pH air cucian 9 dan berikutnya dikeringkan pada 100°C selama sehari.

Tabel 1. Komposisi reaktan pembuatan zeolit bubuk

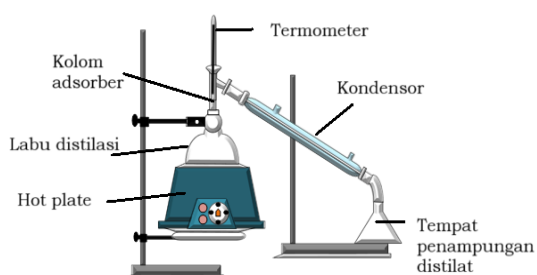
Rasio molar	I	II	III
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	2,4	2,4	2,4
Na ₂ O/ SiO ₂	2,5	2,5	2,5
H ₂ O / Na ₂ O	37	40	43

Sintesis zeolite A pelet

Zeolit A pelet dipersiapkan dengan cara mencampurkan zeolit bubuk hasil sintesis dengan metakaolin diikuti dengan tahap pencetakan, pemeraman, kristalisasi, pencucian, pengeringan, pertukaran kation dengan larutan KCl dan terakhir kalsinasi. Temperatur kalsinasi zeolit pelet sesuai dengan temperatur metakaolin yang diaplikasikan (570 dan 670°C). Berdasarkan jumlah variabel yang divariasikan yaitu komposisi reaktan dengan 3 rentang dan temperatur kalsinasi kaolin dalam 2 kondisi, maka ada 6 jenis zeolit A pelet hasil pengembangan.

Uji kinerja zeolite A pelet

Zeolit A pelet hasil pengembangan berikutnya dilakukan uji kinerja pada rangkaian alat sebagai berikut.



Gambar 1. Rangkaian alat uji kinerja zeolit pada proses dehidrasi etanol

Etanol yang dimasukkan ke dalam labu sebanyak 600 ml dan zeolite pelet 10 gram dalam kolom adsorber. Etanol dipanas menggunakan

heating mantle hingga temperatur 78°C. Campuran etanol-air (kemurnian etanol 87 %) akan menguap melewati zeolit A pelet sebagai adsorben sehingga air akan tertahan pada pori-pori zeolite pelet sedangkan uap etanol masuk ke dalam kondensor untuk mengubah fasa uap menjadi fasa cair. Destilat hasil destilasi ditampung pada erlenmeyer sebanyak 230 ml untuk diukur densitasnya menggunakan alkoholmeter. Pengambilan sampel dilakukan hingga konsentrasi etanol konstan.

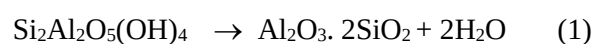
Zeolit A pelet dengan kinerja yang baik dikarakterisasi menggunakan XRD untuk memastikan apakah zeolit yang dihasilkan merupakan zeolit A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi kaolin menjadi metakaolin

Kaolin yang memiliki rumus kimia Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O secara struktural tergolong jenis filosilikat tipe 1:1, karena tersusun dari lapisan tetrahedral silika dan oktahedral alumina. Kristalnya terdiri dari lembar-lembar oktahedral alumunium yang tertumpuk di atas lembar tetrahedral silika. Susunan lapisan tetrahedral dan oktahedral pada kaolin dihubungkan oleh atom oksigen pada satu sisi dan hidrogen dari gugus hidroksil pada sisi yang lain, sehingga menghasilkan tumpukan dengan 8 ikatan hidrogen yang kuat. Kaolin tersusun dari alumina dan silika yang berasal dari pelapukan mineral feldspar atau pelapukan batu granit (Maia et al., 2019).

Pada dasarnya, ada dua langkah dalam memproduksi zeolit dari kaolin: (i) metakaolinisasi: transformasi kaolin menjadi metakaolin, dan (ii) zeolisasi: pengolahan metakaolin dengan larutan alkali untuk membentuk zeolit. Reaksi metakaolinisasi sebagai berikut (Mgbemere et al., 2018).



Produksi zeolit dari bahan alam yang murah memiliki arti penting secara ekonomi dan karenanya parameter sintesis perlu dioptimalkan (He et al., 2021). Salah satu faktor yang mempengaruhi sintesis zeolite dari kaolin adalah temperatur kalsinasi kaolin. Kajian mengenai temperatur metakaolinisasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti, namun terdapat pandangan berbeda mengenai kondisi yang diperlukan untuk menghasilkan metakaolin. Kaolin pada suhu

600–800 °C selama 2 jam telah dipelajari dan disimpulkan bahwa pembentukan metakaolin pada suhu lebih rendah dari 600°C tidak cocok, produk yang diperoleh relatif reaktif, mungkin karena konsentrasi silika yang diperlukan dalam sintesis zeolite NaA tidak cukup (Król & Rožek, 2018). Menurut Madani et al., (1990), kaolin yang dikalsinasi pada suhu di atas 500°C sudah dapat diubah menjadi metakaolin dan kaolin yang dikalsinasi pada suhu 600 – 800°C memiliki luas spesifik dan volume pori yang lebih tinggi karena stabil terhadap serangan NaOH. Transformasi metakaolin yang tidak sempurna ($T_{\text{kalsinasi}} = 600^{\circ}\text{C}$) menyebabkan pembentukan struktur zeolit tidak diinginkan. Sementara itu, metakaolin yang dipanaskan pada suhu sedikit lebih tinggi ($T_{\text{kalsinasi}} = 650^{\circ}\text{C}$) menunjukkan transformasi sempurna menjadi struktur mesopori zeolit A yang diinginkan (Hafeez Azhar et al., 2024). Akhirnya, dapat disimpulkan bahwa temperatur reaksi metakaolinasi dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga) yaitu: temperatur rendah 400–500 °C; sedang dalam rentang 600–800 °C dan tinggi dalam rentang 800–900 °C (Abdullahi et al., 2017). Temperatur kalsinasi kaolin yang peneliti terapkan berada dalam rentang sedang: 570 dan 670°C.

Sintesis Zeolite

Secara umum pembuatan zeolit membutuhkan silika, alumina, alkali dan air. Kaolin Bangka mengandung SiO_2 : 38,6 % dan Al_2O_3 : 54,3 % (Sari et al., 2018) dan merujuk pada komposisi kaolin tersebut maka rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,4$. Komposisi reaktan dalam rasio mol yang direkomendasi untuk mensintesis zeolite A sebagai berikut (Milton & Milton, 1953).

Tabel 2 Komposisi Reaktan yang Rekomendasi Milton & Buffalo (1953)

Rasio mol reaktan	Rentang nilai
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	1,3-2,5
(Król & Rožek, 2018) $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	0,8-3,0
$\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	35-200

Berdasarkan Tabel 2, sintesis zeolite A dari kaolin Bangka tidak perlu tambahan sumber alumina maupun silika dari bahan luar karena komponen utama silika dan alumina sudah terpenuhi dari kaolin Bangka. Pandangan yang sama tentang sintesis zeolit A dari kaolin tidak memerlukan lagi sumber silika maupun alumina dari luar, akan tetapi dengan mengatur: komposisi antara kaolin dan NaOH, waktu dan

temperatur kristalisasi serta waktu dan temperatur kalsinasi kaolin yang cermat, kaolin bermutu rendah dapat diubah menjadi zeolite A. Zeolit A dengan tingkat kekristalan yang tinggi, disintesis dari kaolin Polandia dapat dihasilkan melalui pencampuran kaolin dan NaOH 9 M, waktu dan temperatur kristalisasi berturut-turut 24 jam dan 70°C, serta kalsinasi selama 2 jam pada 700°C (Król & Rožek, 2018). Kaolin Aloji-Nigeria dapat dikonversi menjadi zeolit A melalui pencampuran metakaolin yang dikalsinasi pada 850°C dan NaOH 5M, waktu kristalisasi 3 jam pada 115°C (Eluwa et al., 2024). Kondisi optimum sintesis zeolit A dari kaolin Malaysia sebagai berikut: lama dan temperatur proses metakaolinasi berturut-turut 4 jam dan 700°C, konsentrasi NaOH 3M, waktu kristalisasi 9 jam, temperatur kristalisasi 100°C (Sazali & Harun, 2022).



Gambar 2. Zeolit Hasil Pengembangan (a) $T_{\text{kalsinasi}} = 570^{\circ}\text{C}$ dan (b) $T_{\text{kalsinasi}} = 670^{\circ}\text{C}$

Disamping sebagai sumber gabungan alumina dan silika, telah diketahui bahwa kaolin dapat berfungsi sebagai pengikat (*binder*) dan selanjutnya agar bagian kaolin yang dicampur dengan zeolit A bubuk berperan juga sebagai adsorben, konsentrasi larutan NaOH sangat mempengaruhi konversi dan kekuatan zeolit. Pada percobaan awal, digunakan larutan NaOH 33%-b dan dihasilkan zeolit pelet yang rapuh dan berikutnya digunakan larutan NaOH 37%-b. Banyaknya NaOH yang ditambahkan untuk mengubah *binder* kaolin menjadi zeolit dalam selang 90-120% dari jumlah stoikiometri (Nozemack, R.J. et al., 1983). Setelah dicetak, campuran zeolit A bubuk dan metakaolin dilakukan tahapan yang serupa dengan sintesa zeolit bubuk, yaitu pemeraman (*aging*), kristalisasi, pencucian, pengeringan, pertukaran

kation dengan larutan KCl dan terakhir kalsinasi. Temperatur kalsinasi zeolit pelet sesuai temperatur kalsinasi metakaolin. Berdasarkan variasi temperatur kalsinasi (570 dan 670°C) dan rasio mol H_2O/Na_2O (37; 40 dan 43) maka pada penelitian ini ada 6 jenis zeolit hasil pengembangan. Penampakan fisik zeolit pelet hasil pengembangan disajikan pada Gambar 2.

Uji Kinerja Zeolit

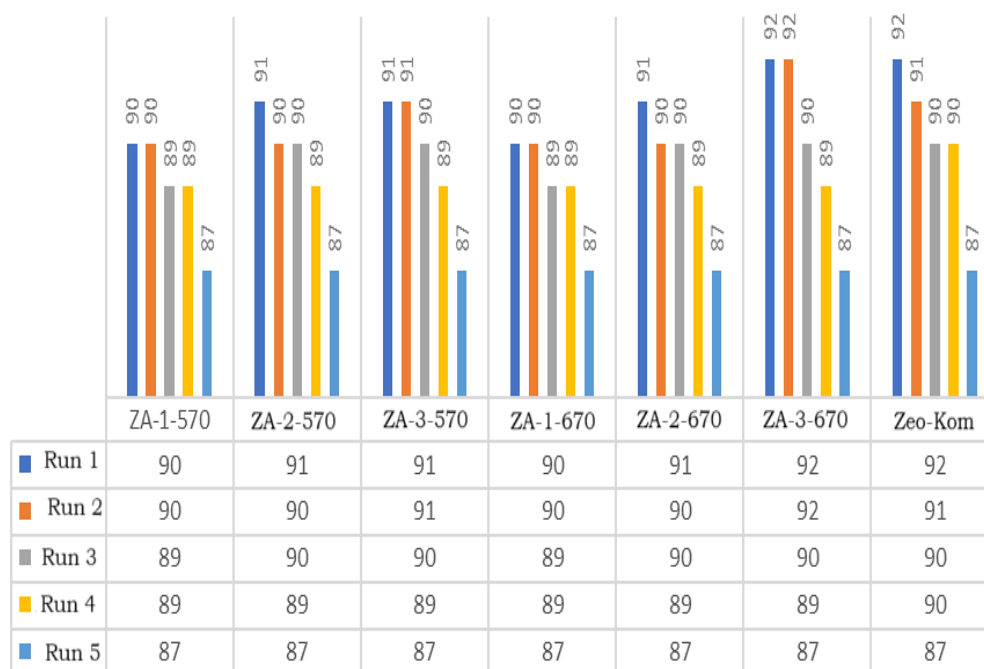
Daya adsorpsi zeolit hasil pengembangan dan zeolit komersial terhadap dehidrasi etanol diberikan pada Gambar 3. Dari gambar 3 ditunjukkan bahwa secara keseluruhan zeolit pelet yang dikembangkan memiliki kemampuan dalam mendehidrasi etanol dari campuran etanol-air dengan kemurnian awal etanol 87 %.

Berdasarkan Gambar 3, untuk temperatur kalsinasi yang sama tetapi dengan variasi rasio mol H_2O/Na_2O yang berbeda, ditemukan bahwa konsentrasi NaOH mempengaruhi kinerja zeolite pelet. Zeolit yang dipersiapkan dengan rasio mol $H_2O/Na_2O = 43$ memberikan hasil penjerapan etanol yang terbaik dan trend ini ditunjukkan baik oleh zeolit ZA-3-570 maupun ZA-3-670. Kation Na^+ berperan penting dalam zeolitisasi karena kation Na^+ berfungsi sebagai penstabil unit-unit pembentuk *framework* zeolit pada kondisi hidrotermal. Molaritas NaOH 1M meningkatkan laju pemutusan ion Si dan Al, yang membantu

pembentukan inti kristal zeolit A. Kristalisasi zeolit dipengaruhi oleh pembentukan inti kristal (Sazali & Harun, 2022). Peningkatan konsentrasi natrium hidroksida hingga $NaOH < 3N$ dalam campuran reaksi, makin banyak silikat reaktif, aluminat dan aluminosilikat yang bereaksi, konsekuensinya meningkatkan produk zeolit A yang dihasilkan (Ayele et al., 2015).

Dari Gambar 3 dapat juga disimpulkan bahwa khususnya pada $H_2O/Na_2O = 43$, temperatur kalsinasi kaolin mempengaruhi kemampuan penjerapan zeolit, zeolit ZA-3-670 lebih baik dari zeolit ZA-3-570. Kalsinasi kaolin dalam rentang 600-800 °C menghasilkan luas permukaan spesifik dan volume pori yang lebih tinggi (Madani et al., 1990). Luas permukaan memainkan peran penting dalam proses adsorpsi. Semakin tinggi luas permukaan maka semakin tinggi pula laju adsorpsinya. Luas permukaan juga berkaitan erat dengan volume pori. Padatan dengan volume pori yang lebih tinggi mempunyai sifat *reservoir* yang lebih luas untuk memerangkap adsorbat sehingga, meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Inglezakis et al., 2020).

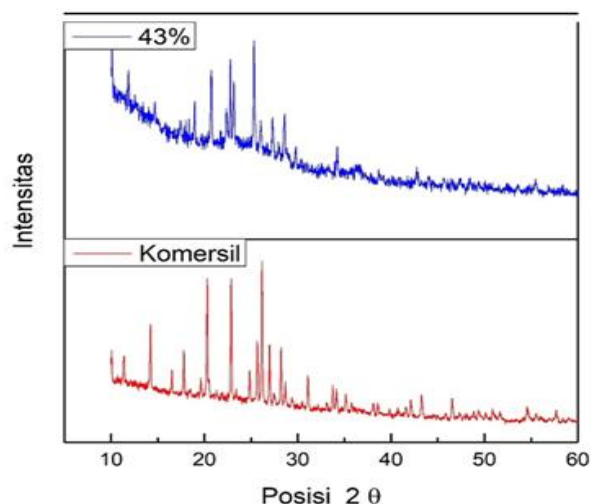
Simpulan terakhir yang diperoleh dari Gambar 3 yaitu terdapat 1 (satu) zeolit pelet hasil pengembangan yang memiliki unjuk kerja yang mirip dengan zeolit komersial, yaitu zeolite dengan simbol ZA-3-670. Zeolit ini dipersiapkan dengan kondisi: metakaolinasi pada 670°C dan rasio mol $H_2O/Na_2O = 43$.



Gambar 3 Kinerja zeolite hasil pengembangan dan komersial terhadap proses dehidrasi etanol

Diffraktogram Zeolite Pelet Hasil Pengembangan

Hasil Analisa XRD zeolite komersial dan zeolit A pelet hasil penelitian disajikan pada Gambar 4, terindikasi bahwa adanya puncak spesifik zeolit A, namun juga terobservasi adanya puncak lain berupa fase amorf. Puncak-puncak spesifik dari zeolit A tampak pada sudut $2\theta = 7.2^\circ, 10.2^\circ, 12.5^\circ, 16.1^\circ, 21.7^\circ$, dan $27^\circ, 29.9^\circ$ dan 34.2° (Abdullah et al., 2016).



Gambar 4. Difraktogram XRD Zeolite Hasil Pengembangan dan Zeolit Komersial

KESIMPULAN

Komposisi reaktan yaitu rasio mol H_2O/Na_2O mempengaruhi kinerja zeolit sebagai adsorben dan demikian pula dengan temperatur aktivasi kaolin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit A pelet yang disintesis dengan rasio $H_2O/Na_2O = 43$ dan kaolin dikalsinasi pada $670^\circ C$ memberikan kapasitas adsorpsi terhadap etanol yang lebih baik. Kaolin Bangka berpotensi sebagai sumber silika, alumina dan binder dalam pembuatan zeolit A pelet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan ke LPPM Universitas Bung Hatta atas dukungan dana yang diberikan melalui hibah pendanaan internal tahun 2024 dengan nomor kontrak 030.3/LPPM-PkM/Hatta/VI-2024 tanggal 14 Juni 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H., Zulkefli, N. N., Abd Aziz, A. S., & Mat, R. (2016). Synthesis of zeolite Na-A from local kaolin for bioethanol purification. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(9). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/88726>
- Abdullahi, T., Harun, Z., & Othman, M. H. D. (2017). A review on sustainable synthesis of zeolite from kaolinite resources via hydrothermal process. *Advanced Powder Technology*, 28(8), 1827–1840. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.04.028>
- Ayele, L., Pérez-Pariente, J., Chebude, Y., & Díaz, I. (2015). Synthesis of zeolite A from Ethiopian kaolin. *Microporous and Mesoporous Materials*, 215, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.05.022>
- Eluwa, V. C., Obasa, P. A., Esther, M., & Igbonekwu, C. A. (2024). Synthesis and Characterization of Zeolite A from Aloji Kaolin Via Hydrothermal Method. *Journal of Materials Science Research and Reviews Volume*, 7(4), 592–601.
- Hafeez Azhar, F., Harun, Z., Farah, W. N., Hanafi, A., Sazali, N., Hussin, R., Kamdi, Z., Ainuddin, A. R., Yunus, M. Z., & Ismail, A. (2024). *Zeolite Synthesis from Natural Kaolin: The Effect of Metakaolin Heating and Transformation*. 5(1), 75–81. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/emait>
- He, Y., Tang, S., Yin, S., & Li, S. (2021). Research progress on green synthesis of various high-purity zeolites from natural material-kaolin. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127248>
- Inglezakis, V. J., Balsamo, M., & Montagnaro, F. (2020). Liquid-Solid Mass Transfer in Adsorption Systems - An Overlooked Resistance? *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(50), 22007–22016. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c05032>
- Karimi, S., Tavakkoli Yarak, M., & Karri, R. R. (2019). A comprehensive review of the adsorption mechanisms and factors

- influencing the adsorption process from the perspective of bioethanol dehydration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107(July 2018), 535–553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.025>
- Kirdeciler, S. K., & Akata, B. (2020). One pot fusion route for the synthesis of zeolite 4A using kaolin. *Advanced Powder Technology*, 31(10), 4336–4343. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.09.012>
- Król, M., & Rožek, P. (2018). The effect of calcination temperature on metakaolin structure for the synthesis of zeolites. *Clay Minerals*, 53(4), 657–663. <https://doi.org/10.1180/clm.2018.49>
- Li, T., Wang, S., Gao, J., Wang, R., Gao, G., Ren, G., Na, S., Hong, M., & Yang, S. (2024). Spherical Binderless 4A/5A Zeolite Assemblies: Synthesis, Characterization, and Adsorbent Applications. *Molecules*, 29(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/molecules29071432>
- Lim, W. R., Lee, C. H., & Hamm, S. Y. (2021). Synthesis and characteristics of Na-A zeolite from natural kaolin in Korea. *Materials Chemistry and Physics*, 261(January), 124230. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124230>
- Madani, A., Aznar, A., Sanz, J., & Serratos, J. M. (1990). ²⁹Si and ²⁷Al NMR study of zeolite formation from alkali-leached kaolinites. Influence of thermal preactivation. *Journal of Physical Chemistry*, 94(2), 760–765. <https://doi.org/10.1021/j100365a046>
- Maia, A. Á. B., Dias, R. N., Angélica, R. S., & Neves, R. F. (2019). Influence of an aging step on the synthesis of zeolite NaA from Brazilian Amazon kaolin waste. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 2924–2929. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.02.021>
- Mgbemere, H. E., Lawal, G. I., Ekpe, I. C., & Chaudhary, A. L. (2018). Synthesis of zeolite-A using kaolin samples from Darazo, Bauchi state and Ajebo, Ogun state in Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 37(1), 87. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i1.12>
- Milton, R.M., B. N. . (1953). Molecular Sieve Adsorbents. *U.S. Patent 2882244*, 2882244.
- Nikolopoulos, N., Wickramasinghe, A., Whiting, G. T., & Weckhuysen, B. M. (2022). Alumina binder effects on the hydrothermal stability of shaped zeolite-based catalyst bodies. *Catalysis Science and Technology*, 13(3), 862–873. <https://doi.org/10.1039/d2cy01894b>
- Nozemack, R.J., W., C.C, & Schwonke, J. . (1983). *Binderless Zeolite Extruded and Method of Producing*.
- Nurhidayati, Hasfianti F.E., W. K. (2020). Kajian Teknoekonomi Kaolin Belitung Sebagai Bahan Substitusi Impor Pada Produksi Fiber Cement Board. *Jurnal Keramik Dan Gelas Indonesia*, 29(Desember), 152–164.
- Sari, M. E. F., Suprpto, & Prasetyoko, D. (2018). Direct synthesis of sodalite from kaolin: The influence of alkalinity. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 607–613. <https://doi.org/10.22146/ijc.25191>
- Sazali, N., & Harun, Z. (2022). One Shot of the Hydrothermal Route for the Synthesis of Zeolite LTA Using Kaolin. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(9), 3508–3520. <https://doi.org/10.1007/s10904-022-02369-y>
- Somderam, S., Abd Aziz, A. S., Abdullah, A. H., & Mat, R. (2019). Characterisation of NAA zeolite made from Malaysian kaolin. *Chemical Engineering Transactions*, 72(February 2018), 325–330. <https://doi.org/10.3303/CET1972055>
- Ulfah M., Praputri E., Firdaus, Muchtiar Y., and B. (2023). Synthesis and characterization of a zeolite pellet using natural Kaolinite clays from Indonesia as binder and their application in dehydration ethanol, *AIP Conference Proceedings* 2691, 050002 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0115184>. [https://doi.org/10.1016/0144-2449\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0144-2449(84)90039-3)