

ANALISIS PENGARUH VARIASI PERSENTASE BINDER KAOLIN TERHADAP TREK NILAI DENSITAS PELET KATALIS ZEOLIT ALAM

*Givan Aldiasa Maulana¹, Norman Iskandar², Sulardjaka²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: givanaldiasa@gmail.com

Abstrak

Zeolit alam memiliki potensi sebagai bahan dasar pelet katalis karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang aktif secara katalitik. Namun, untuk menjaga kekuatan mekanik dan kestabilan bentuk, diperlukan penambahan binder. Kaolin digunakan sebagai binder karena stabil secara termal dan kimia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase binder kaolin terhadap tren nilai densitas pelet katalis berbasis zeolit alam. Komposisi zeolit:kaolin yang digunakan adalah 80:20, 70:30, dan 60:40, dengan masing-masing dikompaksi dan diuji dalam kondisi kalsinasi dan non-kalsinasi. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa pada pelet kalsinasi, komposisi 20% kaolin menghasilkan densitas tertinggi sebesar 3,4020 g/cm³ (spesimen V1), sedangkan peningkatan hingga 40% kaolin justru menurunkan densitas, seperti pada spesimen V4 sebesar 2,5999 g/cm³. Sementara itu, pada pelet non-kalsinasi, densitas tertinggi dicapai pada komposisi 40% kaolin, yaitu 3,8254 g/cm³ (spesimen V7). Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan kaolin tidak selalu meningkatkan densitas secara linear, dan terdapat batas optimum tergantung pada kondisi perlakuan. Penelitian ini memberikan dasar penting dalam menentukan komposisi dan perlakuan terbaik untuk menghasilkan pelet katalis dengan densitas yang optimal.

Kata Kunci: binder; densitas; kaolin; pelet katalis; zeolite alam

Abstract

Natural zeolite has potential as a base material for catalyst pellets due to its abundance and catalytic activity. However, to maintain mechanical strength and shape stability, the addition of a binder is necessary. Kaolin is used as a binder due to its thermal and chemical stability. This study aims to analyze the effect of varying kaolin binder percentages on the density trend of catalyst pellets based on natural zeolite. The zeolite-to-kaolin compositions used were 80:20, 70:30, and 60:40 (by weight), each compacted and tested under calcined and non-calcined conditions. Density testing showed that in calcined pellets, the 20% kaolin composition resulted in the highest density of 3.4020 g/cm³ (specimen V1), while increasing kaolin content up to 40% reduced the density to 2.5999 g/cm³ (specimen V4). In contrast, for non-calcined pellets, the highest density was achieved at 40% kaolin, reaching 3.8254 g/cm³ (specimen V7). These findings indicate that kaolin addition does not always increase density linearly, and an optimum composition depends on the thermal treatment. This study provides important insights for determining the best composition and processing conditions to produce catalyst pellets with optimal densities.

Keywords: binder; catalyst pellet; density; kaolin; natural zeolite

1. Pendahuluan

Penggunaan pelet sebagai bentuk fisik katalis heterogen semakin diminati karena menawarkan berbagai keunggulan, seperti kemudahan pemisahan dari produk reaksi, peningkatan kekuatan mekanik, serta kestabilan selama proses pada suhu tinggi. Dibandingkan dengan bentuk serbuk, katalis dalam bentuk pelet memiliki struktur yang lebih padat dan seragam, sehingga lebih mudah ditangani dan diaplikasikan dalam sistem reaksi berkelanjutan [1]. Pelet katalis juga dikenal memiliki stabilitas mekanik yang baik dan dapat digunakan secara berulang dalam beberapa siklus reaksi. Kekuatan mekanik ini sangat dipengaruhi oleh proses pembuatannya, termasuk metode pembentukan, perlakuan termal, serta jenis bahan baku yang digunakan [2]. satu material aktif yang umum digunakan dalam pelet adalah zeolit alam, yang memiliki struktur berpori, karakter asam-basa yang sesuai, serta ketahanan terhadap suhu tinggi sehingga potensial digunakan sebagai material aktif dalam pelet katalis [3].

Untuk membentuk pelet zeolit yang kuat dan stabil, diperlukan bahan pengikat (binder) yang berfungsi menjaga kohesi antarpartikel. Kaolin merupakan binder yang banyak digunakan karena sifatnya yang inert, stabil secara kimia dan termal, serta tidak bereaksi dengan fasa aktif katalis. Namun demikian, komposisi binder sangat memengaruhi karakteristik fisik pelet, terutama densitas dan struktur porinya [4]. Struktur pori pada pelet katalis sangat berpengaruh terhadap efisiensi difusi massa dan efektivitas reaksi. Binder seperti kaolin tidak hanya berfungsi sebagai pengikat, tetapi juga memengaruhi ukuran dan distribusi pori. Variasi komposisi binder dapat mengubah jalur difusi dan akses reaktan ke situs aktif. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji pengaruh persentase binder terhadap porositas guna menghasilkan pelet dengan kinerja katalitik optimal [5].

Porositas merupakan aspek penting dalam desain pelet katalis karena secara langsung memengaruhi efisiensi reaksi transesterifikasi, khususnya dalam produksi biodiesel. Katalis dengan struktur mesopori dan luas permukaan tinggi, seperti berbasis silika, terbukti mampu mempercepat konversi trigliserida menjadi biodiesel melalui peningkatan akses reaktan ke situs aktif [6]. Dalam kaitannya dengan pelet katalis berbasis zeolit alam, porositas sangat dipengaruhi oleh densitas dan komposisi binder yang digunakan. Binder seperti kaolin tidak hanya menentukan kekuatan mekanik, tetapi juga berdampak pada distribusi pori dan kerapatan partikel. Oleh karena itu, kajian terhadap variasi persentase kaolin sebagai binder diperlukan untuk memperoleh densitas pelet yang optimal, yang mampu menjaga keseimbangan antara stabilitas struktur dan efektivitas reaksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase binder kaolin terhadap porositas pelet katalis berbasis zeolit alam melalui pengujian densitas. Proses pembuatan dan karakterisasi pelet katalis dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Departemen Teknik Mesin, serta di Laboratorium Advanced Material, UPT Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro.

2. Dasar Teori

Zeolit alam berfungsi sebagai katalis heterogen yang mendukung reaksi transesterifikasi dalam penelitian ini. Zeolit, yang merupakan senyawa padat aluminosilikat, memiliki struktur berpori mikroskopis yang memungkinkan penyerapan molekul dan kation berukuran serupa dengan porinya [7]. Keunggulan utama zeolit alam terletak pada kemampuannya mengontrol tingkat keasaman dan luas permukaan yang dapat dimodifikasi dengan relatif mudah. Namun demikian, kekurangannya adalah tingginya kandungan pengotor alami yang dapat memengaruhi aktivitas katalitiknya.

Binder adalah bahan tambahan yang digunakan untuk merekatkan partikel-partikel penyusun suatu material. Dalam pembuatan pelet katalis zeolit, penggunaan binder sangat penting untuk menghasilkan pelet yang tidak mudah rusak. Binder berperan dalam menjaga konsistensi ukuran, mempermudah proses pembentukan selama pemadatan, serta meningkatkan kekuatan mekanik pelet [8]. Salah satu jenis binder yang umum digunakan adalah kaolin, yaitu mineral lempung berwarna putih yang tersusun terutama dari kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Kaolin memiliki sifat plastis dan termal yang baik, serta mampu bertindak sebagai perekat yang efektif tanpa mengganggu sifat katalitik dari zeolit itu sendiri [9].

Porositas merupakan ukuran volume rongga atau ruang kosong dalam suatu material yang dinyatakan dalam bentuk persentase [10]. Dalam konteks pelet katalis, porositas memegang peran penting karena secara langsung memengaruhi efisiensi proses reaksi, seperti reaksi transesterifikasi. Struktur katalis yang berpori memungkinkan minyak nabati dan metanol lebih mudah masuk ke dalam pori-pori katalis. Hal ini mempercepat proses difusi reaktan, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi serta memperbesar hasil akhir produksi biodiesel [6].

3. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang harus dilalui. Rangkaian proses yang dilakukan pada penelitian kali ini akan dijelaskan berikut ini.

3.1 Langkah- Langkah Penelitian

Penelitian Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling terkait untuk menghasilkan pelet katalis dengan sifat fisis yang unggul. Proses diawali dengan kajian literatur untuk menghimpun informasi mengenai zeolit, peran kaolin sebagai bahan pengikat, serta teknik-teknik dalam pembuatan dan karakterisasi pelet katalis. Tahap berikutnya melibatkan persiapan peralatan dan material, termasuk penghancuran zeolit alam menjadi bubuk halus serta pengeringan awal zeolit dan kaolin guna menurunkan kadar kelembapan.

Selanjutnya, dilakukan proses pengayakan menggunakan mesh 60, 120, dan 250 agar diperoleh ukuran partikel yang seragam. Campuran zeolit dan kaolin kemudian dibuat dengan variasi kadar binder sebesar 20%, 30%, dan 40%, dan dihomogenisasi menggunakan magnetic stirrer. Campuran tersebut dibentuk menjadi pelet silinder dengan bantuan cetakan logam dan mesin press hidrolik pada tekanan 0,5 ton, 1 ton, dan 1,5 ton.

Pelet yang telah terbentuk kemudian menjalani proses kalsinasi pada suhu 500°C, 550°C, dan 600°C selama 6 hingga 7 jam, termasuk penahanan suhu selama 3 jam untuk memastikan aktivasi yang maksimal. Setelah kalsinasi, dilakukan pengujian porositas dan densitas guna menilai efek dari variasi komposisi binder, ukuran partikel, dan suhu kalsinasi terhadap karakteristik fisik pelet. Hasil yang diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter proses dan mutu pelet katalis yang dihasilkan.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan material yang digunakan dalam pembuatan spesimen pelet katalis terdiri dari zeolit alam dan kaolin. Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari wilayah Gunungkidul, Indonesia. Zeolit alam umumnya ditemukan dalam bentuk batuan dan memiliki sifat fisik maupun kimia yang menguntungkan, seperti luas permukaan yang tinggi dan kestabilan termal yang baik, sehingga sangat cocok dijadikan sebagai bahan dasar dalam aplikasi katalis. Sementara itu, kaolin digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*) dalam pembuatan pelet. Kaolin memiliki warna putih hingga abu-abu muda, bertekstur lembut, serta bersifat non-abrasif. Sifat pengikat yang dimiliki kaolin membantu menyatukan partikel zeolit dalam campuran, sehingga mampu membentuk pelet dengan struktur yang lebih padat, stabil, dan tahan terhadap proses kalsinasi maupun aplikasi suhu tinggi.

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen pelet katalis meliputi beberapa peralatan utama yang berfungsi pada setiap tahapan proses. Zeolit mentah terlebih dahulu dihancurkan dan dihaluskan menggunakan grinder hingga menjadi serbuk halus. Serbuk tersebut kemudian disaring menggunakan alat ayakan bertingkat dengan ukuran mesh 60, 120, dan 250 untuk memperoleh distribusi partikel yang seragam. Setelah dicampur dengan kaolin sebagai binder, campuran dimasukkan ke dalam dies silinder berdiameter 5 mm dan panjang 10 mm. Proses pencetakan dilakukan dengan hydraulic press machine, yang memberikan tekanan tinggi untuk menghasilkan pelet yang padat dan stabil secara mekanik. Kombinasi alat-alat ini memungkinkan terbentuknya pelet katalis dengan struktur fisis yang baik sebelum masuk ke tahap kalsinasi.

3.3 Prosedur Penelitian

Pada Prosedur penelitian diawali dengan pemotongan zeolit alam berukuran 1–2 cm menggunakan mesin pemotong, kemudian digiling dengan grinder selama tiga menit hingga menjadi serbuk halus. Zeolit dan kaolin selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama tiga jam untuk menurunkan kadar air dan mencegah penggumpalan saat proses selanjutnya. Setelah itu, dilakukan pengayakan menggunakan sieve shaker dengan mesh 60, 120, dan 250 untuk memperoleh distribusi ukuran partikel yang diinginkan.

Serbuk zeolit dan kaolin yang telah lolos ayakan kemudian dicampur homogen menggunakan magnetic stirrer, dengan variasi kaolin sebagai binder sebesar 20%, 30%, dan 40% dari total massa. Campuran tersebut dicetak menjadi pelet berbentuk silinder menggunakan cetakan logam dan sistem tekanan hidrolik, dengan tiga tingkat tekanan yaitu 0,5 ton, 1 ton, dan 1,5 ton.

Pelet yang terbentuk dikalsinasi dalam furnace pada suhu 500°C, 550°C, dan 600°C selama 6–7 jam, termasuk penahanan suhu selama 3 jam, untuk mengaktifkan kaolin menjadi metakaolin dan meningkatkan kestabilan struktur. Setelah kalsinasi, dilakukan pengujian porositas sebelum dan sesudah perlakuan panas, serta pengujian densitas berdasarkan massa dan dimensi geometris. Seluruh tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan pelet katalis yang stabil, kuat secara mekanik, dan memiliki karakteristik pori yang sesuai untuk aplikasi suhu tinggi.

3.4 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan menggunakan alat *pycnometer UltraPyc-Quantachrome* dengan satuan g/cm^3 . Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kerapatan massa pelet katalis, yaitu berat pelet per satuan volume.

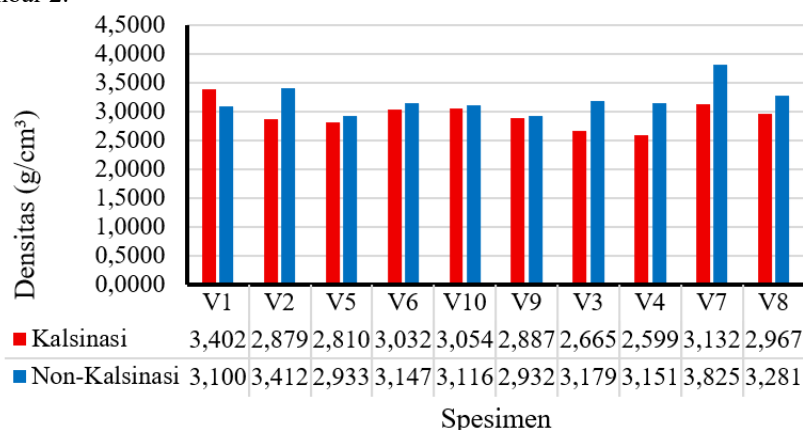


Gambar 1. Proses pengujian densitas

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Densitas

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh data densitas masing-masing spesimen seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hasil uji densitas

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian densitas pada Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi persentase kaolin berpengaruh signifikan terhadap struktur internal pelet katalis, terutama dalam konteks pembentukan pori selama proses kalsinasi. Pada komposisi kaolin 20%, nilai densitas setelah kalsinasi berkisar antara 2,8100–3,4020 g/cm³. Spesimen V5 mencatat densitas terendah dalam kelompok ini (2,8100 g/cm³), mengindikasikan bahwa porositas cukup berkembang akibat kalsinasi. Penurunan densitas ini disebabkan oleh pelepasan molekul air dan senyawa volatil, yang membuka pori-pori dalam struktur kaolin-zeolit.

Untuk kaolin 30%, penurunan densitas juga terlihat, dengan nilai kalsinasi terendah dimiliki oleh spesimen V10 (2,8871 g/cm³). Ini menunjukkan bahwa pada kadar kaolin sedang, porositas masih dapat berkembang cukup baik, meskipun tidak seefektif pada kadar kaolin yang lebih tinggi.

Sementara itu, pada kaolin 40%, penurunan densitas kalsinasi lebih nyata, terutama pada spesimen V4 yang memiliki densitas paling rendah di seluruh sampel, yaitu 2,5999 g/cm³. Nilai ini menunjukkan terbentuknya pori-pori yang lebih banyak atau lebih besar akibat kalsinasi, yang memperkuat peran kaolin dalam membentuk struktur berpori saat persentasenya ditingkatkan. Sebaliknya, spesimen V7 dengan kandungan kaolin yang sama justru menunjukkan densitas tinggi (3,1323 g/cm³), yang mungkin dipengaruhi oleh faktor kompaksi atau penyebaran partikel yang kurang merata.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi persentase binder kaolin terhadap porositas pelet katalis zeolit alam, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Peningkatan persentase kaolin terbukti menurunkan densitas pelet katalis setelah kalsinasi, yang mengindikasikan peningkatan porositas. Komposisi 40% kaolin menghasilkan densitas terendah (2,5999 g/cm³), menunjukkan struktur paling berpori, sementara 20% kaolin cenderung menghasilkan densitas lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kaolin berperan dalam pembentukan pori selain sebagai pengikat. Komposisi 40% dinilai paling optimal dalam membentuk porositas. Porositas yang berkembang ini berperan penting dalam memperbesar luas permukaan aktif, sehingga dapat meningkatkan efisiensi katalitik pelet zeolit.

6. Daftar Pustaka

- [1] Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. (2017). Pengaruh konsentrasi katalis dan reusability katalis pada sintesis triasetin dengan katalisator Lewatit. *Jurnal Teknoin*, 23(1), 56–62.
- [2] Liku, E. H., Iskandar, N., & Sulardjaka, S. (2021). Pengaruh komposisi binder tanah liat terhadap kekuatan pelet katalis zeolit alam. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 57–64.
- [3] Andriyanto, R. S. N., Iskandar, N., & Sulardjaka, S. (2023). Pengaruh kalsinasi pelet katalis zeolit alam pada kekuatan mekanis dengan binder kaolin. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(4), 205–210.
- [4] Jagadeeswarai, K., Balaraju, M., Sai Prasad, P. S., & Lingaiah, N. (2010). Selective esterification of glycerol to bioadditives over heteropoly tungstate supported on Cs-containing zirconia catalyst. *Applied Catalysis A: General*, 386(1–2), 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.08.037>
- [5] Zhang, Q., Weng, J., Wang, Y., Ye, G., Shu, Z., & Zhou, X. (2022). Engineering pore network structure of binders for improved catalytic performance of zeolite pellets using a multiscale model. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(19), 6354–6366. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00564>
- [6] Fatimah, I., Fadillah, G., Sagadevan, S., Oh, W. C., & Ameta, K. L. (2023). Mesoporous silica-based catalysts for biodiesel production: a review. *ChemEngineering*, 7(3), 56.
- [7] Chaihad, N., Karnjanakom, S., Abudula, A., & Guan, G. (2022). Zeolite-based cracking catalysts for bio-oil upgrading: a critical review. *Resources Chemicals and Materials*, 1(2), 167–183.
- [8] Darmawan, A. P., Zamhari, M., & Junaidi, R. (2023). Pemanfaatan Zeolite Alam Sebagai Katalis Untuk Sintesis Biodiesel. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(5), 5703–5714.
- [9] Ababneh, A., Matakah, F., & Matalkeh, B. (2022). Effects of kaolin characteristics on the mechanical properties of alkali-activated binders. *Construction and Building Materials*, 318, 126020.
- [10] Syaputri, T. D., Suhendra, S., Halaudhin, H., Lidiawati, L., & Nurhidayah, R. (2024). Analisis groundwater menggunakan data VES berdasarkan resistivitas dan porositas batuan di Kampung Melayu, Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmiah Sains*, 38, 38–47.