

ANALISIS SIGNIFIKANSI PARAMETER PROSES PEMBUATAN PELET KATALIS ZEOLIT ALAM MENGGUNAKAN ANOVA

*Rizky Aryo Suryo Nugroho¹, 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: mbistyupii@gmail.com

Abstrak

Zeolit alam sebagai katalis heterogen memerlukan proses peletisasi untuk meningkatkan stabilitas mekanis dan kemudahan penanganan dalam aplikasi industri. Penelitian ini bertujuan menganalisis signifikansi pengaruh empat parameter proses pembuatan pelet katalis zeolit alam terhadap sifat fisik pelet menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA). Parameter proses yang dianalisis meliputi status kalsinasi, ukuran mesh serbuk, tekanan kompaksi, dan asal zeolit. Tiga respons yang dievaluasi adalah kekuatan tekan pelet, kehilangan massa pada uji pelarutan, dan densitas pelet. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian terdahulu dan dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisis menunjukkan bahwa asal zeolit merupakan faktor yang paling dominan dan signifikan secara statistik ($p < 0,01$) dalam mempengaruhi variasi sifat fisik pelet katalis, diikuti oleh tekanan kompaksi. Sementara itu, status kalsinasi dan ukuran mesh tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap ketiga respons yang diamati. Temuan ini menegaskan pentingnya pengendalian kualitas bahan baku zeolit sebagai prioritas utama dalam proses manufaktur pelet katalis berbasis zeolit alam.

Kata kunci: *analysis of variance* (anova); manufaktur pelet; parameter proses; pelet katalis; zeolit alam

Abstract

Natural zeolite as a heterogeneous catalyst requires a pelletization process to enhance mechanical stability and ease of handling in industrial applications. This study aims to analyze the significance of four process parameters in the manufacture of natural zeolite catalyst pellets on their physical properties using the Analysis of Variance (ANOVA) method. The process parameters investigated include calcination status, powder mesh size, compaction pressure, and zeolite origin. Three response variables were evaluated: pellet compressive strength, mass loss during dissolution testing, and pellet density. The data used were secondary data obtained from previous studies and statistically analyzed using ANOVA at a 95% confidence level. The results indicate that zeolite origin is the most dominant and statistically significant factor ($p < 0.01$) affecting the variation in the physical properties of catalyst pellets, followed by compaction pressure. In contrast, calcination status and mesh size do not exhibit a significant effect on the three observed responses. These findings emphasize the importance of controlling the quality of zeolite raw materials as a primary priority in the manufacturing process of natural zeolite-based catalyst pellets.

Keywords: *analysis of variance* (anova); catalyst pellet; natural zeolite; pellet manufacturing; process parameters

1. Pendahuluan

Zeolit alam telah banyak dikaji sebagai katalis heterogen dengan potensi tinggi dalam berbagai aplikasi industri kimia [1]. Namun, penerapan praktis zeolit alam sering terkendala oleh bentuk alaminya yang berupa serbuk halus, yang dapat menyebabkan permasalahan seperti pressure drop yang tinggi serta kehilangan material selama operasi reaktor [2]. Oleh karena itu, transformasi zeolit alam menjadi bentuk pelet padat melalui proses peletisasi menjadi solusi yang umum diterapkan untuk meningkatkan stabilitas mekanis dan kemudahan penanganan. Akan tetapi, proses peletisasi melibatkan sejumlah parameter proses yang saling berinteraksi dan dapat mempengaruhi sifat akhir pelet, termasuk kekuatan mekanis, ketahanan terhadap pelarutan, dan densitas [3]. Dalam konteks manufaktur, pemahaman mengenai parameter proses yang berpengaruh signifikan menjadi kunci untuk merancang proses yang efisien dan konsisten.

Pendekatan statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi signifikansi pengaruh faktor-faktor proses terhadap variasi respons secara kuantitatif [4]. Melalui ANOVA, kontribusi masing-masing parameter proses terhadap variasi sifat fisik produk dapat dianalisis secara objektif berdasarkan tingkat signifikansi statistiknya [5]. Penelitian ini memanfaatkan ANOVA untuk menganalisis data sekunder dari proses pembuatan pelet katalis zeolit alam. Tujuan penelitian ini adalah menguji signifikansi pengaruh status kalsinasi, ukuran mesh serbuk, tekanan kompaksi, dan asal zeolit terhadap variasi sifat fisik pelet katalis, serta mengidentifikasi parameter proses yang paling dominan berdasarkan kontribusinya terhadap variasi total sifat fisik pelet.

2. 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.

2.1 Faktor, Level, dan Sumber Data

Penelitian ini menganalisis empat faktor proses yang umum dalam peletisasi zeolit alam [6]. Level untuk setiap faktor ditetapkan berdasarkan variasi umum dalam literatur, seperti disajikan pada Tabel 1. Data yang digunakan merupakan data sekunder hasil pengujian sifat fisik pelet (kekuatan tekan, kehilangan massa uji larut, dan densitas) dari korpus penelitian terdahulu, yang dikompilasi dan disesuaikan dengan kerangka desain yang ditetapkan.

Tabel 1. Data faktor dan level optimasi

No	Faktor	Level
1	Ukuran mesh zeolit	60 ; 120 ; 250
2	Tekanan kompaksi (Ton Metrik)	0,5 ; 1 ; 1,5
3	Kalsinasi	Ya ; Tidak
4	Asal Zeolit	A ; B ; C

2.2 Desain Eksperimen dan Metode Analisis

Proses menganalisis pengaruh keempat faktor proses tersebut secara kuantitatif, dilakukan analisis statistik menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA). ANOVA satu arah digunakan untuk menguji hipotesis nol bahwa tidak terdapat perbedaan nilai rata-rata respons antar level dari masing-masing faktor proses yang dianalisis. Metode ini memungkinkan evaluasi signifikansi pengaruh setiap faktor terhadap variasi sifat fisik pelet katalis secara objektif dan terukur [7].

Tingkat signifikansi faktor ditentukan berdasarkan nilai p -value pada tingkat kepercayaan 95%. Faktor dengan nilai p -value $< 0,05$ dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variasi respons yang diamati [4]. Selain itu, besarnya kontribusi masing-masing faktor terhadap variasi total dihitung berdasarkan nilai Sum of Squares dan dinyatakan dalam bentuk persentase (%), sehingga dapat diidentifikasi parameter proses yang paling dominan dalam mempengaruhi sifat fisik pelet katalis zeolit alam.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Analysis of Variance (ANOVA)

Hasil perhitungan ANOVA untuk menganalisis pengaruh gabungan faktor-faktor terhadap variasi respons disajikan pada Tabel 2. Hasil ini memberikan gambaran yang jelas mengenai signifikansi dan dominansi setiap parameter.

Tabel 2. Analysis of variance (anova) untuk sn ratio

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kalsinasi	1	0,6672	0,6672	0,6672	1,7	0,221
Ukuran Mesh	2	1,366	1,366	0,683	1,74	0,224
Tekanan Kompaksi	2	6,7143	6,7143	3,3572	8,56	0,007
Asal Zeolit	2	12,2377	12,2377	6,1188	1,561	0,001
Residual Error	10	3,9203	3,9203	0,392	—	—
Total	17	24,9055	—	—	—	—

3.2 Pembahasan Signifikansi dan Dominasi Faktor

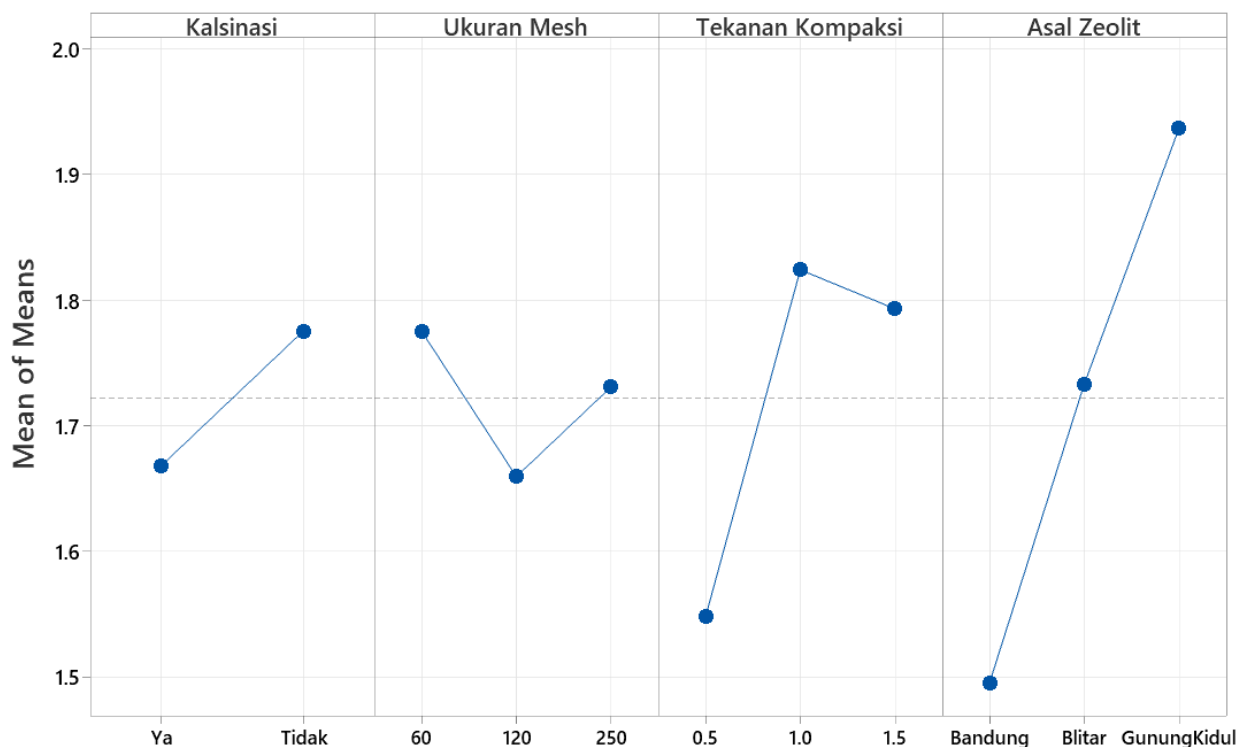
Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa asal zeolit merupakan faktor yang paling dominan dan signifikan secara statistik dalam mempengaruhi variasi sifat pelet, dengan kontribusi sebesar 49,1% dan nilai p -value 0,001 (sangat signifikan). Hal ini mengindikasikan bahwa variasi geokimia, mineralogi, dan tekstur awal dari zeolit asal lokasi berbeda memiliki dampak yang sangat kuat terhadap sifat akhir pelet, melebihi pengaruh parameter proses [8]. Faktor Tekanan Kompaksi juga menunjukkan pengaruh yang signifikan ($p = 0,007$) dengan kontribusi 27,0%, yang sesuai dengan prinsip dasar kompaksi padatan dimana tekanan menentukan kepadatan dan ikatan antar partikel [9].

Di sisi lain, status kalsinasi dan ukuran *mesh* tidak signifikan ($p > 0,05$) dalam analisis ini, dengan kontribusi di bawah 6%. Ketidaksignifikanan kalsinasi mungkin disebabkan oleh rentang suhu atau durasi dalam data sekunder yang tidak cukup untuk menginduksi perubahan struktural drastis pada zeolit. Sementara itu, pengaruh ukuran *mesh* yang kecil dapat diakibatkan oleh efek kompaksi yang menyamakan kerapatan *green body* dari berbagai ukuran partikel awal [10].

Temuan ini menyoroti bahwa dalam konteks data yang dianalisis, pemilihan sumber material zeolit dan pengaturan tekanan kompaksi merupakan aspek kritis yang harus dikontrol, sementara variasi kalsinasi dan ukuran partikel mungkin dapat disederhanakan tanpa secara signifikan mengubah variabilitas *output*.

3.3 Analisis Tren Pengaruh Faktor Berdasarkan Rata-Rata Respons

Untuk melengkapi analisis statistik, *Main Effects Plot for Means* (Gambar 1) secara visual menunjukkan bagaimana perubahan level pada setiap faktor mempengaruhi nilai rata-rata respons gabungan.



Gambar 1. Main effects plot untuk means

Analisis koefisien model untuk rata-rata (Tabel 3) memperkuat observasi dari Gambar 1. Koefisien positif menunjukkan peningkatan rata-rata kinerja gabungan terhadap level referensi (konstanta). Asal zeolit C memiliki koefisien negatif terbesar (-0,226, $p=0,001$), yang berarti dalam konteks data ini, zeolit asal C memberikan kontribusi positif yang lebih rendah terhadap kinerja gabungan dibandingkan asal lainnya (dengan A sebagai referensi). Sebaliknya, Tekanan 1,0 ton memiliki koefisien positif tertinggi (0,102) di antara level tekanan, mengindikasikan sebagai level yang paling menguntungkan untuk kinerja gabungan dalam rentang yang diteliti. Koefisien untuk Kalsinasi dan Ukuran Mesh yang kecil dan tidak signifikan ($p > 0,05$) selaras dengan hasil ANOVA pada Gambar 1, menegaskan kembali pengaruhnya yang minimal terhadap variasi kinerja pelet.

Tabel 3. Model coefficients untuk means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,72167	0,0327	52,644	0
Kalsinasi: Ya	-0,05358	0,0327	-1,638	0,132
Ukuran Mesh: 60	0,05328	0,04625	1,152	0,276
Ukuran Mesh: 120	-0,06229	0,04625	-1,347	0,208
Tekanan: 0,5	-0,17346	0,04625	-3,75	0,004
Tekanan: 1,0	0,10224	0,04625	2,211	0,052
Asal Zeolit: C	-0,22611	0,04625	-4,889	0,001
Asal Zeolit: B	0,01143	0,04625	0,247	0,81

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis *Analysis of Variance* (ANOVA), dapat disimpulkan bahwa dari empat parameter proses yang dikaji, asal zeolit merupakan faktor paling dominan dan signifikan secara statistik dalam mempengaruhi variasi sifat kekuatan tekan, ketahanan larut, dan densitas pelet katalis zeolit alam, dengan kontribusi mencapai 49,1%. Tekanan kompaksi juga merupakan faktor signifikan dengan kontribusi 27,0%. Sementara itu, status kalsinasi dan ukuran *mesh* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95%. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah pentingnya melakukan karakterisasi dan kontrol kualitas yang ketat terhadap sumber bahan baku zeolit, serta optimasi tekanan kompaksi, sebagai langkah utama untuk mengurangi variasi dan meningkatkan konsistensi kualitas pelet katalis. Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada eksplorasi interaksi antara asal zeolit dan tekanan kompaksi untuk pemahaman yang lebih komprehensif.

5. Daftar Pustaka

- [1] Bartholomew, C.H., Farrauto, R.J., 2006, *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- [2] Hidayatumnisa, N.A., Fajrin, J., Kencanawati, N.N., Hariyadi, 2020, "Aplikasi Metode Desain Eksperimen Taguchi untuk Mencari Komposisi Optimum Bata Non-bakar," *Jurnal Teknis Sipil*, 14(2): 114-122.
- [3] Aprilyanti, S., Suryani, F., 2020, "Penerapan Desain Eksperimen Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Batu Bata dari Sekam Padi," *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 15(2): 102-108.
- [4] Roy, R.K., 2010, *A Primer on the Taguchi Method*, Society of Manufacturing Engineers.*-
- [5] Montgomery, D.C., 2017, *Design and Analysis of Experiments*, 9th Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [6] Sangsuradet, S., Ongchalerm, B., Arunchai, T., Khamkenbong, T., Worathanakul, P., 2021, "Optimization of CO₂ Adsorption and Physical Properties for Pelletization of Zeolite 5A," *Current Applied Science and Technology*, 22(3).
- [7] A. Muid, Dahda, S.S., 2016, "Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Produk UKM Makanan Khas Sidayu Bonggolan," *Jurnal Inovasi Industri*, 1(2): 302-309.
- [8] Iskandar, N., Al-Kareem, S., Sulardjaka, Syaiful, Widayat, 2023, "Characteristics of mechanical strength on pellet catalysts from Bandung natural zeolite material due to the influence of variations in mesh size," *AIP Conference Proceedings*, 2706(1): 020032.
- [9] Putra, I. G. P. P. M., Iskandar, N., Sulardjaka, 2023, "Pengaruh Persentase Binder Bentonit Terhadap Densitas Pelet Katalis Zeolit Alam," *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1): 44-47.
- [10] Janchen, J., et al., 2012, "Hydrothermal Stability of Binderless Zeolite Pellets for Adsorption Processes," *Microporous and Mesoporous Materials*, 164: 234-241.