

## PENGARUH KALSINASI PELET KATALIS ZEOLIT ALAM PADA KEKUATAN MEKANIS DENGAN BINDER KAOLIN

\*Rona Andriyanto S N<sup>1</sup>, Norman Iskandar<sup>2</sup>, Sulardjaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: ronaandriyanto12@gmail.com

### Abstrak

Seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil, banyak penelitian untuk menggantikan bahan bakar fosil, salah satunya biodiesel. Dalam proses pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan mengurangi energi aktivasi. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan katalis heterogen berbahan dasar zeolit alam berbentuk pelet. Zeolit sendiri merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi. Zeolit bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul, karena itu zeolit cocok dijadikan katalisator. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang berfokus pada proses pembuatan dan pengujian pelet katalis berbahan dasar zeolit dan binder kaolin dengan perlakuan kalsinasi menggunakan metode kompaksi dengan tekanan 1,5 ton matriks. Hasil penelitian yaitu pelet katalis dari zeolit alam dengan perlakuan kalsinasi dengan *dies* berdiameter 5 mm dan tinggi 10 mm memiliki rata-rata diameter 5,13 mm, tinggi 5,50 mm, dan volume 113,68 mm<sup>3</sup> untuk variasi 70% zeolit + 30% kaolin, serta nilai max force dan compress strength tertinggi yaitu 119,10 N dan 5,76 MPa.

**Kata kunci:** biodiesel; kaolin; kekuatan mekanis; pelet katalis; zeolit

### Abstract

*Along with the increasing use of fossil fuels, there are many studies to replace fossil fuels, one of which is biodiesel. In the process of making biodiesel, a catalyst is needed to increase the reaction rate and reduce the activation energy. The purpose of this research is to develop a heterogeneous catalyst based on natural zeolite in the form of pellets. Zeolite itself is a hydrated alumina silicate crystal containing alkali cations or alkaline earth in the form of a three-dimensional skeleton. Zeolite is acidic and has molecular-sized pores, therefore zeolite is suitable as a catalyst. This study used an experimental method that focused on the process of making and testing catalyst pellets made from zeolite and kaolin binders with calcination treatment using the compaction method with a pressure of 1.5 tons matrix. The results of the study were catalyst pellets from natural zeolite with calcination treatment with dies with a diameter of 5 mm and a height of 10 mm had an average diameter of 5.13 mm, a height of 5.50 mm, and a volume of 113.68 mm<sup>3</sup> for a variation of 70% zeolite + 30% kaolin, as well as the highest max force and compress strength values of 119.10 N and 5.76 MPa.*

**Keyword:** *biodiesel; catalyst pellets; kaolin; mechanical strength; zeolite*

### 1. Pendahuluan

Dengan semakin banyaknya jenis dan jumlah mesin-mesin yang menggunakan mesin diesel saat ini, maka kebutuhan bahan bakar solar akan ikut meningkat. Biodiesel yang diharapkan menggantikan bahan bakar solar dikarenakan memiliki unsur yang sama karena terdapat unsur karbon (C), Hidrogen (H), dan Sulfur (S). Dalam pembuatan biodiesel diperlukan katalis karena waktu aktivasi yang relatif lama dan energi aktivasi yang tinggi. Katalis adalah senyawa yang bila ditambahkan ke suatu reaksi akan mengurangi energi aktivasi dan meningkatkan laju reaksi (waktu reaksi). Jumlah katalis tidak berubah selama reaksi karena tidak dikonsumsi sebagai bagian dari proses reaksi. [1,2]

Katalis sendiri umumnya dikategorikan menjadi tiga bentuk cair, bubuk, dan pelet. Katalis bentuk pelet merupakan katalis paling unggul dalam aspek stabilitas mekanis dan penggunaan yang berulang. Katalis ini dapat dibuat dalam berbagai bentuk yang bervariasi, dan penanganan yang lebih mudah. Pada pelet katalis aspek porositas sangat penting karena akan menentukan kinerja katalis. Porositas sendiri mengacu kepada pori-pori atau rongga yang ada pada katalis untuk molekul-molekul reaktan dan produk melewati katalis dan berinteraksi dengan permukaan katalis [3].

Selain porositas, kekuatan mekanis pelet katalis juga merupakan salah satu faktor yang diperhatikan dalam katalis. karena kekuatan mekanis berpengaruh kepada kestabilan, karakterisasi, dan pemulihan bentuk pada kerja katalis setelah reaksi kimia. Dengan kekuatan mekanis yang tinggi maka pelet katalis dapat digunakan kembali secara berulang hingga beberapa kali setelah digunakan karena dapat mempertahankan bentuknya sehingga mengurangi biaya produksi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Katalis

Katalis sendiri adalah senyawa yang apabila ditambahkan ke dalam suatu reaksi dapat mengurangi energi aktivasi dan meningkatkan laju reaksi pada reaksi kimia. Katalis tidak ikut bereaksi dengan sistem, maka jumlah katalis sebelum dan sesudah reaksi tidak berkurang. Berdasarkan jenisnya, katalis dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu katalis homogen, heterogen, dan enzim. Sedangkan berdasarkan bentuknya, katalis dikategorikan menjadi cair, serbuk, dan pelet. [2].



**Gambar 1.** Bentuk Katalis (a) Katalis Pelet, (b) Katalis Serbuk, (c) Katalis Cair

### 2.2 Zeolit

Zeolit adalah kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi. Secara umum zeolit dibagi menjadi dua yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis. Zeolit bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul. Zeolit termasuk sebagai mineral berpori, dan memiliki sifat yang sama dengan mineral silika lainnya. Mekanisme interaksi molekul dapat terjadi secara penyerapan fisika (gaya van der Waals), penyerapan kimia (gaya elektrostatis), ikatan hidrogen, dan pembentukan kompleks koordinasi. Efektivitas penyerapan zeolit bergantung kepada sifat zat yang diserap, kemampuan pertukaran ion, keasaman padatan zeolit, dan kelembaban sistem [4].



**Gambar 2.** Zeolit Alam

### 2.3 Binder

Bahan pengikat bekerja dengan cara mempengaruhi gaya kohesif antara partikel serbuk sehingga menghasilkan tablet atau pelet yang kuat setelah dipadatkan. Bahan pengikat ini nantinya akan mempengaruhi kekuatan mekanik dan membuat keseragaman ukuran dan juga keberhasilan pembuatan pelet saat dipadatkan. Penelitian yang dilakukan oleh *Shams & Mirmohammadi*. (2007), menunjukkan bahwa hasil kemurnian zeolit tertinggi, laju pertukaran ion kalsium tertinggi, dan hasil pengayakan terbaik diperoleh ketika 30% pengikat atau binder (kaolin) digunakan [5]. Binder atau pengikat mempunyai pengaruh besar pada sifat adsorpsi zeolit yang disintesis. Serbuk zeolit dengan bentuk pelet yang menggunakan perlakuan panas jika dibandingkan dengan yang dibuat menggunakan kaolin dan tidak dilakukan perlakuan panas, memperlihatkan reaktivitas yang jauh lebih tinggi terhadap oligomerisasi tiofena (karena fasa kaolinit yang tidak berubah) [6].

### 2.4 Kalsinasi

Kalsinasi merupakan proses pemanasan suatu benda hingga temperaturnya tinggi, tetapi masih di bawah titik lebur untuk menghilangkan kandungan pengotor yang dapat menguap serta mempertahankan komposisi kimia yang diinginkan. Proses aktivasi zeolit melalui kalsinasi menyebabkan pelepasan air sehingga luas permukaan pori-pori zeolit bertambah yang meningkatkan kemampuan untuk adsorpsi. Kalsinasi pelet katalis zeolit dimaksudkan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. suhu kalsinasi memainkan peran yang sangat penting dalam proses reaksi [7].

### 2.5 Kekuatan Mekanis

Kekuatan mekanis pelet menggambarkan ketahanan pelet terhadap kerusakan fisik baik selama transportasi dan penyimpanan, serta dalam kinerja katalis. Dalam produksi pelet, perlu diperhatikan dengan cermat terhadap faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan mekanis serta memastikan kekuatan mekanis pelet yang memadai. Untuk mengetahui

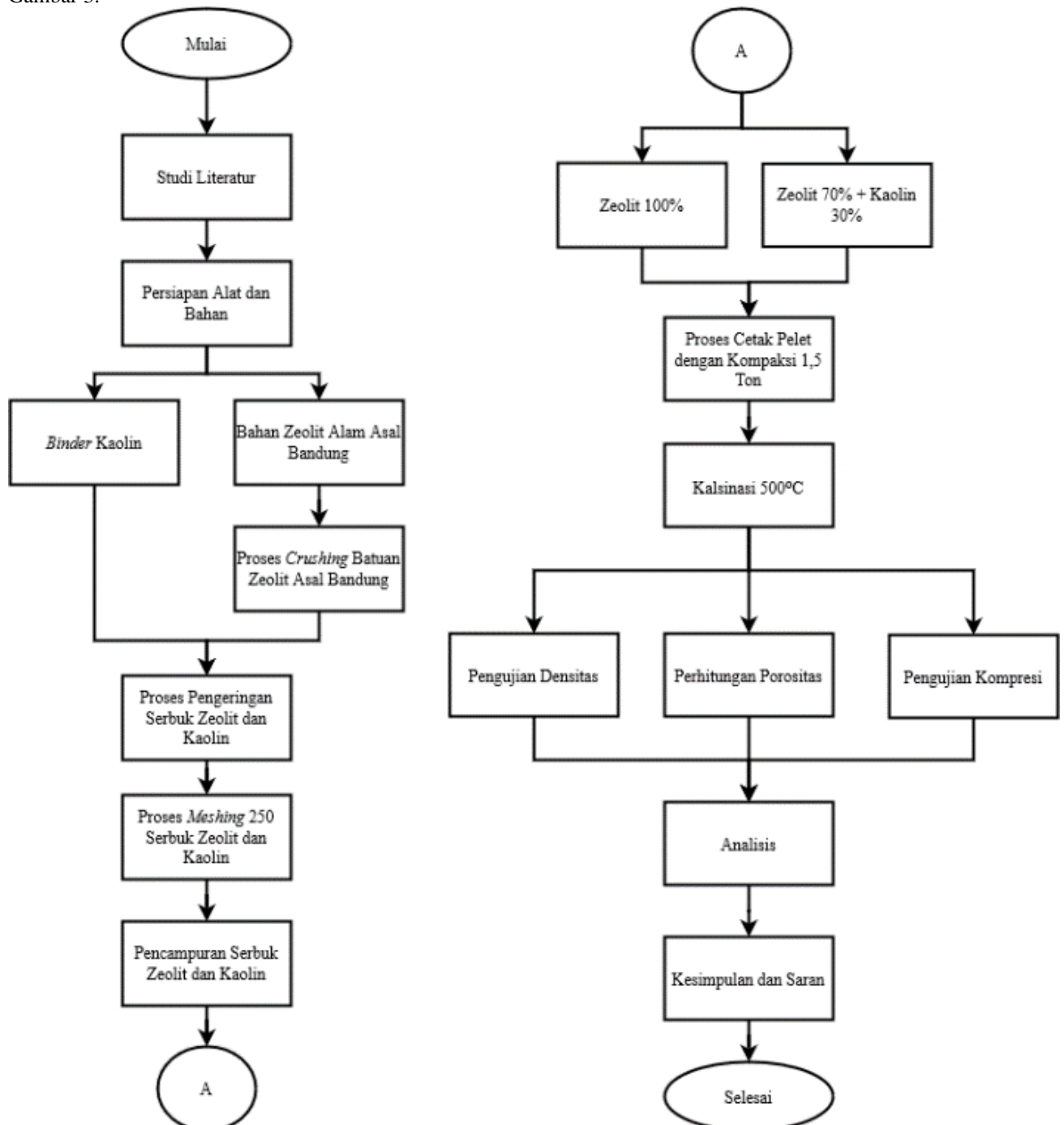
nilai mekanis pelet perlu dilakukan pengujian *compression test* [8]. Dengan pengujian ini bisa diketahui gaya maksimal yang dapat ditahan pelet katalis. Pengujian ini menggunakan metode *side crush strength* dengan ASTM D4179 [9].

Terdapat beberapa perbedaan kekuatan mekanik antar sampel, namun karena adanya kemungkinan *error* dalam proses pembuatannya, maka tidak dapat dilakukan rata-rata pada nilai kekuatan. Namun, jika nilai kekuatan mekanik dipilih dengan benar dan dianalisis untuk menggambarkan kekuatan mekanik dalam variasi tersebut, maka distribusinya dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan sebab kegagalan pelet katalis. Informasi ini berguna untuk menentukan keandalan mekanis pelet katalis dan untuk membandingkan sifat mekanik antara sampel katalis yang berbeda dalam suatu variasi.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian maka diperlukan tahapan yang dijelaskan secara singkat pada diagram alir seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

### 3.2 Bahan/Material Penelitian

Dalam penelitian pembuatan pelet katalis untuk mempercepat proses pembuatan biodiesel, bahan yang digunakan yaitu zeolit alam yang berasal dari bandung yang memiliki ciri berwarna kehijauan dan binder kaolin. Zeolit yang didapatkan di pasaran berbentuk batuan, kemudian dilakukan proses *crushing* untuk mengubah batuan menjadi serbuk. Zeolit dan binder tanah liat di panaskan dengan suhu 110 °C selama 3 jam untuk menghilangkan kadar air. Setelah serbuk telah kering, dilakukan proses *meshing* zeolit dan binder tanah liat dengan ukuran 250 mesh. Proses selanjutnya adalah mencampurkan zeolit dengan binder kaolin dengan variasi 70% zeolit + 30% kaolin menggunakan alat *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 500 rpm selama 5 menit.

### 3.3 Proses Pembuatan

Pelet katalis diproduksi dengan proses kompresi menggunakan *hydrolic press machine*. Bentuk cetakan yang digunakan berupa silinder dengan diameter dalam  $\pm 5$  mm. Tekanan yang digunakan adalah 1,5 ton matrik. Proses pembuatannya dimulai dengan memasukkan bahan ke dalam cetakan, menekan bahan sesuai beban tekanan yang ditentukan, kemudian menjaga waktu tahan selama 20 detik untuk memastikan bahan ditekan secara maksimal. Setelah pelet dicetak, pelet dilakukan perlakuan kalsinasi pada suhu 550 °C dengan *holding time* 3 jam untuk menghilangkan kotoran dan kandungan air pada pelet.

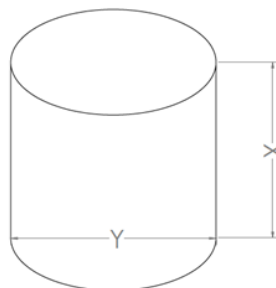
### 3.4 Pengujian

Pada penelitian ini fokus pada kekuatan mekanis pelet katalis. Dengan mengetahui kekuatan mekanis, maka dapat mengetahui sifat dari setiap variasi pelet katalis. Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah *side crush strength* (SCS) dimana sampel pelet akan ditekan saat diletakkan di antara 2 (dua) piringan logam dimana salah satu piringan logam dalam keadaan diam dan yang lainnya bergerak ke bawah dengan arah aksial untuk memberikan tekanan di bawah laju pembebanan tekan kuasi-statis sebesar 0,5 mm/menit menggunakan *universal testing machin* HT-2402. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D4179. Sebelum dilakukan pengujian, diperlukan pengukuran geometri dari pelet katalis untuk mengetahui diameter, tinggi dan juga volume.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Spesimen Pelet Hasil Produksi

Pelet katalis hasil produksi menggunakan metode kompaksi memiliki bentuk tabung, sesuai dengan bentuk *dies* (5 mm x 10 mm), dengan diameter sekitar 5 mm. Vektor spesimen dari pelet katalis dengan x dan y adalah tinggi dan diameter pelet katalis dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Vektor Spesimen Pelet Katalis

### 4.2 Geometri Pelet Katalis

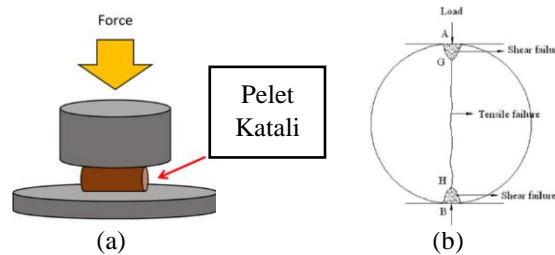
Pengukuran geometri sampel pelet katalis meliputi tinggi, diameter, massa, dan volume pelet. Tujuan dilakukannya pengukuran geometri adalah untuk mengetahui spesifikasi pelet katalis yang dicetak setelah proses kalsinasi. Pelaksanaan pengukuran geometri tersebut didukung dengan alat ukur berupa *vernier caliper* dengan ketelitian 0,02 dan neraca analitik dengan ketelitian 0,001. Proses pengukuran fisik pelet dilakukan sebanyak 5 buah pelet pada setiap variasi, hal itu dikarenakan setiap variasi produk katalis pelet dilakukan produksi secara manual satu persatu, karena itu 5 buah pelet pada setiap variasinya dianggap sudah mewakili masing-masing variasi dalam analisis pengukuran geometri pada penelitian ini. Rata-rata geometri pelet katalis variasi 70% zeolit + 30% kaolin dengan perlakuan kalsinasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kompresi Pelet Katalis Zeolit Alam dengan Binder Kaolin Perlakuan Kalsinasi

Perlakuan	Ukuran Serbuk (Mesh)	Tekanan (Ton Matrik)	Komposisi Binder	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Massa (g)	Volume (mm <sup>3</sup> )
Kalsinasi	250	1,5	0%	5,16	5,13	0,1925	113,68

### 4.3 Kekuatan Mekanis Pelet

Pengujian kompresi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekuatan maksimum pelet katalis zeolit dalam menahan kekuatan tekan dan mendapatkan nilai ketahanan Pelet mampu menerima beban. Pada pengujian ini menggunakan standar ASTM D4179. Pada prinsipnya luas penampang yang terkena gaya adalah lingkaran sepanjang diameter pelet katalis. Profil pembebanan dan profil kegagalan pada pengujian *side crushing strength* dapat dilihat pada Gambar 5 [10].



**Gambar 5** (a) Profil Pembebanan [10] dan (b) Profil Kegagalan pada Uji Kompresi [10]

Salah satu hasil pengujian kompresi adalah gaya tekan maksimal (*force peak*) dari sebuah pelet. Nilai *max force* hasil pengujian kompresi merupakan nilai gaya maksimal yang dapat ditahan oleh suatu spesimen (pelet katalis) sebelum mengalami kegagalan, nilai *max force* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kompresi Pelet Katalis Zeolit Alam dengan Binder Kaolin Perlakuan Kalsinasi

Perlakuan	Ukuran Sieve (mesh)	Tekanan (Ton Matrik)	Komposisi Binder	Max Force (N)		
				1	2	3
Kalsinasi	250	1,5	30%	110,0	103,2	144,1

Setelah mengetahui nilai *max force*, nilai *compress strength* yang menunjukkan kemampuan suatu bahan/spesimen untuk menahan tekanan atau gaya tekan. Nilai *compress strength* digunakan menilai sejauh mana suatu bahan/spesimen mampu menahan tekanan sebelum mengalami deformasi atau mengalami kegagalan yang menunjukkan kualitas pelet katalis. *Compress strength* perlu dicari menggunakan Persamaan 1.

$$P = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D_{pelet} \cdot L_{pelet}} \quad 1.$$

Nilai *compress strength* dihitung menggunakan Persamaan 4.1 dimana nilai F didapatkan dari pengujian kompresi,  $D_{pelet}$ , dan  $L_{pelet}$  merupakan diameter dan tinggi dari pelet katalis. Nilai *compress strength* dari pelet katalis zeolit dengan perlakuan kalsinasi dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Kompresi Pelet Katalis Zeolit Alam dengan Binder Kaolin Perlakuan Kalsinasi

Perlakuan	Ukuran Sieve (mesh)	Tekanan (Ton Matrik)	Komposisi Binder	Compress strength (MPa)		
				1	2	3
Kalsinasi	250	1,5	30%	2,48	2,32	3,25

Pada pengujian kompresi ini, didapatkan pada hasil pengujian pada setiap spesimen memiliki *error* yang cukup besar antara satu dengan yang lainnya. Seperti pada pengujian kedua dan ketiga pada variasi 70% zeolit + 30% kaolin dimana memiliki nilai *max force* 103,2 N dan 144,1 N, sedangkan *compress strength* sebesar 2,32 MPa dan 3,25 Mpa. Menurut peneliti hal ini bisa terjadi karena kurangnya homogen pada saat pencampuran serbuk zeolit dan kaolin. Selain itu ada kemungkinan kurang sempurna saat proses kompaksi dan menyebabkan adanya keretakan di dalam pelet katalis yang tidak kasat mata. Spesimen yang hancur terdapat banyak serpihan-serpihan kecil dari pelet zeolit yang menandakan lepasnya butir zeolit dari pelet katalis setelah menerima tekanan pada saat pengujian dilakukan. Sedangkan pada pelet yang lebih sedikit seripahan bahkan hampir tidak ada serpihan dari pelet katalis setelah pengujian yang menandakan pelet pada pengujian ketiga mengalami pecah partikel.

Secara keseluruhan, pelet katalis dengan variasi 70% zeolit + 30% kaolin memiliki kekuatan mekanis yang tinggi. Menurut penelitian *Viseras, dkk. 2007*, partikel kaolin dapat berguna menjadi eksipien (pensuspensi, pengemulsi, pengikat, pengisi, dan drug carrier) serta mempunyai sifat fisik serbuk putih yang ringan dan mempunyai kandungan butiran yang halus serta sifat kimia yang baik sehingga cocok digunakan sebagai binder untuk meningkatkan kekuatan mekanis pelet [11].



## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan produksi, pengujian dan analisis pelet katalis zeolit kalsinasi dengan penambahan binder kaolin. Kesimpulan dari hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Dari hasil perhitungan geometri didapatkan dimensi pelet memiliki rata-rata diameter 5,13 mm, tinggi 5,50 mm, dan volume 113,68 mm<sup>3</sup> dengan menggunakan dies berdiameter 5 mm dan tinggi 10 mm.
2. Dari hasil pengujian pelet katalis zeolit dengan variasi 70% zeolit + 30% kaolin memiliki nilai *max force* sebesar 110,0 N, 103,2 N, dan 144,1 N, sedangkan untuk *compress strength* sebesar 2,48 MPa, 2,32 MPa, dan 3,25 Mpa.
3. Dengan komposisi 30% binder kaolin pada pelet katalis zeolit *max force* dan *compress strength* memiliki nilai yang cukup baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Faputri, A. F., & Agustiorini, I. (2019). Optimalisasi Produksi Biodiesel Dari Minyak Kacang Tanah Bekas Pedagang Sate Menggunakan Proses Esterifikasi Dan Transesterifikasi Dengan Perbedaan Konsentrasi Katalis KOH. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 528-534.
- [2] Halimah, D. (2018). Sintesis Karbon Tersulfonasi dari Cangkang Kemiri Sebagai Katalis pada Hidrolisis Selulosa Tanaman Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) Menjadi Glukosa. *Universitas Sumatera Utara*, 35.
- [3] Rigby, S. P. (2023). The Anatomy of Amorphous, Heterogeneous Catalyst Pellets. *Materials*, 16(8), 3205.
- [4] Atikah, Wulan Safrihatini. 2017. Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil. *Arena Tekstil* Vol. 32 No. 1, 2017: 17-24.
- [5] Shams, K., & Mirmohammadi, S. J. (2007). Preparation of 5A zeolite monolith granular extrudates using kaolin: Investigation of the effect of binder on sieving/adsorption properties using a mixture of linear and branched paraffin hydrocarbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, 106(1-3), 268-277.
- [6] Whiting, G. T., Chowdhury, A. D., Oord, R., Paalanen, P., & Weckhuysen, B. M. (2016). The curious case of zeolite-clay/binder interactions and their.
- [7] Shi, Liang, Zhuang, Mingjie and Zhang, Yongli. (2020). Effect of calcination temperature on catalyst performance in landfill leachate treatment. *Materials Science and Engineering* 768 022002.
- [8] Zakeri, M., Samimi, A., Afarani, M. S., & Salehirad, A. (2017). Interaction between Weibull parameters and mechanical strength reliability of industrial-scale water gas shift catalysts. *Particuology*, 32, 160–166.
- [9] Mecmesin (2020) *Crush strength testing of catalyst pellets*. Available at: <https://www.mecmesin.com/publications/crush-strength-testing-catalyst-pelets>. Diakses 23/10/2023.
- [10] Zaini, I. N., Wen, Y., Mousa, E., Jönsson, P. G., & Yang, W. (2021). Primary fragmentation behavior of refuse derived fuel pellets during rapid pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 216, 106796.
- [11] Viseras, C. *et al.* (2007) 'Uses of clay minerals in semisolid health care and therapeutic products', *Applied Clay Science*, 36(1–3), pp. 37–50.