

**THE EFFECT OF SILICA SAND SIZE ON MECHANICAL PROPERTIES, PERMEABILITY, AND PROPPANT MICROSTRUCTURE**  
**(PENGARUH UKURAN PASIR SILIKA TERHADAP SIFAT MEKANIK, PERMEABILITAS DAN MIKROSTRUKTUR PROPPANT)**

Nover Marta Heru<sup>1</sup>, Dedikarni<sup>1\*</sup>, Rieza Zulrian Aldio<sup>1</sup>, Dody Yulianto<sup>1</sup>, Kurnia Hastuti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

\*Corresponding author: dedikarni@eng.uir.ac.id

**ABSTRACT**

*Silica pellets are a composite ceramic technology product made from silica sand reinforcement which is applied in the oil and gas industry as a proppant (Frank sand) or as an air filter. This study aims to determine the effect of silica sand size on compressive strength, permeability, and microstructure. The size of the selected silica sand is fine silica sand which is 200 mesh, and coarse sand is 50 mesh and bound by polyethylene glycol (PEG) 400. The lowest compressive strength test results were obtained in sample I, 33.24 MPa, while the highest compressive strength was obtained in sample III, which was 34.05 MPa. The larger the grain size of the fine silica pellets, the greater the ability to provide interfacial bonding to polyethylene glycol (PEG) 400. The smaller diameter makes it easier for bonds to occur in the matrix, thereby increasing the compressive strength value. However, the permeability test was inversely related to compressive strength. The highest permeability value was obtained in sample I, 29.93 mD, while the lowest was in sample III, which was 23.35 mD. The size of fine silica sand causes small porosity, while the size of coarse silica sand will produce porosity.*

*Keywords: Compressive strength; microstructure; particle size; permeability, proppant; silica.*

**ABSTRAK**

*Pellet silika merupakan produk teknologi keramik komposit berbahan penguat pasir silika yang diaplikasikan dalam industri minyak dan gas sebagai proppant (pasir frank) maupun sebagai filter air. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh ukuran pasir silika terhadap kekuatan tekan, permeabilitas dan mikrostruktur. Ukuran pasir silika yang dipilih ukuran pasir silika halus yaitu 200 mesh, dan pasir kasar 50 mesh dan diikat oleh polyethylene glycol (PEG) 400. Hasil pengujian kekuatan tekan terendah didapat pada sampel I yaitu 33,24 MPa sedangkan kekuatan tekan tertinggi pada sampel III yaitu sebesar 34,05 MPa. Semakin banyaknya ukuran butir pellet silika halus mampu memberikan ikatan interfacial pada polyethylene glycol (PEG) 400. Ukuran diameter lebih kecil akan memudahkan terjadi ikatan pada matriks sehingga meningkatkan nilai kekuatan tekan. Namun, uji permeabilitas berbanding terbalik pada kekuatan tekan*



*dimana nilai permeabilitas tertinggi didapat pada sampel I yaitu 29,93 mD, sedangkan nilai permeabilitas terendah pada sampel III yaitu sebesar 23,35 mD. Ukuran pasir silika halus menyebabkan porositas yang kecil sedangkan ukuran pasir silika kasar akan menghasilkan porositas.*

*Kata kunci: Kekuatan Tekan; Mikrostruktur; Pasir Silika; Permeabilitas; Proppant; Ukuran Butir.*

## PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki sumber alam melimpah salah satunya yaitu pasir silika. Ada di daerah tepi laut Indonesia, beberapa di antaranya adalah tepatnya di Pulau Rupa, Bengkalis, Riau dan Tuban, Jawa Timur. Namun, pemanfaatannya masih sangat terbatas. Adapun klasifikasi silika ( $\text{SiO}_2$ ) dibagi dalam empat karakter dasar silika yaitu struktur kristal, dispersitas, komposisi permukaan dan porositas (Abdulloh, 2016). Pasir silika atau pasir kuarsa banyak dimanfaatkan sebagai penyaring, mineral pengisi, bahan penyekat, bahan penggosok, adsorben, katalis, sumber silika reaktif, material pembangun dan perekat (Aldes, 2011). Sebelumnya pasir silika ini banyak digunakan oleh industri minyak dan gas sebagai proppant (pasir frak) maupun sebagai filter air.

Permeabilitas didefinisikan sebagai ukuran media berpori untuk meloloskan/melewati fluida. Apabila media berporinya tidak saling berhubungan maka batuan tersebut tidak mempunyai permeabilitas. Oleh karena itu ada hubungan permeabilitas batuan dengan porositas efektif.

Pilihan proppant tergantung pada jenis permeabilitas atau kekuatan butir yang dibutuhkan. Dimana proppant dengan ukuran yang lebih besar akan memberikan permeabilitas rekahan yang lebih baik, karena nilai permeabilitas akan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter dari butiran. Dalam beberapa formasi, dimana tekanannya cukup besar untuk

menghancurkan butiran pasir silika alami, bahan penguat berkekuatan lebih tinggi seperti bauksit atau keramik dapat digunakan. Ukuran sebuah partikel sendiri mempengaruhi keadaan permukaan produk yang dihasilkan (Aldio, 2018).

Proppant yang paling umum digunakan adalah pasir silika, meskipun proppant dengan ukuran dan bentuk yang seragam, seperti proppant keramik diyakini lebih efektif. Proppant sendiri memiliki ukuran porositas efektif sebesar 5%-30% (Putra, 2018).

Irham (2006) telah melakukan penelitian tentang “pengaruh ukuran butir terhadap permeabilitas dan porositas batu pasir” dapat disimpulkan bahwa pengaruh ukuran butir terhadap porositas dan permeabilitas pada batu pasir Formasi Ngrayong, Kerek, Ledok dan Selorejo adalah signifikan. Ukuran butir dengan porositas dan permeabilitas mempunyai hubungan linear yang kuat dan berkorelasi negatif yaitu semakin besar ukuran butirnya maka semakin kecil porositas dan permeabilitasnya.

Penelitian lain oleh Fadli (2019) “Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Porositas dan Permeabilitas” dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh penekanan pellet silika terhadap porositas dan permeabilitas. Dimana peningkatan tekanan hingga 3000 kg meningkatkan nilai porositas namun kembali turun pada tekanan 5000 kg. Dari 3 sampel pellet silika, pellet 2 dengan tekanan 3000 kg memiliki nilai porositas terbesar dengan nilai 39,25% sedangkan pada pellet 3 dengan tekanan

5000 kg memiliki nilai permeabilitas terbesar dengan nilai 57 mD.

Karena adanya permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh ukuran pasir silika terhadap sifat mekanik, permeabilitas dan mikrostruktur proppant.

### **Pengertian Silika**

Silika adalah bahan keramik dengan temperatur tinggi yang banyak digunakan pada industri baja dan gelas. Pembuatan batu silika dilakukan dengan membakar kuarsa yang tingkat kemurniannya rendah pada temperatur 1450°C, dengan mengkonversi sedikitnya 98.5% bagiannya menjadi campuran tridimit dan kristobalit yang bentuknya lebih terbuka dan kurang padat (Hidayat, 2021).

### **Pellet Silika**

Pellet silika merupakan hasil produk yang telah diaglomerasi baik secara langsung dengan cara dikompresi maupun dengan penambahan sejumlah kecil bahan pengikat. Pellet silika memiliki dua bentuk, ada yang berbentuk silinder danyang berbentuk bola (granular) (Dedikarni dkk. 2021).

### ***Polyethylene glycol (PEG)***

*Polyethylene glycol (PEG)* merupakan polimer dari etilen oksida dan air, dibuat menjadi bermacam-macam panjang rantainya. Bahan ini terdapat dalam berbagai macam berat molekul dan yang paling banyak digunakan adalah *polyethylene glycol* 200, 400, 600, 1000, 1500, 1540, 3350, 4000 dan 6000.

### ***Proppant***

*Proppant* adalah material granular yang mencegah penutupan fraktur yang dibuat setelah perawatan faktur. Jenis *proppant* termasuk pasir silika, pasir berlapis resin, bauksit dan keramik buatan manusia. Pilihan *proppant* tergantung pada jenis permeabilitas atau kekuatan butir yang

dibutuhkan (American Petroleum Institute and others, 2008).

### **Permeabilitas**

Permeabilitas didefinisikan sebagai ukuran media berpori untuk meloloskan/melewatkan fluida. Apabila media berporinya tidak saling berhubungan maka batuan tersebut tidak mempunyai permeabilitas. Oleh karena itu ada hubungan antara permeabilitas batuan dengan porositas efektif.

### **Pengujian Mikrostruktur**

Pengujian mikrostruktur merupakan pengujian yang paling efektif untuk melihat apa saja yang terdapat pada spesimen dengan menggunakan sebuah *microscope* yang dapat melakukan pembesaran objek sampai 100 kali.

### **Keramik Komposit**

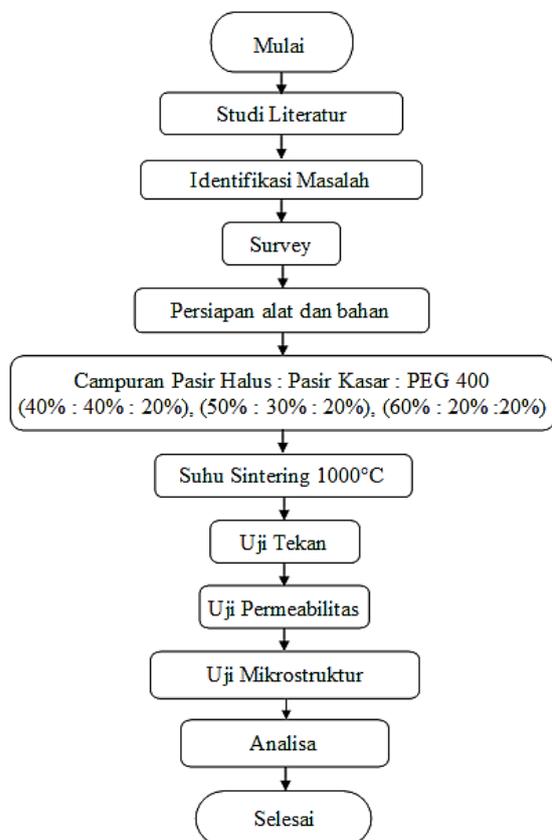
Material komposit adalah sistem bahan yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih unsur mikro atau makro yang berbeda dalam bentuk, komposisi, kimia dan yang pada dasarnya tidak larut dalam satu sama lain. Salah satunya yang disebut matriks (pengikat) dan yang lainnya adalah penguat. Fase yang memperkuat tertanam dalam matriks untuk memberikan karakteristik yang diinginkan. (B.Mahalingegowda & B. S. Mahesh, 2014).

### **Kekuatan Tekan**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material komposit dengan cara memberikan beban gaya tekan yang searah yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tekan pada spesimen uji. Rumus kekuatan tekan dapat menggunakan persamaan

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Proses pengomposisian bahan
2. Proses pencampuran bahan
3. Proses kompaksi
4. Proses *normalizing*

Kemudian dilakukan pengujian kekuatan tekan, permeabilitas dan pengamatan mikrostruktur. Pengujian permeabilitas dilakukan beberapa tahapan: Pertama mengambil sampel pellet silika kemudian dilakukan pengukuran diameter dan tinggi dari sampel pelet komposit guna mencari luas penampang pada pellet silika tersebut. Kemudian sampel pellet silika dimasukan kedalam *coretest system* TKA-209<sup>TM</sup>. Kemudian diatur dari kompresor dan

gas nitrogen sebesar 105 psi. Kemudian gas nitrogen di *supply* didalam *coretest system* dan amati nilai *high flow*, *low flow*, *high DP* dan *low DP*. Dengan mengetahui selisih nilai *high flow* dan *low flow* nya, maka dapat diketahui nilai laju alirnya dan selisih dari *high DP* dan *low DP* dapat diketahui nilai beda tekanannya. Dilakukan secara bertahap pada setiap sampel I, II dan III. Dengan nilai *viskositas* nitrogen sebesar 0,018 cp.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Hasil penelitian dari pengaruh ukuran pasir silika terhadap sifat mekanik, permeabilitas dan mikrostruktur proppant dengan cara melakukan pengujian berupa kekuatan tekan, permeabilitas dan mikrostruktur. Pasir silika dengan perekat *polyethylene glycol* (PEG) 400 telah dicetak melalui beberapa prosedur pengomposisian, proses pencampuran bahan, proses kompaksi dan proses *sintering*. Hasil pembentukan pellet silika dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pembentukan pellet silika

No.	Pasir Silika Halus: Pasir Kasar: PEG 400		Luas Permukaan (mm <sup>2</sup> )
	Pellet Silika		
1.	40% : 40% : 20%		303,8
2.	50% : 30% : 20%		303,8
3.	60% : 20% : 20%		303,8

### Hasil Uji Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

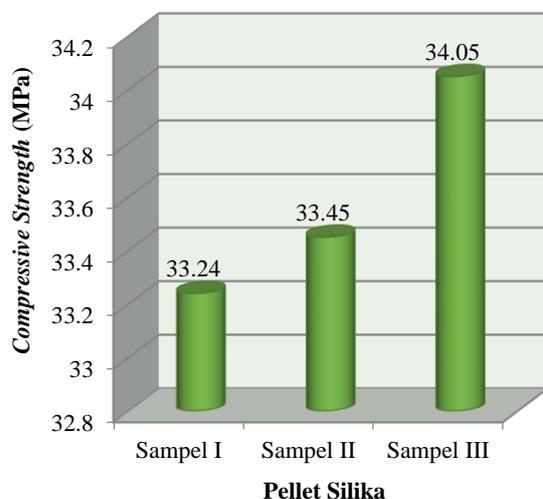
Pengujian kekuatan tekan (*compressive strength*) dilakukan sesuai dengan Standar ASTM D 790 di Laboratorium Quality Control Politeknik Kampar. Setelah dilakukan pengujian terhadap setiap pellet silika. Dapat dilihat bahwa terjadinya retakan dan patahan terhadap pellet silika, karena menggunakan material berupa pasir silika halus, pasir silika kasar dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 yang telah dibentuk menjadi pellet silika.

Hasil uji ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap kekuatan tekan (*compressive strength*) bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap kekuatan tekan

<i>Specimen</i>	<i>Area (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Max. Force (N)</i>	<i>Compressive Strength (Mpa)</i>	<i>Elongation (%)</i>
Sampel 1	129,2	4295,0	33,24	1,94
Sampel 2	130,9	4379,1	33,45	1,94
Sampel 3	131,7	4484,6	34,05	1,94

Hasil pengujian ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap kekuatan tekan dapat juga dilihat gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap kekuatan tekan (*Compressive Strength*)

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa sampel I dengan ukuran pasir silika halus 40%, pasir silika kasar 40% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 20% pada pellet silika mempunyai nilai kekuatan tekan yaitu 33,24 MPa, pada sampel II dengan ukuran pasir silika halus 50%, pasir silika kasar 30% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 20% pada pellet silika mempunyai nilai kekuatan tekan yaitu 33,45 MPa, pada sampel III dengan ukuran pasir silika halus 60%, pasir silika kasar 20% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 20% pada pellet silika mempunyai nilai kekuatan tekan yaitu 34,05 MPa.

Berdasarkan gambar 2, menunjukkan bahwa seiring dengan naiknya ukuran butir pasir silika halus dan turunnya ukuran butir pasir silika kasar terjadi peningkatan secara linier pada sampel I, sampel II dan sampel III. Nilai kekuatan tekan terendah didapat pada sampel I yaitu 33,24 MPa sedangkan nilai kekuatan tekan tertinggi pada sampel III yaitu sebesar 34,05 MPa. Hal ini dikarenakan dengan semakin banyaknya ukuran butir pellet silika halus mampu memberikan ikatan *interfacial* pada *polyethylene glycol* (PEG) 400, dengan ukuran diameter lebih kecil akan memudahkan terjadi ikatan pada matriks sehingga meningkatkan nilai kekuatan tekan. Sedangkan dengan sedikitnya ukuran butir pasir silika kasar lebih memudahkan *polyethylene glycol* (PEG) 400 mengikat pasir silika halus.

### Hasil Perhitungan Ukuran Butir Pellet Silika Terhadap Permeabilitas

Pada pengujian ini metode yang digunakan ialah dengan menggunakan alat gas permeameter dan gas yang digunakan ialah gas nitrogen yang tidak bersifat membasahi batuan dan bisa masuk kedalam pori batuan

secara seragam dan serentak. Sehingga didapatkan nilai permeabilitas seperti terlihat pada tabel 3.

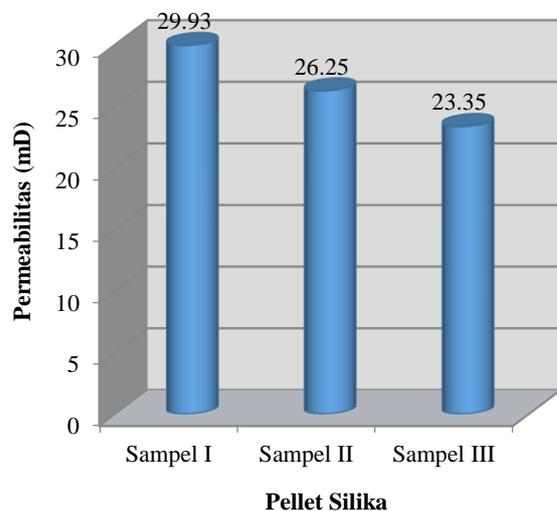
Tabel 3. Hasil uji ukuran butir pasir silika terhadap permeabilitas

Sampel No	Diameter (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Luas (cm <sup>2</sup> )	$\Delta p$ (atm)	Permeabilitas (mD)
I	2,165	3,6794	1,536	2,7	29,93
II	2,207	3,8236	1,543	2,7	26,25
III	2,222	3,8757	1,496	2,7	23,35

Skala nilai permeabilitas

<5 mD	= Buruk
5 – 10 mD	= Cukup
10 – 100 mD	= Baik
100 – 1000 mD	= Sangat baik
>1000 mD	= Istimewa

Hasil pengujian ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap permeabilitas dapat dilihat seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji ukuran pasir silika pada pellet silika terhadap kekuatan tekan (*Compressive Strength*)

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa sampel I dengan ukuran pasir silika halus 40%, pasir silika kasar 40% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sebanyak 20% pada pellet silika mempunyai nilai

permeabilitas yaitu 29,93 mD, pada sampel II dengan ukuran pasir silika halus 50%, pasir silika kasar 30% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sebanyak 20% pada pellet silika mempunyai nilai permeabilitas yaitu 26,25 mD, pada sampel III dengan ukuran pasir silika halus 60%, pasir silika kasar 20% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sebanyak 20% pada pellet silika mempunyai nilai permeabilitas yaitu 23,35 mD. Seiring dengan turunnya ukuran butir pasir silika kasar dan naiknya ukuran butir pasir silika halus terjadi degradasi secara linier pada sampel I, sampel II dan sampel III. Nilai permeabilitas tertinggi didapat pada sampel I yaitu 29,93mD, sedangkan nilai permeabilitas terendah pada sampel III yaitu sebesar 23,35 mD. Hal ini karena adanya hubungan ukuran pasir silika halus yang berlawanan arah dengan ukuran pasir silika kasar. Artinya, apabila ukuran butir pasir silika halus naik dan ukuran butir silika kasar turun maka nilai permeabilitas turun.

### Hasil Pengamatan Pengaruh Komposisi Pelet Komposit Terhadap Struktur Mikro

Uji struktur mikro pada spesimen ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro pada spesimen pellet silika ini. Spesimen yang akan di uji hanya menggunakan perbandingan ukuran pasir silika halus, ukuran pasir silika kasar dan *polyethylene glycol* (PEG) 400.

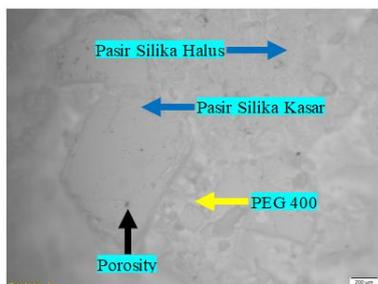
Topografi sampel I dengan pembesaran lensa 50x seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Pasir Silika Halus 40% : Pasir Silika Kasar 40% : *Polyethylene Glycol* (PEG) 400 20%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.3 terlihat bahwa bentuk struktur mikro dengan perbandingan ukuran pasir silika halus 40%, pasir silika kasar 40% dan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sebanyak 20% terlihat lebih banyak rongga atau porosity pada pellet silika. Hal ini disebabkan ukuran butir pasir silika halus dan ukuran butir pasir silika kasar kurang mampu menutupi porosity atau rongga sehingga terlihat lebih banyaknya rongga pada pellet silika. Namun, sangat baik untuk nilai permeabilitas karena banyaknya ukuran butir kasar (Heri dkk, 2021).

Topografi sampel II dengan pembesaran lensa 50x seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Pasir Silika Halus 50% : Pasir Silika Kasar 30% : 20% *Polyethylene Glycol* (PEG) 400

Dari hasil pengamatan pada gambar 5, terlihat bahwa bentuk struktur mikro dengan perbandingan ukuran pasir silika halus 50%, pasir silika kasar 30% dan 20% *polyethylene glycol* (PEG) 400 terlihat lebih dominan pasir silika halus dan terlihat kurangnya rongga atau porosity pada pellet silika. Hal ini disebabkan ukuran butir pasir silika halus mampu ikatan yang cukup kuat dengan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sehingga lebih dominan menutupi rongga pada pellet silika.

Topografi sampel III dengan pembesaran lensa 50x seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Pasir Silika Halus 60% : Pasir Silika Kasar 20% : *Polyethylene Glycol* (PEG) 400 20%

Dari hasil pengamatan pada gambar 6, terlihat bahwa bentuk struktur mikro dengan perbandingan ukuran pasir silika kasar 60%, pasir silika halus 20% dan 20% *polyethylene glycol* (PEG) 400 terlihat lebih dominan pasir silika halus dan lebih sedikitnya rongga atau porosity pada pellet silika. Hal ini disebabkan ukuran butir pasir silika halus yang lebih dominan banyak mampu menutupi rongga pada pellet silika dan membuat suatu ikatan interfacial yang kuat. Namun, kurang baik untuk nilai permeabilitas.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian dari pengaruh ukuran pasir silika terhadap sifat mekanik, permeabilitas dan mikrostruktur proppant dengan cara melakukan pengujian berupa kekuatan tekan, permeabilitas dan mikrostruktur, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Naiknya ukuran butir pellet silika kasar dan turunnya ukuran butir pellet silika halus mampu memberikan ikatan *interfacial* dengan *polyethylene glycol* (PEG) 400 sehingga meningkatkan nilai kekuatan tekan. Tetapi ukuran butir pasir silika kasar naik dan ukuran butir silika halus turun maka nilai permeabilitas turun. Pengamatan mikrostruktur pada sampel dengan ukuran partikel halus lebih dominan terlihat lebih sedikit rongga atau porosity terbentuk sehingga membuat suatu ikatan interfacial yang lebih kuat.

## PENGHARGAAN

Penelitian ini telah dilakukan dengan dukungan Prodi. Teknik Mesin, Prodi. Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Serta Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Islam Riau dengan Dana Internal 272/KONTRAK/P-PT/DPPM-UIR/07-2022.

Dedikarni et al./REM Vol 6 No.01/2023

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, U. (2016). Pengaruh Variasi Aging Terhadap Porositas Nanosilika Sebagai Adsorben Gas Nitrogen. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)* Volume 05 Nomor 01.
- Aldes, L. (2011). Studi Interaksi Vanadium dan Nikel dengan Pasir Kuarsa. *Jurnal Penelitian Sains* Vol. 14 4(C) 14410. Hlm. 43-46.
- Aldio, R. Z., Dedikarni, Saputra, B., Anwar, I. & Masdar, M.S. (2021). Effect Of Spraying and Mesh Size on Surface Roughness of SS400 Steel Sandblasting Process. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 4(02).
- Fadli, H., Dedikarni, Aldio, R.Z. & Yulianto, D. (2021). The effect of silica pellet pressing towards porosity and permeability. *Journal Renewable energy & mechanics*. Vol. 4(1). Hlm.1-6.
- Heri, P. (2019). *Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Porositas dan Permeabilitas*. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- Nyoman, M, D. (2017). Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Leaching Agent NaCl Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn Dengan Metode Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Orthopedic Devices. *Skripsi*. Jurusan Teknik Material dan Metallurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Nurun, N. (2014). Teknologi Material Komposit. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>.
- Panuh, D., Aldio, R.Z. & Hidayah, A.S. (2021). Design of mold press for the manufacturing of silica sand pellet form. *Jurnal Litbang Industri*. Vol. 11(2). Hlm. 90-96.
- Supiansyah, (2015). Pengaruh Variasi Volume Matriks Recycled Polypropylene (Rpp) Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Batang Pisang. *Skripsi*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Yasgi, S., (2021). Pengaruh Komposisi Pasir Silika dan Aluminium Terhadap Porositas, Permeabilitas dan Struktur Mikro Pelet Komposit. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Pekanbaru.