

## **TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH PENEKANAN PELLET SILIKA TERHADAP SIFAT MEKANIK (*HARDNESS*) DAN POROSITAS SERTA MIKROSTRUKTUR PLAT PANEL KERAMIK KOMPOSIT**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Islam Riau*



**OLEH :**

**NINDY CHANDRA**  
**14.331.0248**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2021**

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Nindy Chandra

NPM : 14.331.0248

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Sifat Mekanik (Hardness) Dan Porositas Serta Mikrostruktur Plat Panel Keramik Komposit**” yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Apabila di kemudian hari ada yang merasa dirugikan dan atau menuntut karena penelitian ini menggunakan sebagian hasil tulisan atau karya orang lain tanpa mencantumkan nama penulis yang bersangkutan, atau terbukti karya ilmiah ini **bukan** karya saya sendiri atau **plagiat** hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pekanbaru, 30 November 2021



**Nindy Chandra**  
**14.331.0248**

## KATA PENGANTAR



**Assalamualaikum, Wr. Wb.**

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini. Adapun tujuan penulisan tugas sarjana ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Prodi Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

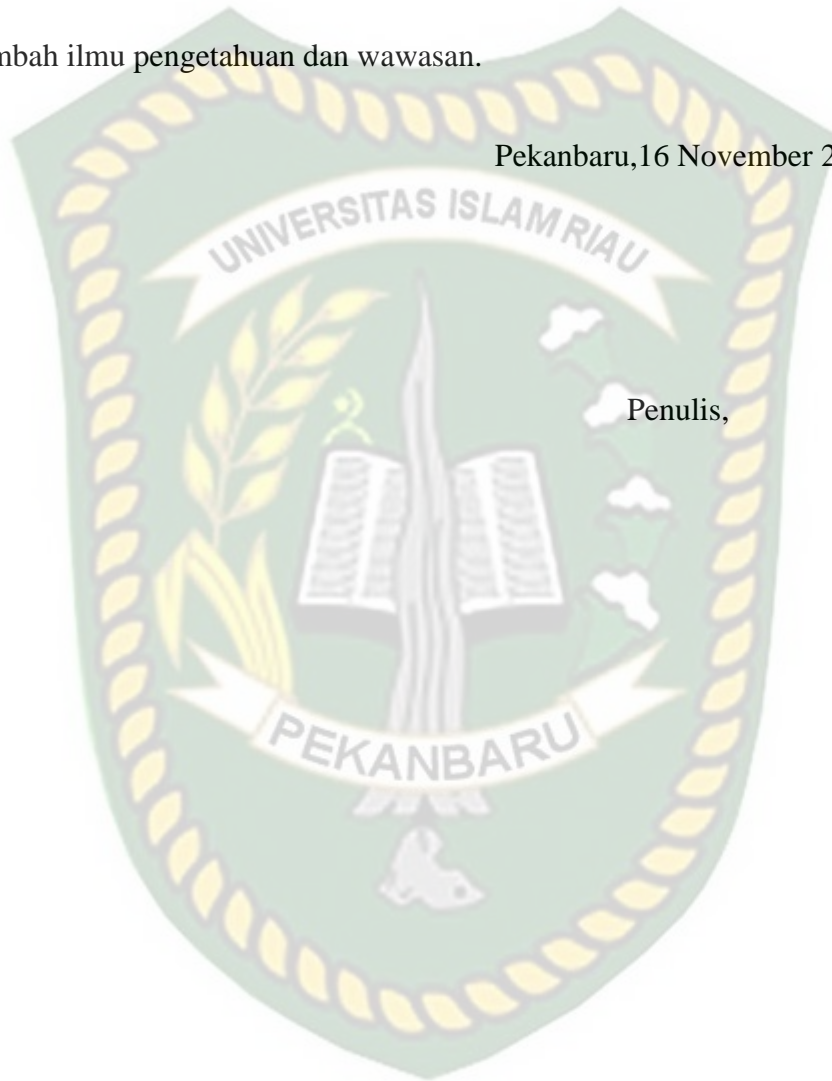
Dibalik keberhasilan penulis dalam menyusun tugas sarjana ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka sudah sepantasnya penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan proposal tugas akhir sarjana ini khususnya kepada :

1. Dr. Dedi Karni, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir Sarjana telah membantu dan membimbing dalam penyusunan proposal tugas akhir sarjana.
2. Bapak Jhoni Rahman, B.Eng. M.Eng., Phd, selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
3. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
4. Rekan - rekan seperjuangan yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam pembuatan proposal tugas sarjana.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang berperan dalam penyelesaian tugas sarjana. Semoga tugas sarjana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan.

Pekanbaru, 16 November 2021

Penulis,



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DARTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Metode Penulisan .....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Komposit .....	7
2.1.1 Klasifikasi Materiak Komposit .....	7
2.1.2 Keramik Matriks Komposit/CMC .....	8
2.1.3 Penggunaan Material Komposit .....	9
2.2 Pasir Silika.....	9
2.2.1 Klasifikasi Silika .....	11
2.3 <i>Polyethylene Glycol</i> (PEG) 400 .....	12
2.4 <i>Incinerator</i> .....	14
2.4.1 Jenis-jenis <i>Incinerator</i> .....	16
2.5 Peralatan Pemadat Serbuk .....	17
2.5.1 Jenis-jenis Pemadat Serbuk .....	18
2.5.2 Spesifikasi Pemadat Serbuk .....	22

2.6	Uji Kekerasan ( <i>Brinell</i> ) .....	23
2.7	Uji Mikrostruktur .....	25
2.8	Porositas .....	25

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir .....	31
3.2	Alat Penelitian .....	32
3.3	Bahan Penelitian .....	33
3.4	Prosedur Percobaan .....	34
3.5.1	Proses Pengayakan .....	34
3.5.2	Proses Pengomposisian .....	34
3.5.3	Proses Pencampuran Bahan .....	36
3.5.4	Proses Kompaksi .....	37
3.5.5	Proses Sintering .....	38
3.5	Bahan Cetakan ( <i>Mold</i> ).....	39
3.6	Mesin Press Hidrolik .....	39
3.7	Uji Kekerasan ( <i>Brinell</i> ) .....	40
3.8	Uji Mikrostruktur .....	41
3.9	Uji Porositas .....	42
3.10	Waktu dan Tempat Penelitian .....	43
3.11	Jadwal Kegiatan Penelitian .....	43

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Data Hasil Penelitian .....	45
4.2	Data Hasil Uji Kekerasan ( <i>Brinell</i> ) .....	46
4.3	Data Hasil Perhitungan Porositas .....	47
4.4	Hasil Pengamatan Strukturmikro .....	53
4.5	Perbandingan Pada Penelitian Terdahulu .....	56

## **BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran .....	60

## **DAFTAR PUSTAKA**



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Sifat Fisika Silika .....	11
Tabel 2.2 Bentuk Silika .....	12
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	44
Tabel 4.1 Data Pengujian Pengaruh Penekanan Plat Panel Keramik Komposit.	45
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan ( <i>Brinell</i> ) .....	46
Tabel 4.3 Porositas pada penekanan 3 Tons dan pengikat <i>Polyethylene Glycol</i> PEG 400 dengan massa 1,69 gram .....	49
Tabel 4.4 Porositas pada penekanan 4 Tons dan pengikat <i>Polyethylene Glycol</i> PEG 400 dengan massa 1,69 gram .....	50
Tabel 4.5 Porositas pada penekanan 5 Tons dan pengikat <i>Polyethylene Glycol</i> PEG 400 dengan massa 1,69 gram .....	51
Tabel 4.6 Porositas berdasarkan perbedaan penekanan dan pengikat <i>Polyethylene Glycol</i> PEG 400 .....	52
Tabel 4.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu .....	56



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Pasir Silika ( $SiO_2$ ).....	10
2.2 Struktur silika <i>tetrahedral</i> .....	11
2.3 Polyethylene Glycol (PEG) 400.....	14
2.4 <i>Incenerator</i> .....	15
2.5 Pemadat Serbuk.....	18
2.6 Briket.....	19
2.7 Parameter-parameter pada <i>Brinell Test</i> .....	23
2.8 Alat Uji <i>Microscope (Olympus)</i> .....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Mesin Press Hidrolik.....	39
3.3 Alat Uji Kekerasan.....	41
3.5 Alat Uji Mikrostruktur.....	42
4.1 Grafik Hubungan Penekanan Terhadap Kekerasan.....	46
4.2 Grafik Hubungan Penekanan Terhadap Porositas.....	52
4.3 Perbandingan Silika 75 % : PEG 400 25%.....	53
4.4 Perbandingan Silika 65 % : PEG 400 35%.....	54
4.5 Perbandingan Silika 55 % : PEG 400 45%.....	55
4.6 Perbandingan Penelitian.....	58

# PENGARUH PENEKANAN PELLET SILIKA TERHADAP SIFAT MEKANIK (*HARDNESS*) DAN POROSITAS SERTA MIKROSTRUKTUR PLAT PANEL KERAMIK KOMPOSIT

*Nindy Chandra, Dedi Karni*

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

## ABSTRAK

Plat panel keramik komposit (PPKK) merupakan salah satu jenis produk komposit/panel keramik yang terbuat dari partikel-partikel yang diikat dengan bahan pengikat atau matriks kemudian dikempa secara *cold press*. Penguat ditambahkan pengikat dengan tujuan meningkatkan sifat-sifat mekanis melalui penyebaran tekanan diantara serat dan matriks. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik (*Hardness*), porositas dan mikrostruktur pada plat panel keramik komposit. Pada penelitian ini, bahan komposit yang dipilih ialah silika dan matrik komposit yaitu *polyethylene glycol* (PEG) 400 serta diberikan variasi tekanan serbesar 3 Tons, 4 Tons dan 5 Tons. Plat panel keramik komposit (PPKK) hasil cetakan diuji kekerasan (*Brinell*) untuk mengetahui nilai kekerasan pada komposit, dan dilakukan pengujian porositas untuk mengetahui berapa persen (%) porositas pada komposit yang di cetak dengan adanya penekanan serta dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan alat mikroskop optik Olympus dengan pembesaran x50 untuk melihat rongga-rongga yang muncul karena adanya perbandingan fraksi komposit yang telah dicetak. Hasil pengujian kekerasan menggunakan alat uji *Brinell Hardness Tester* (BHN), dengan tekanan 3 Tons mempunyai nilai kekerasan yang terendah yaitu 36,7063 Kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan dengan tekanan 5 Tons mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu 37,9606 Kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena adanya hubungan tekanan dengan kekerasan terhadap kerapatan dan kepadatan komposisi silika di ikat dengan PEG 400 dan tekanan semakin tinggi membuat partikel lebih rapat. Hasil penelitian pada porositas, nilai porositas terkecil yaitu sebesar 21,15% dengan tekanan 5 Tons. Karena adanya hubungan antara tekanan dengan porositas, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan, maka nilai porositasnya akan semakin kecil. Hasil pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik Olympus bahwa tampak butiran dan PEG 400 lebih jelas terlihat pada perbandingan silika 55% : PEG 400 45%, karena dari hasil pengamatan mikrostruktur butiran silika yang terlihat merata dan setiap partikel silika diselimuti PEG 400 dibandingkan dengan silika 75% : PEG 400 25% dan silika 65% : PEG 35 %. Hal ini terlihat bahwa semakin banyak serbuk komposit yang diberikan maka partikel serbuk akan saling berimpit dan akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat.

**Kata kunci :** Plat Panel Keramik Komposit, Sifat Mekanik, Porositas, Mikrostruktur

**THE EFFECT OF SILICA PELLET EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES  
(HARDNESS) AND POROSITY AND MICROSTRUCTURE  
COMPOSITE CERAMIC PANEL PLATE**

**PLAT PANEL KERAMIK KOMPOSIT**

*Nindy Chandra, Dedi Karni*

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

**ABSTRACT**

Composite ceramic panel plate (PPKK) is one type of composite product/ceramic panel made of particles bonded with a binder or matrix and then cold pressed. Reinforcement is added by binders with the aim of improving mechanical properties by spreading the stresses between the fibers and the matrix. This study aims to determine the mechanical properties (hardness), porosity and microstructure of the composite ceramic panel plate. In this study, the selected composite material was silica and the composite matrix was polyethylene glycol (PEG) 400 and was given pressure variations of 3 Tons, 4 Tons and 5 Tons. The printed composite ceramic panel plate (PPKK) was tested for hardness (Brinell) to determine the value of the hardness of the composite, and a porosity test was carried out to determine the percentage (%) of porosity in the composite which was printed under compression and observed the microstructure using an optical microscope. Olympus with x50 magnification to see the cavities that appear due to the comparison of the composite fraction that has been printed. the results of hardness testing using the Brinell Hardness Tester (BHN), with a pressure of 3 Tons has the lowest hardness value of 36.7063 Kg/mm<sup>2</sup>, while with a pressure of 5 Tons has the highest roughness value of 37.9606 Kg/mm<sup>2</sup>. This is due to the relationship of pressure with hardness to density and the density of the silica composition is bound with PEG 400 and the higher the pressure makes the particles more dense. The results of research on porosity, the smallest porosity value is 21.15% with a pressure of 5 Tons. Due to the relationship between pressure and porosity, the greater the pressure applied, the smaller the porosity value. The results of microstructural observations using an Olympus optical microscope showed that the grains and PEG 400 were more clearly visible in the ratio of silica 55%: PEG 400 45%, because from the observations the microstructure of silica grains looked evenly distributed and each silica particle was covered with PEG 400 compared to 75% silica: PEG 400 25% and silica 65% : PEG 35%. It can be seen that the more composite powder is given, the powder particles will coincide with each other and will create cavities so that the porosity increases.

**Keywords : Composite Ceramic Panel Plate Mechanical Properties Porosity Microstructure**

## DAFTAR NOTASI

<u>Simbol</u>	<u>Notasi</u>	<u>Satuan</u>
$\rho$	Massa Jenis	(g/cm <sup>3</sup> )
V	Volume	(cm <sup>3</sup> )
p	Panjang	(mm)
l	Lebar	(mm)
t	Tinggi	(mm)
w	berat	(gram)
A	Luas penampang	(mm <sup>2</sup> )
$\Phi$	Porositas	(%)
BHN	<i>Brinell Tester Number</i>	(Kg/mm <sup>2</sup> )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plat panel keramik komposit (PPKK) merupakan salah satu jenis produk komposit/panel keramik yang terbuat dari partikel-partikel yang diikat dengan bahan pengikat atau matriks kemudian dikempa secara *cold press*. Penguat ditambahkan pengikat dengan tujuan meningkatkan sifat-sifat mekanis melalui penyebaran tekanan diantara serat dan matriks. Pemilihan kombinasi material serat dan matriks yang tepat dapat mewujudkan material komposit dengan sifat mekanis yang lebih baik (Hygreen dan Bowyer 1996; Dumanaw 1990; Han 1990).

PPKK dapat digunakan sebagai dinding bagian luar dapur *incinerator* karena salah satu matrik komposit dibuat dari material tahan api merupakan bahan isolasi seperti pasir silika, baja, batu dan beton. *Incenerator* adalah sebuah tungku pembakaran yang menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa atau pasir silika, sehingga akan terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut (Gunaidi P, 2004). Dinding bagian luar dapur biasanya pada *incinerator* masih menggunakan baja lembaran yang sifat mekanik masih rendah dengan teknologi rekayasa material atau keramik matriks komposit menuntut terobosan baru dalam menciptakan material yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan.

Pasir silika atau pasir kuarsa adalah salah satu material alam yang melimpah di Indonesia, tercatat bahwa total sumber daya pasir silika sebesar 18

milyar ton. Permintaan pasir silika dengan kadar kemurnian yang tinggi untuk pemenuhan kebutuhan industri sangat tinggi. Pasir silika bersifat getas apabila digunakan pada dinding bagian luar *incinerator* karena menggunakan suhu yang tinggi, maka dari itu perlu dilakukan uji mekanis pada PPKK.

Pada proses pembuatan PPKK perlu diperhatikan kekuatan dari penekanan mesin press karena akan berpengaruh pada nilai kekerasan PPKK tersebut. Kajian penelitian tentang PPKK dilakukan karena belum menjadi perhatian utama dalam produksi. Untuk meningkatkan kualitas produk PPKK perlu merencanakan sifat mekanis agar mendapatkan kualitas yang baik sehingga meminimalisir cacat atau rusak saat menggunakan produk PPKK. Metode yang digunakan sekarang terus dikembangkan dalam proses pembuatan PPKK adalah dengan membuat sample berbentuk plat, berbahan dasar pasir silika dan campuran bahan pengikatnya *polyethylene glycol* (PEG). yang akan di campurkan secara bersamaan dan di cetak sehingga menjadi plat silika.

Berdasarkan latar belakang hal tersebut diatas maka penulis merasa perlu melakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penekanan PPKK sebesar 3 Tons, 4 Tons dan 5 Tons terhadap nilai kekerasan, porositas dan mikrostruktur dengan suhu sintering  $1000^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam sehingga mendapatkan PPKK yang baik untuk pembuatan dinding bagian luar dapur *incinerator*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara membuat plat panel keramik komposit pada dinding bagian luar dapur *incinerator*?
2. Bagaimana pengaruh besar penekanan untuk mendapatkan nilai kekerasan dan temperatur yang optimum pada plat panel keramik komposit ?
3. Bagaimana hubungan antara penekanan dengan nilai kekerasan, porositas dan mikrostruktur pada plat panel keramik komposit ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan plat panel keramik komposit yang baik digunakan pada dinding bagian luar dapur *incinerator*.
2. Menentukan besar penekanan untuk mendapatkan nilai kekerasan, porositas, dan mikrostruktur pada plat panel keramik komposit.
3. Untuk mendapatkan hubungan antara penekanan dengan nilai kekerasan, porositas dan mikrostruktur pada plat panel keramik komposit.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah, maka penulis mengambil batasan masalah.

Adapun batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Objek yang diteliti adalah plat panel keramik komposit dari bahan pasir silika dan bahan pengikatnya *polyethylene glycol* (PEG).
2. Menggunakan penekanan 4 Tons, 5 Tons dan 6 Tons

3. Menggunakan pasir silika yang di ambil dari pulau Rupat, Bengkalis, Riau.
4. Temperatur yang digunakan adalah  $1000^{\circ}\text{C}$  dengan lama waktu penahanan 2 jam.
5. Komposisi pasir silika : PEG 400 sebanyak 75% : 25%, 65% : 35% dan 55% : 45% dari mold cetakan.
6. Pengujian porositas yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM D 695.
7. Pengujian kekerasan (*Brinell*) yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM E10.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

- a. Bagi penulis

Penelitian ini berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh penekanan pada pellet silika terhadap kekerasan, porositas, dan pengamatan mikrostruktur secara teoritis maupun dalam dunia nyata, serta pengaplikasian pengetahuan yang selama ini didapat selama masa perkuliahan

- b. Bagi akademik

Penelitian ini dapat memberikan masukan dan informasi yang diharapkan mampu memberikan manfaat baik dalam bidang akademik maupun dalam bidang praktisi.



c. Bagi Pengembangan Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia perindustrian yang menggunakan bahan dari pasir silika.

## 1.6 Metode penulisan

Metode penulisan yang digunakan adalah:

- a. Tahap persiapan, mempersiapkan hal-hal yang diperlukan untuk awal proposal tugas akhir dan pengenalan materi secara umum.
- b. Studi literature, mengumpulkan dasar teori dari buku-buku pegangan kuliah maupun buku pedoman mengenai hal yang berhubungan dengan tugas ini.
- c. Studi lapangan, dengan cara langsung mempraktekkan di Laboratorium Univesitas Islam Riau, sedangkan pengujian dilakukan di Universitas Islam Riau dan Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- d. Diskusi, melakukan diskusi dengan pembimbing tugas akhir.

## 1.7 Sistematika penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang analisa ini, penulis melengkapi penguraiannya sebagai berikut.:

### BAB I: PENDAHULUAN

Dalam bab ini menguraikan tentang pokok-pokok dalam penulisan tugas akhir yang meliputi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian,

batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB II: LANDASAN TEORI

Dasar teori diawali dengan teori sebelumnya yang mengemukakan penjelasan tentang pellet silika.

## BAB III: METODE PENELITIAN

Metode penelitian berisi tentang diagram alir penelitian, persiapan peralatan dan pembahasan masalah.

## BAB IV: HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan berisi tentang hasil pengaruh penekanan pada pellet silika terhadap nilai kekerasan, porositas, dan mikrostruktur.

## BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran berisi kesimpulan yang di dapat dari hasil penelitian dan masukan-masukan yang ingin disampaikan pada penelitian ini.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang mempunyai sifat berbeda pada skala makroskopis supaya terbentuk material baru. Makroskopis yang dimaksud yaitu material pembentuk dalam komposit masih terlihat seperti aslinya (Jones, 1975). Pada umumnya bentuk dasar suatu bahan komposit adalah tunggal dimana merupakan susunan dari paling tidak terdapat dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Dalam prakteknya komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik – matrik) dan suatu jenis penguatan (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat (fiber).

##### 2.1.1 Klasifikasi Material Komposit

Klasifikasi Material Komposit Menurut Matthews dan Rawling (1993) berdasarkan bahan matriksnya komposit dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Keramik Matriks Komposit/CMC (*Ceramic Matrixes Composite*) CMC merupakan komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai matriksnya. Komposit ini mempunyai sifat yang keras.

2. Logam Matriks Komposit/MMC (*Metal Matrixes Composite*) MMC merupakan komposit yang menggunakan bahan logam sebagai matriksnya. Komposit ini mempunyai sifat yang kuat.
3. Polimer Matriks Komposit/PMC (*Polymer Matrixes Composite*) PMC merupakan komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai matriksnya. Komposit ini sering digunakan dalam pembuatan komposit karena murah, mudah difabrikasi, serta mempunyai sifat yang kuat.

#### 2.1.2 Keramik Matriks Komposit/CMC (*Ceramic Matrixes Composite*)

Bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida atau *boron nitride*. Matrik yang sering digunakan pada CMC adalah gelas *anorganic*, keramik gelas, alumina dan silikon nitrida. Keuntungan dari CMC diantaranya dimensinya stabil bahkan lebih stabil dari pada logam, sangat tangguh bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari cast iron, mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus, unsur kimianya stabil pada temperature tinggi, tahan pada temperatur tinggi (*creep*), kekuatan dan ketangguhan tinggi serta ketahanan terhadap korosi. Kerugian dari CMC adalah sulit untuk diproduksi dalam jumlah besar, relatif mahal dan *non-cot effective* hanya untuk aplikasi tertentu. CMC biasanya digunakan pada Serat grafit/gelas boron silikat untuk alas cermin laser. Grafit/keramik gelas untuk bantalan, perapat dan lem. SiC/litium alumino silikat (LAS) untuk calon material mesin panas.

### 2.1.3 Penggunaan Material Komposit

Penggunaan material komposit sangat luas (Supiansyah, 2015), yaitu untuk :

1. Angkasa luar seperti komponen kapal terbang, Komponen Helikopter, Komponen satelit.
2. Kesehatan seperti kaki palsu, Sambungan sendi pada pinggang
3. Marine / Kelautan seperti kapal layar, Kayak
4. Industri Pertahanan seperti komponen jet tempur, Peluru, Komponen kapal selam
5. Industri Pembinaan seperti Jembatan, Terowongan, Rumah, Tanks.
6. Olah raga dan rekreasi seperti Sepeda, Stick golf, Raket tenis, Sepatu olah raga
7. Automobile seperti Komponen mesin, Komponen kereta

### 2.2 Pasir Silika

Pasir silika telah lama dikenal sebagai salah satu bahan penyaring air yang baik. Kualitas pasir juga dipengaruhi oleh musim. Pada musim penghujan kualitas pasir lebih baik dibandingkan dengan musim kemarau (Suparno, 2009). Pasir silika mempunyai komposisi gabungan dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ , berwarna putih bening atau warna lain tergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, bentuk kristal hexagonal, panas spesifik 0,185 (Kusnaedi, 2006). Pasir silika sering digunakan untuk pengolahan air kotor menjadi air bersih. Fungsi ini baik untuk menghilangkan sifat fisiknya, seperti

kekeruhan, atau lumpur dan bau. Adapun bentuk fisik pasir silika seperti pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Pasir Silika ( $SiO_2$ )

(Sumber : Aliaman, 2017)

Silikon dioksida atau silika adalah salah satu senyawaan kimia yang paling umum. Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silikon selalu terikat secara *tetrahedral* kepada empat atom oksigen, namun ikatanikatanannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Dalam kristobalit, atom-atom silikon ditempatkan seperti halnya atom-atom karbon dalam intan dengan atom-atom oksigen berada di tengah dari setiap pasangan. Dalam kuarsa terdapat heliks sehingga terbentuk kristal enansiomorf. Kuarsa dan kristobalit dapat saling dipertukarkan apabila dipanaskan. Proses ini lambat karena dibutuhkan pemutusan dan pembentukan kembali ikatanikatan dan energi pengaktifannya tinggi. Silika relatif tidak reaktif terhadap  $Cl_2$ ,  $H_2$ , asam-asam dan sebagian besar logam pada suhu  $25^\circ C$  atau pada suhu yang lebih tinggi, tetapi dapat diserang oleh  $F_2$ ,  $HF$  aqua, hidroksida alkali dan leburan-leburan karbonat. Silika relatif tidak reaktif terhadap  $Cl_2$ ,  $H_2$ , asam-asam dan

sebagian besar logam pada suhu 25°C atau pada suhu yang lebih tinggi, tetapi dapat diserang oleh F<sub>2</sub>, HF aqua, hidroksida alkali dan leburan-leburan karbonat. Dapat dilihat sifat fisika silika pada tabel 2.1.

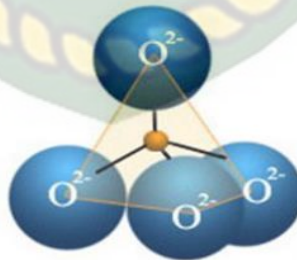
Tabel 2.1 Sifat Fisika Silika

No	Sifat Fisika Silika	Keterangan
1.	Nama IUPAC	Silikon Dioksida
2.	Nama lain	Kuarsa, silika, silikat dioksida, silicon (IV) oksida
3.	Rumus molekul	SiO <sub>2</sub>
4.	Massa molar	60,08 g mol <sup>-1</sup>
5.	Penampilan	Kristal Transparan
6.	Titik Lebur	1600-1725 <sup>0</sup> C
7.	Titik didih	2230 <sup>0</sup> C

Sumber : (Aliaman, 2017)

### 2.2.1 Klasifikasi Silika

Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut *tetrahedral* disekitar atom pusat yaitu atom silikon. Gambar 2.2 memperlihatkan struktur silika *tetrahedral*.



**Gambar 2.2** Struktur silika *tetrahedral*

Sumber: (Pakpahan, 2006).

Pada umumnya silika memiliki bentuk kristal *tetrahedral*, namun bila pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu di atas 650°C maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung meningkat dan membentuk *fasa quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite*. Bentuk struktur *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* yang memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda. Struktur kristal *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* memiliki nilai densitas masing-masing sebesar  $2,65 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $2,27 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ , dan  $2,23 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ . Berdasarkan perlakuan termal, pada suhu  $< 570^\circ\text{C}$  terbentuk *low quartz*, untuk suhu  $570-870^\circ\text{C}$  terbentuk *high quartz* yang mengalami perubahan struktur menjadi *crystobalite* dan *tridymite*, sedangkan pada suhu  $870-1470^\circ\text{C}$  terbentuk *high tridymite*, pada suhu  $> 1470^\circ\text{C}$  terbentuk *high crystobalite*, dan pada suhu  $1723^\circ\text{C}$  terbentuk silika cair. Silika dapat ditemukan di alam dalam beberapa bentuk meliputi kuarsa dan opal, silika memiliki 17 bentuk kristal, dan memiliki tiga bentuk kristal utama yaitu kristobalit, tridimit, dan kuarsa (Scott, 1993). Adapun bentuk – bentuk silika dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Bentuk – bentuk silika

No	Bentuk	Rentang Stabilitas( $^\circ\text{C}$ )	Modifikasi
1.	Kristobalit	1470 - 1723	Kubik tetragonal
2.	Tridmit	870 - 1470	Heksagonal ortorombik
3.	Kuarsa	$< 870$	Heksagonal trigonal

Sumber: ( Scott, 1993 )

### 2.3 Polyethylene Glycol (PEG) 400

*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. Pemberian nomor menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. PEG yang memiliki berat molekul rata-rata 200, 400 dan 600 berupa cairan bening tidak berwarna dan berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa lilin putih, padat. Macam-macam kombinasi dari PEG bisa digabung dengan cara melebur. PEG merupakan polimer larut air, polimer ini tidak berwarna, tidak berbau dan kekentalannya berbeda-beda tergantung jumlah  $n = 2, 3, 4$  dan maksimum  $n$  berjumlah 180. Polimer dengan berat molekul rendah ( $n = 2$ ) disebut dietil glikol dan ( $n = 4$ ) disebut tetra etil glikol. Polimer dengan berat molekul yang tinggi biasanya disebut poli (etilena glikol). Penggunaan PEG dapat dijumpai diberbagai industri. Area industri yang paling banyak menggunakan PEG adalah farmasi dan industri tekstil. Contoh berbagai produk yang menggunakan PEG adalah keramik, metalforming, obat supositoria, krim kosmetik, lotion, deodoran, minyak pelumas (Norvisari, 2008).

Polietilen (PEG) 400 merupakan salah satu polimer dari polyethylene glycol yang berwujud cair dalam suhu ruangan dengan struktur  $\text{HO}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-\text{OH}$  dengan berkisar antara 8 atau 9. Dengan struktur yang khas seperti ini membuat PEG misibel dengan air melalui ikatan hidrogen. Bagian hidrokarbon yang bersifat hidrofobik dari struktur polyethylene glycol (PEG) 400 membantu memutuskan ikatan hidrogen diantara molekul air sehingga mengurangi interaksi intermolekul air

menyebabkan momen dipol (kepolaran) air menjadi menurun dan komponen hidrofobik dapat masuk ke dalam rongga antar molekul air. polyethylene glycol (PEG) 400 stabil secara kimia dan memiliki toksisitas yang relatif rendah.



**Gambar 2.3** Polyethylene Glycol (PEG) 400  
(Norvisari, 2008)

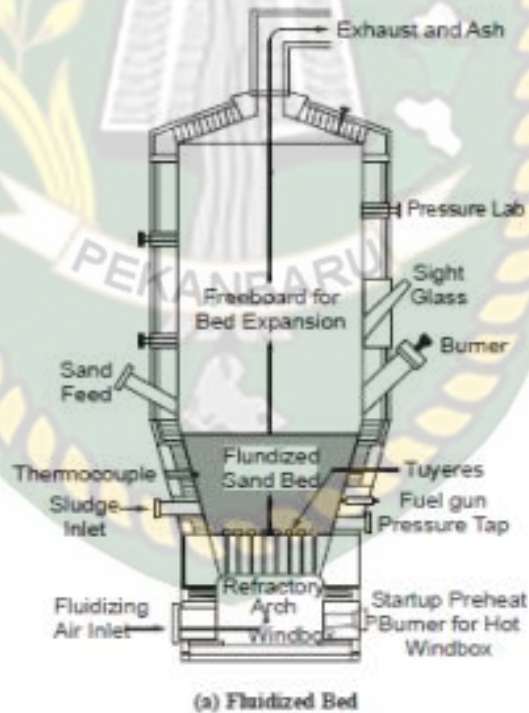
#### 2.4 *Incinerator*

*Incinerator* adalah tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat, yang mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu, (*bottom ash* dan *fly ash*). *Incinerator* merupakan suatu alat penghancur atau pemusnah limbah organik melalui pembakaran dalam suatu sistem yang terkontrol dan terisolir dari lingkungan sekitarnya. Incinerasi dan pengolahan sampah bertemperatur tinggi lainnya didefinisikan sebagai pengolahan termal.

Insinerasi material sampah mengubah sampah menjadi abu, gas sisa hasil pembakaran, partikulat, dan panas. Gas yang dihasilkan harus dibersihkan dari polutan sebelum dilepas ke atmosfer. Panas yang dihasilkan bisa dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. *Incinerator* adalah alat untuk menghancurkan

limbah berupa pembakaran dengan kondisi terkendali. Limbah dapat terurai dari senyawa organik menjadi senyawa sederhana seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

(Budiman, 2001) menyatakan bahwa *incinerator* adalah alat yang digunakan untuk proses pembakaran sampah. Alat ini berfungsi untuk merubah bentuk sampah menjadi lebih kecil dan praktis serta menghasilkan sisa pembakaran yang steril sehingga dapat dibuang langsung ke tanah. Energi panas hasil pembakaran dalam *incinerator* dapat digunakan sebagai energi alternatif bagi proses lain seperti pemanasan atau pengeringan. Untuk melihat komponen pada *incinerator* dapat di lihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.4** *Incinerator*

(Sumber : Budiman, 2001)

### 2.4.1 Jenis-Jenis *Incinerator*

Secara umum jenis *incinerator* yang paling umum diterapkan untuk membakar limbah padat B3 ialah *rotary kiln*, *multiple hearth*, dan *fluidized bed* :

#### a. *Incinerator Rotary Kiln*

Tipe ini cocok untuk menginsinerasi limbah *sludge* ex WWT atau limbah yang mempunyai kandungan air (*water content*) yang cukup tinggi dan volumenya cukup besar.

#### b. *Multiple Hearth Incinerator*

*Multiple Hearth Incinerator*, yang telah digunakan sejak pertengahan tahun 1900-an, terdiri dari suatu kerangka lapisan baja tahan api dengan serangkaian tungku (*hearth*) yang tersusun secara vertikal, satu di atas yang 9 lainnya dan biasanya berjumlah 5-8 buah tungku, *shaft rabble arms* beserta *rabble teeth*-nya dengan kecepatan putaran  $3/4 - 2$  rpm.

#### c. *Fluidized Bed Incinerator*

*Fluidized bed incinerator* adalah sebuah tungku pembakar dengan suhu ( $>800^{\circ}\text{C}$ ) dan menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa atau pasir silika, sehingga akan terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut. Proses *incinerasi* digunakan untuk mereduksi sampah yang tergolong mudah terbakar (*combustible*) dan tidak boleh didaur ulang lagi karena berbagai alasan. Sasaran *incinerasi* adalah untuk mereduksi massa dan volume buangan,

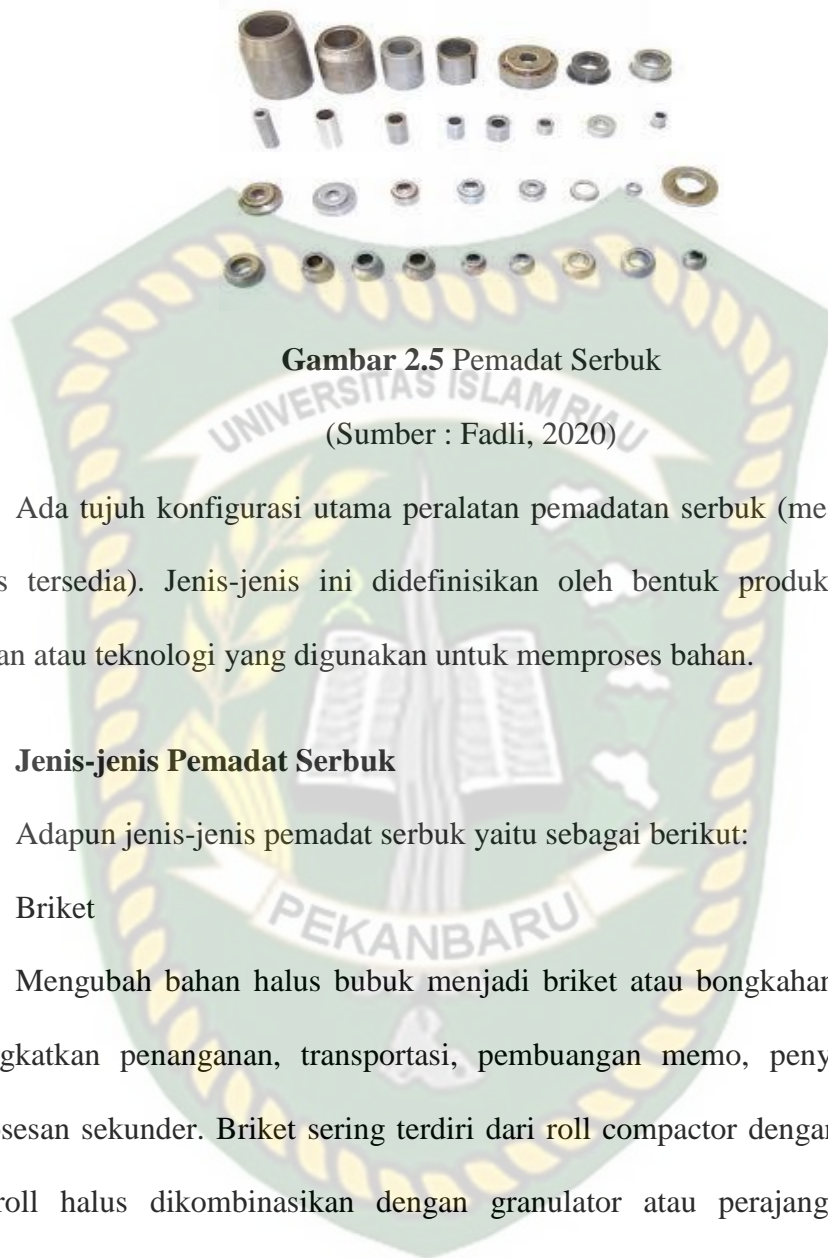
membunuh bakteri dan virus, mereduksi materi kimia toksik, serta memudahkan penanganan limbah selanjutnya. Inserasi dapat mengurangi volume buangan padat domestic sampai 85 % - 95 % dan pengurangan berat sampai 70 % - 80 %.

## 2.5 Peralatan Pematik Serbuk

Peralatan pemadat serbuk membentuk serbuk sebagai bagian dari proses pembentukan serta mengkompresi berbagai bahan menjadi bentuk yang kompak untuk transportasi dan kemudahan penanganan (IEEE Global Spec, 2019). Pemadatan dilakukan karena berbagai alasan, yakni:

1. Untuk menghasilkan campuran atau campuran yang seragam
2. Untuk menghasilkan kisaran ukuran partikel yang seragam
3. Untuk mengontrol debu
4. Untuk menyesuaikan properti aliran
5. Untuk mengontrol kerapatan curah
6. Untuk mengontrol kekerasan partikel
7. Untuk meningkatkan solusi atau tingkat dispersi

Meskipun ada beberapa konfigurasi pemadat serbuk yang tercantum di bawah ini, konsep dasarnya adalah untuk memasukan bubuk halus di antara dua rol yang berputar berputar. Saat bubuk mengalir melalui daerah tekanan maksimum, bahan tersebut dibentuk menjadi sebuah padatan padat atau lembaran.



**Gambar 2.5** Pematik Serbuk

(Sumber : Fadli, 2020)

Ada tujuh konfigurasi utama peralatan pemadatan serbuk (meskipun varietas khusus tersedia). Jenis-jenis ini didefinisikan oleh bentuk produk yang mereka hasilkan atau teknologi yang digunakan untuk memproses bahan.

### **2.5.1 Jenis-jenis Pematik Serbuk**

Adapun jenis-jenis pematik serbuk yaitu sebagai berikut:

#### **1. Briket**

Mengubah bahan halus bubuk menjadi briket atau bongkahan, untuk Briket meningkatkan penanganan, transportasi, pembuangan memo, penyimpanan, atau pemrosesan sekunder. Briket sering terdiri dari roll compactor dengan roll bergerigi atau roll halus dikombinasikan dengan granulator atau perajang. Briket yang membentuk kompak disk silinder juga ada dan dapat membuat berbagai bentuk briket seperti bantal, almond, dan bentuk tongkat. Briket paling umum digunakan untuk proses peleburan, reaksi termal, penimbunan dan untuk meningkatkan umur

penyimpanan. Bahan yang digunakan dengan jenis pemadat ini sering berupa mineral, refraktori, arang dan serbuk logam.



**Gambar 2.6** Briket

(Sumber : Zhengzhou Dayang Briquette Machinery Co., Ltd)

## 2. Penekanan *Dingin Iso-statis*(CIP)

*Cold isostatic presses* (CIP), juga dikenal sebagai karet press, menggunakan ruang untuk memadatkan bubuk atau bahan yang ditempatkan dalam alat yang disegel, tas, atau alat fleksibel lainnya. Pengepresan dingin iso-statis menggunakan campuran minyak dan air yang diberi tekanan hingga 100.000 psi (7030.7 kg/cm<sup>2</sup>). Alat pemadat ini dapat membentuk bentuk yang rumit dan karena itu pada umumnya digunakan untuk nozel refraktori, balok, dan cawan lebur. CIP juga digunakan untuk filter yang disinter, tulang buatan, dan beberapa pengolahan makanan.

## 3. Penekanan Panas *Iso-statis* (HIP)

*Hot isostatic presses* (HIP) menggunakan *atmosfer argon* atau campuran gas lainnya yang dipanaskan hingga 3000°F dan bertekanan hingga 100.000 psi. Baja yang dievakuasi, kaleng logam, atau permukaan yang disinter digunakan untuk menampung dan memelihara seal selama proses HIP. Penggunaan sistem bertekanan

ini memastikan tekanan pemadatan yang seragam diseluruh massa serbuk. HIP digunakan untuk memadatkan keramik berperforma tinggi, memadatkan baja perkakas berkecepatan tinggi dan menghilangkan rongga pada coran aerospace atau bilah yang rusak merayap. HIP dapat digunakan untuk membuat bentuk kompleksitas yang bervariasi.

#### 4. *Pellet mills*

Pabrik pellet mengkompres atau mengusir partikel atau bahan berserat ke dalam rongga mati untuk membentuk pelet silindris yang seragam. Pellet ekstrusi menghasilkan partikel-partikel diskrit dan berukuran seragam dari lelehan atau polimer (memo bekas plastik paska konsumen atau plastik perawan, pasta cair-padat dengan pengikat, atau bahan meleleh lainnya).

Leleh atau tempel diekstrusi melalui cetakan dengan banyak lubang. Pellet dipangkas atau dipotong setelah pendinginan atau pengeringan. Beberapa jenis pellet tersedia seperti permukaan panas, udara, pemotongan dingin dan bawah air.

#### 5. *Roll Pematik*

Gulungan pematik dengan gulungan halus memadatkan bahan serbuk menjadi lembaran dengan kekerasan yang konsisten. Dirancang untuk memberikan upgrade biaya rendah ke benda yang tidak diinginkan, meningkatkan kerapatan curah produk, dan mengendalikan tingkat kelarutan produk. Aplikasi pematik *roll* termasuk produksi lembaran atau strip bubuk keramik atau logam untuk aplikasi filter atau



untuk produksi *clad* atau *bimetal*. Pada umumnya digunakan dalam produksi farmasi dan kimia.

#### 6. Putaran dan Multi-stasiun Tablet

Putaran dan multi-stasiun menekan tablet memiliki beberapa stasiun atau pukulan untuk pemadatan obat-obatan ke dalam tablet atau serbuk logam menjadi bagian-bagian datar atau bertingkat berbentuk sederhana seperti roda gigi, Cams, atau alat kelengkapan. Jenis putaran memiliki serangkaian stasiun atau set alat (mati dan pukulan) diatur dalam sebuah cincin di menara putar. Saat turret berputar serangkaian kamera dan rol tekan mengontrol pengisian, penekanan, dan pengeluaran. Tablet farmasi dan fasilitas produksi bagian logam volume tinggi sering menggunakan mesin cetak putar otomatis berkecepatan tinggi.

#### 7. Penekanan Satu Pusat

Penekanan Satu Pusat adalah jenis peralatan pemadat serbuk yang menggunakan ram aksi tunggal dengan dadu pada pukulan atas dan bawah. *Press compacting bed station* tunggal tersedia dalam beberapa tipe dasar seperti cam, toggle atau knuckle dan press eksentrik atau peringkat dengan berbagai kemampuan. Jenis pemadat ini biasanya digunakan dalam industri farmasi untuk membuat tablet karena merupakan mesin kecepatan tinggi yang dapat membuat ribuan tablet dalam periode kecil.

### 2.5.2 Spesifikasi Pematik Serbuk

Saat memilih pematik bubuk penting untuk mempertimbangkan volume material yang perlu dipadatkan. Semakin besar gaya kebawah, semakin besar pula volume material yang dapat dipadatkan. Efisiensi ini berfungsi dari sistem umpannya dan metode yang digunakan untuk menurunkan gaya. Kapasitas diameter atau lebar menggambarkan diameter internal maksimum rongga die yang dapat digunakan dalam penekanan pellet atau tablet. Untuk pengepresan isostatik, diameter internal bilik menentukan diameter atau kapasitas lebarnya. Untuk pengepresan briket, diameter gulungan dinyatakan disini, karena rongga dapat bervariasi secara dinamis. Kedalaman atau kapasitas pengisian adalah panjang internal maksimum rongga die yang dapat digunakan dalam persamaan uniaksial atau tablet. Untuk pengepresan isostatik, panjang internal bilik menentukan diameter atau kapasitas lebarnya. Pada penekan briket, rentang jarak roll menentukan rentang ketebalan lembaran yang dipadatkan.

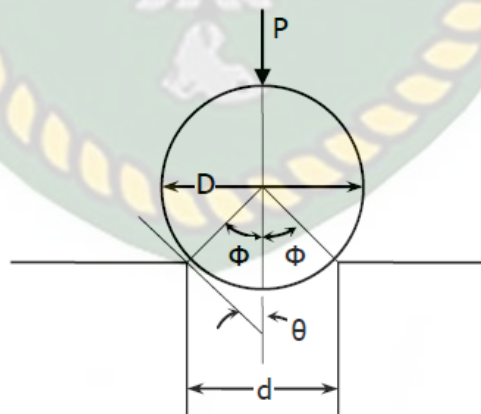
Spesifikasi lain yang perlu dipertimbangkan termasuk kekuatan operasi maksimum, yang menggambarkan gaya yang diperlukan untuk mencapai kerapatan yang diinginkan selama produksi bagian dan tekanan operasi maksimum, yang juga menggambarkan gaya yang diperlukan untuk mencapai kerapatan yang diinginkan tetapi bervariasi dengan bahan dan geometri bagian. Jika pematik bubuk akan digunakan dalam fasilitas produksi volume tinggi, tingkat produksi massal harus

dicatat tergantung pada jumlah kilogram per jam yang dapat diproses melalui peralatan.

## 2.6 Uji Kekerasan (*Brinell*)

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut tidak bisa kembali ke bentuk asal.

Pengujian *Brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja diperkeras (terbuat dari baja krom) dengan diameter tertentu oleh gaya tekan secara statis pada permukaan logam. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan diadukan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter lekukan paling atas diukur guna menentukan kekerasan logam yang diuji.



**Gambar 2.7** Parameter-parameter pada *Brinell Test*.

(Sumber : Dieter, 1987)

Dengan menggunakan rumus:

Dimana :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]}$$

P = beban yang diberikan (Kg atau Kgf)

D = diameter indentor (mm)

d = diameter bekas lekukan (mm)

Kekerasan ini disebut kekerasan *Brinell*, atau BHN (*Brinell Hardness Number*). Semakin keras logam yang diuji, maka semakin tinggi nilai BHN. Apabila kita memakai bola baja untuk uji *Brinell*, biasanya yang terbuat dari baja krom yang telah disepuh atau *cermentite carbide*. Bola *Brinell* ini tidak boleh berdeformasi sama sekali saat proses penekanan ke permukaan logam uji. Standar dari bola *Brinell* yaitu Ø 10 mm atau 0,3937 in, dengan penyimpangan maksimal 0,005 mm atau 0,0002 in. Selain yang telah distandarkan di atas, terdapat juga bola-bola *Brinell* dengan diameter lebih kecil (Ø 5 mm, Ø 2,5 mm, Ø 2 mm, Ø 1,25 mm, Ø 1 mm, Ø 0,65 mm) yang juga mempunyai toleransi-toleransi tersendiri. Misalnya, untuk diameter 1 sampai dengan 3 mm adalah lebih kurang 0,0035 mm, antara 3 sampai dengan 6 mm adalah 0,004 mm, dan antara 6 sampai dengan 10 mm adalah 0,005 mm. Penggunaannya bergantung pada gaya tekan P dan jenis logam yang diuji, maka penguji harus dapat memilih diameter bola yang paling sesuai.

## 2.7 Uji Mikrostruktur

Uji micro 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. Proses pengujian yang dilakukan membutuhkan bahan spesimen yang sangat banyak, seperti harus memotong specimen berukuran tinggi 5 mm dan berdiameter 10 mm, setelah itu dilakukan proses *coating* atau etsa, setelah itu benda yang akan diuji dimasukkan kedalam tabung edax, yang selebihnya dikendalikan oleh computer dan *keyboard controller* untuk mengatur pembesaran lensa dan perpindahan spesimen (Ananta, 2016).



**Gambar 2.8** Alat Uji *Microscope* (*Olympus*)  
(Sumber : Laboratorium Teknik Mesin)

## 2.8 Porositas

Porositas atau pori merupakan untuk melihat ruang di dalam batuan yang dapat terisi oleh fluida, seperti udara, air tawar/asin, minyak atau gas bumi. Porositas

suatu batuan sangat penting dalam eksplorasi dan eksploitasi baik dalam bidang perminyakan maupun dalam bidang air tanah. Hal ini karena porositas merupakan variable utama untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang terdapat dalam suatu massa batuan.

Porositas secara sifat dapat dibagi menjadi dua yaitu porositas yang terhubung dan porositas tidak terhubung, Porositas terhubung dapat diukur dengan menggunakan gas atau cairan yang mengalir kedalam bebatuan, namun tidak dapat melalui porositas yang tidak terhubung. Perbandingan antara volume total ruang pori (baik itu terhubung maupun tidak) dan volume total batuan disebut porositas total atau absolut, sedangkan perbandingan antara ruang pori yang saling berhubungan dan volume total batuan disebut porositas efektif. Menurut pembentukannya atau proses geologinya, porositas dibagi menjadi lima belas, yaitu:

1. Porositas primer adalah porositas yang terjadi bersamaan dengan proses pengendapan batuan tersebut.
2. Porositas sekunder adalah porositas yang terjadi setelah proses pengendapan batuan seperti yang disebabkan karena proses pelarutan atau endapan.
3. Porositas pecahan adalah porositas yang dihubungkan oleh jaringan yang pecah. Pecahan ini dapat menciptakan porositas sekunder dalam batuan.

4. Porositas vuggy adalah porositas sekunder yang dihasilkan makrofosil yang telah menjadi batuan karbonat yang memiliki lubang-lubang yang besar.
5. Porositas makro adalah merujuk pada pori-pori yang berdiameter lebih besar dari 50 mm.
6. Porositas menengah adalah pori-pori yang berukuran antara 2 nm sampai 50 nm.
7. Porositas mikro adalah pori-pori yang berukuran lebih kecil dari 2 nm.
8. Porositas padat adalah pori-pori yang sangat kecil (hampir tidak terlihat) karena dominasi ukuran butir yang sangat kecil.
9. Porositas ketat adalah pori-pori kecil yang terletak di antara butiran yang berdekatan kompak.
10. Porositas interkristalin adalah pori-pori yang terdapat di antara kristal batuan.
11. Porositas intergranular adalah pori-pori yang terdapat di antara butiran batuan.
12. Porositas goa dan gerowong adalah pori-pori yang ukurannya besar (gerowong) hingga sangat besar (goa).
13. Porositas rekahan adalah hasil dari adanya suatu ruang terbuka yang disebabkan oleh patahan atau hancuran dari batuan.

14. Porositas terbuka adalah fraksi dari volume total dimana aliran fluida dinamis dapat menempati ruang walau terdapat jalan buntu di dalamnya.

15. Porositas inefektif (porositas tertutup) merupakan fraksi volume total dimana fluida atau gas ada di dalam namun tidak dapat mengalir.

Sedangkan kalau ditinjau dari sudut teknik reservoir, porositas dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Porositas absolut Didefinisikan sebagai perbandingan antara volume seluruh pori dengan volume total batuan (bulk volume).
2. Porositas efektif adalah perbandingan volume pori yang berhubungan dengan volume total batuan.

Pada umumnya besarnya porositas berkisar antara 5-30%. Porositas 5% biasanya dimasukkan dalam porositas kecil. Secara teoritis besarnya porositas tidak lebih dari 47,6%. Dilapangan dapat kita ketahui perkiraan secara visual, dimana penentuan ini bersifat semi kuantitatif dan digunakan skala sebagai berikut:

- a) 0% - 5% porositas sangat buruk (very poor)
- b) 5% - 10 % porositas buruk (poor)
- c) 10% - 15 % porositas cukup (fair)
- d) 15% -20 % porositas baik (good)
- e) 20% - 25% porositas sangat baik (very good)
- f) > 25% istimewa

Beberapa faktor yang mempengaruhi porositas antara lain adalah:



- a) Ukuran butir atau grain size, semakin kecil ukuran butir maka rongga yang terbentuk akan semakin kecil pula dan sebaliknya jika ukuran butir besar maka rongga yang terbentuk juga semakin besar.
- b) Bentuk butir atau sphericity, batuan dengan bentuk butir jelek akan memiliki porositas yang besar, sedangkan kalau bentuk butir baik maka akan memiliki porositas yang kecil.
- c) Susunan butir, apabila ukuran butirnya sama maka susunan butir sama dengan bentuk kubus dan mempunyai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk rhombohedral.
- d) Pemilahan, apabila butiran baik maka ada keseragaman sehingga porositasnya akan baik pula. Pemilahan yang jelek menyebabkan butiran yang berukuran kecil akan menempati rongga diantara butiran yang lebih besar akibatnya porositasnya rendah.
- e) Komposisi mineral, apabila penyusun batuan terdiri dari mineral-mineral yang mudah larut seperti golongan karbonat maka porositasnya akan baik karena rongga-rongga akibat proses pelarutan dari batuan tersebut.
- f) Sementasi, material semen pada dasarnya akan mengurangi harga porositas. Material yang dapat berwujud semen adalah silika, oksida besi dan mineral lempung.

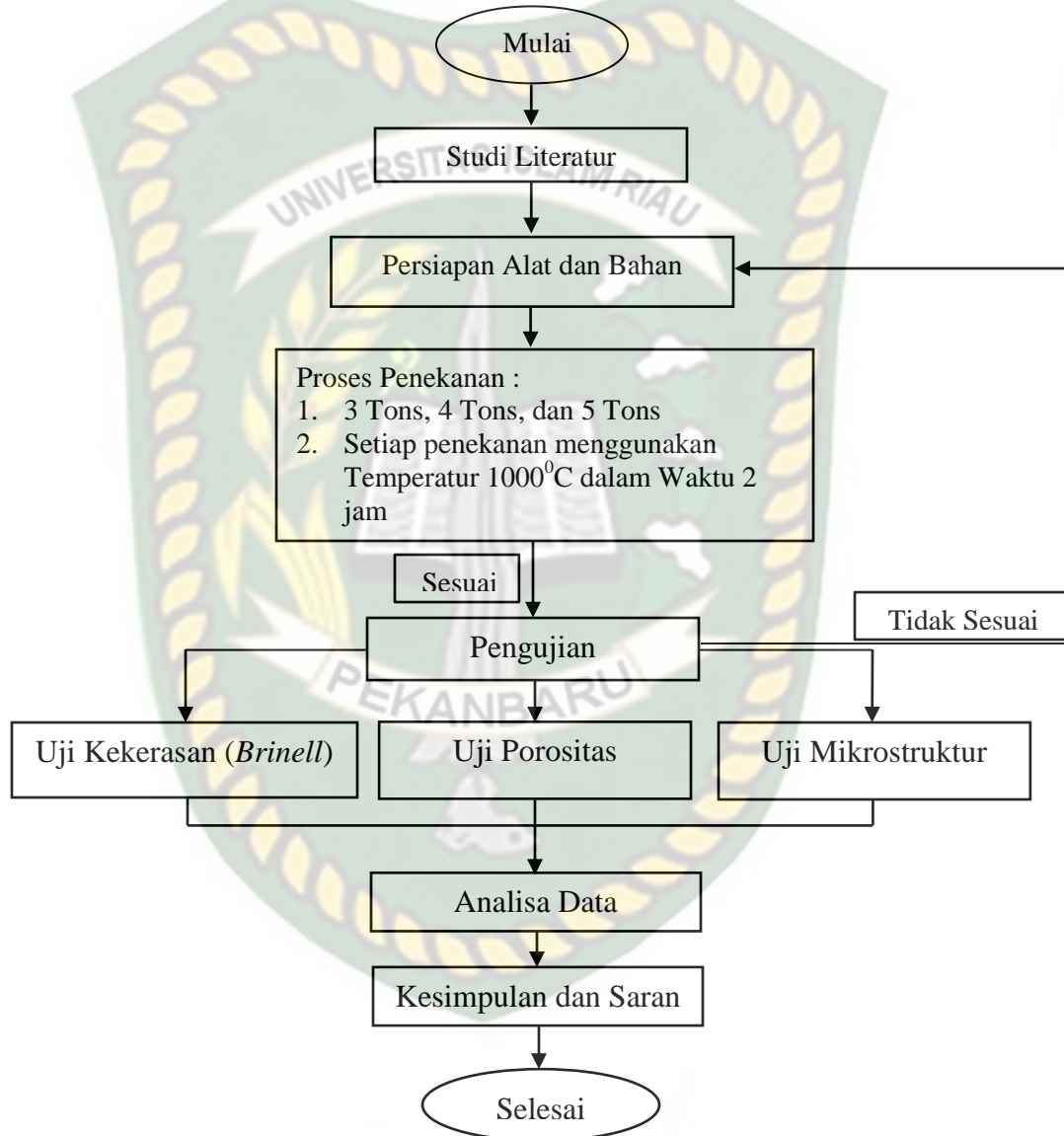
- g) Kompaksi, adanya kompaksi dan pemampatan akan mengurangi harga porositas. Apabila batuan terkubur semakin dalam maka porositasnya akan semakin kecil yang diakibatkan karena adanya penambahan beban.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Dari diagram alir rancangan diatas, dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dari penelitian dalam pembuatan material terbaharukan tepat sasaran dan sesuai yang diharapkan, antara lain:

1. Studi literatur

Pengambilan data-data teori dari jurnal, buku yang berkaitan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan penelitian terdahulu.

2. Pembuatan produk

Dalam tahap ini dilakukan pembuatan dimulai dari mencetak pellet silika.

3. Pengujian

Melakukan pengujian di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau dan Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

4. Analisa data penelitian

Berdasarkan dari hasil uji sampel di Laboratorium di analisa dan memberikan pembahasan hasil uji.

### 3.2 Alat Penelitian

Alat penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

1. Alat pengayak pasir Silika menggunakan ukuran 200 *mesh*.
2. PPKK dengan Diameter 2,7 mm dan Tinggi 10 mm.

3. Press Hidraulik kapasitas 10.000 kg
4. Mesin *furnace* suhu 1000°C
5. Jangka sorong
6. Timbangan digital
7. *Vacum pump* dengan *vacum desicator*
8. *Beker glass ceper*
9. Selembar kertas sebagai alas pellet silika
10. Alat Uji Kekerasan (*Brinell*)
11. Alat Uji Porositas
12. Alat Pengamatan Mikrostruktur

### 3.3 Bahan Penelitian

Bahan penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

1. *Polyethylene Glycol* PEG 400
2. Pasir silika
3. *Mold Release Resin* (Resin anti lengket)
4. Kerosin
5. Gas Permeameter

### 3.5 PROSEDUR PERCOBAAN

#### 3.5.1 Proses Pengayakan

Tujuan dari proses pengayakan yaitu untuk mendapatkan distribusi besar butiran partikel yang merata.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengayakan yakni sebagai berikut:

1. Siapkan alat pengayak, kemudian masukkan pasir silika kedalam alat pengayak tersebut
2. Kemudian gunakan alat pengayak tersebut selama 15 menit
3. Jika ukuran butiran pasir silika sudah seragam (200 mesh), masukkan kedalam wadah kecil untuk dilanjutkan ke proses selanjutnya.

#### 3.5.2 Proses Pengomposisian

Pada proses pengomposisian menyiapkan semua bahan baku seperti pasir silika, dan polyethylene glycol (PEG) 400. Berdasarkan massa jenis pada pasir silika dan polyethylene glycol (PEG) 400 sebagai berikut:

1. Massa jenis pasir silika yaitu  $2,65 \text{ g/cm}^3$  berdasarkan hasil pengujian Heri Fadli.
2. Massa jenis polyethylene glycol (PEG) 400 =  $1,13 \text{ g/cm}^3$

$$\begin{aligned} V_c (\text{Volume Cetakan}) &= p \times l \times t \\ &= 30 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \\ &= 6000 \text{ mm}^3 = 6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Keterangan :

$\rho$  = Massa jenis

$m$  = Massa (kg atau gr)

$v$  = Volume ( $m^3$  atau  $cm^3$ ) (Archimedes, n. d.)

Menyiapkan semua bahan baku seperti pasir silika dan polyethylene glycol (PEG) 400. Berdasarkan massa jenis pada pasir silika dan polyethylene glycol (PEG) 400 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana :

$\rho$  = Massa jenis ( $gr/cm^3$ )

$m$  = Massa (kg atau gr)

$v$  = Volume ( $m^3$  atau  $cm^3$ ) (Archimedes, n. d.)

Untuk menghitung massa komposit dari komposisi pasir silika sebanyak 75% dan polyethylene glycol (PEG) 400 sebanyak 25% sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1. \text{ massa pasir silika } 75\% &= 6 \text{ cm}^3 \times 2.65 \text{ g/cm}^3 \times 75\% \\ &= 11,92 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ massa PEG } 400 \text{ } 25\% &= 6 \text{ cm}^3 \times 1.13 \text{ g/cm}^3 \times 25\% \\ &= 1,69 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ massa komposit } (m_k) &= m_{ps} + m_{peg} \\ &= 11,92 \text{ gram} + 1,69 \text{ gram} \\ &= 13,61 \text{ gram} \end{aligned}$$

### 3.5.3 Proses Pencampuran Bahan

Proses mencampurkan satu atau lebih bahan dengan menambahkan satu bahan ke bahan lainnya sehingga membuat suatu bentuk yang seragam dari beberapa konstituen baik cair-padat, padat-padat, maupun cair-gas. Komponen yang jumlahnya lebih banyak disebut fase kontinue dan yang lebih sedikit disebut fase disperse (Fellows, 1988). Menurut Kusdarini (1977), tujuan pencampuran dengan menggunakan alat pencampur adonan (mixer) adalah untuk memperoleh adonan yang elastis dan menghasilkan pengembangan gluten yang diinginkan.

Adapun langkah-langkah pencampuran bahan Pellet Silika adalah sebagai berikut:

1. Lakukan pengayakan pasir silika 200 *mesh*.
2. Pasir yang sudah ditimbang sebanyak 11,92 gram.
3. Siapkan perekat Polyethylene Glycol PEG 400 sebanyak 1,69 gram.
4. Jumlah Sampel yang dibuat sebanyak 3 buah.
5. Siapkan *Beker glass ceper*.
6. Siapkan wadah adonan.
7. Siapkan alat pengaduk.
8. Campurkan semua bahan kedalam wadah adonan.
9. Kemudian aduk hingga merata lalu masukkan kedalam cetakan Pellet Silika yang sudah diolesi pelumas Mold Release Resin (Resin anti lengket)
10. Lanjut ke proses berikutnya.



### 3.5.4 Proses Kompaksi

Proses kompaksi merupakan proses penekanan atau pengepresan dalam pembentukan pellet. Dalam proses kompaksi cetakan harus diberikan pelumas yang cukup agar tidak terjadi gesekan antara dinding cetakan dengan silika yang mengakibatkan retaknya pellet silika. Ada tiga variasi tekanan yang digunakan dalam proses kompaksi untuk mengetahui pengaruh sifat pellet silika terhadap kekerasan. Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan proses ini adalah sebagai berikut:

1. Masukkan silika hasil proses pencampuran kedalam cetak pellet.
2. Sebelum mengoperasikan press hidrolik cetak pellet periksa seluruh rangkaian komponen sudah terpasang.
3. Selalu kendurkan pengatur *relief valve* pada *full open*. *Relief valve* berfungsi mengatur tekanan fluida secara konstan pada tekanan tertentu.
4. Kemudian nyalakan *power unit*.
5. Lakukan pengaturan tekanan sesuai dengan data, untuk menentukan tekanan pada masing-masing spesimen dengan mengontrol *relief valve*.
6. Dilakukan pencatatan disaat tekanan 3 Tons sesuai penekanan pada alat press hidrolik, dilanjutkan ke setiap nilai tekanan yaitu 4 Tons dan 5 Tons.
7. Lakukan pembacaan skala pada *flowmeter*.
8. Pellet silika yang sudah di cetak dimasukkan kedalam tabung silinder plastik.

9. Kemudian untuk memudahkan dalam mencatat tekanannya, berikan label pada masing-masing tabung silinder plastik.

Untuk menentukan rumus tekanan pada mesin dalam sistem hidrolik yaitu :

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana :

P = tekanan (N/m<sup>2</sup>)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

F = gaya (N)

### 3.5.5 Proses Sintering

Proses sintering adalah pemanasan pada temperatur di bawah titik leleh material komposit, dan merupakan bagian dari proses *heat treatment*. Ditahan selama beberapa waktu, dan dinginkan di suhu udara kamar normal. Proses sintering juga dapat meningkatkan kekuatan dari pellet silika. Adapun langkah-langkah dalam melakukan proses sintering adalah sebagai berikut:

1. Masukkan pellet silika hasil kompaksi kedalam cawan pijar, lalu masukkan cawan pijar yang berisi pellet silika kedalam furnace.
3. *Setting* suhu *furnace* menjadi 1000°C lalu *setting holding time* selama 2 jam
4. Kemudian pada suhu 1000°C menunggu waktu penahanan selama 2 jam.
5. Lalu keluarkan pellet silika dari dalam mesin furnace dan dinginkan dengan suhu ruangan sampai suhu menjadi normal.

### 3.6 Bahan Cetakan (*Mold*)

Bahan  *mold*  type 410 adalah baja stainless martensit tujuan umum yang umum digunakan untuk bagian-bagian yang sangat tertekan dan memberikan ketahanan korosi yang baik plus kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Paduan 410 mengandung minimum 11,5% kromium yang cukup memadai untuk menunjukkan sifat ketahanan korosi di atmosfer ringan, uap dan banyak lingkungan kimia ringan. Ini adalah kelas serba guna yang sering disuplai dalam kondisi yang mengeras tetapi masih dapat diolah untuk aplikasi dimana kekuatan tinggi dan panas sedang dan ketahanan korosi diperlukan. Alloy 410 menampilkan ketahanan korosi maksimal ketika telah diperkeras, temper dan kemudian dipoles.

### 3.7 Mesin Press Hidrolik

Cara kerja mesin press hidrolik menggunakan sistem pompa hidrolik yang mengandalkan kinerja pompa hidrolik untuk melakukan menekan punch pada mold silinder. Mesin press hidrolik ini dibuat oleh pabrikan KRISBOW (Kawan Lama, 2019). Dapat dilihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Mesin Press Hidrolik

Tekanan merupakan perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi. Alat penekan yang digunakan menggunakan sistem hidrolik. Hal lain yang mempengaruhi besar tekanan adalah luas penampang dari torak yang digunakan. Maka daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Untuk menentukan tekanan dapat menggunakan rumus :

$$P = \frac{F}{A} \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Tekanan (Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$F = \text{Gaya tekan (Kgf)}$$

$$A = \text{Luas permukaan (cm}^2\text{)}$$

### 3.8 Uji Kekerasan (*Brinell*)

Pengujian kekerasan (*Brinell*) pada sampel bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik kekerasan dari *biodegradable material* yang dihasilkan dari proses penelitian ini. Sehingga dapat diketahui nilai kekerasan dari Plat Panel Keramik Komposit. Pengujian kekerasan dilakukan Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Pengujian menggunakan *hardness brinell test* (alat pengujian terlihat pada Gambar 3.4) dengan ukuran spesimen silinder berdiameter 25,45 mm , menggunakan standar ASTM E 10.

Standar dari bola *Brinell* yaitu  $\varnothing$  10 mm atau 0,3937 in, dengan penyimpangan maksimal 0,005 mm atau 0,0002 in. Selain yang telah distandarkan di atas, terdapat juga bola-bola *Brinell* dengan diameter lebih kecil ( $\varnothing$  5 mm,  $\varnothing$  2,5 mm,  $\varnothing$  2 mm,  $\varnothing$  1,25 mm,  $\varnothing$  1 mm,  $\varnothing$  0,65 mm) yang juga mempunyai toleransi-toleransi tersendiri. Dapat dilihat gambar alat uji kekerasan pada gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Alat Uji Kekerasan

### **3.9 Uji Mikrostruktur**

Proses pengujian mikroskop yang dilakukan membutuhkan persiapan bahan spesimen yang sangat banyak, langkah-langkah persiapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen PPKK kemudian di potong mendapatkan tinggi 5 mm.

2. Menghaluskan bagian permukaan yang akan di uji dengan hamplas halus, lalu di bersihkan dengan menggunakan air.
3. Meneteskan bagian permukaan yang akan di uji dengan etsa selama 15 detik, lalu bilas dengan alkohol.
4. Gunakan lilin sebagai media untuk tempat berdirinya spesimen dan untuk membuat spesimen lebih rata saat di uji mikrostruktur.

Setelah mendapatkan data pengujian mikrostruktur, kemudian dimasukan kedalam data pengolahan. Dapat dilihat alat uji mikrostruktur pada gambar 3.5.



**Gambar 3.4** Alat Uji *Microscope (Olympus)*

### 3.10 Uji Porositas

Untuk menentukan besarnya porositas, maka yang perlu ditentukan adalah Volume total batuan ( $V_b$ ), volume pori ( $V_p$ ) dan volume butiran ( $V_g$ ). Standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah (*American Petroleum Institute Recommended Practice 40*). Adapun langkah-langkah pengukuran porositas yaitu dengan cara menimbang.

Prosedur pengujian :

1. Menimbang pellet kering yang belum dijenuhi kerosin satu persatu.
2. Menimbang pignometer yang tak berisi, kemudian menimbang pignometer yang berisi kerosin.
3. Mencari nilai densitas kerosin.
4. Menimbang gelas kimia kosong.
5. Menimbang gelas kimia berisi masing-masing sampel pellet.
6. Masukkan kerosin sebanyak 40 ml hingga pellet terendam.
7. Biarkan selama 15 menit kemudian keluarkan pellet dari dalam gelas kimia kemudian timbang pellet tersebut.
8. Masukkan kembali pellet kedalam gelas kimia yang sudah berisi kerosin, kemudian rendam pellet selama 24 jam untuk mengetahui nilai  $W_3$ .

### **3.11 Waktu Dan Tempat**

Proses penelitian dilakukan pada semester genap dan tempat penelitian diadakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

### **3.12 Jadwal Kegiatan Penelitian**

Agar penelitian tentang pengaruh penekanan pellet silika terhadap kekerasan ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan													
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5				
1	Pembuatan Proposal														
2	Studi Literatur														
3	Persiapan alat dan bahan														
4	Seminar Proposal														
5	Pengolahan Data														
6	Sidang Tugas Akhir														






## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian pengaruh penekanan plat panel keramik komposit didapat setelah hasil pencetakan yang menggunakan bahan cetakan  *mold type 410* serta dilakukan penekanan. Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengujian Pengaruh Penekanan Plat Panel Keramik Komposit.

Keramik Komposit	Tekanan (Bar/Tons)	Luas Lingkaran Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Waktu Pengambilan
	3	20,33	10 menit
	4	20,33	10 menit
	5	20,33	10 menit

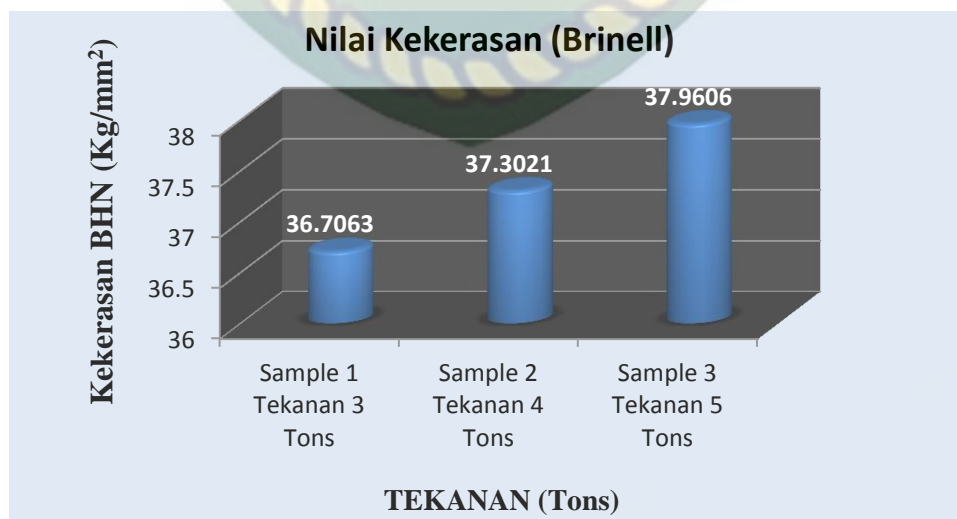
#### 4.2 Data Hasil Uji Kekerasan (*Brinell*)

Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan dengan mengukur kekerasan (*Brinell*) pada plat panel keramik komposit (PPKK) pada 3 titik sehingga di peroleh nilai rata rata kekerasan (*Brinell*) pada plat panel keramik komposit. Dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Hasil Uji Kekerasan (*Brinell*).

Kode sampel	Tekanan (Bar/Tons)	Beban (kg)	Diameter Indentor (mm)	Bekas Indentasi (mm)	Nilai Kekerasan BHN (kg/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (kg/mm <sup>2</sup> )
A	3	60	2,5	1,38312	36,6146	36,7063
		60	2,5	1,37983	36,8107	
		60	2,5	1,38171	36,6937	
B	4	60	2,5	1,36654	37,2027	37,3021
		60	2,5	1,36620	37,2624	
		60	2,5	1,36720	37,4414	
C	5	60	2,5	1,36129	37,9230	37,9606
		60	2,5	1,36031	37,9891	
		60	2,5	1,36060	37,9698	

Dari data hasil pengujian kekerasan (*Brinell*) diatas kemudian dimasukkan kedalam sebuah grafik 4.1 yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4.1** Grafik Hubungan Penekanan Terhadap Kekerasan

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa sampel 1 diberikan tekanan 3 Tons mempunyai nilai kekerasan yang terendah yaitu  $36,7063 \text{ Kg/mm}^2$ , sedangkan sampel 3 dengan tekanan 5 Tons mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu  $37,9606 \text{ Kg/mm}^2$ . Hal ini disebabkan karena penekanan pada plat panel keramik komposit (PPKK) berpengaruh terhadap kerapatan dan kepadatan komposisi silika yang di ikat dengan PEG 400 dan tekanan yang semakin tinggi membuat partikel yang lebih rapat.

#### 4.3 Data Hasil Perhitungan Porositas

Hasil perhitungan porositas plat panel keramik komposit pada penekanan 3 Tons, 4 Tons dan 5 Tons serta pengikat Polyethylene Glycol PEG 400 dengan massa 1,69 gram. Dapat dihitung dengan rumus standar porositas proppant belum pernah ada yang membahas mengenai nilai standar porositas proppant. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Rachmad & Nugroho (2010) tentang Pengaruh ukuran butir dan penempatan proppant terhadap optimasi perekahan hidrolik sumur minyak, yang hanya membahas tentang penggunaan fluida *perfect support* dan *proppant HSP 20/40 mesh* dan optimasi keekonomian untuk menghasilkan pilihan terbaik pada penggunaan fluida *perfect support* dengan *proppant HSP-12/18* berdiameter 0.052 inci.

##### 1. Perhitungan Kode Sample 1 :

Diketahui : Tinggi pellet = 1,95 cm

Diameter pellet = 2,7 cm

Berat kering ( $W_1$ ) = 13,06 gr (sampel pellet kering)

Berat dijenuhi ( $W_2$ ) = 15,5 gr (sampel pellet yang sudah direndam)

kerosin selama 24 jam).

$$\begin{aligned}\text{Massa kerosin} &= \text{picnometer berisi} - \text{picnometer kosong (gram)} \\ &= 41,67 - 21,90 \text{ (gram)} \\ &= 19,77 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{densitas kerosin } \rho = \frac{m}{v} \text{ (gram/cm}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{19,77 \text{ gram}}{25 \text{ ml}} \\ &= 0,79 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Maka :

$$\text{Volume total batuan (Vb)} = \frac{1}{4} \times \pi (d)^2 \times t$$

$$\begin{aligned}\text{Volume total batuan (Vb)} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (2,7 \text{ cm})^2 \times 1,95 \text{ cm} \\ &= 11,15 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume pori (Vp)} &= \frac{W_2 - W_1}{\rho} \\ &= \frac{15,5 \text{ gram} - 13,06 \text{ gram}}{0,79 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 3,08 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Porositas } (\phi) &= \frac{V_p}{V_b} \times 100\% \\ &= \frac{3,08 \text{ cm}^3}{11,15 \text{ cm}^3} \times 100\% \\ &= 27,62 \%\end{aligned}$$

Dari data perhitungan porositas plat panel kemarin komposit pada penekanan 3 Tons dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400 dengan massa 1,69 gram dapat dimasukkan ke dalam tabel 4.3

**Tabel 4.3** Porositas pada penekanan 3 Tons dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400 dengan massa 1,69 gram.

Tekanan (Tons)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )	Φ (%)	ρ (gram/cm <sup>3</sup> )
3	13,06	15,5	11,15	3,08	27,62	0,79

2. Perhitungan Kode Sample 2 :

Diketahui : Tinggi pellet = 1,8 cm

Diameter pellet = 2,7 cm

Berat kering (W<sub>1</sub>) = 12,13 gr (sampel pellet kering)

Berat dijenuhi (W<sub>2</sub>) = 14,2 gr (sampel pellet yang sudah direndam kerosin selama 24 jam).

Massa kerosin = picnometer berisi – picnometer kosong (gram)  
 = 41,67 – 21,90 (gram)  
 = 19,77 gram

densitas kerosin  $\rho = \frac{m}{v}$  (gram/cm<sup>3</sup>)

$$\rho = \frac{19,77 \text{ gram}}{25 \text{ ml}}$$

$$= 0,79 \text{ gram/cm}^3$$

Maka :

$$\text{Volume total batuan (Vb)} = \frac{1}{4} \times \pi (d)^2 \times t$$

$$\text{Volume total batuan (Vb)} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (2,7 \text{ cm})^2 \times 1,8 \text{ cm}$$

$$= 10,30 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume pori (Vp)} = \frac{W_2 - W_1}{\rho}$$

$$= \frac{14,2 \text{ gram} - 12,13 \text{ gram}}{0,79 \text{ gram/cm}^3}$$

$$= 2,62 \text{ cm}^3$$

$$\text{Porositas } (\phi) = \frac{V_p}{V_b} \times 100\%$$

$$= \frac{2,62 \text{ cm}^3}{10,30 \text{ cm}^3} \times 100\%$$

$$= 25,43 \%$$

Dari data perhitungan porositas plat panel kemarin komposit pada penekanan 4 Tons dan pengikat Polyethylene Glycol PEG 400 dengan massa 1,69 gram dapat dimasukkan ke dalam tabel 4.4

**Tabel 4.4** Porositas pada penekanan 4 Tons dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400 dengan massa 1,69 gram.

Tekanan (Tons)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )	Φ (%)	ρ (gram/cm <sup>3</sup> )
4	12,13	14,2	10,30	2,62	25,43	0,79

### 3. Perhitungan Kode Sample 3 :

Diketahui : Tinggi pellet = 1,9 cm

Diameter pellet = 2,7 cm

Berat kering (W<sub>1</sub>) = 12,88 gr (sampel pellet kering)

Berat dijenuhi (W<sub>2</sub>) = 14,7 gr (sampel pellet yang sudah direndam kerosin selama 24 jam).

Massa kerosin = picnometer berisi – picnometer kosong (gram)

$$= 41,67 - 21,90 \text{ (gram)}$$

$$= 19,77 \text{ gram}$$

$$\text{densitas kerosin } \rho = \frac{m}{v} \text{ (gram/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = \frac{19,77 \text{ gram}}{25 \text{ ml}}$$

$$= 0,79 \text{ gram/cm}^3$$

Maka :

$$\text{Volume total batuan (Vb)} = \frac{1}{4} \times \pi (d)^2 \times t$$

$$\text{Volume total batuan (Vb)} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (2,7 \text{ cm})^2 \times 1,9 \text{ cm}$$

$$= 10,87 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume pori (Vp)} = \frac{W_2 - W_1}{\rho}$$

$$= \frac{14,7 \text{ gram} - 12,88 \text{ gram}}{0,79 \text{ gram/cm}^3}$$

$$= 2,30 \text{ cm}^3$$

$$\text{Porositas } (\phi) = \frac{V_p}{V_b} \times 100\%$$

$$= \frac{2,30 \text{ cm}^3}{10,87 \text{ cm}^3} \times 100\%$$

$$= 21,15\%$$

Dari data perhitungan porositas plat panel kemarin komposit pada penekanan 5 Tons dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400 dengan massa 1,69 gram dapat dimasukkan ke dalam tabel 4.5

**Tabel 4.5** Porositas pada penekanan 5 Tons dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400 dengan massa 1,69 gram.

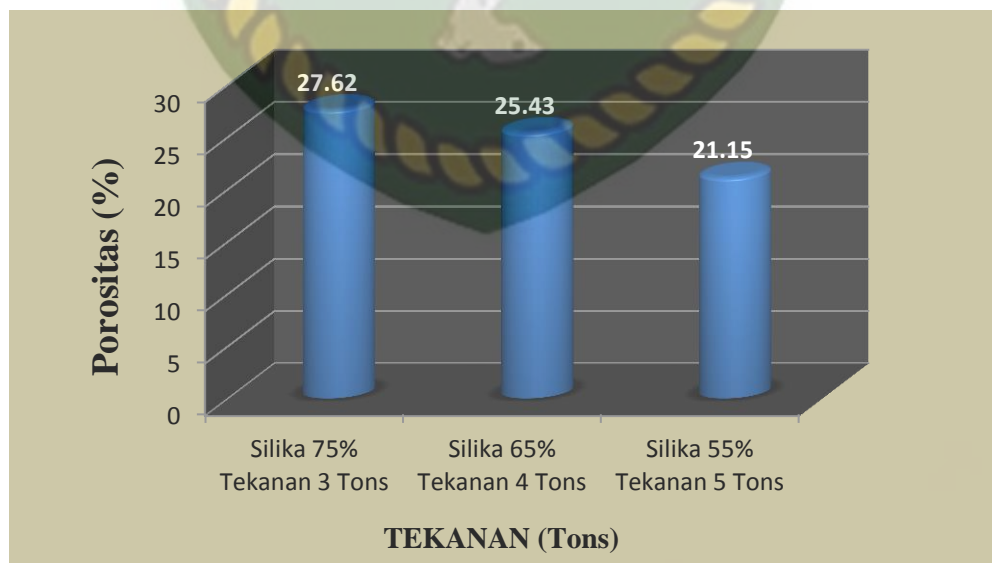
Tekanan (Tons)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )	Φ (%)	ρ (gram/cm <sup>3</sup> )
5	12,88	14,7	10,87	2,30	21,15	0,79

Pada pengukuran porositas digunakan dua cara untuk mengukurnya, yaitu dengan cara menimbang dan helium porosimeter. Pengukuran dengan cara menimbang mendapatkan hasil yang sangat baik 20% - 25% dan istimewa >25%. Dari hasil perhitungan porositas pada kode sample 1, 2 dan 3 di masukan kedalam tabel perbedaan penekanan. Dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Porositas berdasarkan perbedaan penekanan dan pengikat *Polyethylene Glycol* PEG 400.

Tekanan (Tons)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )	Φ (%)	ρ (gram/cm <sup>3</sup> )
3	13,06	15,5	11,15	3,08	27,62	0,79
4	12,13	14,2	10,30	2,62	25,43	0,79
5	12,88	14,7	10,87	2,30	21,15	0,79

Dari hasil porositas berdasarkan perbedaan penekanan dimasukan kedalam sebuah gambar 4.2 yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Penekanan Terhadap Porositas

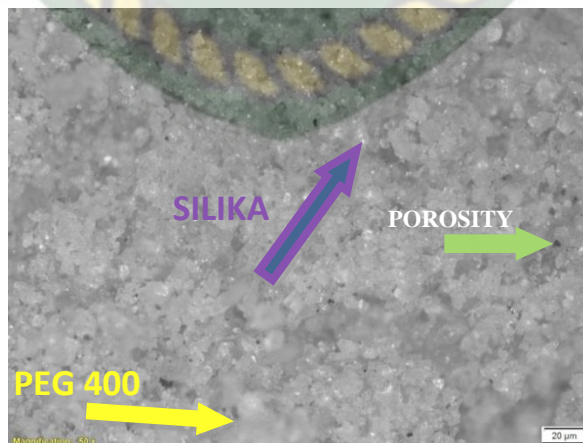


Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai porositas yang tertinggi yaitu sebesar 27,62% pada berat Silika 75% dengan tekanan 3 Tons. Sedangkan berat Silika 65% dengan tekanan 4 Tons mengalami penurunan nilai porositas sebesar 25,43%. Dan porositas terendah pada berat Silika 55% dengan tekanan 5 Tons mempunyai nilai porositas yaitu 21,15%. Dari ketiga tekanan sampel tersebut terlihat bahwa nilai porositas tertinggi terletak pada berat Silika 75% dengan tekanan 3 Tons. Hal ini membuktikan bahwa terdapat hubungan antara tekanan dengan porositas, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan, maka nilai porositasnya akan semakin kecil.

#### 4.4 Hasil Pengamatan Stukturmikro

Pengamatan struktur mikro pada spesimen ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro pada spesimen plat panel keramik komposit. Spesimen yang akan diamati yaitu dengan melihat variasi perbandingan komposisi campuran antara pasir silika dan Polyethylene Glycol PEG 400.

a) Topografi sampel dengan 50 x pembesaran



**Gambar 4.3** Perbandingan Silika 75 % : PEG 400 25%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.3 bahwa bentuk struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan silika 75% : PEG 400 25% terlihat *PEG 400* sebagai pengikat lebih sedikit dibandingkan pasir silika. Hal ini disebabkan karena adanya perbandingan komposisi yang memperlihatkan banyak komposisi silika maka semakin terlihat lebih banyak butiran silika maka butiran silika akan saling berimpit dan akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat. Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa ungu adalah silika dan panah kuning adalah *PEG 400*.

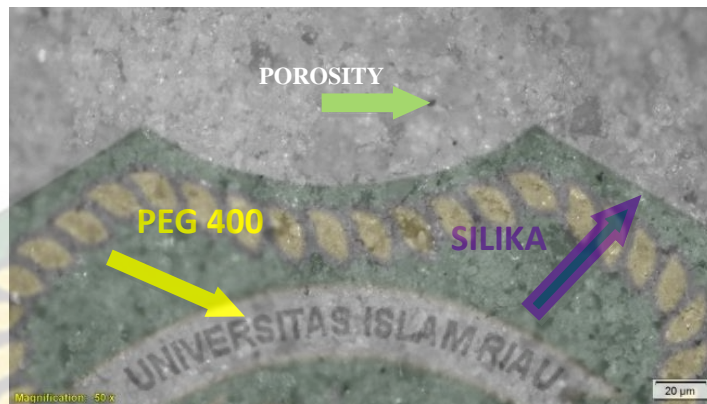
b) Topografi sampel dengan 50 x pembesaran



**Gambar 4.4** Perbandingan Silika 65 % : PEG 400 35%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.4 bahwa bentuk struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan silika 65% : PEG 400 35% terlihat *PEG 400* sebagai pengikat lebih banyak dibandingkan dengan komposisi silika 75% : PEG 400 25%. Hal ini disebabkan karena adanya perbandingan komposisi yang memperlihatkan banyak komposisi silika maka semakin terlihat lebih banyak butiran silika maka butiran silika akan saling berimpit dan akan memunculkan rongga sehingga porositasnya. Dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa ungu adalah pasir silika dan panah kuning adalah *PEG 400*.

c) Topografi sampel dengan 50 x pembesaran



**Gambar 4.5** Perbandingan Silika 55 % : PEG 400 45%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.5 bahwa bentuk struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan silika 55% : PEG 400 45% terlihat *PEG 400* sebagai pengikat yaitu sangat baik. Hal ini disebabkan karena fraksi berat partikel silika merata dan setiap partikel silika diselimuti oleh PEG 400 membuat interaksi atau ikatan antara partikel serbuk SiC dan bahan matrik Al sangat baik. Dari gambar 4.4 menunjukkan bahwa ungu adalah pasir silika dan panah kuning adalah *PEG 400*.

Dari ketiga sampel tersebut terlihat bahwa perbandingan dari komposisi bahan sangat berpengaruh terhadap pengamatan mikrostruktur, dengan hasil Tampak butiran dan PEG 400 yang lebih jelas terdapat pada perbandingan silika 55% : PEG 400 45%, karena dari hasil pengamatan mikrostruktur butiran silika yang terlihat merata dan setiap partikel silika diselimuti PEG 400 dibandingkan dengan silika 75% : PEG 400 25% dan silika 65% : PEG 35 %. Hal ini disebabkan bahwa semakin banyak serbuk komposit yang diberikan maka partikel

sebuk akan saling berimpit. Hal ini akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat.

Dari hasil penekanan yang diberikan pada plat panel keramik komposit (PPKK) juga berpengaruh terhadap kerapatan dan kepadatan komposisi silika yang di ikat dengan PEG 400 dan tekanan yang semakin tinggi membuat partikel yang lebih rapat, sampel 3 dengan tekanan sebesar 5 Tons mempunyai nilai kekasaran tertinggi yaitu 37,9606 Kg/mm<sup>2</sup>. Kerapatan dan kepadatan spesimen yang di cetak dengan bahan *mold type* 410 dan tekanan yang diberikan bervariasi 3 Tons, 4 Tons dan 5 Tons akan mempengaruhi nilai porositas. Dimana nilai porositas tertinggi terletak pada sample 1 dengan tekanan 3 Tons.

#### 4.5 Perbandingan Pada Penelitian Terdahulu

Perbandingan pada penelitian terdahulu adalah perbandingan hasil pengujian porositas, kekerasan dan mikrostruktur terdahulu dengan penelitian yang sekarang. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.7.

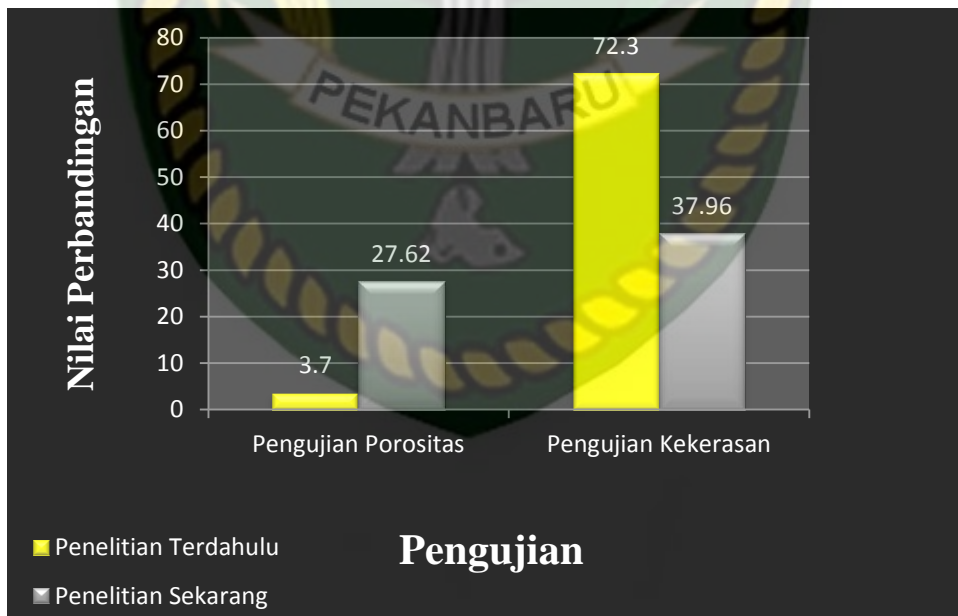
**Tabel 4.7** Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Penelitian Terbaru	Keterangan
1	Nilai porositas tertinggi terdapat pada berat SiC 10% sebesar 3,7 % dan SiC 7,5% dengan nilai porositas sebesar 2,2 %. Dan porositas terendah terdapat pada berat SiC	Nilai porositas tertinggi terdapat pada berat Silika 75% yaitu sebesar 27,62%. Sedangkan berat Silika 65 % mengalami penurunan dengan nilai porositas yaitu 25,43%. Dan porositas	Hal ini membuktikan bahwa semakin besar berat Silika maka semakin tinggi nilai porositas dan begitu sebaliknya.

	0% dengan nilai porositas sebesar 0,37% (Chasby Assidiq, 2014. Pengujian Porositas Universitas Diponegoro)	terendah pada berat silika 55 % dengan nilai porositas yaitu 21,15%. (Pengujian Porositas)	
2	Pada variasi berat SiC 10% dengan nilai rata-rata sebesar 72.3 HRB. Dan nilai terkecil ditunjukkan pada variasi berat SiC 0% yaitu sebesar 55,15 HRB. (Chasby Assidiq, 2014. Pengujian Kekerasan (Rockwell). Universitas Diponegoro)	Pada sampel 1 diberikan tekanan 3 Tons mempunyai nilai kekerasan yang terendah yaitu 36,7063 Kg/mm <sup>2</sup> , sedangkan sampel 3 dengan tekanan 5 Tons mempunyai nilai kekasaran tertinggi yaitu 37,9606 Kg/mm <sup>2</sup> . (Pengujian Kekerasan Brinell)	Pada spesimen dengan bahan silika perlu dilakukan uji kekerasan karena akan melihat pengaruh kerapatan dan kepadatan fraksi serbuk yang diikat dengan matriks yang berbeda bahan.
3	Interaksi atau ikatan antara partikel serbuk SiC dan bahan matrik Al sangat baik. Sebaliknya bila fraksi berat serbuk SiC pada komposit lebih besar atau banyak maka beberapa partikel serbuk SiC saling berimpit atau mengelompok, sehingga ikatan antara partikel	Tampak butiran dan PEG 400 yang lebih jelas terdapat pada perbandingan silika 55% : PEG 400 45%, karena dari hasil pengamatan mikrostruktur butiran silika yang terlihat merata dan setiap partikel silika diselimuti PEG 400 dibandingkan dengan silika 75% : PEG 400 25% dan	Dari pengamatan mikrostruktur terlihat bahwa semakin banyak serbuk komposit yang diberikan maka partikel serbuk akan saling berimpit. Hal ini akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat.

serbuk SiC dan bahan matrik Al tidak sempurna. (Chasby Assidiq, 2014. Pengujian Struktur Mikro, Pembesaran x500. Universitas Diponegoro)	silika 65% : PEG 35 %. (Pengamatan Struktur Mikro, Pembesaran x 50 )	
---	---	--

Dari tabel 4.2 perbandingan penelitian terdahulu dapat dilihat kedalam gambar grafik 4.6.



**Gambar 4.6** Perbandingan Penelitian.

Dari hasil perbandingan penelitian terdahulu pada gambar 4.6 bahwa terdapat perbedaan yang hasil porositas, yaitu nilai porositas tertinggi pada

penelitian terdahulu yaitu 3,7 % sedangkan nilai tertinggi pada penelitian sekarang yaitu 27,62. Bahan serbuk yang digunakan tidak sama, pada penelitian terdahulu menggunakan serbuk SiC (Silicon Karbida), Namun pada penelitian sekarang menggunakan pasir silika. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar berat Silika maka semakin tinggi nilai porositas dan begitu sebaliknya.

Perbedaan dari hasil uji kekerasan, yaitu dari metode pengujian yang digunakan oleh penelitian terdahulu adalah uji kekerasan (Rockwell) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 72,3 HRB, sedangkan metode pengujian yang saya pakai adalah uji kekerasan (Brinell) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 37,9606 Kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini membuktikan pada spesimen dengan bahan silika perlu dilakukan uji kekerasan karena akan melihat pengaruh kerapatan dan kepadatan fraksi serbuk yang diikat dengan matriks yang berbeda bahan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan alat uji *Brinell Hardness Tester* (BHN), Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan 5 Tons yaitu 37,9606 Kg/mm<sup>2</sup>.
2. Adanya hubungan tekanan dengan kekerasan terhadap kerapatan dan kepadatan komposisi silika yang di ikat dengan PEG 400 dan tekanan yang semakin tinggi membuat partikel yang lebih rapat.
3. Dari hasil perhitungan nilai porositas, nilai porositas yang tertinggi yaitu sebesar 27,62% pada berat Silika 75%.
4. Adanya hubungan antara tekanan dengan porositas, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan, maka nilai porositasnya akan semakin kecil.
5. Dari hasil pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik Olympus bahwa tampak butiran dan PEG 400 yang lebih jelas terdapat pada perbandingan silika 55% : PEG 400 45%, karena dari hasil pengamatan mikrostruktur butiran silika yang terlihat merata dan setiap partikel silika diselimuti PEG 400 dibandingkan dengan silika 75% : PEG 400 25% dan silika 65% : PEG 35 %.
6. Dari pengamatan mikrostruktur terlihat bahwa semakin banyak serbuk komposit yang diberikan maka partikel serbuk akan saling berimpit. Hal ini akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat.



## 5.2 **Saran**

1. Peneliti selanjutnya diharapkan melakukan pengujian BET agar mendapatkan hasil porositas dalam ukuran volume.
2. Agar melanjutkan penelitian ini kedepannya untuk bisa dibuat menjadi sebuah produksi teknologi yang berguna bagi masyarakat .



## DAFTAR PUSTAKA

- Aliaman. 2017. “*Pengaruh Absorpsi Karbon Aktif & Pasir Silika Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe), Fosfat (Po4), Dan Deterjen Dalam Limbah Laundry*”. Skripsi. Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980) *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*, Mineralogical Society, 305-356.
- Budiman, Arif. 2001. *Modifikasi Desain dan Uji Untuk Kerja Alat Pembakar Sampah (incinerator) Tipe Batch*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456> [Diakses 3 April 2014]
- Byan Technology Indonesia. 2011. *Pengolahan Pasir Silika*. <http://www.byantech.com/kategoripabrik/pengolahan-pasir-silika/> (diakses pada tanggal 5 Agustus 2014).
- Dieter, G.E., 1987, *Metalurgi Mekanik, terj. Sriati D.*, Erlangga, Jakarta, hal. 6.
- Fridayanti, Hendradi & Isnaeni. 2010. Pengaruh Kadar Polietilen Glikol (Peg) 400 Terhadap Pelepasan Natrium Diklofenak Dari Sediaan Transdermal Patch Type Matriks. *J. Trop. Pharm. Chem.* Vol 1. No. 1.
- Hara. 1986. *Utilization of Agrowastes for Bulding Materials*. International Reseach and Development Cooperation Division. Tokyo. Japan.
- Hildayati.,dkk. 2009. *Sintetis dan Karakteristik Bahan Komposit Karet AlamSilika*. Institut Sepuluh November. Surabaya.
- Husnain, 2010. *Mengenal Silika sebagai Unsur Hara*. Warta Penelitian.
- IEEE GlobalSpec. (2019). *Informasi Peralatan Pemasat Serbuk*. Diambil dari [https://www.globalspec.com/learnmore/processing\\_equipment/materials\\_processing\\_equipment/powder\\_compacting\\_equipment](https://www.globalspec.com/learnmore/processing_equipment/materials_processing_equipment/powder_compacting_equipment).

- Jones , R. M., 1975, *Mechanis Of Composite Materials*, Hemisphere Publishing Co.,New York.
- Kirk R.E. and Othmer, D.F. 1993. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.5. fourthedition, A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons Co., New York.
- Kusnaedi. 2006. *Mengolah Air Gambut dan Air Kotor Untuk Air Minum*. 2nd ed. PT.
- Pakpahan, A. 2006. *Sekam Padi, Sebuah Alternatif Sumber Energi*. [www.batan.go.id](http://www.batan.go.id). Diakses pada tanggal 30 Maret 2016.
- Penebar Swadaya. Jakarta. Lawrence H. Van Vlack, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, Erlangga, 1992.
- Matthews, F.L. dan Rawlings, R. D. 1993. *Composite Material Engineering and Science*, Imperial College of Science Technology and Madicine, London.
- Norvisari, 2008. *Pengaruh Kombinasi Basis Polietilenglikol 400 Dan Polietilenglikol 6000 Terhadap Sifat Fisik Dan Pelepasan Asam Mefenamat Pada Sediaan Supositoria*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Scott, R. P. W. 1993. *Silica and Bonded Phase*. Chicester UK : John Wiley and Sons Ltd.
- Smallman, R. E. dan Bishop, R. J., 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Edisi Keenam, Erlangga, Jakarta.
- Supiansyah, 2015. *“Pengaruh Variasi Volume Matriks Recycled Polypropylene (Rpp) Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Batang Pisang”*. Skripsi. Fakultas Ilmu Pendidikan Jurusan Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Palembang.
- Suparno, S., 2009, *Energi Panas Bumi :A Present from The Heart of The Earth*. Edisi Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta.

Trianasari. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika sebagai Hasil Ekstrasi Batu Apung (skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol. 32, No. 3, 2010. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber daya Genetik Pertanian. Bogor.

Zhengzhou Dayang Briquette Machinery Co., Ltd. Bahan Produk Briket <https://www.dayang-briquettepress.com/products>



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau