

**PENGARUH PENEKANAN PELLET SILIKA TERHADAP POROSITAS DAN
PERMEABILITAS**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Srata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH:

HERI FADLI
NPM: 14.331.0431

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

2019

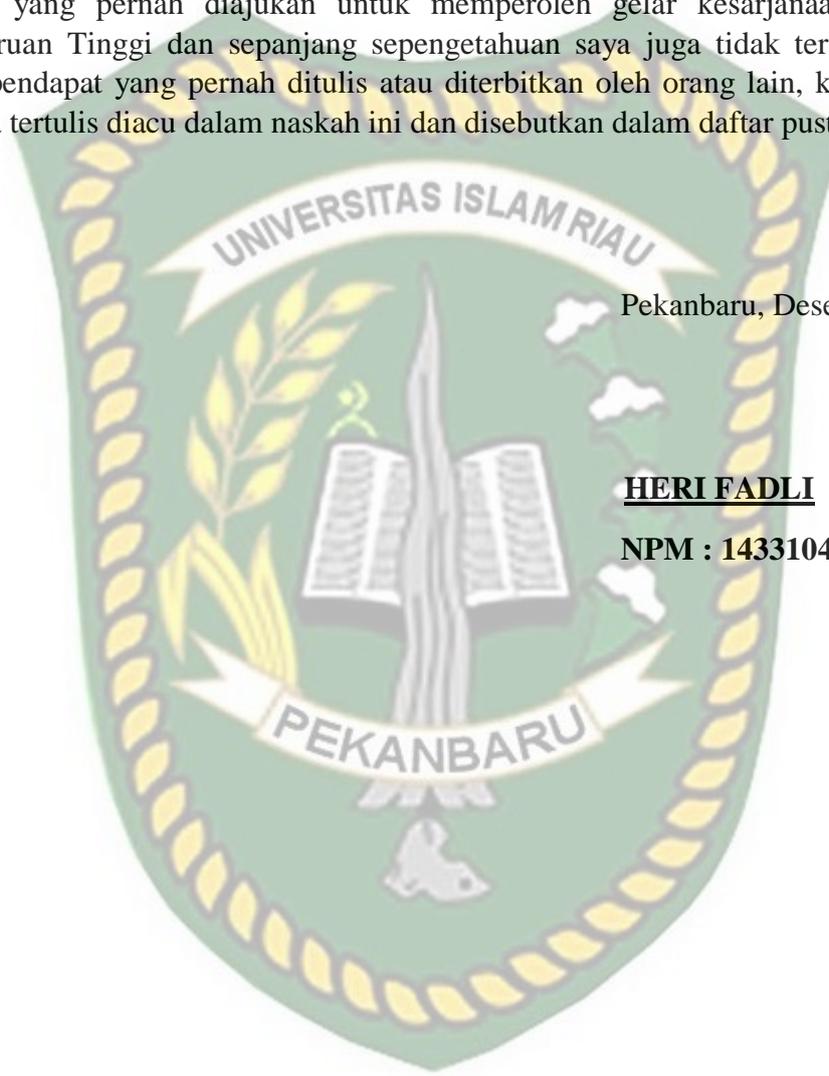
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali tidak secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Desember 2019

HERI FADLI

NPM : 143310431



THE EFFECT OF SILICA PELLET PRESSING TOWARDS POROSITY AND PERMEABILITY

Heri Fadli¹, Dedikarni²

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic
University of Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km. 11 no. 113 Stop Marpoyan Damai, PekanbaruTel.

0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email: herifadly5@gmail.com

ABSTRACT

The silica classification (SiO_2) is divided into four basic characteristics of silica which are crystal structure, dispersity, surface composition and porosity. Silica sand is widely used by the oil and gas industry as proppant or as water filters. The proppant choice depends on the type of permeability or grain strength required. Moreover, proppant with a larger size will provide better fracture permeability, because the permeability value will increase along with the increasing of grain diameter. This study aims to determine the effect of silica pellet pressing towards porosity and permeability. This silica pellet pressing uses a hydraulic press machine KW05-135 and with 10,000 kg capacity. Researcher conducts silica pellets with the same grain size of silica sand content (100 mesh) as much as 8.74 g / cm³, using an adhesive type of Polyethylene Glycol (PEG) 400 as much as 0.57 g / cm³, and Aluminum Powder 3.42 g / cm³. The mold used is Silica Pellet Type Alloy 410 with an inner diameter 27 mm, an outer diameter 57 mm and the height of mold hole 89 mm with the pressure of 1000 Kg, 3000 Kg and 5000 Kg, and provides a sintering temperature 1200 ° C. The optimum porosity value obtained is 39.25% and the optimum permeability value gained is 57 mD.

Keywords: Silica Pellet, Pressing, Porosity, Permeability

PENGARUH PENEKANAN PELLET SILIKA TERHADAP POROSITAS DAN PERMEABILITAS

Heri Fadli¹, Dedikarni²

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution Km. 11 no. 113 Perhentian Marpoyan Damai, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email: herifadly5@gmail.com

ABSTRAK

Klasifikasi silika (SiO_2) dibagi dalam empat karakter dasar silika yaitu struktur kristal, dispersitas, komposisi permukaan dan porositas. Sebelumnya pasir silika ini banyak digunakan oleh industri minyak dan gas sebagai proppant (pasir frak) maupun sebagai filter air. 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. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penekanan pellet silika terhadap porositas dan permeabilitas. Penekanan pellet silika ini menggunakan mesin press hidrolik dengan type KW05-135 dan kapasitas 10.000 Kg. Peneliti membuat pellet silika dengan kandungan pasir silika berukuran butir seragam (100 *mesh*) sebanyak $8,74 \text{ g/cm}^3$, menggunakan perekat jenis Polyethylene Glycol (PEG) 400 sebanyak $0,57 \text{ g/cm}^3$, dan Aluminium Powder $3,42 \text{ g/cm}^3$. Cetakan yang digunakan Mold Pellet Silika Type Alloy 410 dengan diameter dalam 27 mm, diameter luar 57 mm dan ketinggian lubang cetakan 89 mm dengan penekanan 1000 Kg, 3000 Kg, dan 5000 Kg, serta memberikan suhu sintering sebesar 1200°C . Adapun nilai porositas optimum yang diperoleh sebesar 39,25% dan nilai permeabilitas optimum yang di dapatkan sebesar 57 mD.

Kata Kunci: Pellet Silika, Penekanan, Porositas, Permeabilitas

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Silika	6
2.1.1 Klasifikasi Silika	8
2.2 Pellet Silika	11
2.3 Aluminum Powder	17
2.4 Polyethylene Glycol (PEG) 400	19
2.5 Peralatan Pematik Serbuk	20
2.5.1 Briket	21
2.5.2 Penekanan Dingin <i>Iso-Static</i> (Cip)	22
2.5.3 Penekanan Panas <i>Iso-Static</i> (Hip)	23
2.5.4 Pellet Mills	24
2.5.5 Roll Pematik	25
2.5.6 Putaran Dan Multi-Stasiun Tablet	26
2.5.7 Penekanan Satu Pusat	26
2.6 Spesifikasi Pematik Serbuk	27

2.7 Proppant	28
2.8 Pengertian Porositas	30
2.9 Pengertian Permeabilitas	35
BAB III METODOLOGI	39
3.1 Diagram Alir Kegiatan Penelitian	39
3.2 Alat Dan Bahan	41
3.2.1 Persiapan Alat	41
3.2.2 Persiapan Bahan	41
3.2.3 Bahan Pengujian	42
3.3 Prosedur Percobaan	42
3.3.1 Proses Pengayakan	42
3.3.2 Proses Pengomposisian	43
3.3.3 Proses Pencampuran Bahan	45
3.3.4 Proses Kompaksi	46
3.3.5 Proses Normalizing	46
3.3.6 Uji Porositas	47
3.3.7 Uji permeabilitas	48
3.4 <i>Mold</i> ASTM A276 Type 410 / UNS: ASTM / ASTE S41000	50
3.5 Mesin Press Hidrolik	51
3.6 Waktu Dan Tempat	52
3.7 Jadwal Kegiatan	53
BAB IV PEMBAHASAN.....	54
4.1 Data Penelitian	54
4.1.1 Hasil Perhitungan Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Porositas Dengan Cara Menimbang	54
4.1.2 Hasil Perhitungan Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Permeabilitas	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	74



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasir Silika (SiO_2).....	8
Gambar 2.2 Struktur Silika Tetrahedral	9
Gambar 2.3 Pellet Silika	11
Gambar 2.4 Jenis Teknik Pengepresan	14
Gambar 2.5 Teknik Pengepresan Kering	15
Gambar 2.6 Pengepresan Satu Sumbu Kering, Ujung Tunggal dan Ganda, dengan Daerah Kompresi Berbeda (Tingkat Abu-abu)	15
Gambar 2.7 Pengepresan Basah dan Panas	16
Gambar 2.8 Teknik Penekanan Iso-Statis	16
Gambar 2.9 Aluminium Powder	18
Gambar 2.10 Polyethylene Glycol (PEG) 400	20
Gambar 2.11 Pemasak Serbuk.....	21
Gambar 2.12 Briket.....	22
Gambar 2.13 Penekanan Dingin Iso-Statis (CIP)	23
Gambar 2.14 Penekanan Panas Iso-Statis (HIP)	24
Gambar 2.15 Pellet Mills	25
Gambar 2.16 Roll Pemasak	25
Gambar 2.17 Putaran dan Multi-Stasiun Tablet.....	26
Gambar 2.18 Penekanan Satu Pusat.....	27
Gambar 2.19 Karakteristik Pasir Frak dan Proppant	30
Gambar 2.20 Bagan Untuk Estimasi Visual Sphericity (Sumbu Y) dan Kebulatan (Sumbu X)	30
Gambar 2.21 Ukuran Ruang Pori	31
Gambar 2.22 Pengujian Permeabilitas	36
Gambar 2.23 Mikro Struktur Permeabilitas Batuan	38

Gambar 3.1 Diagram Alir Kegiatan Penelitian	39
Gambar 3.2 Hasil Proses Pengayakan.....	42
Gambar 3.3 Alat Percobaan Pengukuran Permeabilitas	49
Gambar 3.4 ASTM / ASTE S41000	50
Gambar 3.5 Mold Pellet Silika.....	51
Gambar 3.6 Mesin Press Hidrolik.....	52
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Porositas.....	60
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Permeabilitas.....	67
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Porositas Terhadap Permeabilitas.....	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Silika Amorf (Surdia dan Saito, 2000).....	8
Tabel 2.2 Bentuk Kristal Utama Silika (Smallman dan Bishop, 1999)	10
Tabel 2.3 Klasifikasi Binder	12
Tabel 2.4 Klasifikasi Pelumas.....	13
Tabel 3.1 ASTM A276 – 13a.....	51
Tabel 3.2 Keterangan Mesin Press Hidrolik	52
Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian	53
Tabel 4.1 (Sampel 1) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang	54
Tabel 4.2 (Sampel 2) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang	56
Tabel 4.3 (Sampel 3) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang	58
Tabel 4.4 (Sampel 1) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas	62
Tabel 4.5 (Sampel 2) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas	63
Tabel 4.6 (Sampel 3) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas	65

DAFTAR NOTASI

ρ = Massa Jenis ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) atau ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)

m = Massa (kg atau gr)

v = Volume (m^3 atau cm^3)

W_1 = Berat Kering (gr)

W_3 = Berat Dijenuhi (gr)

V_b = Volume Batuan (cm^3)

V_p = Volume Pori (cm^3)

K = Permeabilitas (Darcy)

Q = Laju alir (cc/sec)

μ = Viscositas (cp)

A = Luas penampang (cm^2)

L = Panjang (cm)

P = Tekanan (atm)

ϕ = Porositas (%)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, yang menjadi nilai tambah bagi Indonesia. Baik sumber daya alam yang terhampar dipermukaan bumi ataupun yang terkandung di dalamnya. Dari sekian banyak kandungan yang terdapat pada alam, silika merupakan salah satu diantaranya. Silika adalah bahan alam yang sangat melimpah di Indonesia yang terkandung dalam berbagai unsur anorganik seperti pasir, lumpur, sekam padi dan lain-lain. Terdapat di wilayah pantai Indonesia, beberapa diantaranya yaitu di Pulau Rupat, Bengkalis, Riau dan Pantai Bancar Tuban, Jawa Timur.

Adapun klasifikasi silika (SiO_2) dibagi dalam empat karakter dasar silika yaitu struktur kristal, dispersitas, komposisi permukaan dan porositas (Unger, 1979). Pasir silika atau yang disebut dengan pasir kuarsa merupakan salah satu mineral alam yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia selain zeolit, namun pemanfaatannya masih sangat terbatas.

Pasir kuarsa di Indonesia banyak mengandung silika yang berkisar 60-98% dalam bentuk SiO_2 dengan disertai pengotor antara lain Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , NaO_2 , atau K_2O . Pasir kuarsa banyak dimanfaatkan sebagai penyaring, mineral pengisi, bahan penyekat, bahan penggosok, adsorben, katalis, sumber silika reaktif, material pembangunan dan perekat (Aldes Lesbani, 2011).

Sebelumnya pasir silika ini banyak digunakan oleh industri minyak dan gas sebagai proppant (pasir frak) maupun sebagai filter air. Istilah proppant digunakan karena secara harfiah menopang fraktur terbuka yang memungkinkan minyak atau gas mengalir keluar. Proppant adalah material granular yang mencegah penutupan fraktur yang dibuat setelah perawatan fraktur. Jenis proppant termasuk pasir silika, pasir berlapis resin, bauksit, dan keramik buatan manusia.

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.

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%. Proppant yang dibuat sebelumnya memiliki ukuran butir yang seragam (12/20 *mesh*), dengan tekanan tinggi (>4000-5000 psi) (Putra, 2018). Rachmad & Nugroho (2010) yang meneliti tentang Pengaruh ukuran butir dan penempatan proppant terhadap optimasi perekahan hidrolik sumur minyak, dimana proppant yang dibuat sebelumnya berdiameter 0.052 inci.

Nizar (2012) dalam penelitiannya yang berjudul Sistem Pengaruh Tekanan Kompaksi Dan Waktu Kalsinasi Terhadap Pellet Zeolit Alam Sebagai *Dessicant* dimana semakin besar tekanan kompaksi yang diberikan, maka pori zeolit yang terbentuk semakin kecil. Semakin lama waktu kalsinasi yang diberikan maka butir yang dibentuk semakin besar. Perbedaan penelitian kali ini dari penelitian sebelumnya adalah tentang Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Porositas dan Permeabilitas. Karena itu peneliti ingin membuat pellet silika dengan ukuran butir yang seragam (100 *mesh*), menggunakan perekat jenis PEG 400 Polyethylene Glycol, Aluminium Powder dan menggunakan cetakan Mold Pellet Silika Type Alloy 410 dengan diameter dalam 27 mm dan diameter luar 57 mm, ketinggian lubang cetakan 89 mm serta penekanan sebesar 1000 Kg, 3000 Kg, dan 5000 Kg, serta memberikan suhu sintering sebesar 1200°C. Selanjutnya dilakukan pengujian porositas dan permeabilitas untuk mendapatkan nilai porositas dan permeabilitas yang optimum.

Dengan sifat silika yang mampu tahan panas serta mudah di bentuk membuat peneliti tertarik akan meneliti kelebihan dan keistimewaan pellet silika tersebut. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan silika dalam dunia industri besar maupun rumahan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

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

1. Bagaimana menentukan besar tekanan kompaksi untuk mendapatkan nilai porositas dan permeabilitas yang optimum?
2. Bagaimana hubungan antara tekanan kompaksi dengan porositas dan permeabilitas?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari pengaruh penekanan pellet silika terhadap porositas adalah:

1. Menentukan besar tekanan kompaksi untuk mendapatkan nilai porositas dan permeabilitas yang optimum.
2. Mendapatkan hubungan antara tekanan kompaksi dengan porositas dan permeabilitas.

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini perlu adanya batasan masalah, yakni:

1. Hanya meneliti tekanan kompaksi yang digunakan adalah 1000 Kg, 3000 Kg, dan 5000 Kg.
2. Hanya menggunakan campuran aluminium powder
3. Hanya menggunakan perekat Polyethelene Glycol (PEG) 400
4. Hanya meneliti pasir silika yang digunakan dan diambil dari pantai Rupert, Bengkalis, Riau.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai acuan atau kerangka bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir, dalam penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang tinjauan pustaka dan teori-teori dasar yang berhubungan dengan pellet silika.

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas mengenai diagram alir kegiatan penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang uraian pengaruh penekanan pellet silika terhadap porositas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang dianggap perlu diketahui bagi pihak-pihak yang memerlukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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. Istilah konversi disini ekuivalen dengan istilah konversi untuk transformasi alotropi pada material metalik dan merujuk pada transformasi yang karakternya dapat disusun ulang, melibatkan pemutusan dan penggabungan kembali ikatan interatomik. Perubahan zat padat ini umumnya bersifat lambat, sehingga mengakibatkan struktur kristal sering tertahan dalam kondisi metastabil pada temperatur diluar rentang stabilitas nominal.

Silika merupakan salah satu unsur hara yang dibutuhkan tanaman, terutama padi dan tanaman lain yang bersifat akumulator *Si*. Silika juga merupakan unsur kedua terbesar dikerak bumi dan sebagian besar *Si* terdapat didalam tanah. Namun *Si* berperan dalam meningkatkan fotosintesis dan resistensi tanaman terhadap cekaman biotik (serangan hama dan penyakit) dan abiotik (kekeringan, salinitas, alkalinitas dan cuaca ekstrem) (Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2010). Silika secara alami terkandung dalam pasir, kerikil dan batu-batuan. Serbuk silika diperoleh dari pasir alam dengan metode ekstraksi padat-cair (leaching) seperti yang diperoleh di daerah Pulau Rupat, Bengkalis, Riau dan

Pantai Bancar, Tuban, Jawa Timur. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kandungan silika quartz sebesar 71,3 % yang berbentuk amorf (Ramadhan et al., 2014). Silika memiliki sifat non konduktor, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan degresi termal yang baik (Hildayati et al., 2009). Secara teoritis, unsur silika mempunyai sifat menambah kekuatan lentur terhadap produk.

Silika kristalin maupun non kristalin (amorf) banyak ditemukan dalam seperti ditanah, batu-batuan, dan pasir. Kedua bentuk silika ini banyak dimanfaatkan dalam industri kaca, bangunan dan elektronik. Akan tetapi karena silika kristalin bersifat karsinogenik bagi manusia maka penggunaannya sangat di batasi. Oleh karena itu, silika non kristalin lebih aman dan banyak digunakan dalam industri. Kirk dan Othmer (1984) menyatakan bahwa silika amorf telah diklasifikasi sebagai material tidak beracun. Tidak seperti silika kristalin, silika amorf tidak menyebabkan silicosis bahkan bagi para pekerja yang telah terpapar lama oleh silika amorf. Akan tetapi silika amorf yang terhirup selama 12 hingga 18 bulan dengan kadar 6,9-9,9 mg/m³ dapat menyebabkan gangguan pada alat pernapasan. Silika non kristalin atau amorf memiliki susunan atom dan molekul berbentuk pola acak dan tidak beraturan. Akibat pola acak dan tidak beraturan tersebut, silika amorf memiliki struktur spherical yang rumit. Struktur rumit tersebut menyebabkan luas area permukaan yang tinggi, biasanya diatas 3 m²/g (Kirk dan Othmer, 1984).



Gambar 2.1 Pasir Silika (SiO_2)

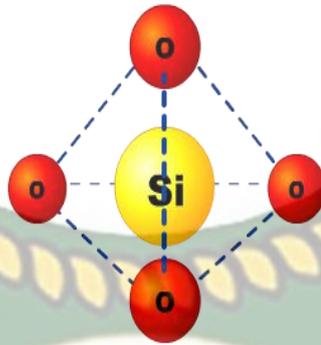
Karakteristik dari silika amorf dapat dilihat dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik Silika Amorf (Surdia dan Saito, 2000)

Nama Lain	Silikon Dioksida
Rumus molekul	SiO_2
Massa jenis (g/cm^3)	2,6
Bentuk	Padat
Titik cair ($^{\circ}C$)	1610
Titik didih ($^{\circ}C$)	2230
Kekuatan tarik (MPa)	110
Modulus elastisitas (GPa)	70-75
Resistivitas (m)	$>10^{14}$
Kekerasan (kg/mm^2)	650
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur Kristal	Kristobalit, tridimit, kuarsa

2.1.1 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: (Anonim B, 2013).

Pada umumnya silika adalah dalam bentuk amorf terhidrat, namun bila pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu diatas 650°C maka tingkat kristal linitasnya akan cenderung naik dengan terbentuknya fasa *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* (Hara, 1986). Bentuk struktur *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* yang merupakan jenis kristal utama silika memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda (Brindley dan Brown, 1980). Struktur Kristal *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* memiliki nilai densitas masing-masing sebesar $2,65 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, $2,27 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, dan $2,23 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ (Smallman dan Bishop 2000). Berdasarkan perlakuan termal, pada suhu $< 570^{\circ}\text{C}$ terbentuk *low quartz*, untuk suhu $570\text{-}870^{\circ}\text{C}$ terbentuk *high quartz* yang mengalami perubahan struktur menjadi *crystobalite* dan *tridymite*, sedangkan pada suhu $870\text{-}1470^{\circ}\text{C}$ terbentuk *high tridymite*, pada suhu $>1470^{\circ}\text{C}$ terbentuk *high crystobalite*, dan pada suhu 1723°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* (Wikipedia A, 2006), seperti diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Bentuk kristal utama silika (Smallman dan Bishop, 1999)

Bentuk	Rentang stabilitas (°C)	Modifikasi	Kerapatan (kgm ⁻³)
Kristobalit	1470-1723 (t.l.)	β_2 (kubik)	2210
		α_2 (tetragonal)	2330
		γ (?)	-
Tridimit	870-1470	β_2 (heksagonal)	2300
		α (ortorombik)	2270
Kuarsa	< 870	β_2 (heksagonal)	2600
		α (trigonal)	2650

Silika adalah keramik tahan terhadap temperatur tinggi yang banyak digunakan dalam industri baja dan gelas (Smallman dan Bishop, 2000). Diketahui bahwa satuan struktur primer silika adalah tetrahedron SiO satu atom silika dikelilingi oleh empat atom oksigen (seperti terlihat pada Gambar 2.2). Gaya-gaya yang mengikat tetrahedral ini berasal dari ikatan ionik dan kovalen sehingga ikatan tetrahedral ini kuat. Pada silika murni tidak terdapat ion logam dan setiap atom oksigen merupakan atom penghubung antara dua atom silikon (Van dan Lawrench, 1992). Silika mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar.

Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO, TiO₂, CaO, MgO, dan K₂, Al₂O₃, dimana, CaO, FeO, berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya. Silika biasa diperoleh melalui proses penambangan yang dimulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Pasir kuarsa tersebut kemudian dilakukan proses pencucian untuk membuang pengotor yang kemudian dipisahkan dan dikeringkan kembali sehingga diperoleh

pasir dengan kadar silika yang lebih besar bergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat.

2.2 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 dan yang berbentuk bola (granular). Dengan lubang dipusat yang rasio tinggi atau diameternya kurang dari (1%). Namun dalam beberapa kasus ada pula yang rasio tinggi atau diameternya (50-200%).



Gambar 2.3 Pellet silika

Sifat-sifat material pembuatan pellet:

1. Mempunyai ukuran butir partikel yang seragam
2. Terdapat kandungan kelembaban tertentu
3. Butiran partikel yang bersifat laju aliran
4. Butiran partikel dapat mengisi cetakan
5. Mampu menggumpal pada saat dipadatkan

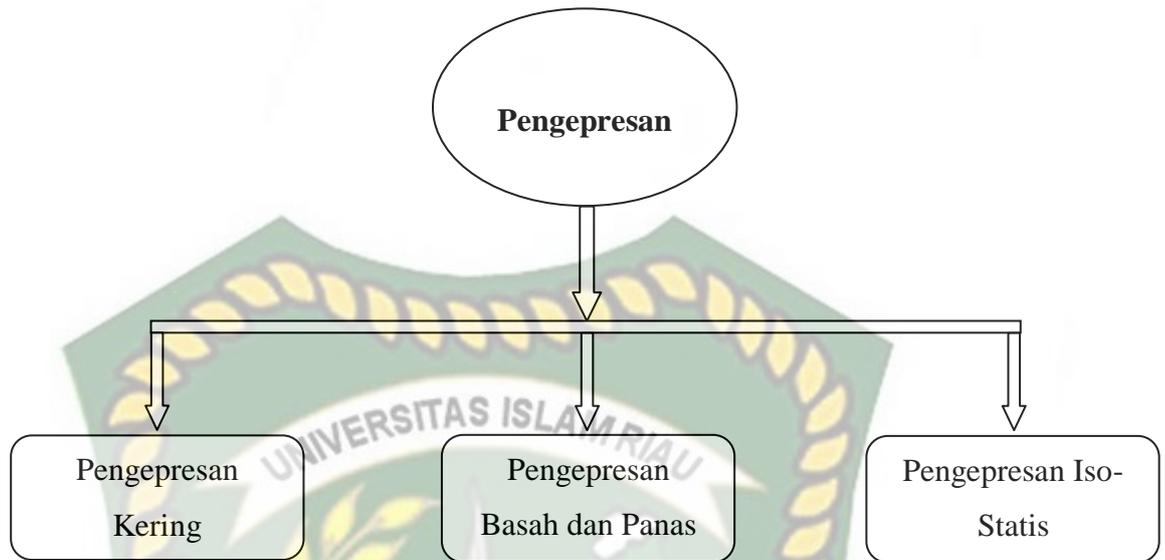
material pada permukaan cetakan. Pelumas sendiri terdiri dari pelumas internal yang dicampurkan bersama dengan material dan pelumas eksternal yang dioleskan pada permukaan cetakan. Pada umumnya pelumas internal dapat mengurangi sifat-sifat ikatan. Dimana jika pelumas terlalu sedikit digunakan maka pellet akan sulit dikeluarkan dari dalam cetakan, sehingga besar kemungkinan pellet akan retak atau pecah. Begitu juga apabila penggunaan pelumas yang terlalu berlebihan akan mengakibatkan tertutupnya pori-pori material yang akan di buat pellet. Adapun klasifikasi penggunaan pelumas dalam proses pembuatan pellet silika, dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Klasifikasi pelumas

Pelumas	% Berat Kering	Nilai
Graphite	0.25 – 2	A
Aluminium	0.25 – 2	B
Magnesium, Kalsium	0.25 – 2	A
Lithium, Zinc	0.25 – 2	A
Asam Stearat	0.25 – 2	B
Sterotex	0.25 – 2	A
Bedak	1 – 5	C
Air	0.1 - 5	A

3. Pengepresan

Pengepresan adalah penekanan yang diaplikasikan pada suatu sistem tertentu dalam ruangan yang terbatas. Keberhasilan dari proses ini sebagian karena keefektifan penggunaan dan aplikasi pemindahan tekanan eksternal. Sebagian lagi karena sifat fisik dari material. Ada beberapa jenis teknik pengepresan yang dijelaskan pada gambar 2.4



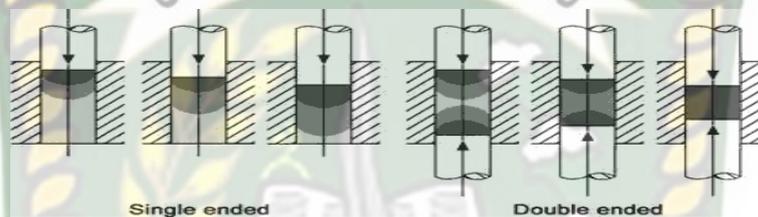
Gambar 2.4 Jenis teknik Pengepresan

a. Pengepresan Kering

Teknik pengepresan kering digunakan untuk bentuk sederhana seperti produk kasar dan whitewares. Kadar air dalam campuran bubuk tersebut sangat rendah (kurang dari 4%). Berbagai pengikat (organik maupun anorganik) dapat ditambahkan dalam campuran tergantung kebutuhan. Tingkat produksi tinggi dalam metode pengeringan kering dan tutup toleransi dimensi tercapai. Keuntungan yang terkait dengan teknik pengepresan kering adalah tingkat produksi maksimum dan kontrol toleransi yang lebih baik. Kerugian dari proses ini termasuk tidak seragam dalam kepadatan dan ketahanan aus mati, sebagai berikut gambar 2.5 dan 2.6



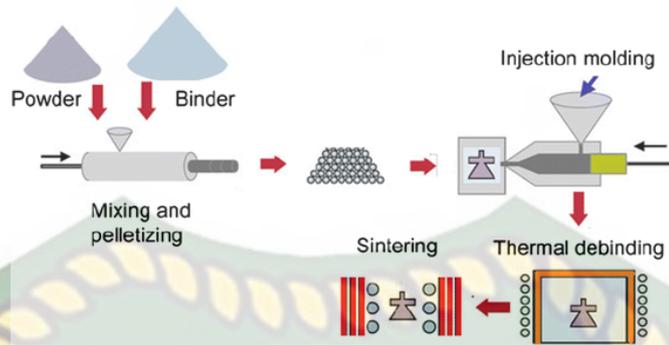
Gambar 2.5 Teknik Pengepresan Kering



Gambar 2.6 Pengepresan satu sumbu kering, ujung tunggal dan ganda, dengan daerah kompresi berbeda (tingkat abu-abu)

b. Pengepresan Basah dan Panas

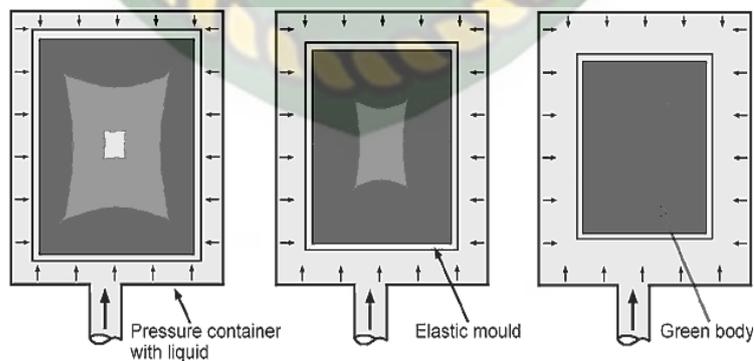
Dalam metode pengepresan basah, produk diproses dibawah tekanan tinggi dalam cetakan. Konten kelembaban adalah relatif tinggi (10-15%). Dalam teknik pengepresan basah, tingkat produksi tinggi dan dimungkinkan menangani bentuk yang rumit tetapi prosesnya cocok untuk pekerjaan yang lebih kecil dan tidak ada kontrol yang lebih baik akurasi dimensi. Dalam metode pengepresan panas, tekanan dan suhu diterapkan yang mengurangi konten kosong bagian dan menghasilkan produk yang lebih padat dan kuat. Keuntungan dari teknik pengepresan panas adalah bagian yang kuat dan padat dapat diproses dengan nyaman. Kerugian dari proses adalah yang terkendali dan umur mati yang lebih pendek, seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Pengepresan Basah dan Panas

c. Pengepresan Iso-statis

Pengepresan Iso-statis digunakan untuk mendapatkan kerapatan yang seragam dalam produk. *Isolator* dari busi adalah dibuat dengan metode penekanan *iso-statis*. Campuran bubuk ditempatkan disekitar pin mandrel pusat dalam cetakan yang *fleksibel* dimana tekanan *fluida* diterapkan dari luar. Ada distribusi kerapatan yang seragam dalam proses bagian dengan *iso*-penekan statis tetapi proses ini membutuhkan biaya infrastruktur yang tinggi seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Teknik Penekanan Iso-Statis

2.3 ALUMINIUM POWDER

Aluminium bubuk digunakan dalam produksi berbagai jenis bahan peledak dan kembang api. Hal ini juga digunakan dalam pembuatan jenis tertentu elektronik. Produk tertentu yang dirancang untuk membawa arus listrik, seperti sel surya, juga sering dibuat menggunakan serbuk aluminium.

Penggunaan yang paling spektakuler dari serbuk aluminium memanfaatkan kemampuannya untuk menghasilkan spektakuler eksotermis oksidasi-reduction reaksi. Aluminium bisa dicampur dengan oksida logam, dan bubuk yang dihasilkan akan membakar cemerlang dan melepaskan sejumlah besar energi dalam waktu yang sangat singkat. Bubuk oksida besi dan bubuk aluminium, bila dicampur, akan berbentuk termit, yang menghasilkan banyak cahaya dan sejumlah besar panas, yang berguna dalam berbagai proses industri.

Aluminium powder juga dapat digunakan dalam metalurgi. Beberapa paduan dibuat menggunakan aluminium, biasanya dengan penambahan bubuk logam cair. Dalam beberapa kasus, bubuk aluminium dapat digunakan oleh peralatan modern berteknologi tinggi untuk mengarang bagian komponen langsung.

a. Sifat Fisika Kimia.

Nama bahan: Aluminium serbuk

Deskripsi: Berbentuk padat, serbuk, atau serpihan, berwarna perak hingga abu-abu dan tidak berbau; berat molekul 26,98; titik didih 4220,6°F (2327°C); titik lebur 1220°F (660°C); kelarutan: tidak larut dalam air dingin

dan air panas; larut dalam alkali, asam sulfat dan asam hidroklorida; tidak larut dalam asam nitrat konsentrat dan asam asetat panas.

- b. Frasa resiko, Frasa keamanan dan Tingkat bahaya

Peringkat NFPA (Skala 0-4) :

Kesehatan 1 = tingkat keparahan rendah

Kebakaran 1 = dapat terbakar

Reaktivitas 0 = tidak reaktif

Klasifikasi EC:

R 15 = bersinggungan/kontak dengan air menghasilkan gas yang sangat mudah menyala

R 17 = dapat menyala secara spontan dalam udara

S 7/8 = jaga wadah dalam keadaan tertutup rapat dan kering

S 43A = jika terjadi kebakaran, gunakan bahan kimia kering (jangan gunakan air)

- c. Penggunaan, untuk aplikasi pelapis/kimia/struktural/metalurgik.



Gambar 2.9 Aluminium Powder

2.4 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 momem 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 2.10 Polyethylene Glycol (PEG) 400

2.5 PERALATAN PEMADAT 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 pematik serbuk yang tercantum di bawah ini, konsep dasarnya adalah untuk memaksa 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 2.11 Pematik Serbuk

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. Adapun jenis-jenis pematik serbuk yaitu sebagai berikut:

2.5.1 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

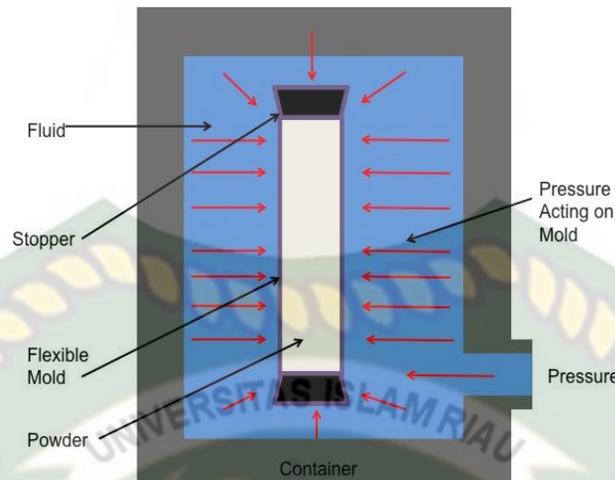
yang membentuk kompak disk silinder juga ada dan dapat membuat berbagai bentuk briket seperti bantal, almond, dan bentuk tongkat. Briket paling umum digunakan untuk proses peleburan, reaksi termal, penimbunan dan untuk meningkatkan umur penyimpanan. Bahan yang digunakan dengan jenis pematat ini sering berupa mineral, refraktori, arang dan serbuk logam.



Gambar 2.12 Briket

2.5.2 Penekanan *Dingin Iso-statis*(CIP)

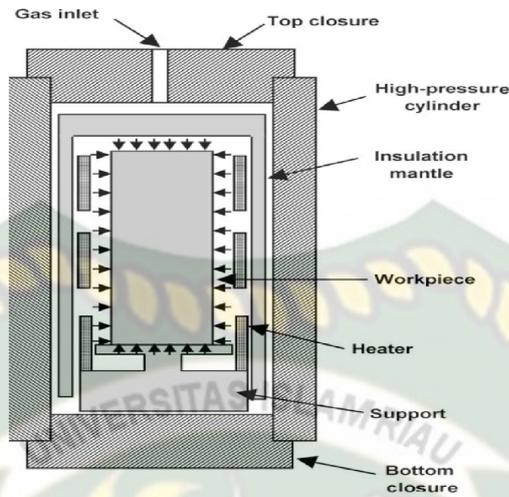
Cold isostatic presses (CIP), juga dikenal sebagai karet press, menggunakan ruang untuk memadatkan bubuk atau bahan yang ditempatkan dalam alat yang disegel, tas, atau alat fleksibel lainnya. Pengepresan dingin iso-statis menggunakan campuran minyakair yang diberi tekanan hingga 100.000 psi (7030.7 kg/cm²). Alat pematat 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.



Gambar 2.13 Penekanan Dingin Iso-statis (CIP)

2.5.3 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 HIPing. Penggunaan sistem bertekanan ini memastikan tekanan pepadatan 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.



Gambar 2.14 Penekanan Panas Iso-statis (HIP)

2.5.4 Pellet mills

Pabrik pellet mengompres 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).

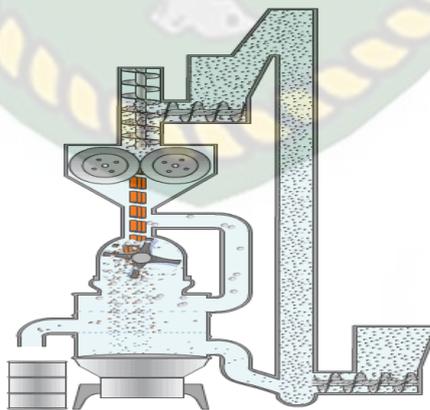
Leleh atau tempel diekstrusi melalui cetakan dengan banyak lubang. Pellet dipangkas atau dipotong setelah pendinginan atau pengeringan. Beberapa jenis pellet tersedia seperti permukaan panas, udara, pemotongan dingin dan bawah air.



Gambar 2.15 Pellet mills

2.5.5 Roll Pematik

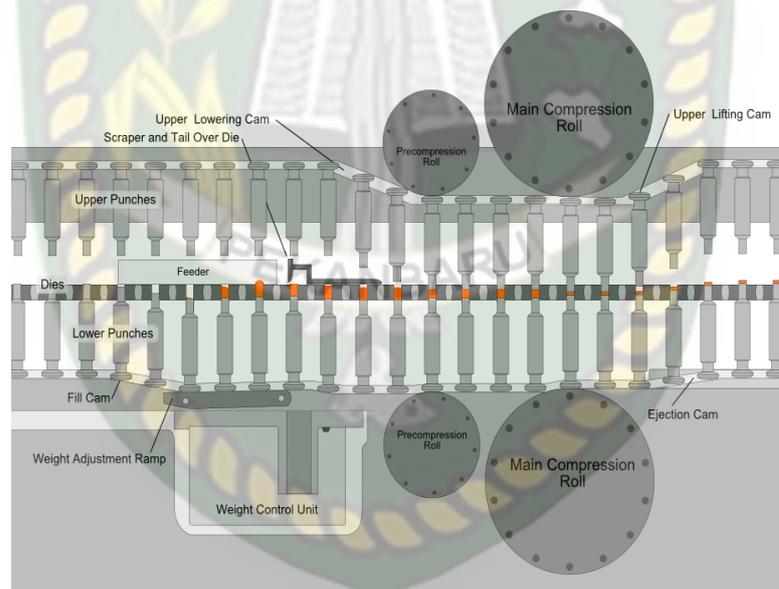
Gulungan pematik dengan gulungan halus memematikkan bahan serbuk menjadi lembaran dengan kekerasan yang konsisten. Dirancang untuk memberikan upgrade biaya rendah ke benda yang tidak diinginkan, meningkatkan kerapatan curah produk, dan mengendalikan tingkat kelarutan produk. Aplikasi pematik *roll* termasuk 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.



Gambar 2.16 Roll Pematik

2.5.6 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.

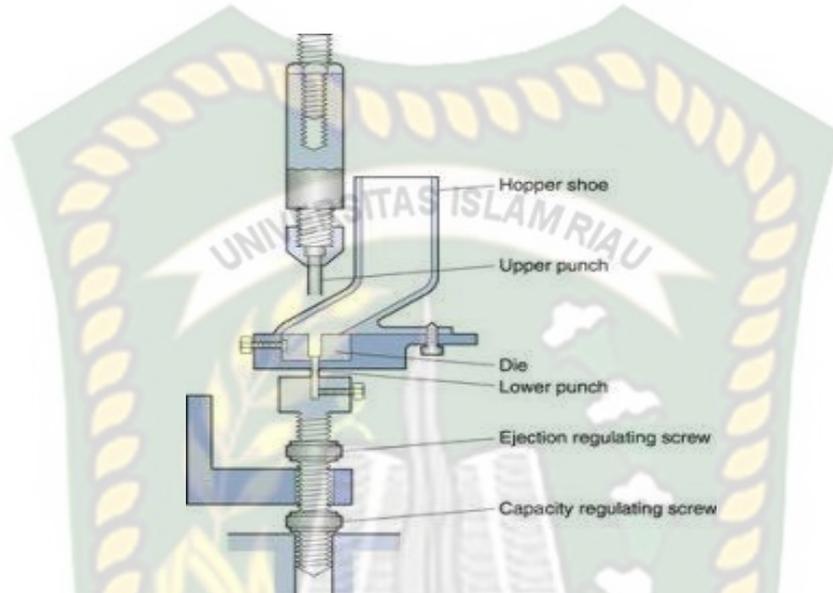


Gambar 2.17 Putaran dan multi-stasiun tablet

2.5.7 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.



Gambar 2.18 Penekanan Satu Pusat

2.6 SPESIFIKASI PEMADAT SERBUK

Saat memilih pemadat 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 pemadat bubuk akan digunakan dalam fasilitas produksi volume tinggi, tingkat produksi massal harus dicatat tergantung pada jumlah kilogram per jam yang dapat diproses melalui peralatan.

2.7 PROPPANT

Proppant dalam penggunaannya sebagai bagian dari proses rekah hidrolik atau “fracking”, dinilai sebagai salah satu inovasi ladang minyak yang sangat berpengaruh pada abad ke-21, meskipun gagasan fracking modern telah dikembangkan hampir 70 tahun yang lalu. Kemajuan teknologi spesifik yang dibuat selama 30 tahun terakhir telah merevolusi di bidang industri. Dengan mengkombinasikan teknik pengeboran yang lebih baik dengan design frack ultra-canggih, solusi proppant sangat membantu meningkatkan kapasitas produksi sumur dan menghasilkan lebih banyak minyak dan gas alam dari waktu ke waktu. Selain peningkatan tiba-tiba dalam penambangan dan distribusi pasir frac, industri baru telah muncul dari produksi proppant alternatif, seperti pasir berlapis dan

manik-manik sintetis. Proppant alternatif yang dikembangkan melalui teknologi baru, seringkali lebih mahal daripada pasir frac, tetapi dapat lebih hemat biaya karena memiliki kinerja yang lebih baik di sumur dalam di bawah kondisi tekanan tinggi.

Istilah proppant digunakan karena secara harfiah menopang fraktur terbuka yang memungkinkan minyak atau gas mengalir keluar. Proppant adalah material granular yang mencegah penutupan fraktur yang dibuat setelah perawatan fraktur. Jenis proppant termasuk pasir silika, pasir berlapis resin, bauksit, dan keramik buatan manusia. Pilihan proppant tergantung pada jenis permeabilitas atau kekuatan butir yang dibutuhkan. Dalam beberapa formasi, dimana tekanannya cukup besar untuk menghancurkan butiran pasir silika alami, bahan penguat berkekuatan lebih tinggi seperti bauksit atau keramik dapat digunakan, proppant keramik diyakini lebih efektif penggunaannya.

Spesifikasi pasir frac termasuk kriteria untuk mineralogi (kandungan silika persen tinggi), rentang ukuran butir dari sedang hingga kasar, kebulatan 0,6 atau lebih besar, ketahanan himpitan tinggi, kelarutan rendah, dan kerapuhan yang baik (American Petroleum Institute and others, 2008).



Pasir yang terbentuk secara alami



Bahan keramik kekuatan tinggi

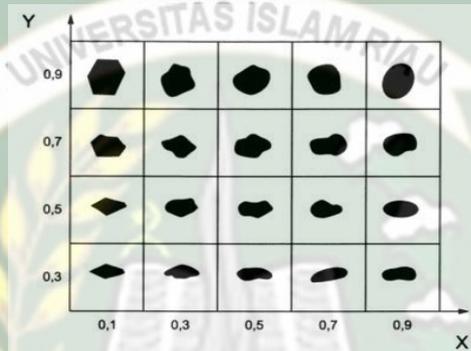


Pasir yang berlapis resin



Bahan keramik berlapis resin

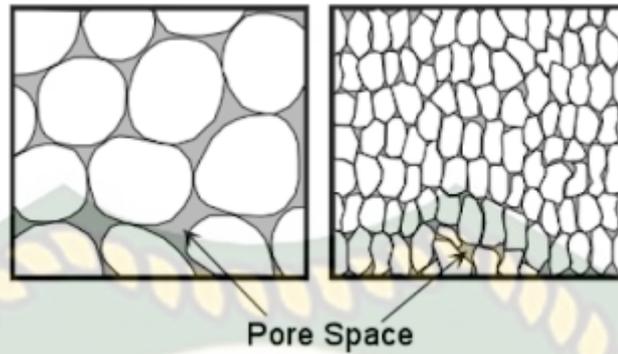
Gambar 2.19 Karakteristik pasir frak dan *Proppant*



Gambar 2.20 Bagan untuk estimasi *visual sphericity* (sumbu Y) dan kebulatan (sumbu X)

2.8 PENGERTIAN POROSITAS

Porositas atau pori merupakan 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.



Gambar 2.21 Ukuran Ruang Pori

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

Merujuk pada pori-pori yang berdiameter lebih besar dari 50 nm.

6. Porositas menengah

Pori-pori yang berukuran antara 2 nm sampai 50 nm.

7. Porositas mikro

Pori-pori yang berukuran lebih kecil dari 2 nm.

8. Porositas padat

Pori-pori yang sangat kecil (hampir tidak terlihat) karena dominasi ukuran butir yang sangat kecil.

9. Porositas ketat

Pori-pori kecil yang terletak di antara butiran yang berdekatan kompak.

10. Porositas interkristalin

Pori-pori yang terdapat di antara kristal batuan.

11. Porositas intergranular

Pori-pori yang terdapat di antara butiran batuan.

12. Porositas goa dan gerowong

Pori-pori yang ukurannya besar (gerowong) hingga sangat besar (goa).

13. Porositas rekahan

Hasil dari adanya suatu ruang terbuka yang disebabkan oleh patahan atau hancuran dari batuan.

14. Porositas terbuka

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) atau ditulis:

$$\phi_{abs} = \frac{V_p}{V_b} \times 100\% \text{ dan } \phi_{abs} = \frac{V_b - V_g}{V_b} \times 100\%$$

dimana:

$$V_b = \text{volume total batuan} = \frac{W_3 - W_2}{b_{jkerosin}}$$

$$V_p = \text{volume pori batuan} = \frac{W_3 - W_1}{b_{jkerosin}}$$

$$V_g = \text{volume butiran} = \frac{W_1 - W_2}{b_{jkerosin}}$$

2. Porositas efektif

Adalah perbandingan volume pori yang berhubungan dengan volume total batuan atau ditulis dengan:

$$\phi_{\text{eff}} = \frac{V_p \text{ yang berhubungan} \times 100\%}{V_b}$$

$$\text{Porositas efektif} = \frac{V_p}{V_b} \times 100\%$$

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.

2.9 PENGERTIAN 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. Sekitar tahun 1856, Henry Darcy seorang ahli hidrologi dari Prancis mempelajari aliran air yang melewati suatu lapisan batu pasir.

Definisi API untuk 1 darcy adalah suatu medium berpori yang punya kelulusan (permeabilitas) sebesar 1 darcy. Jika cairan berfasa tunggal dengan kekentalan (cp), mengalir dengan kecepatan (1 cm/sec), melalui penampang seluas (1 cm²) pada gradient hidrolis 1 atm (76 mm Hg) per cm dan jika cairan tersebut seluruhnya mengisi medium tersebut, secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$K = \frac{\mu Q L}{A (P_2 - P_1)}$$

Dimana: K = Permeabilitas (Darcy)

Q = Laju alir (cc/sec)

μ = Viscositas (cp)

A = Luas penampang (cm²)

L = Panjang (cm)

P = Tekanan (atm)



Gambar 2.22 Pengujian Permeabilitas

Didalam batuan reservoir fluida yang mengalir biasanya lebih dari satu macam sehingga permeabilitas dapat dibagi menjadi:

1. Permeabilitas *Absolute*, merupakan harga permeabilitas suatu batuan apabila fluida yang mengalir melalui pori-pori batuan hanya terdiri dari satu fasa. Misalnya yang mengalir gas saja, minyak saja, atau air saja.

2. Permeabilitas Effektif, adalah permeabilitas bila fluida yang mengalir lebih dari satu macam fluida (misal minyak, gas, dan air).
3. Permeabilitas *Relative*, adalah perbandingan antara permeabilitas efektif dengan permeabilitas absolut.

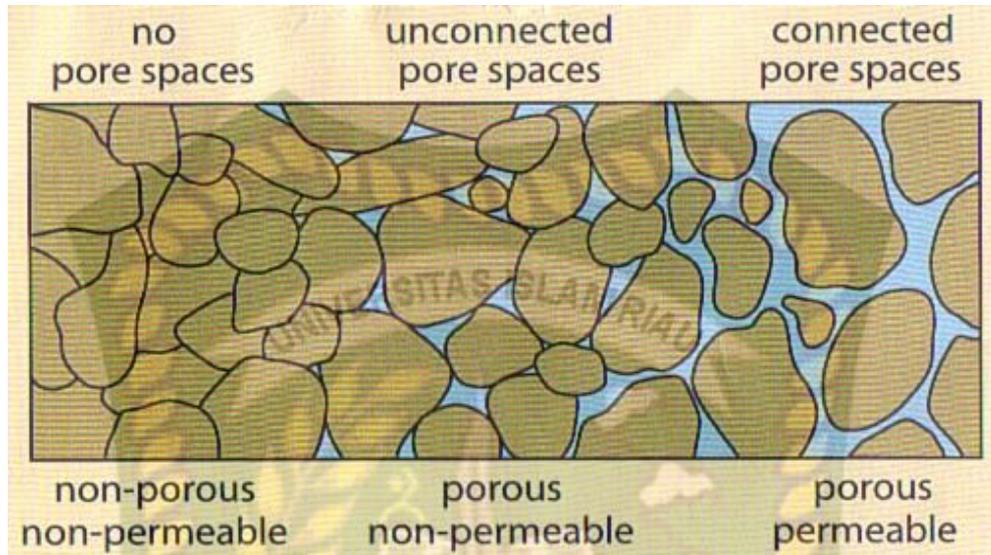
Pengukuran permeabilitas batuan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Analisa pellet silika (laboratorium test)
2. Analisa Log
3. Pengujian Sumur

Faktor yang ikut mempengaruhi permeabilitas adalah:

1. Bentuk dan ukuran batu, jika batuan disusun oleh butiran yang besar, pipih dan seragam dengan dimensi horizontal lebih panjang, maka permeabilitas horizontal (k_h) akan lebih besar. Sedangkan permeabilitas vertical (k_v) sedang-tinggi. Jika batuan disusun berbutir dominan kasar, membulat dan seragam, maka permeabilitas akan lebih besar dari kedua dimensinya. Permeabilitas buat reservoir secara umum lebih rendah, khususnya pada dimensi vertikalnya, jika butirannya berupa pasir dan bentuknya tidak teratur. Sebagian besar reservoir minyak berbentuk seperti ini.
2. Sementasi, permeabilitas dan porositas batuan sedimen sangat dipengaruhi sementasi dan keberadaan semen pada pori batuan
3. Retakan dan pelarutan, pada batuan pasir, retakan tidak dapat menyebabkan permeabilitas sekunder, kecuali pada batuan pasir yang interbedded dengan shale, limestone dan dolomite. Pada batu akarbonat, proses pelarut oleh larutan asam yang berasal dari perkolasi air permukaan akan melalui pori-

pori primet batuan, bidang celah dan rekahan akan menambah permeabilitas reservoir.



Gambar 2.23 Mikro Struktur Permeabilitas Batuan

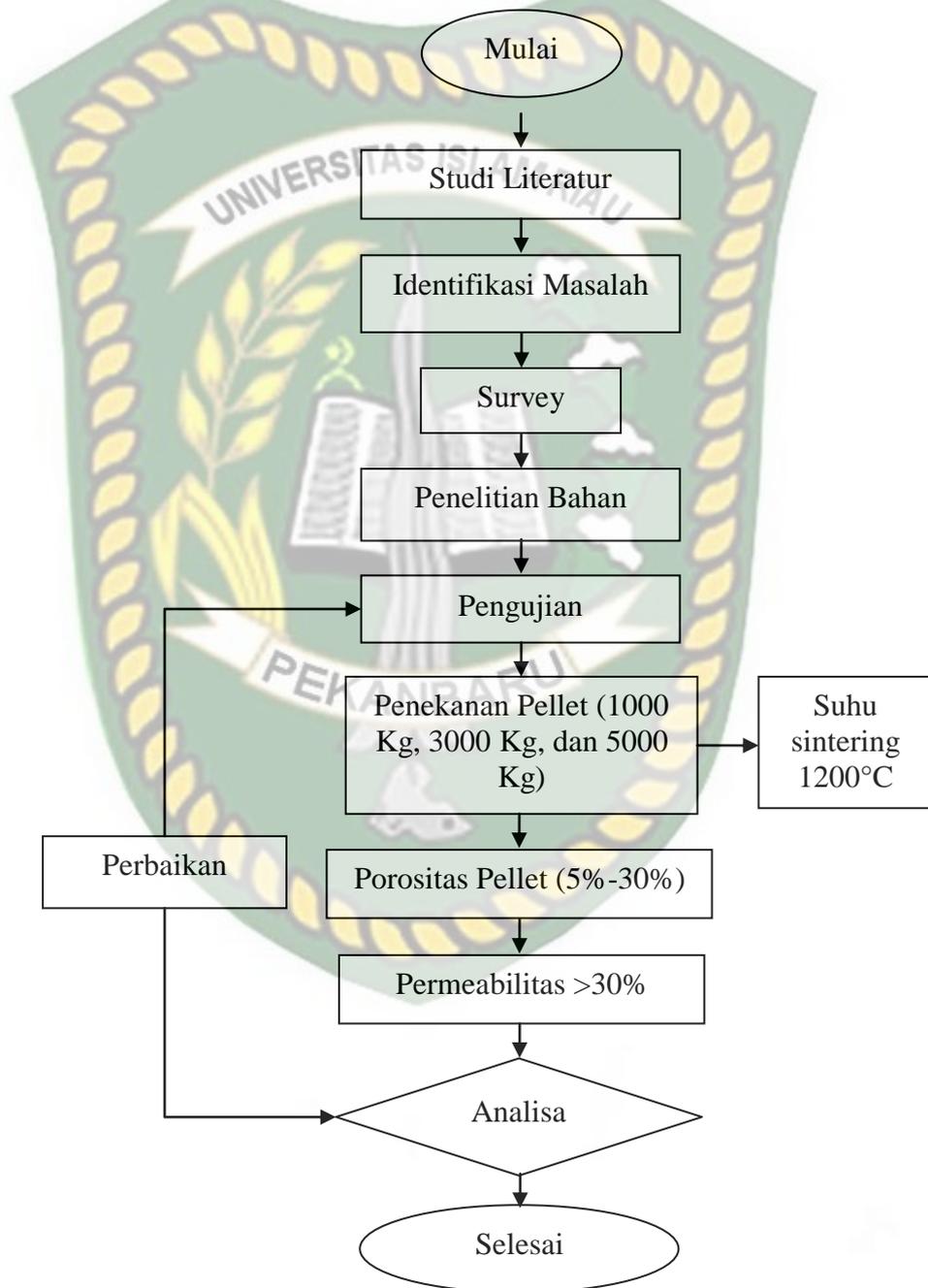
Di laboratorium, analisa pellet silika untuk menentukan permeabilitas suatu contoh batuan dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen (N_2) karena gas tidak bersifat membasahi permukaan batuan dan mempunyai aliran yang seragam melewati semua pori.

BAB III

METODOLOGI

3.1 DIAGRAM ALIR KEGIATAN PENELITIAN

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir kegiatan 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. Survey
Konsep pembahasan dalam survey ini yaitu, melakukan peninjauan ke lapangan untuk mengangkat dan menganalisa suatu judul yang akan diambil dalam penelitian tugas akhir ini.
2. Identifikasi permasalahan
Menentukan permasalahan yang terjadi pada pengaruh penekanan pellet silika terhadap porositas dan permeabilitas.
3. Studi literatur
Pengambilan data-data dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan penelitian Laboratorium di beberapa tempat dan dari jurnal tentang silika.
4. Perhitungan data penelitian
Berdasarkan dari uji sampel di Laboratorium.
5. Pembuatan produk
Dalam tahap ini dilakukan pembuatan dimulai dari mencetak pellet silika dan menguji nilai porositas dan permeabilitas pellet silika.
6. Pengujian
Melakukan pengujian di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau, Laboratorium Politeknik Kampar, Bangkinang, Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Caltex Riau dan Laboratorium Mekres Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.

7. Perbaikan

Melakukan pengujian bertahap hingga mendapatkan perbedaan nilai porositas dan permeabilitas.

3.2 ALAT DAN BAHAN

3.2.1 Persiapan Alat

1. Alat pengayak pasir Silika 100 *mesh*
2. Mold Pellet Silika diameter dalam 27 mm, diameter luar 57 mm serta kedalaman lubang cetakan 89 mm
3. Press Hidraulik kapasitas 10.000 kg
4. Mesin furnace suhu 1200°C
5. Jangka sorong
6. Timbangan digital
7. Vacuum pump dengan vacuum desicator
8. Beker glass ceper
9. Alat uji helium porosimeter
10. Selembar kertas sebagai alas pellet silika
11. Alat uji Permeabilitas

3.2.2 Persiapan Bahan

1. Polyethylene Glycol PEG 400
2. Aluminium powder
3. Pasir silika
4. Mold Release Resin (Resin anti lengket)

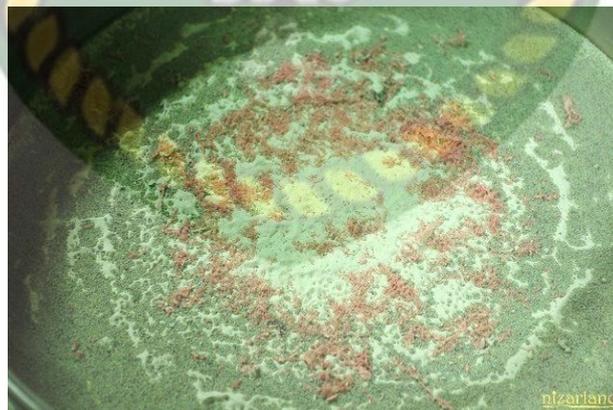
3.2.3 Bahan Pengujian

1. Kerosin
2. Gas Permeameter
3. Sampel pellet silika

3.3 PROSEDUR PERCOBAAN

3.3.1 Proses Pengayakan

Tujuan dari proses pengayakan yaitu untuk mendapatkan distribusi besar butiran partikel yang merata. Dengan distribusi butiran partikel yang merata dan ukuran butiran partikel yang relatif besar (100 mesh) akan dapat memperbesar pori-pori yang terbentuk diantara butiran partikel pasir silika yang akan dibuat pellet. Proses pengayakan juga berfungsi untuk memisahkan silika dari pengotor. Adapun hasil proses pengayakan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hasil proses pengayakan

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 (100 mesh), masukkan kedalam wadah kecil untuk dilanjutkan ke proses selanjutnya.

3.3.2 Proses Pengomposisian

Pada proses pengomposisian ini sebelumnya pernah dilakukan oleh (Nizar, 2012) tentang pengaruh tekanan kompaksi terhadap pellet zeolit alam sebagai *desiccant* dengan komposisi aluminium sebesar 25% dan air sebagai binder sebesar 10%. Oleh karena itu peneliti menggunakan komposisi yang sama pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan cetakan yang digunakan dapat dihitung dengan v_c (volume cetakan) sebagai berikut:

1. Massa jenis pasir silika $= 2.65 \frac{g}{cm^3}$
2. Massa jenis aluminium powder $= 2.70 \frac{g}{cm^3}$
3. Massa jenis polyethylene glycol (PEG) 400 $= 1.13 \frac{g}{cm^3}$

$$\begin{aligned}V_c &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3.14 \times 1.27^2 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} \\ &= 5.08 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

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

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

Keterangan :

ρ = Massa jenis ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) atau ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)

m = Massa (kg atau gr)

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

Untuk ρ pasir silika, aluminium powder dan polyethylene glycol (PEG) 400 sebagai berikut:

1. ρ pasir silika = $5,08 \text{ cm}^3 \times 2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
= $13,46 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
2. ρ aluminium powder = $5,08 \text{ cm}^3 \times 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
= $13,71 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
3. ρ PEG 400 = $5,08 \text{ cm}^3 \times 1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
= $5,74 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Spesimen 1, 2 dan 3

Untuk menghitung volume yang diinginkan dengan komposisi pasir silika 65%, aluminium powder 25% dan polyethylene glycol (PEG) 400 10% sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pasir Silika} &= 65\% \times 13,46 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ &= 8,74 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aluminium powder} &= 25\% \times 13,71 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ &= 3,42 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Polyethylene glycol (PEG) 400} &= 10\% \times 5,74 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ &= 0,57 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \end{aligned}$$

Kategori % friabilitas menurut farmakope III : <0.8% (*baik*) setelah dilakukan pengujian kompaksi pellet silika didapatkan bahwa pellet silika diatas dikategorikan *BAIK*.

3.3.3 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 geluten yang diinginkan.

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

1. Lakukan pengayakan pasir silika sebesar 100 *mesh*
2. Pasir yang sudah diayak dikumpulkan sebanyak 8.74 g/cm^3
3. Siapkan perekat Polyethylene Glycol PEG 400 sebanyak $0,5 \text{ g/cm}^3$
4. Siapkan Aluminium powder sebanyak $3,42 \text{ g/cm}^3$
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

3.3.4 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 porositas. Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan proses ini adalah sebagai berikut:

1. Masukkan silika hasil proses pencampuran kedalam cetak pellet.
2. Operasikan press cetak pellet tersebut dengan tekanan 1000 Kg, 3000 Kg, dan 5000 Kg.
3. Pellet silika yang sudah di cetak dimasukkan kedalam tabung silinder plastik. Kemudian untuk memudahkan dalam mencatat tekanannya, berikan label pada masing-masing tabung silinder plastik.

3.3.5 Proses Normalizing

Normalizing adalah bagian dari proses *heat treatment*. Ditahan selama beberapa waktu, dan dinginkan di suhu udara kamar normal. Proses normalizing juga dapat meningkatkan kekuatan dari pellet silika. Adapun langkah-langkah dalam melakukan proses normalizing adalah sebagai berikut:

1. Masukkan pellet silika hasil kompaksi kedalam cawan pijar
2. Lalu masukkan cawan pijar yang berisi pellet silika kedalam furnace.

3. *Setting* suhu *furnace* menjadi 1200°C lalu *setting holding time* selama 2 jam
4. Kemudian pada suhu 1200°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.

3.3.6 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 kerja:

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

3.3.7 Uji Permeabilitas

Menentukan besarnya permeabilitas absolut dengan menggunakan Gas Permeameter.

1. Gas Permeameter
 - a. Pastikan tidak ada penghalang di dalam pellet *holder* atau *endstems*. Tempatkan jari Anda ke pellet *holder* untuk memastikan sel bebas dari sisa-sisa atau kelebihan butiran dari sampel sebelumnya.
 - b. Pastikan fitting tubing yang nyaman dan bebas kebocoran.
 - c. Ketika loading inti gembur, dianjurkan untuk menempatkan layar 200-mesh dipotong berbentuk disk di atas dan bawah sampel untuk mencegah migrasi pasir dari pemegang inti ke meter mengalir.
2. Menyiapkan Sampel Pellet Silika

Sampel Pellet Silika harus bersih dan kering untuk hasil terbaik. Sampel Pellet Silika biasanya dibersihkan dengan pelarut dan dikeringkan dalam oven sebelum pengukuran permeabilitas gas. Minyak biasanya diangkat dengan toluene panas atau xilena dan garam. Sampel biasanya dikeringkan dalam oven konveksi mekanik pada suhu dari 180°C selama minimal 4 jam.
3. Mengukur Permeabilitas Standar Gas.
 - a. Set semua panel ke posisi by pass.
 - b. Ukur pellet silika (panjang, tinggi dan luasnya).
 - c. Masukkan pellet silika ke dalam *pellet silika* test system.
 - d. Set tekanan dari compressor dan gas nitrogen.
 - e. Catat tekanan dan laju alirnya.
 - f. Hitung permeabilitas dengan menggunakan rumus darcy.

4. Peralatan Percobaan dengan Gas Permeameter.
 - a. Pellet *holder* dan thermometer.
 - b. *Triple range* flowmeter dengan *selector valve*.
 - c. *Selector valve*.
 - d. *Pressure gauge*.
 - e. Gas *inlet*.
 - f. Gas *outlet*.



Gas Permeameter



Jangka Sorong



Tabung Gas Nitrogen



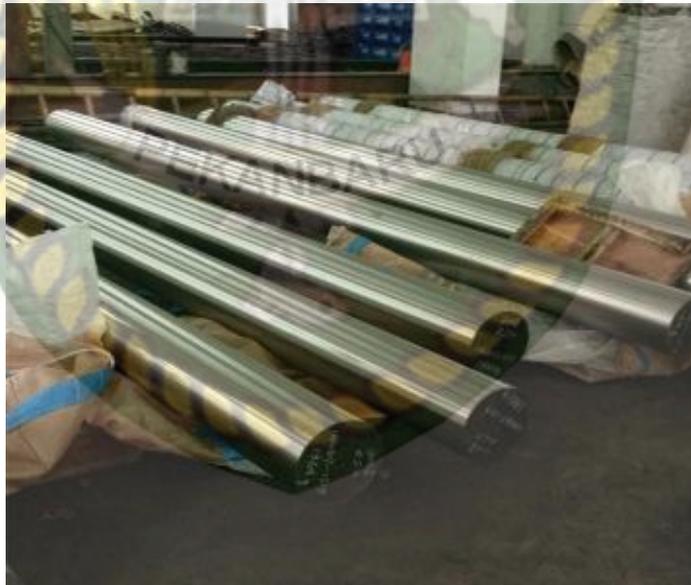
Cut Of Valve Pressure Regulator Stopwatch

Gambar 3.3 Alat Percobaan Pengukuran Permeabilitas

5. Bahan yang Digunakan
 - a. Pellet Silika
 - b. Gas Nitrogen

3.4 MOLD ASTM A276 TYPE 410/ UNS: ASTM / ASTE S41000

Bahan *modal* 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. Seperti pada gambar 3.2 ASTM / ASTE S41000.



Gambar 3.4 ASTM / ASTE S41000.



Gambar 3.5 *Mold* pellet silika

Tabel 3.1 ASTM A276 – 13a

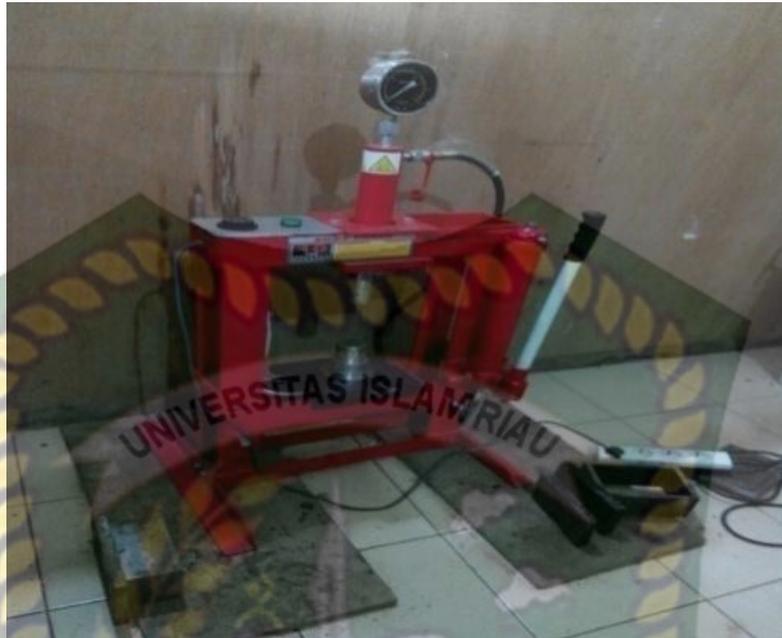
Uns kode	Type	Composition %	Hasil %
S41000	410	Carbon	008-0.15
		Manganese	1.00
		Phosphorus	0.04
		Sulfur	0.030
		Silicon	1.00
		Chromium	11.5-13.5
		Nickel	-
		Molybdenum	-
		Nitrogen	-
		Other Elements	-

Sumber: (Fri, 2014)

3.5 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 3.6 dan spesifikasi hidrolik pada tabel

3.2



Gambar 3.6 Mesin Press Hidrolik

Tabel 3.2 Keterangan Mesin Press Hidrolik

Type	KW05-135
Capasitas	10.000 kg
Working range	160 – 330
Dimension	765 x 545 x 16 mm
Weight	46 kg

Sumber: (Kawan Lama, 2019)

3.6 WAKTU DAN TEMPAT

Proses penelitian dilakukan pada semester genap dan tempat penelitian diadakan di Laboratorium Teknik Mesin dan Laboratorium Teknik Perminyakan Praktikum Mekanika Reservoir Universitas Islam Riau.

3.7 JADWAL KEGIATAN

Jadwal kegiatan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan -Ke															
		1				2				3				4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literature	■	■	■	■												
2	Pelaksanaan Kegiatan				■	■	■	■	■	■	■	■	■				
3	Evaluasi											■	■	■	■		
4	Pembuatan Laporan													■	■	■	■

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 DATA PENELITIAN

Adapun data penelitian yang didapatkan setelah pengujian akan dijelaskan dibawah ini sebagai berikut:

4.1.1. Hasil Perhitungan Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Porositas Dengan Cara Menimbang

Adapun penjelasan ketiga sampel yang akan di uji porositasnya yaitu sebagai berikut:

1. Pada sampel pellet 1 mengandung pasir silika berukuran 100 mesh dengan aluminium powder sebanyak $3,42 \text{ g/cm}^3$ serta bahan pengikat Polyethylene Glycol PEG 400 sebanyak $0,5 \text{ g/cm}^3$ dan dicetak dengan tekanan 1000 kg serta dilakukan pemanasan pada temperatur sintering 1200°C untuk mendapatkan pellet silika. Kemudian dilakukan pengujian porositas agar mengetahui nilai pori pada pellet silika. Dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 (Sampel 1) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang

Kode pellet	W_1 (gr)	W_2 (gr)	W_3 (gr)	V_b (cm ³)	V_p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cc)
1	11,8	13,87	14,26	8,58	3,11	36,24	0,79

Untuk 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 hidraulik 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. Untuk masa analisa 1 tahun, NPV optimum yang diperoleh sebesar 2.731.607 US\$ dengan panjang rekahan optimum 195 ft.

Setelah melihat data dari hasil pengujian porositas dengan cara menimbang dapat disimpulkan bahwa pada sampel 1 nilai porositas yang diperoleh >25% dengan kategori istimewa sebesar ϕ 36,24%.

Perhitungan Sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{Diket: Tinggi pellet} &= 1,5 \text{ cm} \\
 \text{Diameter pellet} &= 2,7 \text{ cm} \\
 \text{densitas kerosin } (\rho) &= \frac{m}{v} \\
 &= \frac{\text{picnometer berisi} - \text{picnometer kosong}}{v} \\
 &= \frac{41,67 - 21,90 \text{ gr}}{25 \text{ ml}} \\
 &= \frac{19,77 \text{ gr}}{25 \text{ ml}} \\
 \rho &= 0,79 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume total batuan (Vb)} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (2,7)^2 \times 1,5 \\
 &= 8,58 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat kering (W}_1) = 11,8 \text{ gr (sampel pellet kering)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dijenuhi (W}_3) &= 14,26 \text{ gr (sampel pellet yang sudah direndam} \\
 &\text{ kerosin selama 24 jam)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pori (Vp)} &= \frac{W_3 - W_1}{\rho} \\ &= \frac{14,26 - 11,8}{0,79} \\ &= 3,11 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas } (\phi) &= \frac{V_p}{V_b} \times 100\% \\ &= \frac{3,11}{8,58} \times 100\% \\ &= 36,24\% \end{aligned}$$

2. Pada sampel pellet 2 mengandung pasir silika berukuran 100 mesh dengan aluminium powder sebanyak 3,42 g/cm³ serta bahan pengikat Polyethylene Glycol PEG 400 sebanyak 0,5 g/cm³ dan dicetak dengan tekanan 3000 kg serta dilakukan pemanasan pada temperatur sintering 1200°C untuk mendapatkan pellet silika. Kemudian dilakukan pengujian porositas agar mengetahui nilai pori pada pellet silika. Dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 (Sampel 2) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang

Kode pellet	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	W ₃ (gr)	V _b (cm ³)	V _p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cc)
2	12,3	14,18	14,61	7,44	2,92	39,25	0,79

Setelah melihat data dari hasil pengujian porositas dengan cara menimbang dapat disimpulkan bahwa pada sampel 2 nilai porositas yang diperoleh >25% dengan kategori istimewa sebesar φ 39,25%.

Perhitungan Sampel 2

Diket: Tinggi pellet = 1,3 cm

$$\text{diameter pellet} = 2,7 \text{ cm}$$

$$\text{densitas kerosin } (\rho) = \frac{m}{v}$$

$$= \text{picnometer berisi} - \text{picnometer kosong}$$

$$= 41,67 - 21,90 \text{ gr}$$

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

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

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

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

$$= 7,44 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat kering } (W_1) = 12,3 \text{ gr (sampel pellet kering)}$$

$$\text{Berat dijenuhi } (W_3) = 14,61 \text{ gr (sampel pellet yang sudah direndam kerosin selama 24 jam)}$$

$$\text{Volume pori} = \frac{W_3 - W_1}{\rho}$$

$$= \frac{14,61 - 12,3}{0,79}$$

$$= 2,92 \text{ cm}^3$$

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

$$= \frac{2,92}{7,44} \times 100\%$$

$$= 39,25\%$$

3. Pada sampel pellet 3 mengandung pasir silika berukuran 100 mesh dengan aluminium powder sebanyak $3,42 \text{ g/cm}^3$ serta bahan pengikat Polyethylene Glycol PEG 400 sebanyak $0,5 \text{ g/cm}^3$ dan dicetak dengan tekanan 5000 kg serta dilakukan pemanasan pada temperatur sintering 1200°C untuk mendapatkan pellet silika. Kemudian dilakukan pengujian porositas agar mengetahui nilai pori pada pellet silika. Dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 (Sampel 3) Hasil Pengamatan Pengukuran Porositas Dengan Cara Menimbang

Kode pellet	W ₁ (gr)	W ₂ (gr)	W ₃ (gr)	V _b (cm ³)	V _p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cc)
3	12,2	13,92	14,34	7,44	2,7	36,3	0,79

Setelah melihat data dari hasil pengujian porositas dengan cara menimbang dapat disimpulkan bahwa pada sampel 3 nilai porositas yang diperoleh $>25\%$ dengan kategori istimewa sebesar ϕ 36,3%.

Perhitungan Sampel 3

Diket: Tinggi pellet = 1,3 cm

diameter pellet = 2,7 cm

densitas kerosin (ρ) = $\frac{m}{v}$

= picnometer berisi – picnometer kosong

= 41,67 – 21,90 gr

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

ρ = $0,79 \text{ gr/cm}^3$

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

$$\begin{aligned}\text{Volume total batuan (Vb)} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,3 \times (2,7)^2 \\ &= 7,44 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\text{Berat kering (W}_1\text{)} = 12,2 \text{ gr}$$

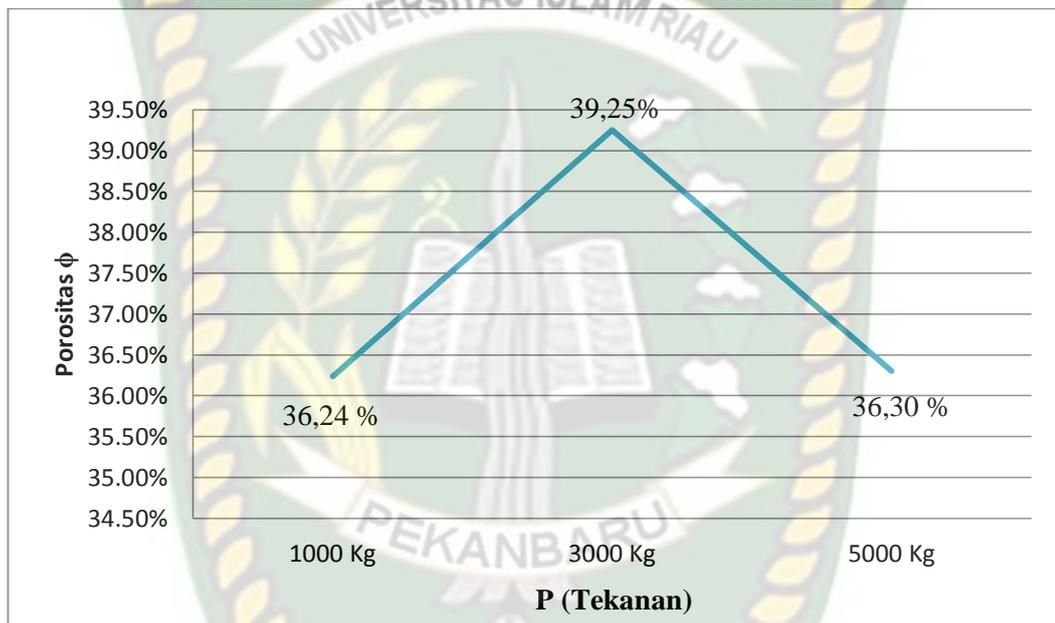
Berat dijenuhi (W₃) = 14,34 gr (sampel pellet yang sudah direndam kerosin selama 24 jam)

$$\begin{aligned}\text{Volume pori} &= \frac{W_3 - w_1}{\rho} \\ &= \frac{14,34 - 12,2}{0,79} \\ &= 2,7 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Porositas } (\phi) &= \frac{V_p}{V_b} \times 100\% \\ &= \frac{2,7}{7,44} \times 100\% \\ &= 36,3\%\end{aligned}$$

Pengujian pengukuran porositas suatu batuan merupakan ukuran kemampuan batuan untuk menampung fluida yang menunjukkan besarnya rongga dalam batuan. Besar atau kecilnya porositas batuan akan menentukan kapasitas penyimpanan fluida direservoir. Secara defenitif, porositas merupakan perbandingan antara volume total pori terhadap volume total batuan, yang dinyatakan dalam persen.

Pada pengukuran porositas digunakan dua cara untuk mengukurnya, yaitu dengan cara menimbang dan helium porosimeter. Pada cara helium porosimeter nilai yang didapatkan *error* atau tidak berfungsi secara baik karena terdapat kebocoran pada alat sehingga hasil nilai yang didapatkan tidak akurat, sedangkan pengukuran dengan cara menimbang mendapatkan hasil yang istimewa rata-rata >30%.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Porositas

- 0% - 5% = Porositas sangat buruk dan dapat diabaikan
- 5% - 10% = Porositas buruk (poor)
- 10% - 15% = Porositas Cukup (enough)
- 15% - 20% = Porositas baik (good)
- 20% - 25% = Porositas Sangat baik (very good)
- >25% = Istimewa

Berdasarkan gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa pada tekanan 1000 kg nilai porositas yang didapat sebesar 36,24% dengan kategori istimewa. Sedangkan

pada tekanan 3000 kg mengalami kenaikan porositas sebesar 39,25% dengan kategori istimewa dan pada tekanan 5000 kg nilai porositas yang didapat sebesar 36,30% dengan kategori istimewa. Dari ketiga tekanan sampel tersebut terlihat bahwa nilai porositas tertinggi terletak pada tekanan 3000 kg.

4.1.2. Hasil Perhitungan Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Permeabilitas

Setelah melakukan pengujian porositas, adapun data penelitian yang didapatkan setelah pengujian akan dijelaskan dibawah ini sebagai berikut:

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. Langkah pertama yang dilakukan mengambil sampel pellet, kemudian dilakukan pengukuran diameter dan panjang dari sampel pellet guna mencari luas penampang pada pellet tersebut. kemudian sampel pellet dimasukkan kedalam *coretest system* TKA-209TM. Kemudian diatur dari kompresor dan gas nitrogen sebesar 105 psi. Kemudian gas nitrogen di *supply* didalam *coretes tsystem* 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 1, 2 dan 3. Dengan nilai *viskositas* nitrogen sebesar 0,018 cp. Sehingga setelah didapatkan nilai diatas, nilai permeabilitas dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$K = \frac{\mu QL}{A \Delta P}$$

Tabel 4.4 (Sampel 1) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas

No. Pellet	Diame ter (cm)	Panjang (cm ²)	Luas (cm ²)	Laju Alir (cc/deti k)	Viskositas (cp)	Δp (at m)	Permeabilitas (D)
1	2,7	1,5	24,162	0,85	0,018	0,027	0,035

Setelah melihat data hasil pengujian pengaruh penekanan pellet silika terhadap permeabilitas dapat disimpulkan bahwa nilai permeabilitas pada sampel 1 dikategorikan baik dengan nilai 35 mD.

Perhitungan:

Diketahui: *High Flow* = 156 cc/menit μ nitrogen = 0,018 cp
Low Flow = 104,9 cc/menit *D core* = 2,7 cm
High DP = 10,6 psi *L core* = 1,5 cm
Low DP = 10,2 psi

Ditanya: K = ... ?

Jawab:

- Luas alas core

$$\begin{aligned} A &= 2\pi r (r + t) \\ &= 2 \times 3,14 \times 1,35 \text{ cm} (1,35 \text{ cm} + 1,5 \text{ cm}) \\ &= 24,162 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{High flow} - \text{Low flow} \\ &= 156 - 104,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 51,1 \text{ cc/menit} \\
 &= 51,1 \times \frac{1}{60} \text{ cc/det} \\
 &= 0,85 \text{ cc/det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= \text{High DP- Low DP} \\
 &= 10,6 - 10,2 \\
 &= 0,4 \text{ psi} \\
 &= 0,4 \times \frac{1}{14,7} \text{ atm} \\
 &= 0,027 \text{ atm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta P} \\
 &= \frac{(0,85 \text{ cc/det})(0,018 \text{ cp})(1,5 \text{ cm})}{(24,162 \text{ cm}^2)(0,027 \text{ atm})} \\
 &= 0,035 \text{ Darcy}
 \end{aligned}$$

$$K = 35 \text{ mD}$$

Tabel 4.5 (Sampel 2) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas

No. Pellet	Diame ter (cm)	Panjang (cm ²)	Luas (cm ²)	Laju Alir (cc/detik)	Viskosi tas (cp)	Δp (atm)	Permeabilitas (D)
2	2,7	1,3	22, 467	1,61	0,018	0,032	0,052

Setelah melihat data hasil pengujian pengaruh penekanan pellet silika terhadap permeabilitas dapat disimpulkan bahwa nilai permeabilitas pada sampel 2 dikategorikan baik dengan nilai 52 mD.

Perhitungan:

Diketahui: *High Flow* = 202 cc/menit μ nitrogen= 0,018 cp

Low Flow = 104,9 cc/menit *D core* = 2,7 cm

High DP = 7,3 psi *L core* = 1,3 cm

Low DP = 6,82 psi

Ditanya: K =... ?

Jawab:

- Luas alas core

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi r (r + t) \\
 &= 2 \times 3,14 \times 1,35 \text{ cm} (1,35 \text{ cm} + 1,3 \text{ cm}) \\
 &= 22,467 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Q = High flow - Low flow

$$\begin{aligned}
 &= 202 - 104,9 \\
 &= 97,1 \text{ cc/menit} \\
 &= 97,1 \times \frac{1}{60} \text{ cc/det}
 \end{aligned}$$

$$= 1,61 \text{ cc/det}$$

ΔP = High DP- Low DP

$$\begin{aligned}
 &= 7,3 - 6,82 \\
 &= 0,48 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$= 0,48 \times \frac{1}{14,7} \text{ atm}$$

$$= 0,032 \text{ atm}$$

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta P}$$

$$= \frac{(1,61 \text{ cc/det})(0,018 \text{ cp})(1,3 \text{ cm})}{(22,467 \text{ cm}^2)(0,032 \text{ atm})}$$

$$= 0,052 \text{ Darcy}$$

$$K = 52 \text{ mD}$$

Tabel 4.6 (Sampel 3) Hasil Pengamatan Pengukuran Permeabilitas

No. Pellet	Diameter (cm)	Panjang (cm ²)	Luas (cm ²)	Laju Alir (cc/detik)	Viskositas (cp)	Δp (atm)	Permeabilitas (D)
3	2,7	1,3	22,467	1,5	0,018	0,027	0,057

Setelah melihat data hasil pengujian pengaruh penekanan pellet silika terhadap permeabilitas dapat disimpulkan bahwa nilai permeabilitas pada sampel 3 dikategorikan baik dengan nilai 57 mD.

Perhitungan:

Diketahui: *High Flow* = 195 cc/menit μnitrogen = 0,018 cp

Low Flow = 104,9 cc/menit *D core* = 2,7 cm

High DP = 11,1 psi *L core* = 1,3 cm

Low DP = 10,7 psi

Ditanya: K = ... ?

Jawab:

- Luas alas core

$$A = 2\pi r (r + t)$$

$$= 2 \times 3,14 \times 1,35 \text{ cm} (1,35 \text{ cm} + 1,3 \text{ cm})$$

$$= 22,467 \text{ cm}^2$$

$$Q = \text{High flow} - \text{Low flow}$$

$$= 195 - 104,9$$

$$= 90,1 \text{ cc/menit}$$

$$= 90,1 \times \frac{1}{60} \text{ cc/det}$$

$$= 1,5 \text{ cc/det}$$

$$\Delta P = \text{High DP} - \text{Low DP}$$

$$= 11,1 - 10,7$$

$$= 0,4 \text{ psi}$$

$$= 0,4 \times \frac{1}{14,7} \text{ atm}$$

$$= 0,027 \text{ atm}$$

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta P}$$

$$= \frac{(1,5 \text{ cc/det})(0,018 \text{ cp})(1,3 \text{ cm})}{(22,467 \text{ cm}^2)(0,027 \text{ atm})}$$

$$= 0,057 \text{ Darcy}$$

$$K = 57 \text{ mD}$$

Pada pengujian ini tentang pengukuran permeabilitas merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan batuan untuk mengalirkan suatu fluida. Permeabilitas sangat penting untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang dapat diproduksi (Nurwiyanto, 2006).

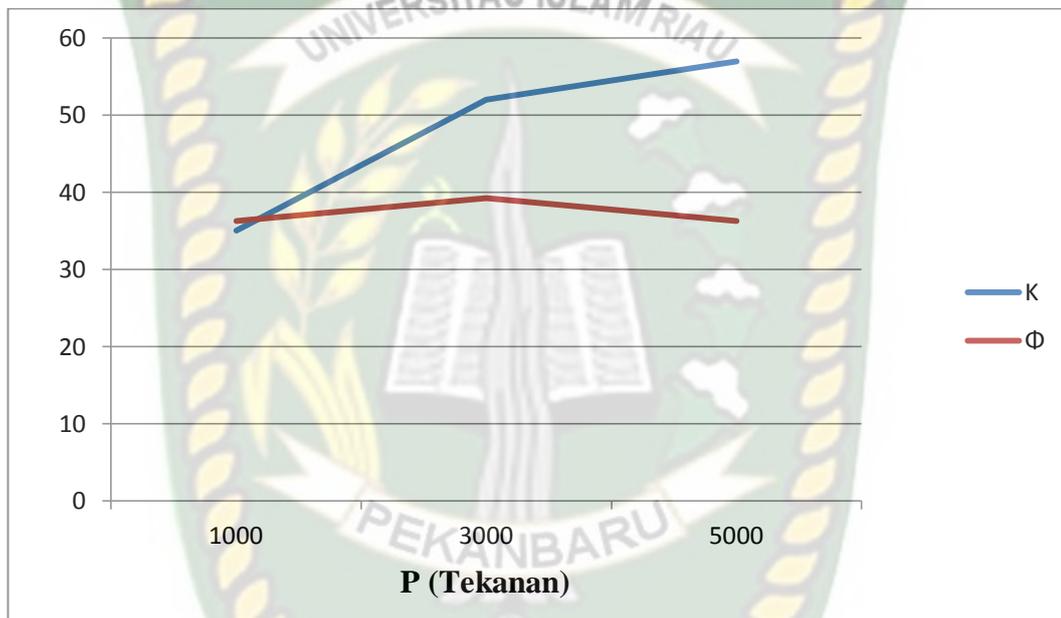
Permeabilitas pada suatu batuan tergantung pada porositas, ukuran pori, bentuk pori, morfologi permukaan pori bagian dalam, susunan pori dan batang pori, ukuran butir dan distribusinya serta kompaksi dan sementasi. Permeabilitas kemungkinan dipengaruhi oleh diameter rata-rata sebesar 10% dari butiran paling halus, pada batu pasir yang tidak tersemen, ada kecenderungan bahwa permeabilitas kemungkinan sebanding dengan hasil perkalian dari diameter butir (M.Irham, 2005). Dalam beberapa kasus, penentuan nilai permeabilitas selain menggunakan data pellet juga dapat menggunakan log *nuclear magnetic resonance* (NMR) (Sugianto, 2013). Dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Permeabilitas
 Skala nilai Permeabilitas

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

Dari data perhitungan yang diperoleh pada sampel 1 dengan tekanan 1000 kg didapat nilai $K = 35$ mD, sampel 2 dengan tekanan 3000 kg didapat nilai $K = 52$ mD dan sampel 3 dengan tekanan 5000 kg didapat nilai $K = 57$ mD. Dari keterangan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan pellet maka semakin tinggi pula nilai permeabilitas yang di peroleh. Dapat dilihat kenaikan nilai permeabilitas yang sangat signifikan dengan kategori baik.

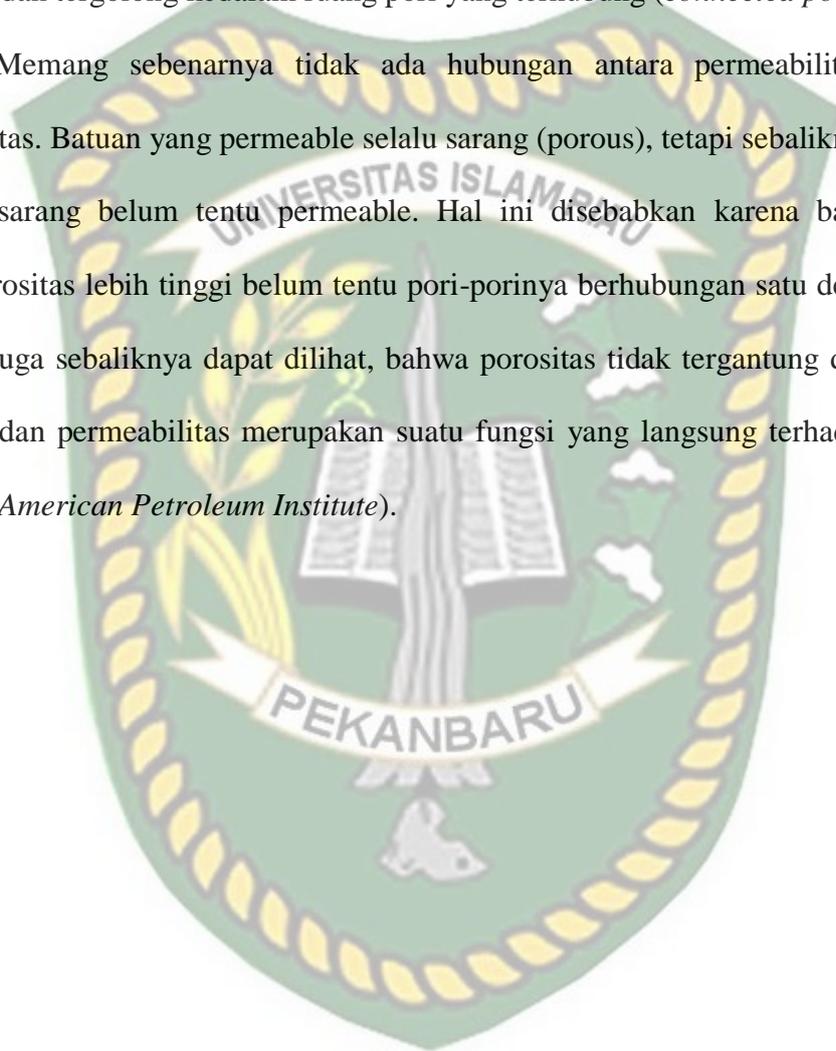


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Porositas Terhadap Permeabilitas

Berdasarkan gambar grafik 4.3 dapat dilihat bahwa nilai pengaruh porositas terhadap permeabilitas pada sampel 1 dengan tekanan 1000 kg menunjukkan nilai porositas terendah yaitu sebesar 36,24% dengan nilai permeabilitas sebesar 35 mD yang mana ruang pori tidak terhubung (*unconnected pore space*). Sedangkan pada sampel 2 dengan tekanan 3000 kg mengalami kenaikan nilai porositas sebesar 39,25% dan nilai permeabilitas sebesar 52 mD namun masih tergolong kedalam ruang pori tidak terhubung (*unconnected pore space*) berpori namun tidak

permeable. Sedangkan pada sampel 3 dengan tekanan 5000 kg mengalami penurunan nilai porositas sebesar 2,95% dengan nilai porositas sebesar 36,30% dan nilai permeabilitas sebesar 57 mD mendapatkan nilai permeabilitas paling tinggi dan tergolong kedalam ruang pori yang terhubung (*connected pore space*).

Memang sebenarnya tidak ada hubungan antara permeabilitas dengan porositas. Batuan yang permeable selalu sarang (porous), tetapi sebaliknya, batuan yang sarang belum tentu permeable. Hal ini disebabkan karena batuan yang berporositas lebih tinggi belum tentu pori-porinya berhubungan satu dengan yang lain. Juga sebaliknya dapat dilihat, bahwa porositas tidak tergantung dari ukuran butir, dan permeabilitas merupakan suatu fungsi yang langsung terhadap ukuran butir (*American Petroleum Institute*).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pengujian yang ada pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan maka 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.
2. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa 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.
3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan produk pellet silika yang di anjurkan untuk di gunakan sebagai proppant adalah produk pellet pada sampel 3 dengan tekanan 5000 kg.

5.2 SARAN

1. Untuk menghindari beban kritis pada pellet maka tekanan yang paling tinggi digunakan hanya 5 ton dan untuk menghindari keretakan pada pellet silika.
2. Pada penelitian berikutnya untuk memperoleh hasil yang maksimal perlu beberapa penyempurnaan diantaranya dengan menambah suhu $>1200^{\circ}\text{C}$ agar tidak terjadi keretakan pada permukaan pellet. Sehingga pellet silika yang dibuat mampu menggantikan proppant sebagai rekah hidrolik di sumur pemboran minyak.
3. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan material lain.
4. Diharapkan untuk penelitian berikutnya perlu dilakukan uji laboratorium yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizon, dkk. 2017. *Laporan Akhir Pratikum Mekanika Reservoir*. UIR
- Aldes Lesbani. (2011). Studi Interaksi Vanadium dan Nikel dengan Pasir Kuarsa. *Jurnal Penelitian Sains*. Vol. 14 4(C) 14410. Hlm. 43-46.
- Badan POM RI. 2012. *Sentra Informasi Keracunan Nasional (SiKerNas) Pusat Informasi Obat dan Makanan*.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980) *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*, Mineralogical Society, 305-356.
- 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.
- Hildayati., dkk. 2009. *Sintetis dan Karakteristik Bahan Komposit Karet Alam-Silika*. Institut Sepuluh November. Surabaya.
- IEEE GlobalSpec. (2019). Informasi Peralatan P Padat Serbuk. Diambil dari https://www.globalspec.com/learnmore/processing_equipment/materials_processing_equipment/powder_compacting_equipment
- Kirk R.E. and Othmer, D.F. 1993. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.5. fourth edition, A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons Co., New York
- Lasantha. (2011). *Memahami Karakteristik Stamping Proses Pada Dunia Industri*. Jakarta.
- Lawrence H. Van Vlack, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, Erlangga, 1992.

- Nizar . 2012. *Studi Pengaruh tekanan Kompaksi dan Waktu Kalsinasi Terhadap Pellet Zeolit Alam Sebagai Desiccant* (skripsi). Jakarta: Universitas Indonesia.
- R. E. Smallman and R. J. Bishop, 2000. *Modern physical metallurgy and materials engineering*, Hill International Book Company, New York
- Sulastri, Siti dan Susila Kristaningrum. 2010. *Berbagai Macam Senyawa Silika*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yokyakarta.
- Supardi, Imam. 2016. *Pengaruh Ph Silika Berbasis Abu Vulkanik Terhadap Komposit SiO₂-MgO Sebagai Kandidat Seal Fuel Cells*. 05 : 23-24
- Trianasari. 2017. *Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika sebagai Hasil Ekstrasi Batu Apung* (skripsi). Bandar Lampung : Universitas Lampung
- Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol. 32, No. 3, 2010. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber daya Genetik Pertanian. Bogor.