

TUGAS AKHIR

PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET BESI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik
pada program studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau*

Disusun Oleh :

DICKY ANDIKA

173310817

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET
BESI**

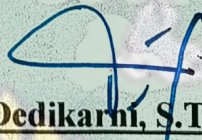
Disusun Oleh :



DICKY ANDIKA
NPM : 173310817

Diperiksa Oleh :

Dosen Pembimbing



Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc
NIDN : 1005047603

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET
BESI**

Disusun Oleh :



DICKY ANDIKA

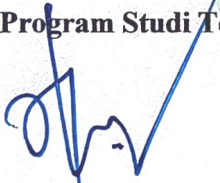
NPM : 173310817

Disahkan Oleh :



MENGETAHUI

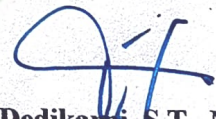
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD

NIDN. 1009038504

PEMBIMBING



Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc

NIDN : 1005047603

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET BESI

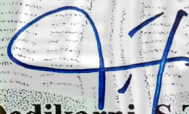
Disusun Oleh :



DICKY ANDIKA
NPM : 173310817

Disetujui :

PEMBIMBING



Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc
NIDN : 1005047603

PENGUJI I

PENGUJI II



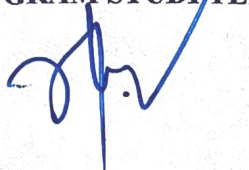
Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T
NIDN : 1008057102



Ir. Irwan Anwar, M.T
NIDN : 0027075901

Disahkan Oleh :

KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD
NIDN. 1009038504

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dicky Andika

NPM : 173310817

Fakultas/Prodi : Teknik/Program Studi Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Ukuran Partikel Pasir Besi Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Magnetik Pada Pellet Besi

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran dan pemapan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan, maupun dari data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, 5 November 2023

Yang membuat pernyataan



Dicky Andika

NPM : 173310817

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji beserta syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT , karena atas izin-Nya lah saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya sesuai kemampuan saya.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan wajib dikerjakan oleh Mahasiswa Teknik Mesin dan merupakan persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

Tugas Akhir ini berjudul **“Pengaruh Ukuran Partikel Pasir Besi Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Magnetik pada Pellet Besi”** bertujuan agar mahasiswa mengetahui pengaruh ukuran partikel pada sifat mekanik dan magnetik pada pellet besi.

Pada kesempatan ini saya banyak mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung saya dalam mengerjakan Tugas Sarjana ini, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL selaku Rektor Universitas Islam Riau beserta Bapak Dr. H. Syafhendri, M. Si, Dr. Firdaus AR, S.E., M. Si., CA, Dr. Admiral, SH., M.H selaku wakil Rektor di Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, ST., M.H selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, ST., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
5. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa selalu memberikan doa agar penulis diberikan kemudahan, kelancaran, dan selalu

memberi semangat kepada penulis dalam penyusunan proposal tugas sarjana.

6. Bapak Dr. Dedikarni, ST., M. Sc selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah membimbing dan membantu dalam penyusunan proposal tugas sarjana.
7. Kepada seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Kepada Iffa Vadilla As'ad, S.E yang telah membantu dan selalu memberikan dukungan dan masukan kepada penulis dalam penyusunan tugas proposal sarjana.
9. Kepada kawan-kawan pejuang ST angkatan 17 yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam penyusunan proposal tugas sarjana.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang berperan dalam penyusunan proposal tugas sarjana ini. Penulis menyadari bahwa penulisan proposal tugas sarjana ini masih memiliki banyak kekurangan yang disebabkan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar bisa menjadi perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga proposal tugas sarjana ini dapat memberi manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, 19 Desember 2022

Penulis,

Dicky Andika

NPM : 17.331.0817

PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET BESI

*Dicky Andika, Dedikarni**

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
Email : dickyandika07@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Pasir besi merupakan salah satu bahan baku penting dalam industri besi baja di Indonesia, pasir besi banyak ditemukan di wilayah pesisir seperti pesisir Sumatera, Jawa, Sulawesi, serta Nusa Tenggara. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel serta struktur mikro pasir besi terhadap sifat mekanik dan sifat magnetik dan pengaruh penambahan PEG-400 terhadap sifat mekanik pada pellet besi. Pengujian-pengujian yang dilakukan yaitu uji kekerasan menggunakan Hardness Brinell Tester dan uji kuat tekan yang mengacu pada standard ASTM D3410 dengan type HUNG TA HT-8503. Pada penelitian ini, variasi ukuran partikel yang digunakan adalah mesh 80, mesh 100, dan mesh 200 yang dicetak dengan tekanan 5,5 ton dengan komposisi 90% pasir besi dan 10% PEG-400 dan disintering pada suhu 800°C selama 2 jam. Hasil pengujian kekerasan Brinell pada ukuran partikel 80 mesh yaitu sebesar 1,909 kg/mm², kemudian 100 mesh yaitu sebesar 1,950 kg/mm², dan 200 mesh yaitu sebesar 2,888 kg/mm². Hasil pengujian kuat tekan mendapatkan nilai pada ukuran partikel 80 mesh yaitu sebesar 0,16 MPa, kemudian 100 mesh yaitu sebesar 0,16 MPa, dan 200 mesh sebesar 0,24 MPa. Hasil pengamatan mikrostruktur pada ukuran partikel 80 mesh permukaan sample terdapat sedikit PEG-400 dan tampak berpori, pada 100 mesh permukaan sample tampak berpori, dan 200 mesh permukaan sample tampak beraturan antara serbuk pasir besi dan PEG-400. Hasil penelitian membuktikan bahwa sample dengan ukuran partikel 200 mesh (75 µm) memiliki sifat mekanik yang tinggi. Semakin halus atau kecil ukuran partikel maka akan semakin tinggi pula sifat mekanik yang dihasilkannya.

Kata Kunci : Ukuran Partikel, Pasir Besi, Pellet Besi, Sifat Mekanik, Kekerasan Brinell, Kekuatan Tekan, Mikrostruktur

THE EFFECT OF IRON SAND PARTICLES SIZE ON THE MECHANICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF IRON PELLETS

*Dicky Andika, Dedikarni**

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

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No. 113 Marpoyan Stop, Pekanbaru

Tel. 0761-674635 Fax. (0761) 674834

Email: dickyandika07@student.uir.ac.id

ABSTRACT

Iron sand is an important raw material in the steel industry in Indonesia. Iron sand is often found in coastal areas such as the coast of Sumatra, Java, Sulawesi and Nusa Tenggara. The aim of this research is to determine the effect of particle size and microstructure of iron sand on mechanical and magnetic properties and the effect of adding PEG-400 on the mechanical properties of iron pellets. The tests carried out were hardness tests using the Hardness Brinell Tester and compressive strength tests referring to the ASTM D3410 standard with type HUNG TA HT-8503. In this research, the particle size variations used were mesh 80, mesh 100, and mesh 200 which were printed with a pressure of 5.5 tonnes with a composition of 90% iron sand and 10% PEG-400 and sintered at a temperature of 800°C for 2 hours. The results of the Brinell hardness test on a particle size of 80 mesh were 1,909 kg/mm², then 100 mesh was 1,950 kg/mm², and 200 mesh was 2,888 kg/mm². The compressive strength test results obtained a value for a particle size of 80 mesh, which was 0.16 MPa, then 100 mesh, which was 0.16 MPa, and 200 mesh, which was 0.24 MPa. The results of microstructural observations at a particle size of 80 mesh, the sample surface contained a small amount of PEG-400 and appeared porous, at 100 mesh the sample surface appeared porous, and at 200 mesh the sample surface appeared to be uniform between iron sand powder and PEG-400. The research results prove that samples with a particle size of 200 mesh (75 μ m) have high mechanical properties. The finer or smaller the particle size, the higher the mechanical properties it produces.

Keywords : Particle Size, Iron Sand, Iron Pellets, Mechanical Properties, Brinell Hardness, Compressive Strength, Microstructure

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
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 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pasir Besi.....	6
2.1.1 Sifat Fisik Pasir Besi.....	7
2.1.2 Kegunaan Pasir Besi	8
2.1.3 Sifat Mekanik.....	9
2.1.4 Sifat Magnetik.....	10
2.1.5 Pellet Besi	11
2.1.6 Proses Pengelolaan Pasir Besi Menjadi Pellet Besi (Beta Hartono, 2015).....	12
2.2 Metode Menentukan Ukuran Serbuk	15
2.2.1 Possible size measure.....	15
2.2.2 Distribusi Ukuran Partikel.....	16
2.3 Ruang Pembakaran.....	18
2.4 Poli Etelin Glikol (PEG)	19
2.5 Perhitungan Volume <i>Mold</i>	20
2.6 Alat Uji Mikrostruktur	21
2.7 Metode Pengujian Material Teknik.....	21

2.7.1 Uji Tekan	21
2.7.2 Uji Kekerasan (Hardness Brinell)	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Langkah-Langkah Penelitian	27
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.3.1 Waktu Penelitian	28
3.3.2 Tempat Penelitian	28
3.4 Alat dan Bahan	28
3.4.1 Alat	28
3.4.2 Bahan	36
3.5 Metode Pembuatan Pellet Besi	36
3.6 Analisa dan Pengujian Sampel	38
3.6.1 Analisa Uji Tekan	38
3.6.2 Analisa Uji Kekerasan	38
3.6.3 Pengamatan Mikrostruktur	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Proses Pembuatan Pellet Pasir Besi	41
4.2 Perlakuan Panas	42
4.3 Uji Kekerasan Menggunakan <i>Hardness Brinell Tester</i>	43
4.4 Uji Kuat Tekan	47
4.5 Perbandingan Penelitian Dengan Penelitian Sebelumnya	49
4.6 Pengamatan Mikrostruktur	51
4.7 Hasil dan Bentuk Sample	54
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pasir Besi.....	7
Gambar 2. 2 Possible size measure.....	16
Gambar 2. 3 Prinsip dasar ayakan (sieve).....	16
Gambar 2. 4 Ukuran pada mesh.....	17
Gambar 2. 5 Muffle Furnace.....	18
Gambar 2. 6 Struktur Poli Etilen Glikol (PEG).....	19
Gambar 2. 7 Alat Uji Mikrostruktur.....	21
Gambar 2. 8 Alat Uji Tekan.....	22
Gambar 2. 9 Alat Uji Kekerasan.....	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3. 2 Pasir Besi.....	27
Gambar 3. 3 Ayakan (Sieve).....	27
Gambar 3. 4 Planetary ball mill.....	28
Gambar 3. 5 Pres Hidrolik.....	29
Gambar 3. 6 Mold Press (Cetakan Pellet).....	29
Gambar 3. 7 Jangka Sorong.....	30
Gambar 3. 8 Ayakan.....	30
Gambar 3. 9 Timbangan Digital.....	31
Gambar 3. 10 Gelas Ukur.....	31
Gambar 3. 11 Timer.....	31
Gambar 3. 12 Muffle Furnance.....	32
Gambar 3. 13 Crusible Grafit.....	33
Gambar 3. 14 Penjepit krusible.....	33
Gambar 3. 15 Sarung Tangan.....	34
Gambar 3. 16 Alat Uji Mikrostruktur.....	34
Gambar 3. 17 Alat Uji Tekanan.....	35
Gambar 3. 18 Alat Uji Kekerasan Brinell.....	35
Gambar 3. 19 Pasir Besi.....	36
Gambar 3. 20 Larutan PEG.....	36
Gambar 3. 21 Alat Uji Tekanan.....	38
Gambar 3. 22 Alat Uji Kekerasan Brinell.....	39
Gambar 3. 23 Alat Uji Mikrostruktur.....	39
Gambar 4. 1 Sampel setelah dikompaksi dengan ukuran partikel yang berbeda.....	42
Gambar 4. 2 Sampel setelah disintering pada suhu 800 C selama 2 jam.....	43
Gambar 4. 3 Pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kekerasan Brinell.....	46
Gambar 4. 4 Pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kuat tekan.....	48
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan Uji Kekerasan.....	50
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan uji kuat tekan.....	51
Gambar 4. 7 Pengamatan Mikro Spesimen 80 Mesh (180 μm).....	52
Gambar 4. 8 Pengaruh Mikro 100 Mesh (150 μm).....	53
Gambar 4. 9 Pengaruh Mikro 200 Mesh (75 μm).....	53

Gambar 4. 10 Pellet Pasir Besi 80 Mesh.....	54
Gambar 4. 11 Pellet Pasir Besi 100 Mesh.....	55
Gambar 4. 12 Pellet Pasir Besi 200 Mesh.....	55



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai dari Pengujian Kekerasan Brinell	44
Tabel 4.2 Nilai dari Pengujian Kuat Tekan.....	47
Tabel 4.3 Perbandingan penelitian dengan penelitian sebelumnya	49



DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
Vc	Volume Cetakan	Cm ³
ρ	Massa Jenis	Gr/cm ³
M	Massa	Gr
P	Beban Gaya Tekan	Kgf
D1	Panjang diagonal 1	M
D2	Panjang diagonal 2	M

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum, pasir besi tak jarang ditemukan di pesisir pantai menjadi akibat asal proses penghancuran batuan sang cuaca serta air. Material ini lalu diangkut serta terendapkan di sepanjang pantai. Gelombang bahari menggunakan tenaga tertentu mengurut dan mengumpulkan endapan ini, membentuk pasir besi yang memiliki nilai irit. Sebelum dipergunakan, pasir besi biasanya mengalami proses pengolahan buat menaikkan sifat kimia dan fisiknya. Tujuannya merupakan buat mempelajari bagaimana berukuran partikel mempengaruhi sifat mekanik dan magnetik pada pembuatan pellet besi memakai mesin ball mill.

Pasir besi pula ialah salah satu bahan baku penting dalam industri besi baja. di Indonesia, pasir besi banyak ditemukan di wilayah pesisir mirip pesisir Sumatera, Jawa, Sulawesi, serta Nusa Tenggara. Telah banyak para peneliti di seluruh dunia terus melakukan banyak sekali software terkait pasir besi dengan memakai produk serta metode yg beragam, salah satu perkembangan teranyar artinya penggunaan pasir besi pada bentuk nanomaterial dengan ukuran partikel yg mencapai skala nanometer. Model lokasi menggunakan tanda adanya pasir besi merupakan Pantai Gandoriah di Pariaman, Sumatera Barat.

Hasil penelitian sebelumnya dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti Helvy dan Arif (2015) serta Lutvi (2012), memberi kemsimpulan bahwa pasir besi mengandung banyak mineral yang kaya akan kandungan besi. Salah satu mineral yang mendominasi pasir besi adalah magnetit (Fe_3O_4). Bahan ini sering digunakan dalam produk sehari-hari, seperti tinta kering (toner), campuran (filter) dalam cat, dan sebagai bahan baku dalam pembuatan pellet besi.

Selain itu, penggunaan pasir besi dalam jumlah sebanyak 80% dari total berat pasir dapat meningkatkan kekuatan tarik beton hingga 4,84% dibandingkan

dengan beton biasa. Selain itu, pasir besi juga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton hingga 28,41% dibandingkan dengan beton biasa..

Besi pellet dipergunakan menjadi salah satu komponen primer dalam produksi besi baja. Bahan dasarnya terdiri dari bijih besi serta pasir besi. Proses pembuatan besi pellet melibatkan serangkaian langkah, termasuk penggilingan (grinding), pembersihan, pemisahan memakai pemisah magnetik (magnetic separator) atau penyaringan (screening), pemanggangan (roasting), serta kalsinasi memakai pengering rotari (rotary dryer).

Dalam proses penggilingan, ukuran partikel yang dibutuhkan untuk pembuatan besi pellet adalah sebesar 120 mesh, yang setara dengan 0,125 mm, seperti yang diungkapkan oleh Beta Hartono pada tahun 2015.

Dalam penelitian mengenai sifat magnetik, hasilnya memberitahukan bahwa nilai induksi magnetik total paling besar ditemukan pada pasir besi di Pantai Kata, diikuti oleh Pantai Gandoriah, Pantai Tiku, Pantai Arta, dan Pantai Nareh di Sumatera Barat. Saat sekarang ini, magnetit (Fe_3O_4) menjadi perhatian khusus bagi para peneliti karena aplikasinya yang luas, mulai dari pengembangan industri otomotif, elektronika, komputasi, hingga peralatan rumah tangga. Selain itu, oksida besi ini juga digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri baja dan industri alat berat.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada pasir besi ini adalah dengan menambahkan PEG dengan variasi PEG yang digunakan yaitu sample dengan penambahan PEG-2000, PEG-4000, dan PEG-6000 dan menggunakan ukuran partikel 120 mesh. Dan penambahan PEG mengurangi nilai kemagnetikannya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan mengkaji tentang penambahan PEG-400 dengan ukuran partikel mesh yang bervariasi yaitu menggunakan ukuran partikel 80 mesh, 100 mesh, dan 200 mesh untuk melihat sifat mekanik pada pellet besi supaya ada nilai potensi ekonomis yang tinggi, sehingga diharapkan memiliki kepentingan industri, dapat dijadikan sebagai bahan referensi bagi investor yang berminat untuk terjun dalam usaha di bidang pertambangan

khususnya pasir besi dan diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah secara ekonomi di Indonesia, khususnya di daerah Sumatera Barat.

Dari berbagai penjelasan diatas maka penulis ingin mengangkat judul **“PENGARUH UKURAN PARTIKEL PASIR BESI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT MAGNETIK PADA PELLET BESI”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel pasir besi terhadap sifat mekanik pada pellet besi ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan PEG-400 pada pasir besi terhadap sifat mekanik pada pellet besi ?
3. Bagaimana struktur mikro material pada pellet besi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mendapatkan pengaruh ukuran partikel pasir besi terhadap sifat mekanik dan sifat magnetik pada pellet besi.
2. Untuk mendapatkan pengaruh penambahan PEG-400 pada pasir besi terhadap sifat mekanik pada pellet besi.
3. Untuk mengetahui struktur mikro material pada pellet besi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memberikan arah kejelasan dalam pembahasan diperlukan pembatasan masalah agar tidak menyimpang dari tujuan. Berikut ini batasan masalah yang digunakan dalam penelitian, yaitu :

1. Material yang digunakan yaitu pasir besi yang berasal dari pantai Gandorah Pariaman.
2. Parameter yang digunakan adalah variasi ukuran partikel mesh yaitu 80 mesh, 100 mesh, dan 200 mesh.
3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan sifat magnetik dari penambahan PEG-400 pada pasir besi.
4. Pengamatan struktur mikro material pada pellet pasir besi.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta manfaat-manfaat lain, yaitu :

1. Dapat menjadi referensi pada penelitian berikutnya.
2. Mendapatkan sebuah hasil penelitian pengaruh ukuran partikel pasir besi terhadap sifat mekanik dan sifat magnetik pada pellet besi.
3. Mendapatkan sebuah hasil penelitian pengaruh penambahan PEG-400 terhadap sifat mekanik dan sifat magnetik pada pellet besi.
4. Hasil penelitian ini diharapkan bagi mahasiswa dapat dijadikan suatu tolak ukur untuk penerapan campuran larutan pada material dan variasi ukuran partikel.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan ringkasan mengenai penulisan tugas akhir ini, berikut adalah gambaran singkatnya :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai konteks awal, pengidentifikasian permasalahan, tujuan dari penelitian, batasan yang diberlakukan, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, serta struktur penulisan secara keseluruhan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, penjelasan akan diberikan mengenai teori yang diambil dari sumber-sumber buku yang digunakan untuk mendukung kelancaran penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat diagram aliran penelitian, langkah-langkah penelitian, informasi mengenai waktu dan tempat penelitian dilakukan, serta daftar alat dan bahan yang digunakan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berfokus pada data hasil penelitian dan memberikan pembahasan yang mendalam terkait dengan data tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian ini dan memberikan saran-saran yang dapat memberikan manfaat bagi para pembaca..

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini mencakup daftar sumber referensi yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi

Pasir besi terbentuk dari proses penghancuran serta transformasi oleh cuaca, air permukaan, dan gelombang dari batuan asalnya, yaitu batuan basaltik ke andesik. Batuan ini mengandung magnetit, ilmenit, dan oksida besi yang dalam proses terbentuknya mengalami proses sedimentasi lalu terbawa oleh gelombang air laut. Pasir besi memiliki peran penting sebagai bahan campuran dalam industri semen dan memiliki potensi pengembangan bahan baku dalam industri besi baja sesuai dengan perkembangan teknologi yang ada.

Secara umum pasir besi terdiri dari campuran butiran logam seperti, tourmaline, kalsit, kuarsa, feldspar, ampibol, biotir dan piroksen. Mineral tersebut terdiri dari ilmenite, magnetit, hematite, limonit serta titaniferous magnetit. Titaniferous magnetit merupakan bagian yg relatif penting adalah ubahan dari magnetit dan ilmenit. Mineral bijih pasir besi terutama dari asal batuan basaltik dan andesitik vulkanik seperti yang dijelaskan oleh Lutvi pada tahun 2012.

Karakteristik pasir besi di Indonesia memiliki komposisi kimia seperti Fe_2O_3 (hematite), Fe_3O_4 (magnetite), FeTiO_3 (ilmenite), SiO_2 (kuarsa) dan beberapa senyawa lain (Darmayanti et al., 2000; Bilalodin et al., 2013).

Pasir besi memiliki bentuk butiran dengan ukuran sekitar 0,074 - 0,075 mm, dengan ukuran yang lebih kasar sekitar 5 - 3 mm, dan yang lebih halus kurang dari 1 mm. Perbedaan lokasi endapan menyebabkan variasi karakteristik fisik pada pasir besi ini. Mineral-mineral yang terkandung dalam pasir besi meliputi Fe, Ti, Mg, dan Si. Pasir besi diperoleh dari bijih besi yang terdapat dalam bentuk oksida besi, yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 , yang hadir dalam dua fase di dalam pasir besi. Pasir besi adalah jenis pasir yang mengandung konsentrasi partikel bijih besi yang signifikan. Biasanya, pasir besi memiliki warna abu-abu gelap hingga kehitaman.

Pasir besi terutama berasal dari batuan basaltik dan andesitik vulkanik, yang terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang, kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang air laut.



Gambar 2. 1 Pasir Besi

Sumber: Suarageologi.blogspot

Pasir besi umumnya dapat ditemukan di sepanjang garis pantai, terbentuk melalui proses penghancuran batuan asal oleh faktor cuaca dan air permukaan. Material ini kemudian diangkut dan terendapkan di sepanjang pantai. Gelombang laut dengan energi khusus memisahkan dan mengumpulkan endapan tersebut menjadi pasir besi yang memiliki nilai ekonomis. Di Indonesia, pasir besi umumnya ditemukan sebagai endapan aluvial pantai, dengan lokasi yang meliputi pantai-pantai Sulawesi, pantai barat Sumatera, Nusa Tenggara Timur, Maluku, dan pantai utara Papua, pantai selatan Jawa dan Bali.

Beberapa lokasi sudah mengalami eksplorasi dan pendayagunaan pasir besi, namun masih banyak lokasi lain yg belum menjalani eksplorasi atau Jika sudah dieksploitasi, tidak dilakukan melalui tahapan eksplorasi yang tepat.

2.1.1 Sifat Fisik Pasir Besi

Pasir besi memiliki warna abu-abu hingga kehitaman dan memiliki butiran yang sangat halus dengan ukuran antara 75 - 150 mikron. Densitasnya berkisar antara 2-5 gr/cm³, dengan bobot isi (specific gravity, SG) sekitar 2,99 - 4,23 gr/cm³. Pasir besi juga memiliki derajat kemagnetan (MD) antara 6,4 - 27,16%.

Didalam Pasir besi terkandung mineral utama magnetit ditandai oleh adanya butiran magnetit yang pasti terikat dengan butiran magnetit lainnya, membentuk ikatan rantai. Butiran mineral ini memiliki struktur kristal isometrik, sehingga pasir besi (magnetit) cenderung memiliki bentuk yang bundar atau bundar tanggung.

2.1.2 Kegunaan Pasir Besi

Selain dipergunakan dalam industri logam besi, pasir besi pula mempunyai banyak sekali kegunaan lain. Pasir besi sudah dimanfaatkan menjadi bahan dasar tinta kemarau (toner) pada mesin fotokopi serta printer laser. Selain itu, pasir besi juga dipergunakan menjadi bahan dasar dalam pembuatan besi baja pada bentuk pellet, yg sudah dilakukan studi mengenainya. Mineral magnetit pada pasir besi jua mempunyai potensi yang akbar untuk diolah sebagai bahan industri lain, mirip pewarna serta adonan (filter) dalam cat (Helvy dan Arif, 2015). Dengan menggunakan pasir besi sebanyak 80% dari total berat pasir, dapat mempertinggi kekuatan tarik belah beton sebesar 4,84% dibandingkan menggunakan beton normal. Selain itu, jua dapat mempertinggi kekuatan tekan beton sebanyak 28,41% dibandingkan menggunakan beton normal, seperti yang dijelaskan Lutvi pada tahun 2012.

Telah diketahui bahwa endapan pasir besi dapat memiliki mineral–mineral yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan industri, yaitu sebagai berikut:

- Magnetit, dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk tinta kering (toner) pada mesin foto-copy dan printer laser.
- Hematit.
- Maghemit, dapat digunakan sebagai bahan utama pita kaset.

Ketiga mineral magnetik di atas juga dapat digunakan sebagai pewarna dan campuran untuk cat serta bahan dasar untuk industri magnet permanen.

2.1.3 Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu material adalah faktor penting untuk pemilihan bahan sebagai proses perancangan. Sifat mekanik mengacu pada respons atau perilaku material terhadap beban yg diterapkan, seperti gaya, torsi, atau kombinasi keduanya. pada praktiknya, beban pada material bisa dibagi sebagai dua jenis, yaitu beban tidak aktif dan beban dinamis. disparitas antara keduanya terletak pada fungsi waktu, pada mana beban statis tidak tergantung di waktu sedangkan beban bergerak maju ditentukan oleh fungsi saat. buat memahami sifat mekanik suatu material, sering dilakukan pengujian mekanik.

Pengujian mekanik pada dasarnya merupakan jenis uji yang merusak (destructive test), yang menghasilkan kurva atau data yang menggambarkan kondisi material yang diuji. Setiap material yang diuji akan dibentuk menjadi sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian ini dapat mewakili karakteristik keseluruhan material jika berasal dari jenis, komposisi, dan perlakuan yang sama. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat, diperlukan aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material, serta ketelitian dalam pembuatan spesimen.

Sifat mekanik yang diuji meliputi berbagai hal seperti kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impact, kekuatan mulur, kekuatan leleh, dan lain sebagainya. Sifat-sifat mekanik material yang perlu diperhatikan:

- Tegangan adalah gaya yang diterima oleh material saat mengalami deformasi per satuan luas.
- Regangan yaitu besar deformasi persatuan luas.
- Modulus elastisitas adalah ukuran kekuatan material yang mengindikasikan sejauh mana material tersebut dapat mengembalikan bentuk aslinya setelah mengalami deformasi.
- Kekuatan adalah besaran tegangan yang diperlukan untuk menyebabkan deformasi pada material atau kemampuan material untuk menahan

deformasi.

- Kekuatan luluh adalah tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan deformasi plastis pada material.
- Kekuatan tarik adalah kekuatan maksimum yang berdasarkan pada ukuran mula.
- Keuletan yaitu besar deformasi plastis sampai terjadi patah.
- Ketangguhan adalah jumlah energi yang diperlukan untuk terjadi perpatahan pada material.
- Kekerasan yaitu kemampuan material menahan deformasi plastis lokal akibat penetrasi pada permukaan.

2.1.4 Sifat Magnetik

Setiap Magnet memiliki sifat kemagnetan. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik benda-benda lain disekitarnya. Kata Magnet diambil dari nama daerah di asia yaitu Magnesia, di tempat inilah bangsa Yunani menemukan sifat magnetik dari bebatuan yang mampu menarik biji besi.

A. Sifat-Sifat Magnet

- Magnet hanya menarik objek tertentu yang ada di sekitarnya. Tidak semua jenis objek dapat ditarik oleh magnet, bahkan jika berada dalam jangkauannya.
- Gaya magnet memiliki kemampuan untuk menembus benda.
- Magnet mempunyai dua kutub, yakni kutub utara dan kutub selatan.
- Apabila dua kutub magnet yang sejenis didekatkan satu sama lain, kedua kutub tersebut akan saling tolak. Sebaliknya, jika dua kutub magnet yang berbeda jenis didekatkan, mereka akan saling tarik.
- Medan magnet akan menghasilkan gaya magnet. Ketika magnet didekatkan, medan magnet akan semakin kuat atau rapat.

- Kemampuan magnet dapat melemah atau hilang karena beberapa faktor, seperti sering terjatuh, terpapar panas tinggi, atau keadaan lainnya.

B. Jenis Bahan Magnet

Berdasarkan sifat kemagnetannya, bahan magnet dapat dibagi menjadi dua jenis secara umum, yaitu bahan magnetik (feromagnetik) dan bahan nonmagnetik.

- **Bahan Magnetik (Feromagnetik)**

Bahan feromagnetik adalah jenis benda yang memiliki kemampuan untuk ditarik dengan kuat oleh magnet. Ketika benda feromagnetik berada dekat dengan magnet, magnet akan menarik benda tersebut. Selain itu, bahan feromagnetik juga dapat dijadikan magnet sendiri. Contoh bahan feromagnetik meliputi baja, besi, nikel, dan kobalt.

- **Bahan Non Magnetik**

Bahan nonmagnetik terbagi atas:

1. Paramagnetik adalah jenis benda yang dapat ditarik dengan kekuatan yang lemah oleh magnet yang kuat. Beberapa contoh bahan paramagnetik termasuk aluminium, tembaga, platina, dan sebagainya.
2. Diamagnetik adalah jenis benda yang menolak magnet. Benda diamagnetik tidak akan tertarik oleh magnet, bahkan saat berada dalam jarak sangat dekat dengan magnet yang kuat. Beberapa contoh benda diamagnetik meliputi emas, seng, merkuri, dan lainnya.

2.1.5 Pellet Besi

Proses peletisasi digunakan untuk membuat pellet bijih besi, dan tahapan utama dalam pembuatan pellet bijih besi melibatkan tiga tahap, yaitu:

1. Tahap pertama dalam pembuatan pellet bijih besi adalah persiapan bahan baku, yang melibatkan proses pengayakan dan penggilingan.

2. Tahap kedua dalam pembuatan pellet bijih besi adalah pembentukan bola pellet (balling), yang melibatkan proses pencampuran, pengadukan, dan membentuk bahan baku menjadi bentuk bola silinder.
3. Tahap ketiga dalam pembuatan pellet bijih besi adalah indurasi, yang merupakan proses untuk meningkatkan kekuatan pellet. Pellet bijih besi sendiri merupakan gumpalan bola yang terbuat dari partikel-partikel halus yang berasal dari konsentrat bijih besi.

Dalam upaya memanfaatkan pasir besi lokal sebagai bahan baku besi baja, pasir besi dicampur dengan batubara sebagai bahan reduktor dan bentonit sebagai perekat. Selanjutnya, bahan-bahan ini digiling hingga mencapai kehalusan mesh 100, kemudian direduksi dalam tungku dan dilebur pada suhu 1500°C selama beberapa jam. Bijih besi dalam bentuk lump ore kemudian dipelet dengan komposisi tertentu sebelum direduksi. Selama proses peletisasi bijih besi, ukurannya diperkecil, sementara suhu reduksi berkisar antara 800-1050°C. Produk yang dihasilkan dari sponge iron ini digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan baja dengan jenis produk berbasis besi atau ferro alloy.

2.1.6 Proses Pengelolaan Pasir Besi Menjadi Pellet Besi (Beta Hartono, 2015)

1. Proses Penghalusan (Grinding)

Untuk menghaluskan pasir besi, digunakan alat penggiling tekanan tinggi bernama Strong Pressure Suspension Grinder. alat ini bertujuan untuk membentuk butiran pasir besi menjadi lebih halus serta memisahkannya asal mineral-mineral lain yg tidak diinginkan seperti kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmaline. Proses penghalusan ini dilakukan sampai berukuran partikel yang lebih kecil dari 120 mesh (0,125 mm).

2. Proses Pencucian

Proses pencucian pasir besi melibatkan penggunaan air untuk mencuci pasir, sehingga kotoran atau lumpur terpisah dari pasir. Setelah itu, pasir besi

dipisahkan atau disortir. Untuk memisahkan bahan logam dan non-logam, pencucian dilakukan dengan menggunakan air dalam mesin silinder yang dilapisi dengan magnet. Jika pasir besi mengandung hematit (Fe_2O_3) atau magnetit (Fe_3O_4) dalam jumlah yang signifikan, proses pemisahan akan berjalan dengan sempurna, sehingga kemurnian oksida besi dapat meningkat.

3. Proses Pemisahan (Magnetic Separator) Screening

Setelah pasir besi mengalami proses penghancuran serta penggilingan, hasilnya akan berupa partikel-partikel menggunakan aneka macam ukuran. Jadi diharapkan pemisahan partikel berdasarkan ukuran agar sinkron dengan kebutuhan pada proses pengolahan selanjutnya. Pengayakan ialah metode pemisahan mekanik yg digunakan sesuai perbedaan berukuran partikel. Pengayakan umumnya dipergunakan pada skala industri, sedangkan penyaringan digunakan dalam skala laboratorium.

4. Proses Pemanggangan (Roasting)

Proses ini dilakukan untuk mengubah bijih hematit (Fe_2O_3) yang banyak terdapat dalam pasir besi menjadi magnetit (Fe_3O_4) yang memiliki kekuatan magnet yang lebih kuat. Hal ini bertujuan agar material non-magnet terpisah dan menghasilkan pasir besi dengan kandungan kadar Fe mencapai 65%.

5. Proses Kalsinasi (Rotary Dryer)

Tujuan proses ini yaitu agar mengurangi kadar air dalam material. Material dimasukkan ke dalam silinder yang berputar berbalik arah dengan arah jarum jam (counter current). Selanjutnya, gas panas dari pembakar disuplai ke dalam silinder untuk mencapai suhu $200\text{--}300^\circ\text{C}$.

6. Proses Pembuatan Pellet (Pan Palletizer)

Sebelum memasuki alat ini, pasir besi dicampur dalam alat mixer agitator dengan komposisi yang telah ditentukan. Lalu Batubara dan binder bentonit juga dicampur ke dalam alat mixer agitator tersebut dengan tujuan agar konsentrat oksida besi halus dapat melekat dan membentuk gumpalan-gumpalan (aglomerisasi) yang disebut pellet basah atau green pellet. Pellet ini memiliki

kekuatan yang cukup kuat untuk digunakan dalam proses selanjutnya. Selain itu, batubara juga berfungsi untuk meningkatkan kadar karbon melalui proses reduksi pada tahap berikutnya. Prinsip kerja alat ini adalah melakukan proses aglomerisasi pada campuran konsentrat bijih besi, batubara, dan binder bentonit. Campuran tersebut dimasukkan secara kontinu ke dalam mesin pelletizing yang berwujud setengah bejana dan diputar dengan kecepatan dan sudut kemiringan tertentu. Pada saat yang sama, air disemprotkan secara kontinu ke dalam mesin. Tahapan pembuatan pelletizing dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Biji besi diubah menjadi partikel-partikel yang halus (serbuk) melalui proses penghancuran.
- b. Kotoran-kotoran dipisahkan dari partikel-partikel biji besi dengan menggunakan metode pemisahan magnet (magnetic separator) atau metode lainnya.
- c. Serbuk biji besi selanjutnya dibentuk menjadi pellet hijau (pellet basah) berupa bola-bola kecil berdiameter antara 12,5 - 20 mm.
- d. Proses pelletizing adalah proses di mana konsentrat biji besi atau mineral dengan ukuran halus digabungkan menjadi partikel berbentuk kelereng dengan ukuran sekitar 10 hingga 25 mm.
- e. Tujuan utama tahap pemeletan atau pelletizing adalah untuk membentuk partikel dengan ukuran yang spesifik agar mudah dalam proses pemindahan dan memenuhi sifat-sifat yang dibutuhkan secara metalurgis.
- f. Pellet yang dihasilkan dari aglomerasi dikenal sebagai pellet basah atau green pellet.
- g. Sementara itu, indurasi adalah proses pemanasan pada produk aglomerasi dengan suhu 1200°C, yang menghasilkan pellet kering atau dikenal juga sebagai besi spons.
- h. Tujuan utama dari proses pemanasan atau pengovenan adalah untuk mencapai sifat-sifat metalurgis pada pellet, seperti kekuatan mekanik dan sifat reduksi. Kekuatan mekanik penting agar pellet dapat mampu menahan beban mekanik selama proses selanjutnya.

- i. Sementara itu, sifat reduksi diperlukan agar proses reduksi dalam pembuatan besi spons dapat berlangsung dengan lebih efisien.
- j. Pada tahap ini, terjadi reaksi antara oksigen yang terkandung dalam udara dengan pellet basah atau green pellet. Kandungan air dan senyawa-senyawa yang mudah terbakar akan dilepaskan. Mineral besi yang semula magnetite (Fe_3O_4) dapat berubah menjadi hematite (Fe_2O_3). Setelah tahapan indurasi atau pemanasan ini akan dihasilkan pellet yang memiliki sifat-sifat metalurgis yang dibutuhkan.
- k. Terakhir, pellet pasir besi dipanaskan melalui proses pemanasan hingga temperatur 1200°C , agar pellet tersebut menjadi keras dan kuat, sehingga tidak mudah rontok.

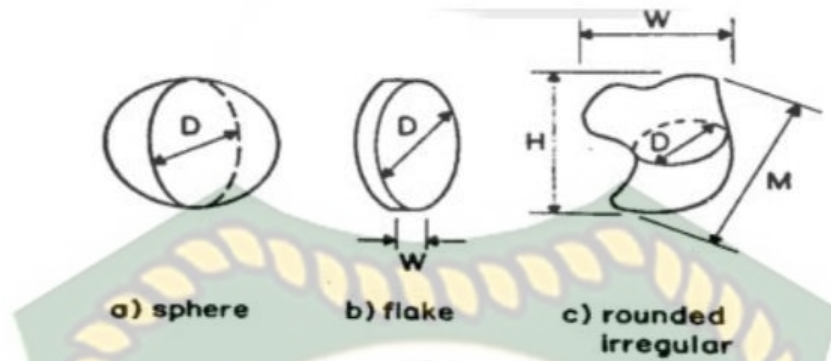
2.2 Metode Menentukan Ukuran Serbuk

Metode yang digunakan untuk menentukan ukuran serbuk, baik secara umum ataupun khusus, ialah suatu pendekatan menentukan diameter partikel serbuk sebagai karakteristik penting. Berikut ini adalah beberapa cara untuk menentukan ukuran serbuk yakni :

1. Possible Size Measure
2. Mikroskopi
3. Particle Size Distribution

2.2.1 Possible size measure

Gambar dibawah ini meperlihatkan ukuran serbuk gambar (a) merupakan berbentuk bola, hanya memiliki satu parameter ukuran yaitu diameter (D), namun bentuk serbuknya lebih kompleks, ukuran serbuk lebih sulit di tentukan secara langsung. Pada gambar (b) merupakan ukuran serbuk berbentuk keping (*flake*), memiliki dua parameter ukur yaitu diameter (D) dam lebar (W). Pada gambar (c) merupakan ukuran serbuk berbentuk bulat tidak beraturan dimana ukuran partikel ditentukan empat parameter ukur yaitu tinggi proyeksi(H), panjang maksimum (M), lebar (W), dan diameter (D).

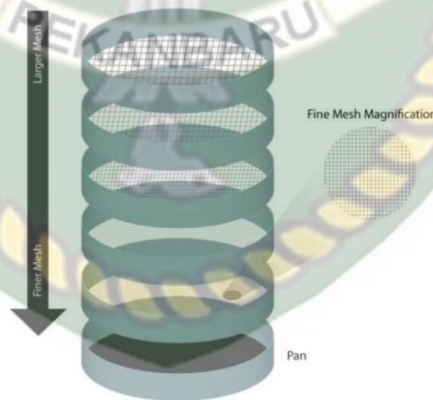


Gambar 2. 2 Possible size measure

(Sumber : German, 1984)

2.2.2 Distribusi Ukuran Partikel

Metode yang lumrah digunakan sebagai penentuan ukuran partikel secara kolektif ialah dengan metode ayakan (*sieve*), seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 3 Prinsip dasar ayakan (sieve)

Sumber : German, 1984

Ukuran ayakan (mesh size) dapat ditentukan berdasarkan jumlah kawat yang terdapat dalam satu satuan panjang. Misalnya, jika ukuran ayakan adalah 200, maka dalam satu inci terdapat 200 kawat dengan jarak diameter kawat sebesar $127 \mu\text{m}$. Jika diameter ayakan adalah $52 \mu\text{m}$, maka ukuran lubang pada ayakan

tersebut adalah 52 μm . Semakin tinggi nilai mesh size, semakin besar lubang-lubang dalam ayakan tersebut, yang berarti ukuran partikel yang dihasilkan oleh ayakan tersebut semakin halus. Standar ukuran ayakan dapat dilihat pada tabel berikut :

Nomor Ayakan	Lubang Ayakan
2	9,5 mm
3,5	5,6 mm
4	4,75 mm
8	2,36 mm
10	2,00 mm
20	850 μm
30	600 μm
40	425 μm
50	300 μm
60	250 μm
70	212 μm
80	180 μm
100	150 μm
120	125 μm
200	75 μm
230	63 μm
270	53 μm
325	45 μm
400	38 μm

Gambar 2. 4 Ukuran pada mesh

Sumber : (U.S Standart, ASTM E 11)

2.3 Ruang Pembakaran

Furnace adalah alat atau sebuah perangkat yang digunakan untuk proses pemanasan. Furnace sangat sangat berguna pada skala industri dan laboratorium. Seperti halnya untuk pembuatan keramik, ekstraksi logam, produksi minyak dan pabrik kimia lainnya. Furnace juga sebagai penerima bahan bakar yang baik, karena terdapat fire gate dibagian alas bawahnya. Pada dinding furnace juga sebagai penerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konveksi, dan konduksi. Gas bahan bakar furnace berkontak langsung dengan bahan baku, maka pemilihan jenis bahan bakar yang digunakan pada pengujian sangatlah penting (Yogantoro, 2012). Muffle furnace ini digunakan sebagai pemanas untuk menggabungkan zat padat pada analisis gravimetric terhadap logam dan komposit. Alat muffle furnace dapat dilihat pada gambar 2.5:



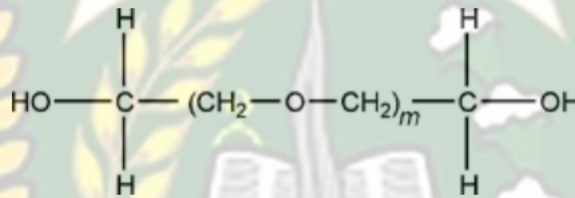
Gambar 2. 5 Muffle Furnace

(Sumber : Arizona Deny, 2014)

Pada penelitian ini perlakuan yang di gunakan yaitu sintering, proses sintering merupakan proses pemanasan pada temperatur tertentu dengan waktu tahan tertentu dengan tujuan memperkuat ikatan antar permukaan serbuk yang telah dikompaksi karena adanya difusi atom di daerah interface serbuk.

2.4 Poli Etilen Glikol (PEG)

Polietilena ialah polimer sintetik hasil dari rekayasa manusia. Polimer sering dikelompokkan atas dasar perilaku mekanik dan struktur molekulnya. Polimer thermoplastik, seperti polietilena, termasuk dalam jenis polimer yang terdapat sifat thermoplastik, yang disebabkan oleh struktur rantai linear, bercabang, atau sedikit bersambung. Polimer jenis ini menjadi lunak dan kental saat dipanaskan, lalu menjadi keras dan kaku saat didinginkan seperti pendapat Saputro pada tahun 2012. Struktur poli etilen glikol pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Struktur Poli Etilen Glikol (PEG)

(Sumber : Rowe et al, 2009)

Polietilenglikol (PEG) adalah polimer yang terbuat dari etilen oksida dan air, dan dapat memiliki berbagai panjang rantai. PEG tersedia di berbagai berat molekul, dengan yang paling umum digunakan ialah Polietilenglikol 200, 400, 600, 1000, 1500, 1540, 3350, 4000, dan 6000. Nomor yang diberikan menunjukkan berat molekul rata-rata, di mana PEG dengan berat molekul 200, 400, dan 600 berbentuk cairan bening tak berwarna, sedangkan PEG dengan berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berbentuk padat seperti lilin putih. Berbagai kombinasi PEG dapat digabungkan dengan cara peleburan. PEG merupakan polimer yang larut dalam air, tidak berwarna, tidak berbau, dan kekentalannya bervariasi tergantung pada jumlah n (panjang rantai), di mana n dapat mencapai maksimum 180. Polimer dengan berat molekul rendah ($n=2$) disebut dietil glikol, sedangkan yang dengan $n=4$ disebut tetra etil glikol. Polimer dengan berat molekul tinggi umumnya disebut poli(etilena glikol). PEG digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam industri farmasi dan tekstil. Beberapa contoh produk yang menggunakan PEG termasuk keramik, proses pembentukan logam, obat

supositoria, krim kosmetik, lotion, deodoran, dan minyak pelumas.

Sifat PEG yang lembut dan memiliki tingkat keberacunan rendah membuatnya banyak digunakan sebagai dasar salep obat dan sebagai bahan pengantar obat. Sifat PEG yang larut dalam air menyebabkan bahan obat mudah terlepas dan diserap lebih cepat oleh kulit daripada minyak yang teremulsi dalam air. Kelembutan PEG dalam air memberikan keuntungan dengan memudahkan penghilangan formulasi setelah mencapai tujuannya (Safitri, 2010). PEG memiliki beberapa keuntungan, di antaranya adalah inert secara fisiologi, tidak mengalami hidrolisis, tidak mendukung pertumbuhan jamur, dan memiliki variasi molekul yang beragam (Astuti, 2008).

Selulosa - PEG dapat disintesis dari dua polimer, yaitu selulosa dan polietilen glikol. Selulosa direndam dalam larutan NaOH 10% untuk menggantikan gugus hidroksil pada selulosa dengan gugus Na etoksi. Polietilen glikol kemudian direaksikan dengan asam klorida 10% dengan penambahan katalis $ZnCl_2$. Asam klorida berperan dalam menggantikan gugus hidroksil dengan gugus alkil. Katalis $ZnCl_2$ hadir untuk membantu menstabilkan dan mempercepat proses pergantian gugus fungsional.

2.5 Perhitungan Volume Mold

Rumus Volume Tabung :

$$V_c = \pi \times r^2 \times t \dots \dots \dots \text{pers}(2.1)$$

Dimana :

V_c = Volume Tabung (cm^3)

π = 3.14

t = Tinggi (cm) d = Diameter

r = jari-jari spesimen

Massa Jenis Pasir Besi = 2.554 g/cm^3

Massa Jenis PEG 400 = 1.13 g/cm^3

2.6 Alat Uji Mikrostruktur



Gambar 2. 7 Alat Uji Mikrostruktur

(Sumber : Firmansyah, 2020)

Bentuk mikro merupakan cerminan dari berkas fasa – fasa yang bisa dicermati lewat metode metalografi. Bentuk mikro sesuatu metal bisa diamati dengan memakai kaca pembesar. Kaca pembesar yang dipakai dengan memakai kaca pembesar optic serta kaca pembesar electron. Saat sebelum diamati dengan kaca pembesar, dataran ilustrasi wajib dibersihkan terlebih dahulu, setelah itu reaksi dengan reagen kimia buat memudahkan observasi. Cara ini dikenal etching. Serta dari bentuk mikro kita bisa memandang :

- a. Dimensi serta struktur butir.
- b. Penyaluran fasa yang ada dalam material khususnya metal.
- c. Kotoran yang ada di dalam material.

2.7 Metode Pengujian Material Teknik

2.7.1 Uji Tekan

Uji tekan adalah suatu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengukur kekuatan benda terhadap gaya tekan dan

memperoleh informasi tentang kekuatan benda tersebut. Uji tekan ini dikenal dengan kinerja yang baik dan berkualitas dalam mengukur kekuatan benda. Biasanya, uji tekan digunakan terutama untuk logam yang cenderung rapuh, karena metode ini dapat mengidentifikasi titik patah yang jelas saat benda tersebut diuji.

Uji tekan adalah suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan material jika diberi beban (Wibowo, 2009). Pengujian ini atas dasar ASTM D 3410 dengan tujuan agar mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji sebagai berikut :

- Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

1. Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

Untuk menghitung kekuatan tekan digunakan persamaan dibawah ini :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{Pers. (2.2)}$$

Dimana :

σ_c = Kekuatan Tekan (MPa)

P = Gaya Pembebanan Maksimum (N)

A = Luas Area (cm²)



Gambar 2. 8 Alat Uji Tekan
(Sumber : Politeknik Kampar)

2.7.2 Uji Kekerasan (Hardness Brinell)



Gambar 2. 9 Alat Uji Kekerasan

(Sumber : Habsari, 2011)

Pengujian brinell dilakukan dengan menekan bola baja yang telah diperkeras (terbuat dari baja krom) dengan diameter tertentu menggunakan gaya tekan statis pada permukaan bola baja dengan diameter 2.5 mm.

Dengan rumus :

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi}{2} \times D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots \text{Pers. (2.3)}$$

Dimana :

P = Beban yang diberikan (Kg atau Kgf)

D = Diameter (mm)

d = Diameter bekas lekukan (mm)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



A

Pengamatan mikrostruktur pellet pasir besi
menggunakan alat uji mikrostruktur

Analisa data hasil pengujian tekan, kekerasan
dan pengamatan mikrostruktur

Hasil dan kesimpulan

Selesai

Dari diagram alir yang disajikan di atas, dapat terlihat bahwa dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui untuk mencapai tujuan penelitian. Berikut adalah tahapan-tahapan yang perlu dilakukan :

✓ *Study literatur*

Pada tahap ini, dilakukan pencarian, pengumpulan, dan pembacaan referensi yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi tersebut dapat berupa skripsi, jurnal ilmiah, modul pembelajaran, dan situs web yang relevan dengan topik penelitian.

✓ *Alat dan bahan*

Pada tahap ini, mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan selama penelitian ini berlangsung hingga selesai.

✓ *Pengayakan*

Pada tahap ini, melakukan pengayakan serbuk pasir besi dengan menggunakan ayakan *sieve* 80 mesh, 100 mesh dan 200 mesh.

✓ *Pembuatan Pellet Besi*

Pada tahap ini, melakukan pembuatan pellet pasir besi dari serbuk pasir besi dengan *mold press* dengan tekanan 5,5 ton.

✓ *Proses sintering dengan menggunakan furnace*

Pada tahap ini, melakukan pemanasan pada pellet pasir besi dengan suhu yang telah ditentukan, yaitu pada suhu 800 °C selama 2 jam.

✓ *Pengujian sifat mekanik menggunakan alat uji tekan dan alat uji kekerasan*

Pada tahap ini, melakukan uji mekanik untuk mengetahui sifat mekanik pada pellet pasir besi.

✓ *Pengamatan mikrostruktur pellet pasir besi*

Pada tahap ini, melakukan pengamatan mikrostruktur pellet pasir besi.

✓ *Analisa data hasil pengujian tekan, kekerasan dan mikrostruktur*

Pada tahap ini, menganalisa data hasil dari masing-masing pengujian.

✓ *Hasil dan Kesimpulan*

Pada tahap ini, mendapatkan hasil dan menyimpulkan hasil dari penelitian yang dilakukan.

3.2 Langkah-Langkah Penelitian

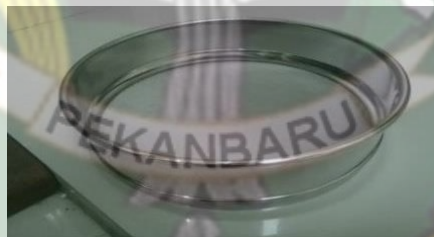
Langkah-langkah dalam penelitian ini untuk penyusun pada bab IV maka penulis membuat skema penelitian sebagai berikut :

1. Persiapkan material yang akan diuji yaitu pasir besi.



Gambar 3. 2 Pasir Besi

2. Pengayakan dengan menggunakan alat uji ayakan (Sieve). Seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Ayakan (Sieve)

3. Pembuatan pellet besi menggunakan *mold press* yang dikompaksi dengan press hidrolik.
4. Proses sintering menggunakan *furnace*.
5. Uji Kuat Tekan.
6. Uji kekerasan (*Hardness*) Brinell.
7. Pengamatan mikrostruktur.
8. Lakukan pembahasan pada setiap gambar, grafik, dan tabel dan hal-hal yang terjadi pada saat penelitian dilakukan.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

3.3.1 Waktu Penelitian

Waktu melakukan penelitian yaitu dimulai pada bulan November 2022 – Januari 2023.

3.3.2 Tempat Penelitian

Pengujian dilakukan di laboratorium Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau (UIR) Pekanbaru, yang terletak di Jl. Kaharuddin Nasution No. 133.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari, yaitu :

1. *Planetary ball mill*

Fungsi mesin *planetary ball mill* disini adalah sebagai alat penghancur yang digunakan untuk penghalusan pasir besi. Seperti yang terlihat pada gambar 3.4. Tempat penelitian di Laboratorium program studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.



Gambar 3. 4 Planetary ball mill

2. Pres Hidrolik

Fungsi dari Pres Hidrolik yang bermerek Krisbow type 10 t disini digunakan sebagai alat untuk menekan mol pembuatan pellet pasir besi. Seperti terlihat pada gambar 3.5. Tempat penelitian dilakukan di

Laboratorium Mekanika Reservoir Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.



Gambar 3. 5 Pres Hidrolik

3. Cetakan Pellet Komposit (Mold Press)

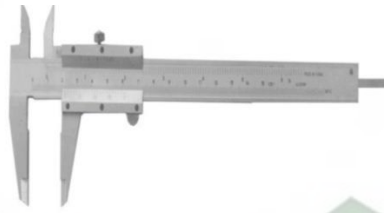
Cetakan pellet digunakan untuk media pencetakan serbuk pasir besi menjadi pellet besi yang kemudian dikompaksi. Dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Mold Press (Cetakan Pellet)

4. Jangka Sorong

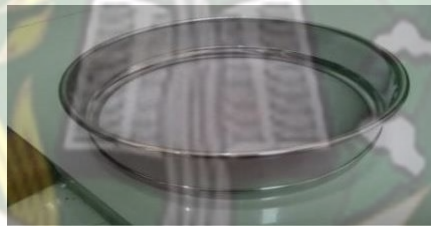
Jangka sorong ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu benda kerja. Fungsinya yaitu sebagai alat pengukur diameter. Seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Jangka Sorong

5. Ayakan (Sieve)

Ayakan ialah sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu benda kerja. Fungsinya yaitu sebagai alat pengukur bahan pengujian (pasir besi). Seperti yang terlihat pada gambar 3.8. Tempat penelitian di Laboratorium program studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.



Gambar 3. 8 Ayakan

6. Timbangan Digital

Timbangan digital adalah timbangan yang bekerja secara elektronik dengan tenaga listrik. Indikator timbangan ini berupa angka digital pada layar baca. Fungsinya yaitu sebagai alat ukur pasir besi. Seperti yang terlihat pada gambar 3.9. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Reservoir Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.



Gambar 3. 9 Timbangan Digital

7. Gelas Ukur

Gelas ukur adalah peralatan laboratorium yang pada umumnya digunakan untuk mengukur volume fluida. Fungsinya sebagai wadah untuk mengukur berat pasir besi. Seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Gelas Ukur

8. Timer

Fungsi *timer* adalah untuk mengukur waktu dari proses penghalusan pasir besi. Seperti yang terlihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Timer

9. Furnace Muffle

Peralatan yang digunakan sebagai proses sintering yaitu furnace, krusible graphite, klem (penjepit) dan sarung tangan. Untuk spesifikasi alat tersebut dapat diuraikan pada gambar 3.12, 3.13, 3.14, dan 3.15. Tempat penelitian di Laboratorium Material Manufaktur Teknik Mesin UIR.

a. Furnace

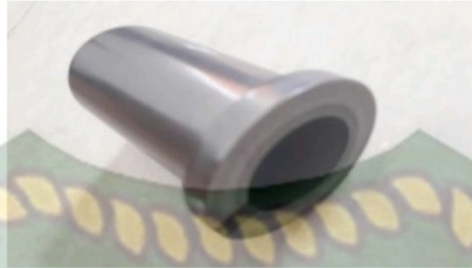


Gambar 3. 12 Muffle Furnance

Spesifikasi Bahan :

- Merek : Thermolyne Muffle Furnace 1500°C
- Ukuran Produk : 1.3 Liter
- Kapasitas : 0.04 cu.ft., 1.3 Liter
- Kedalaman Interior : 13 cm
- Dimensi Interior : 13 x 10.3 x 9.8 cm
- Dimensi Exterior : 33 x 23 x 36 cm
- Konsumsi Daya : 1060 Watt
- Suhu Range : 1500°C
- Tegangan : 240 Volt

b. Krusible Graphite



Gambar 3.13 Crusible Grafit

Spesifikasi Bahan :

- Merek : Longtai
- Tempat Produksi : Shandong, China
- Komposisi : Carbon Campuran
- Model : LT
- Ketebalan : 3 mm
- Suhu Kerja : 1560 ° C
- Bentuk : Silinder
- Ukuran : 85 x 105 x 75 mm
- Warna : Hitam
- Refraktori : 1630 ° C
- Porositas : 32 %
- Tipe : Tanah Liat Grafit Wadah

c. Penjepit



Gambar 3.14 Penjepit krusible

Spesifikasi Bahan :

- Merek : Ansell
- Ukuran Panjang : 40 cm
- Kegunaan : Untuk mengambil wadah yang tidak bisa dipegang

d. Sarung Tangan



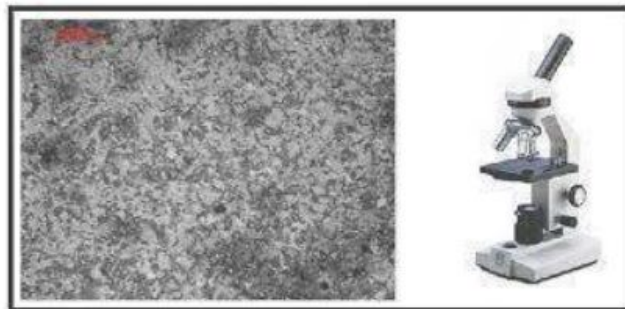
Gambar 3. 15 Sarung Tangan

Spesifikasi Bahan :

- Merek : Ansell Hi – Flex
- Kegunaan : Sebagai media penahan panas

10. Alat Uji Mikrostruktur

Alat uji struktur mikro digunakan untuk memvisualisasikan struktur mikro pada pellet pasir besi. Rincian tentang gambar alat uji struktur mikro dapat ditemukan pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Alat Uji Mikrostruktur

11. Alat Uji Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan spesimen uji. Pengujian kuat tekan dilakukan di Politeknik Kampar. Dapat dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3. 17 Alat Uji Tekanan

12. Alat Uji Kekerasan (*Hardness*)

Dilakukan untuk agar mendapatkan nilai kekuatan mekanis dari sampel pellet besi. Gambar alat uji kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.18. Tempat di Laboratorium program studi Teknik Mesin Politeknik Caltex Riau.



Gambar 3. 18 Alat Uji Kekerasan Brinell

(Sumber : Lab Mesin Produksi Politeknik Caltex Riau)

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari yaitu :

1) Pasir Besi

Pasir besi disini digunakan sebagai bahan yang akan digunakan sebagai material penelitian. Seperti yang terlihat pada gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Pasir Besi

(Sumber: *artikel.rumah123*)

2) Larutan PEG 400

Larutan PEG 400 disini digunakan sebagai bahan yang akan digunakan sebagai bahan campuran serbuk pasir besi untuk pembuatan pellet besi. Seperti yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Larutan PEG

3.5 Metode Pembuatan Pellet Besi

Langkah-langkah pembuatan pellet besi yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Menyiapkan semua bahan baku serbuk pasir besi dan poli etilen glikol 400. Pada proses pembuatan pellet pasir besi ini, serbuk pasir besi yang sudah diayakan diaduk dalam wadah dengan campuran PEG-400 dan ditimbang beratnya dengan komposisi perbandingan 90 % serbuk pasir besi dan 10 % PEG 400 yang selanjutnya akan dicetak menggunakan *mold press* dan dikompaksi dengan press hidrolik dengan beban sebesar 5,5 ton.

Berdasarkan cetakan yang digunakan dapat dihitung dengan VC (Volume Cetakan) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \pi \times r^2 \times t \\
 &= 3,14 \times 1,272^2 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ cm} \\
 &= 5,08 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

1. Massa Jenis Pasir Besi = 2,554 gr/cm³
2. Massa Jenis PEG 400 = 1,13 gr/cm³

Berdasarkan massa jenis pada pasir besi dan PEG 400 sebagai berikut :

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

Keterangan :

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

$$m = \text{Massa (kg atau gr)}$$

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

Perhitungan massa Polietilen Glikol 400 dan Pasir Besi sebanyak 100 % yaitu :

1. Massa PEG 400 = 5,08 cm³ x 1,13 g/cm³ = 5,74 gr
2. Massa Pasir Besi = 5,08 cm³ x 2,554 gr/cm³ = 12,97 gr

Perhitungan massa yang diinginkan dengan komposisi PEG 10 % : Pasir Besi 90 % sebagai berikut :

$$\text{PEG 400} = 10 \% \times 5,74 \text{ gr} = 0,574 \text{ gr}$$

$$\text{Pasir Besi} = 90 \% \times 12,97 \text{ gr} = 11,67 \text{ gr}$$

3.6 Analisa dan Pengujian Sampel

3.6.1 Analisa Uji Tekan

Pengujian ini mengacu pada standard ASTM D3410 dengan type HUNG TA HT-8503. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari kekuatan spesimen uji yaitu pellet pasir besi. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Kampar.



Gambar 3. 21 Alat Uji Tekanan

3.6.2 Analisa Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu bahan dalam menerima tekanan dari benda keras dengan ukuran tertentu seperti 1-2,4,8. Dalam penelitian ini, metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah Brinell Hardness Tester. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen. Uji kekerasan dilakukan di Laboratorium Mesin Produksi Politeknik Caltex Riau.



Gambar 3. 22 Alat Uji Kekerasan Brinell

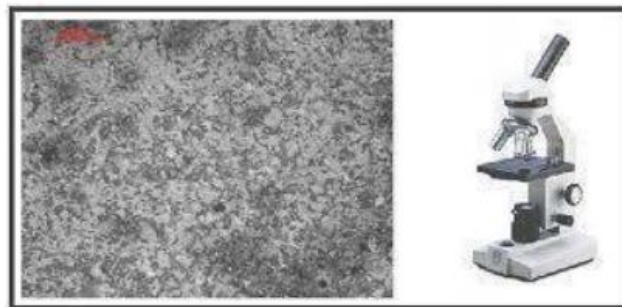
(Sumber : Lab Mesin Produksi Politeknik Caltex Riau)

Deskripsi gambar 3.22

Jenis: Alat uji kekerasan dapat langsung mengkonversikan nilai kekerasan material dan jenis indentor yang digunakan sesuai dengan kebutuhan.

3.6.3 Pengamatan Mikrostruktur

Tujuan dari pengamatan struktur mikro adalah untuk mengamati dan menganalisis jenis serta bentuk dari struktur mikro suatu benda. Untuk melakukan pengamatan struktur mikro, benda uji terlebih dahulu dipotong pada bagian spesimen yang memiliki tingkat kekerasan tertentu, yaitu pada bagian ujungnya. Proses pengamatan mikrostruktur ini dilakukan di Laboratorium Material Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Riau.



Gambar 3. 23 Alat Uji Mikrostruktur

Deskripsi gambar 3.23

Merk : OLYMPUS U-MSSP4

Jenis : Tujuan alat ini ialah untuk menganalisis jenis dan bentuk struktur mikro dari spesimen uji. Berikut ini adalah langkah-langkah eksperimen yang dilakukan dalam pengamatan struktur mikro :

- 1) Potongan diampelas dengan kertas pasir.
- 2) Setelah itu dicuci menggunakan air yang mengalir.
- 3) Kemudian dikeringkan menggunakan tisu.
- 4) Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan alat mikroskop optik OLYMPUS U-MSSP4 yang tersambung dengan program komputer. Spesimen ditempatkan di atas bidang uji atau meja mikroskop dan didekatkan dengan mikroskop optik.
- 5) Pembesaran 10x sampai 100x dan diambil photo dari masing-masing spesimen. Fokus pada mikroskop lalu diputar agar mendapatkan pengamatan yang bagus pada spesimen.
- 6) Setelah mendapatkan focus dan pencahayaan yang pas, lalu diambil photo dari spesimen.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Pellet Pasir Besi

Pada proses pembuatan pellet pasir besi ini, serbuk pasir besi yang sudah diayak sesuai dengan ukuran partikel 80 mesh, 100 mesh dan 200 mesh, diaduk dalam wadah dengan campuran PEG 400 dengan perbandingan 90% pasir besi dan 10% PEG 400 dengan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan dan setelah itu dimasukkan ke dalam cetakan pellet (*mold press*) dan kemudian dikompaksi dengan menggunakan press hidrolik dengan tekanan 5,5 ton.

Volume Cetakan *mold press* :

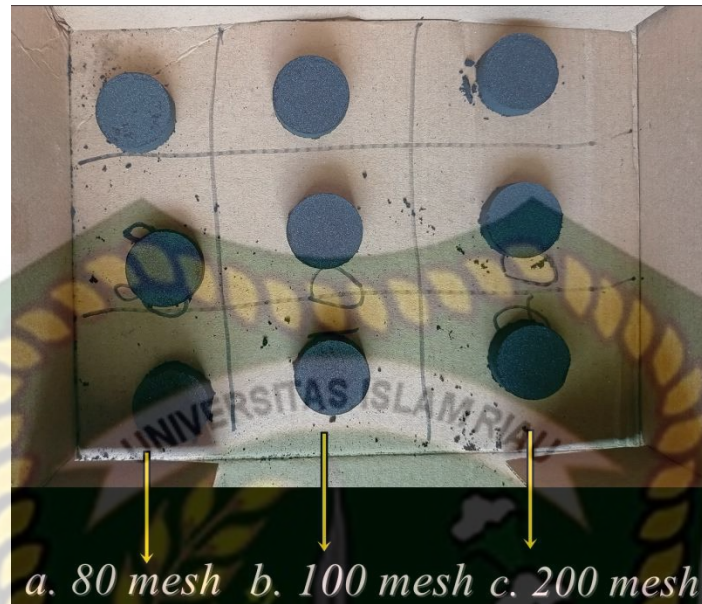
$$\begin{aligned} V_c &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times 1,272 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ cm} \\ &= 5,08 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan massa 100% PEG 400 dan Pasir Besi :

1. Massa 100% PEG 400 = $V_c \times \rho \text{ PEG 400}$
 $= 5,08 \text{ cm}^3 \times 1,13 \text{ gr/cm}^3$
 $= 5,74 \text{ gr}$
2. Massa 100% Pasir Besi = $V_c \times \rho \text{ Pasir Besi}$
 $= 5,08 \text{ cm}^3 \times 2,554 \text{ gr/cm}^3$
 $= 12,97 \text{ gr}$

Untuk menghitung massa yang diinginkan dengan komposisi PEG 10 % : Pasir Besi 90 % sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{PEG 400} &= 10 \% \times 5,74 \text{ gr} = 0,574 \text{ gr} \\ \text{Pasir Besi} &= 90 \% \times 12,97 \text{ gr} = 11,67 \text{ gr} \end{aligned}$$



Gambar 4. 1 Sampel setelah dikompaksi dengan ukuran partikel yang berbeda

Pada gambar 4.1 Pellet Pasir Besi dengan komposisi yang sama tetapi dengan ukuran partikel yang berbeda setelah dikompaksi dengan tekanan 5,5 ton. a. sample dengan ukuran partikel 80 mesh, b. sample dengan ukuran 100 mesh, dan c. sample dengan ukuran 200 mesh.

4.2 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas ini bertujuan agar mensintering serbuk pasir besi yang dicampur dengan PEG 400 untuk pembuatan pellet pasir besi, dengan suhu dan waktu yang telah ditentukan sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Sampel setelah disintering pada suhu 800 C selama 2 jam

Pada gambar 4.2 dapat dilihat sample setelah dilakukan sintering pada suhu 800°C selama 2 jam. a. Sample dengan ukuran partikel 80 mesh, b. Sample dengan ukuran partikel 100 mesh, dan c. Sample dengan ukuran partikel 200 mesh.

Maka dapat disimpulkan bahwa sample setelah dilakukan proses sintering dengan menggunakan *furnace* mengalami perubahan warna dan sample menjadi padat dan keras.

4.3 Uji Kekerasan Menggunakan *Hardness Brinell Tester*

- ✚ Uji kekerasan pada pengencang berulir (Baut, Sekrup, Mur)
Brinell (ISO 6506-1) diperbolehkan untuk penentuan kekerasan.

→ Untuk pengujian kekerasan terhadap Brinell terutama dilakukan dengan HBW 1/30 atau HBW 2,5/187,5. Artinya adalah untuk mendapatkan nilai hardness brinell dengan menggunakan indenter 1 mm dengan beban 30 kgf atau memakai indenter 2,5 mm dengan beban 187,5 kgf. Untuk waktu yang dilakukan 10-15 detik.

Uji kekerasan dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen bahan pengisi serbuk pasir besi. Standar yang digunakan pada pengujian kekerasan brinell adalah ASTM E-10 atau ISO 6506-1. Tabel 4.1 dibawah ini merupakan table hasil uji kekerasan brinell yang telah dilakukan.

Tabel 4.1 Nilai dari Pengujian Kekerasan Brinell

No.	Perbandingan Mesh	Beban (P) (Kgf)	Jenis Indentor (mm)	Nilai Kekerasan (Kg/mm ²)
1.	80 Mesh	62,5	2,5	1,909
2.	100 Mesh	62,5	2,5	1,950
3.	200 Mesh	62,5	2,5	2,888

Pada tabel 4.1 di atas merupakan nilai-nilai pengujian kekerasan, nilai yang didapat adalah nilai beban uji (P), indentasi rata-rata (d), jenis indentor yang digunakan, dan nilai kekerasan spesimen.

Pada tabel tersebut dipakai beban sebesar 62,5 kgf, jenis indentor yang digunakan sebesar 2,5 mm dan hasil dari sample uji 80 mesh, 100 mesh, dan 200 mesh didapatkan nilai kekerasan pada sample dengan ukuran partikel 80 mesh sebesar 1,909 Kg/mm². Sample dengan ukuran partikel 100 mesh mendapatkan nilai kekerasan sebesar 1,950 Kg/mm². Dan sample dengan ukuran partikel 200 mesh mendapatkan nilai kekerasan sebesar 2,888 Kg/mm².

Maka dapat disimpulkan berdasarkan data hasil pengujian kekerasan yaitu ukuran partikel serbuk pasir besi berpengaruh terhadap kekerasan sample uji. Karena semakin halus atau kecil ukuran partikel maka akan semakin meningkat nilai kekerasannya karena terjadi pemadatan partikel sehingga masing-masing partikel saling mengikat satu sama lain atau terjadinya *cross linking*.

❖ Perhitungan Uji Kekerasan

1. Spesimen 1 dengan ukuran *mesh* 80

Diket :

P = 62,5 kgf (Hancur pada beban 8,5 kgf)

D = 2,5 mm

d = 2,094 mm

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{BHN} &= \frac{P}{\frac{\pi}{2}XD(D-\sqrt{D^2-d^2})} \\ &= \frac{8,5}{1,57 \times 2,5(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 2,094^2})} \\ &= \frac{8,5}{1,57 \times 2,5(1,1342889)} \\ &= \frac{8,5}{4,452084} = 1,909 \text{ Kg/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Spesimen 2 dengan ukuran *mesh* 100

Diket :

P = 62,5 kgf (Hancur pada beban 8,5 kgf)

D = 2,5 mm

d = 2,078 mm

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{BHN} &= \frac{P}{\frac{\pi}{2}XD(D-\sqrt{D^2-d^2})} \\ &= \frac{8,5}{1,57 \times 2,5(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 2,078^2})} \\ &= \frac{8,5}{1,57 \times 2,5(1,110066)} \\ &= \frac{8,5}{4,357009} = 1,950 \text{ Kg/mm}^2 \end{aligned}$$

3. Spesimen 3 dengan ukuran *mesh* 200

Diket :

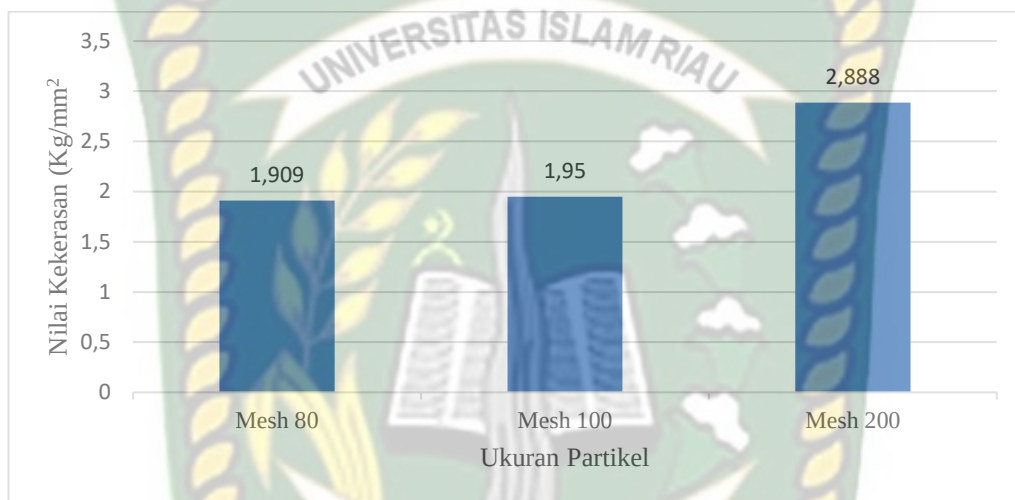
P = 62,5 kgf (Hancur pada beban 12,5 kgf)

D = 2,5 mm

d = 2,073 mm

Jawab :

$$\begin{aligned}
 \text{BHN} &= \frac{P}{\frac{\pi}{2}XD(D-\sqrt{D^2-d^2})} \\
 &= \frac{12,5}{1,57 \times 2,5(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 2,073^2})} \\
 &= \frac{12,5}{1,57 \times 2,5(1,102619)} \\
 &= \frac{12,5}{4,327779} = 2,888 \text{ Kg/mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kekerasan Brinell

Pada gambar 4.3 diatas terlihat grafik uji kekerasan brinell tiga sample dengan ukuran *mesh* yang berbeda namun dengan satu komposisi yang sama yaitu 90 % serbuk pasir besi dan 10 % PEG 400. Sample dengan ukuran partikel 80 mesh mendapatkan nilai kekerasan sebesar 1,909 Kg/mm², sample dengan ukuran partikel 100 mesh mendapatkan nilai kekerasan sebesar 1,950 Kg/mm², dan sample dengan ukuran partikel 200 mesh mendapatkan nilai kekerasan sebesar 2,888 Kg/mm².

Maka dapat disimpulkan pada grafik diatas yaitu bahwa semakin halus atau kecil ukuran partikel serbuk pasir besi maka semakin meningkat nilai kekerasannya. Dikarenakan ukuran partikel serbuk pasir besi yang lebih halus akan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi, karena terjadi pemadatan partikel sehingga masing-masing partikel saling mengikat satu sama lain atau terjadinya *cross linking*.

4.4 Uji Kuat Tekan

Pengujian ini mengacu pada standard ASTM D3410 dengan type HUNG TA HT-8503. Uji kuat tekan dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan pada pellet pasir besi.

Tabel 4.2 Nilai dari Pengujian Kuat Tekan

Spesimen Dengan Variasi Ukuran Partikel	Max Force (N)	Compressive Strength (Mpa)
80 Mesh	83,3	0,16
100 Mesh	83,5	0,16
200 Mesh	122,5	0,24

Nilai dari table 4.2 diatas ialah nilai dari pengujian kuat tekan yang telah dilakukan pengujian.

❖ Perhitungan Uji Kuat Tekan

1. Spesimen 80 Mesh

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad A = \pi r^2$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{P}{\pi \cdot r^2} \\
 &= \frac{83,3}{3,14 \cdot 1,272^2} \\
 &= \frac{83,3}{3,14 \cdot 1,617} \\
 &= \frac{83,3}{5,077} \\
 &= 16,40 \text{ N/cm}^2 \\
 &= 0,16 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

2. Spesimen 100 Mesh

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad A = \pi r^2$$

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi \cdot r^2}$$

$$= \frac{83,5}{3,14 \cdot 1,272^2}$$

$$= 16,44 \text{ N/cm}^2$$

$$= 0,16 \text{ Mpa}$$

3. Spesimen 200 Mesh

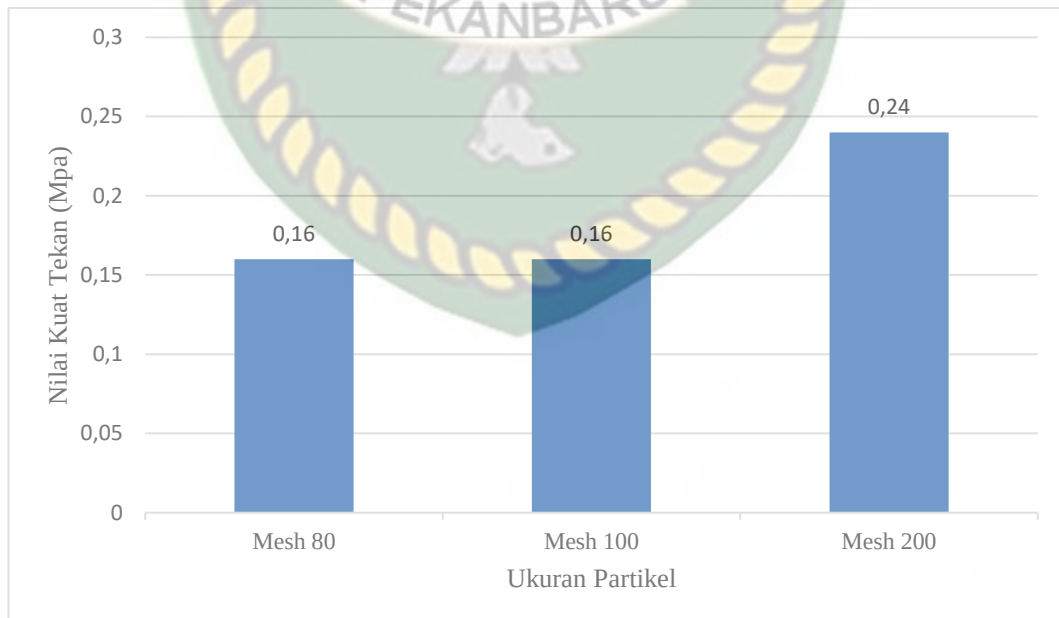
$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad A = \pi r^2$$

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi \cdot r^2}$$

$$= \frac{122,5}{3,14 \cdot 1,272^2}$$

$$= 24,12 \text{ N/cm}^2$$

$$= 0,24 \text{ Mpa}$$



Gambar 4. 4 Pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kuat tekan

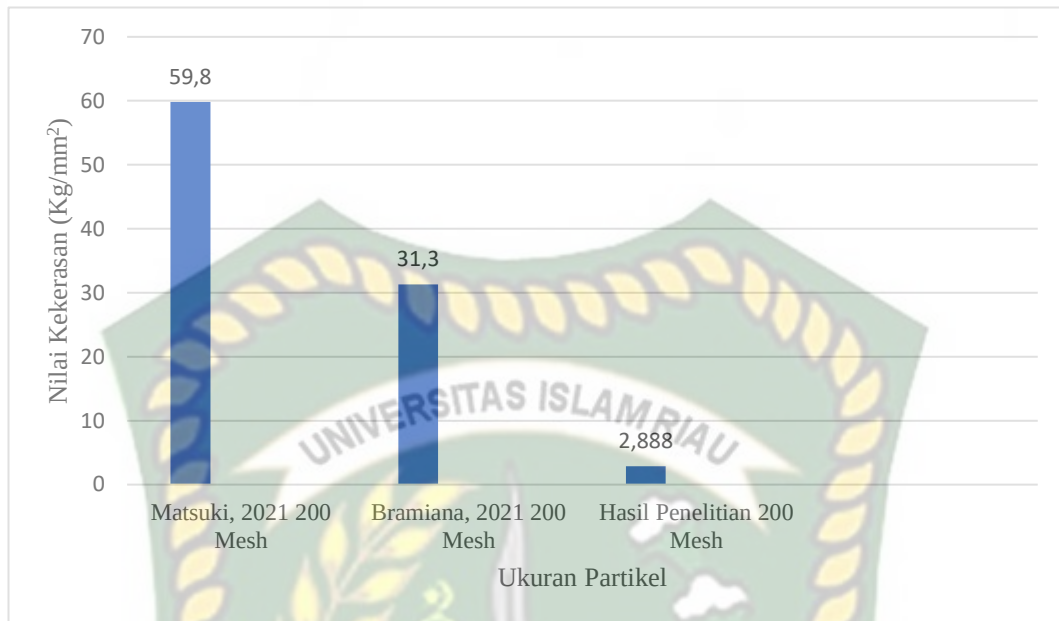
Pada gambar 4.4 diatas terlihat grafik uji kuat tekan dengan terdapat tiga sample dengan ukuran *mesh* yang berbeda namun dengan satu komposisi yang sama yaitu 90 % serbuk pasir besi dan 10 % PEG 400. Pada sample pertama dengan ukuran partikel 80 mesh mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 0,16 Mpa, sample kedua dengan ukuran partikel 100 mesh mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 0,16 Mpa, dan sample ketiga dengan ukuran partikel 200 mesh mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 0,24 Mpa.

Maka dapat disimpulkan pada grafik diatas yaitu bahwa semakin halus atau kecil ukuran partikel serbuk pasir besi maka semakin tinggi nilai kuat tekannya. Dikarenakan ukuran partikel serbuk pasir besi yang lebih halus akan menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi karena terjadinya pemadatan partikel sehingga masing-masing partikel saling mengikat satu sama lain atau terjadinya *cross linking*.

4.5 Perbandingan Penelitian Dengan Penelitian Sebelumnya

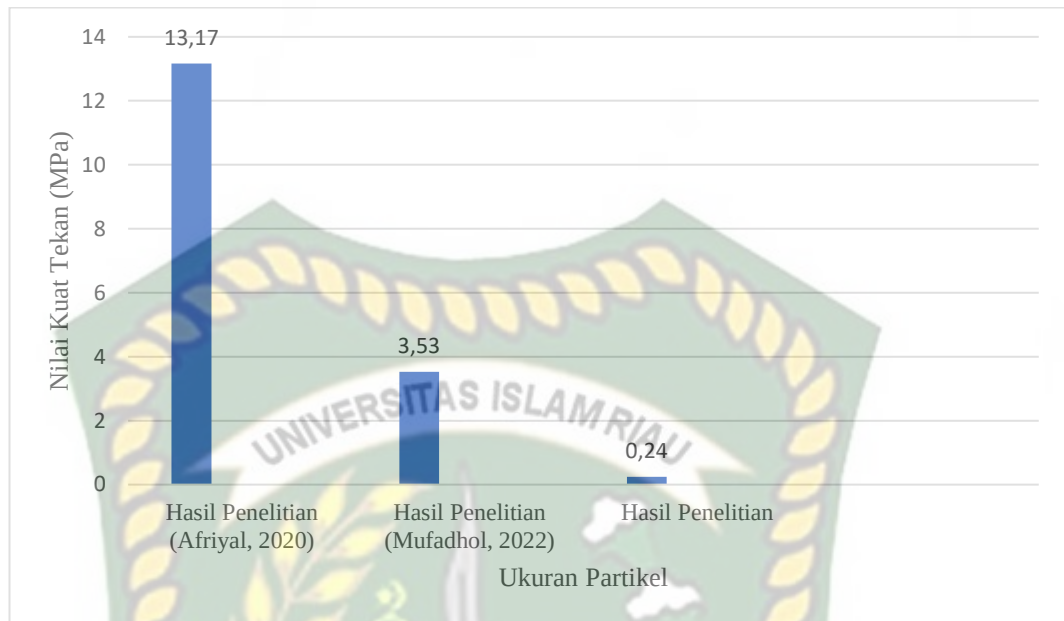
Tabel 4.3 Perbandingan penelitian dengan penelitian sebelumnya

Properties	Hasil Penelitian (Matsuki, 2021)	Hasil Penelitian (Bramiana, 2021)	Hasil Penelitian		
Uji Kekerasan (Kg/mm ²)	200 Mesh	200 Mesh	80 Mesh	100 Mesh	200 Mesh
	59,8	31,3	1,909	1,950	2,888
Uji Tekan (MPa)	Hasil Penelitian (Afriyal Rovaldi, 2020)	Hasil Penelitian (Mufadhol, 2022)	Hasil Penelitian		
	13,7	3,53	0,16	0,16	0,24



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan Uji Kekerasan

Pada gambar 4.5 dapat dilihat hasil dari uji kekerasan terhadap pellet pasir besi pada pengujian ini mendapatkan nilai sebesar 2,888 Kg/mm² dengan ukuran partikel 200 mesh, sedangkan pada penelitian sebelumnya (Matsuki, 2021) uji kekerasan pada pellet pasir besi mendapatkan hasil yaitu sebesar 59,8 HRC dengan ukuran partikel 200 mesh atau sama dengan 613 BHN (*Brinell Hardness Number*) dan pada penelitian (Bramiana, 2021) mendapatkan hasil yaitu sebesar 31,3 HRC dengan ukuran partikel 200 mesh atau sama dengan 290 BHN. Pada hasil perbandingan ini begitu besar hasil perbandingannya walaupun pada penelitian sebelumnya menggunakan metode uji kekerasan Rockwell, sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode uji kekerasan Brinell. Dan juga hal ini dikarenakan komposisi dan waktu sintering yang digunakan pada penelitian sebelumnya lebih baik dibandingkan yang digunakan pada penelitian sekarang ini.



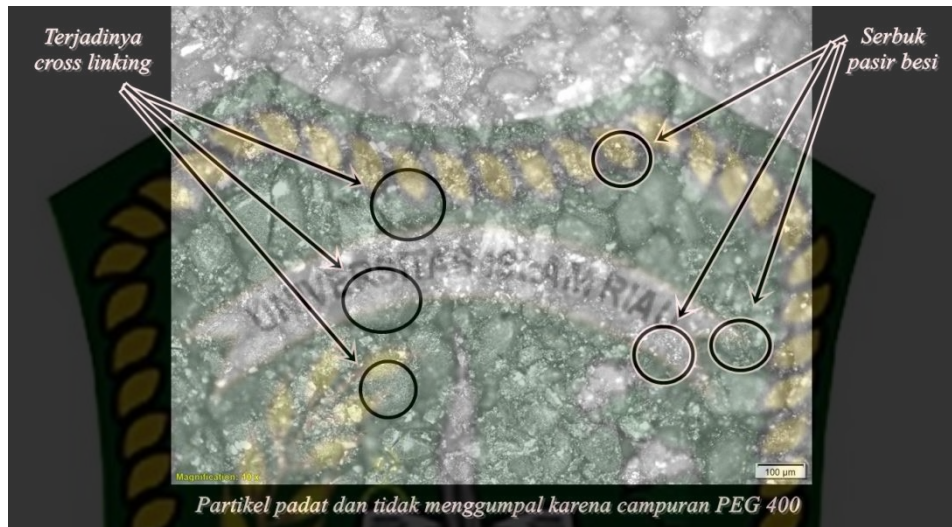
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan uji kuat tekan

Pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil dari uji kuat tekan pada penelitian sebelumnya (Afriyal, 2020) mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 13,17 MPa, pada penelitian sebelumnya juga (Mufadhol, 2022) mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 3,53 MPa dan pada penelitian ini mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 0,24 MPa. Pada perbandingan penelitian hasil uji kuat tekan ini dapat dilihat bahwa penelitian terdahulu memiliki nilai kuat tekan yang tinggi karena waktu dan suhu sintering yang digunakan lebih baik dibandingkan penelitian sekarang ini.

4.6 Pengamatan Mikrostruktur

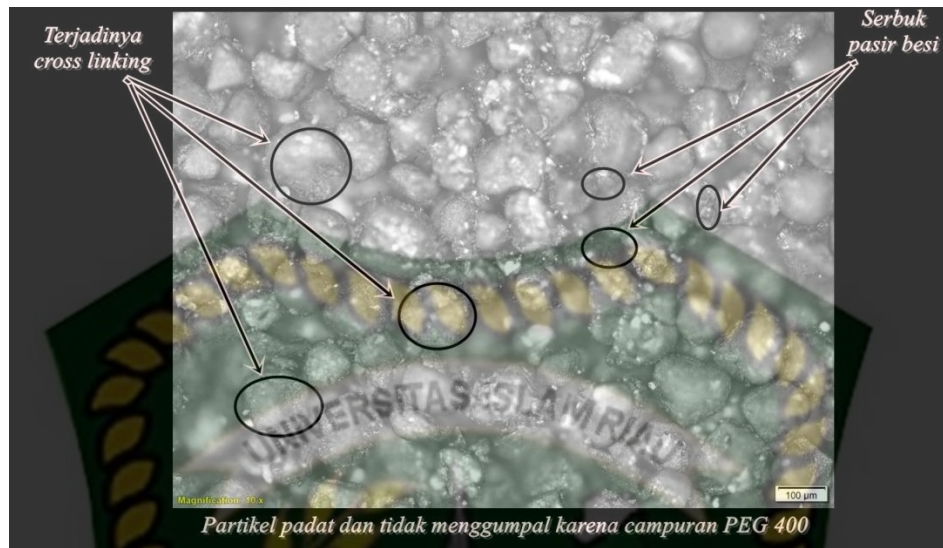
Melakukan Pengamatan mikrostruktur bertujuan melihat dan menganalisa jenis dan bentuk struktur mikro pada pellet pasir besi yang dicampur dengan PEG 400. Pengamatan juga dilakukan untuk melihat distribusi penyebaran campuran PEG 400 dan serbuk pasir besi yang berukuran nano pada pellet pasir besi dan melihat bentuk permukaan pellet pasir besi.

Pengamatan struktur mikro pada specimen pellet pasir besi yang dicampur dengan PEG 400 dilihat pada gambar dibawah ini :



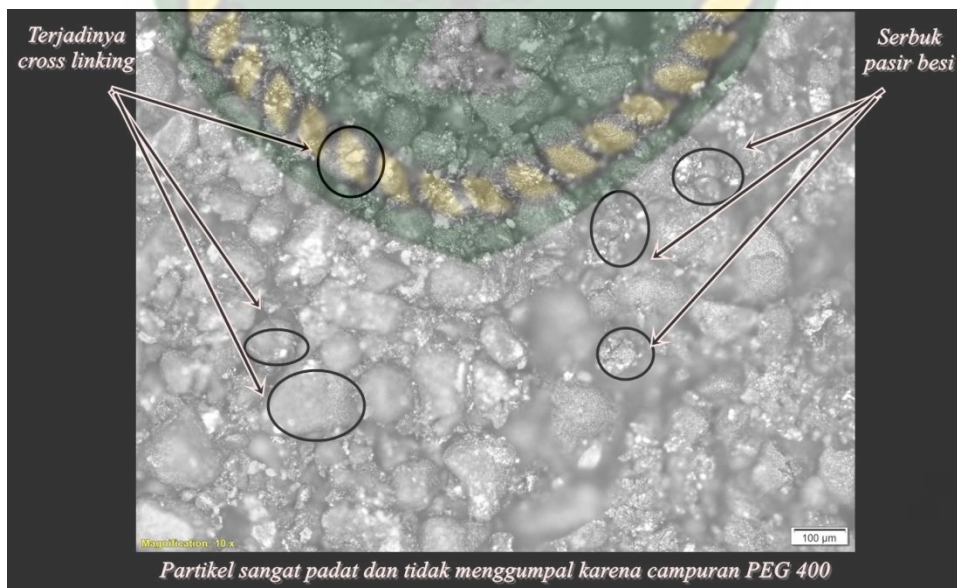
Gambar 4. 7 Pengamatan Mikro Spesimen 80 Mesh (180 µm)

Dari gambar 4.7 dapat dilihat morfologi dari pengamatan mikrostruktur pada pellet dengan ukuran partikel 80 mesh diatas bahwa permukaan pellet pasir besi antara serbuk pasir besi dan PEG 400 dengan perbandingan 90% serbuk pasir besi dan 10 % PEG 400 memiliki permukaan yang terdapat sedikit PEG 400 karena ukuran partikel serbuk pasir besi memiliki ukuran partikel yang besar yaitu 80 mesh (180 µm) dan memiliki sifat mekanik yang rendah, karena ukuran partikel besar dan tampak berpori.



Gambar 4. 8 Pengaruh Mikro 100 Mesh (150 μm)

Dari gambar 4.8 dapat dilihat morfologi dari pengamatan mikrostruktur pada pellet pasir besi dengan ukuran partikel 100 mesh dengan komposisi yang sama, memiliki permukaan yang tampak sedikit PEG 400 dan lebih banyak tampak terlihat partikel serbuk pasir besi dengan ukuran partikel 150 μm dan memiliki sifat mekanik yang rendah, karena ukuran partikel besar dan tampak berpori.



Gambar 4. 9 Pengaruh Mikro 200 Mesh (75 μm)

Dari gambar 4.9 dapat dilihat morfologi dari pengamatan mikrostruktur pada pellet pasir besi dengan ukuran partikel 200 mesh dengan komposisi yang sama, memiliki permukaan yang beraturan antara serbuk pasir besi dan PEG 400 pasti karena ukuran partikelnya yang sangat kecil yaitu $75\ \mu\text{m}$ dan memiliki sifat mekanik yang tinggi dengan memiliki nilai kekerasan dan kekuatan tekan yang tinggi, karena ukuran partikel kecil tampak beraturan dan tidak tampak berpori.

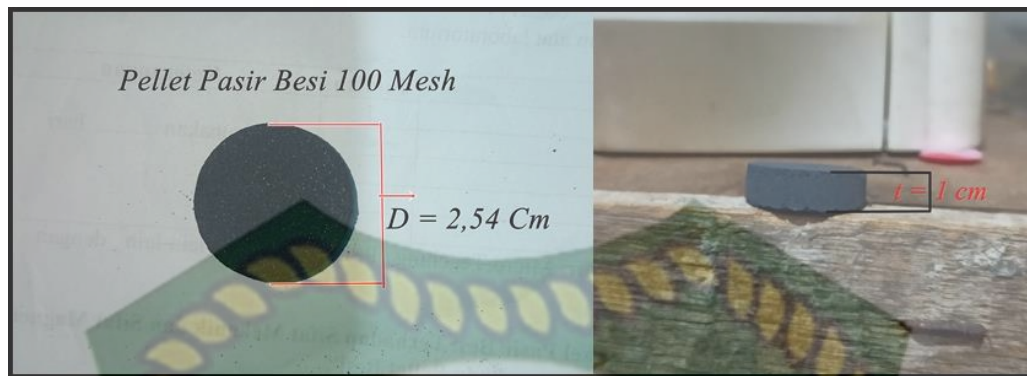
Maka dapat disimpulkan dari ketiga sample tersebut dengan komposisi yang sama yaitu 90 % serbuk pasir dan 10 % PEG 400, bahwa semakin halus atau kecil ukuran partikel pada sample pellet pasir besi maka semakin tinggi pula sifat mekanik yang didapatkan dan pada pengamatan mikrostruktur dapat dilihat bahwa permukaan sample yang ukuran partikelnya kecil terlihat tampak beraturan dan tidak berpori antara serbuk pasir besi dan PEG 400. Dikarenakan terjadinya pemadatan partikel sehingga masing-masing partikel saling mengikat satu sama lain atau terjadinya *cross linking*.

4.7 Hasil dan Bentuk Sample

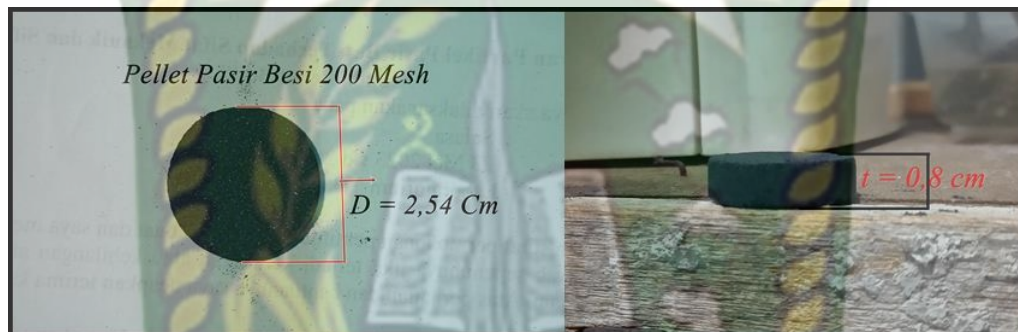
Dibawah ini dapat dilihat hasil dan bentuk sample pellet pasir besi dengan komposisi 90% serbuk pasir besi dan 10% PEG 400 dengan ukuran partikel bervariasi yaitu 80 mesh, 100 mesh dan 200 mesh.



Gambar 4. 10 Pellet Pasir Besi 80 Mesh



Gambar 4. 11 Pellet Pasir Besi 100 Mesh



Gambar 4. 12 Pellet Pasir Besi 200 Mesh

Dari ketiga gambar pellet pasir besi di atas terdapat perbandingan, yaitu :

1. Dari gambar 4.10 pada saat dilakukan analisa mikrostruktur pada pellet pasir besi dengan komposisi 90% serbuk pasir besi dan 10% PEG 400, memiliki permukaan yang terdapat sedikit PEG 400 karena ukuran partikel serbuk pasir besi memiliki ukuran yang besar yaitu 180 μm . Pada saat dilakukannya pengujian kekerasan brinell, pellet pasir besi dengan ukuran partikel 80 mesh dengan komposisi 90% serbuk pasir besi dan 10% PEG 400 hancur pada saat menerima beban gaya sebesar 8,5 kgf. Memiliki nilai kekerasan sebesar 1,909 Kg/mm² dan nilai kuat tekan sebesar 0,16 Mpa. Ukuran pellet pasir besi dengan ukuran partikel 80 mesh memiliki diameter 2,54 cm dan tinggi 1 cm.
2. Dari gambar 4.11 pada saat dilakukannya analisa mikrostruktur

pada pellet pasir besi dengan komposisi 90% serbuk pasir besi dan 10% PEG 400, memiliki permukaan yang sangat jelas tampak mikrostruktur serbuk pasir besi dengan ukuran partikel 150 μm dan PEG 400 tampak sedikit. Pada saat dilakukannya pengujian kekerasan brinell, pellet pasir besi dengan ukuran partikel 100 mesh hancur pada saat menerima beban gaya 8,5 kgf. Memiliki nilai kekerasan sebesar 1,950 Kg/mm^2 dan nilai kuat tekan sebesar 0,16 Mpa. Ukuran pellet pasir besi dengan ukuran partikel 100 mesh memiliki diameter 2,54 cm dan tinggi 1 cm.

3. Dari gambar 4.12 pada saat dilakukan analisa mikrostruktur pada pellet pasir besi dengan komposisi yang sama, memiliki permukaan yang beraturan antara serbuk pasir besi dan PEG 400 mungkin karena ukuran partikelnya yang sangat kecil yaitu 75 μm . Pada saat dilakukannya pengujian kekerasan brinell, pellet pasir besi dengan ukuran partikel 200 mesh hancur pada saat menerima beban gaya sebesar 12,5 kgf. Memiliki nilai kekerasan sebesar 2,888 Kg/mm^2 dan nilai kuat tekan sebesar 0,24 Mpa. Ukuran pellet pasir besi dengan ukuran partikel 200 mesh memiliki diameter 2,54 cm dan tinggi 0,8 cm.

Jadi, diantara ketiga pellet pasir besi yang telah dibuat dan telah dilakukan pengujian dapat disimpulkan bahwa sample pellet pasir besi dengan komposisi 90% serbuk pasir besi dan 10% PEG 400 dengan ukuran partikel 200 mesh yaitu 75 μm memiliki nilai kekerasan dan nilai kuat tekan yang tinggi dibandingkan dengan pellet pasir besi dengan komposisi yang sama dengan ukuran partikel 80 mesh dan 100 mesh, karena ukuran partikel sangat mempengaruhi sifat mekanik suatu spesimen, semakin halus atau kecil ukuran partikel suatu spesimen maka semakin meningkat pula sifat mekanik yang dihasilkannya. Dikarenakan terjadinya pemadatan partikel.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembuatan pellet pasir besi dengan komposisi 90 % serbuk pasir besi dan 10% PEG 400 dengan ukuran partikel bervariasi dan telah dilakukan pengujian terhadap sample pellet pasir besi tersebut, maka didapatkanlah kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pembuatan pellet pasir besi dengan komposisi yang sama dan ukuran partikel bervariasi, lebih baik hasil dari kompaksi dengan tekanan 5,5 ton dan disinterring pada suhu 800°C selama 2 jam dibandingkan dengan kompaksi dengan tekanan 5 ton dan disinterring pada suhu 800°C 45 menit 900°C 45 menit 1000°C 45 menit (*holding time*).
2. Pengujian kekerasan brinell yang dilakukan pada ketiga sample mendapatkan sample yang paling tinggi nilai kekerasannya yaitu pellet pasir besi dengan ukuran partikel 200 mesh.
3. Dari pengamatan mikrostruktur pada ketiga sample, pada sample dengan ukuran partikel 80, 100 dan 200 mesh, permukaannya terlihat seperti beraturan partikelnya karena terlihat seperti bebatuan bersusun besar dengan PEG 400 yang terlihat halus, padat dan beraturan.
4. Dari hasil penelitian yang dilakukan ini, membuktikan bahwa sample dengan ukuran partikel 200 mesh (75 μm) memiliki sifat mekanik yang tinggi. Semakin halus atau kecil ukuran partikel maka akan semakin tinggi pula sifat mekanik yang dihasilkannya.

5.2 Saran

Adapun saran sebagai bentuk penyempurnaan penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Perlunya dilakukan penelitian dengan mencari komposisi baru, agar

mendapatkan hasil sifat mekanik yang tinggi sesuai dengan standar pengujian kekerasan brinell menggunakan ASTM E-10 atau ISO 6506 dan standar uji kuat tekan ASTM D3410.

2. Perlunya dilakukan proses reduksi bahan utama dengan campuran bahan kimia yang sesuai agar bisa mendapatkan spesimen uji yang baik.
3. Perlunya diterapkan proses metalurgi serbuk yang baik dengan cara dan komposisi bahan yang sesuai agar mendapatkan hasil yang mendekati kata sempurna.
4. Perlunya dilakukan proses pemisahan unsur besi dari pasir besi sehingga memudahkan dalam pengolahan pasir besi sebagai bahan baku pembuatan logam, baja, dll.
5. Perlunya dilakukan kompaksi dengan tekanan di atas 10 ton agar spesimen uji begitu sangat padat dan kokoh.
6. Perlunya diterapkan proses sintering dengan suhu dan waktu yang tinggi sesuai komposisi dan bahan yang dipakai dalam spesimen uji dengan 70% hingga 90% suhu sintering dari titik lebur bahan yang pada spesimen uji agar mendapatkan spesimen yang keras, rekomendasi terbaik pada suhu 1200° selama 4 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, Muhammad., Dkk. 2013. Karakteristik Fisik Pellet Dan *Sponge Iron* Pada Bahan Baku Limbah Karat Dengan Pasir Besi Sebagai Pembanding. Universitas Lampung.
- Aritonang, Sovian., Dkk. 2019. Analisis Proses Pengolahan Pasir Besi Menjadi Besi Spons Dalam Rangka Mendukung Industri Pertahanan Bahan Baku Baja. Universitas Pertahanan Indonesia.
- Ayubi, Al Rochim. 2017. “Pasir Besi (Pengertian, Manfaat, Penyebab Kelangkaan, Cara Melestarikan, Lokasi Penyebaran)”.
- Azhari, Chusnul. Bayu Priyanto. 2017. Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Hasil Serbuk Lempung Pada Mesin Penggiling Bahan Keramik. Sekolah Tinggi Teknologi Mandala. Bandung.
- Erwin., Dkk. 2018. Sifat Magnetik Dan Ukuran Partikel Magnetik Serta Komposisi Material Pasir Besi Pantai Kota Pariaman Sumatera Barat Di Sintesa Dengan Iron Sand Separator Dan *Ball Milling*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Riau. Vol. 3, No. 2.
- Harahap, G. 1991. Perancangan Teknik Mesin. Jilid I Edisi 4. Jakarta: Erlangga.
- Hartono, Beta. 2015. Pengolahan Pasir Besi Menjadi Besi Spon. Jurnal Mesin dan Cnc.
- Lameck. 2005. *Effect Of Grinding Media Shapes On Ball Mill Performance*.
- Lutvi. 2012. Penggunaan Pasir Besi Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. Jurnal Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Al-Azhar Mataram. Vol. 6, No. 2.
- Rahman. 2006. Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar. Universitas Lampung Mangkurat. Kalimantan Selatan.
- Sitorus, M. 2009. Spektroskopi Edisi Elusidasi Struktur Molekul Organic. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Tipler, P. A. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

Trilismana Helvy, Arif Budiman. 2015. Analisis Seseptibilitas Magnetik Hasil Oksida Magnetit Menjadi Hematit Pasir Besi Pantai Sunur Kota Pariaman Sumatera Barat. Jurnal Fisika UNAND Vol. 4, No. 2.

Widjanarko dan Suwasito. 2014. Pengaruh Lama Penggilingan Dengan Metode Ball Mill Terhadap Rendemen Dan Kemampuan Hidrasi Tepung Porang (*Amorphohallus Muelleri Blume*). Universitas Brawijaya. Jawa Timur.

Yufeng Dkk. 2013. *Effect Of Ball Milling on the Properties of Zirconia Powder Prepared by Alcohol-aqueous Coprecipitation Method*. University of Sciences and Technology. China.

Zulkhairi dan Mamat. 2014. *Process Parameters Optimization of Silica Sand Non Oparaticles Production Using Low Speed Ball Milling Method*. Universitas Teknologi Petronas. Malaysia.

<https://suarageologi.blogspot.com/2017/12/mengenal-potensi-deposit-besiindonesiadi.html>

<https://artikel.rumah123.com/pasir-besi>