

PROYEK AKHIR - VM 191837

**PENGARUH VARIASI TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO CAMPURAN
SERBUK LOGAM SISA PROSES PEMESINAN DENGAN
METODE METALURGI SERBUK**

MIESBAHUL LAYLI

NRP 10211810000058

Dosen Pembimbing 1

Ir. Winarto, DEA

NIP 19601213 198811 1 001

Dosen Pembimbing 2

Ir. Nur Husodo, M.S.

NIP 19610421 198701 1 001

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



PROYEK AKHIR - VM 191837

**PENGARUH VARIASI TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO CAMPURAN
SERBUK LOGAM SISA PROSES PEMESINAN DENGAN
METODE METALURGI SERBUK**

MIESBAHUL LAYLI

NRP 10211810000058

Dosen Pembimbing 1

Ir. Winarto, DEA

NIP 19601213 198811 1 001

Dosen Pembimbing 2

Ir. Nur Husodo, M.S.

NIP 19610421 198701 1 001

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - VM 191837

**EFFECT OF VARIATION OF COMPACT PRESSURE ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE
OF MIXED POWDER METALS WITH POWDER
METALURGY PROCESS MACHINERY PROCESS**

MIESBAHUL LAYLI

NRP 10211810000058

Counsellor Lecturer 1

Ir. Winarto, DEA

NIP 19601213 198811 1 001

Counsellor Lecturer 2

Ir. Nur Husodo, M.S.

NIP 19610421 198701 1 001

Undergraduate Program in Applied Manufacturing Engineering

Department of Industrial Mechanical Engineering

Faculty of Vocational

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO CAMPURAN SERBUK LOGAM SISA PROSES PEMESINAN DENGAN METODE METALURGI SERBUK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (STr.T) pada
Program Studi Diploma-IV Teknologi Rekayasa Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MIESBAHUL LAYLI**

NRP. 10211810000058

Disetujui oleh Tim Penguji Proyek Akhir :

1. Ir. Winarto, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001
2. Ir. Nur Husodo, M.S.
NIP. 19610421 198701 1 001
3. Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP. 19601025 198701 1 001
4. Rivai Wardhani, ST., M.Sc
NIP. 19810722 200912 1 004

Pembimbing

Ko-pembimbing

Penguji

Penguji



SURABAYA

Juni, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Miesbahul Layli / 10211810000058
Program studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Winarto, DEA / 19601213 198811 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Campuran Serbuk Logam Sisa Proses Pemesinan dengan Metode Metalurgi Serbuk”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 Juni 2022


Mengetahui
Dosen Pembimbing



Ir. Winarto, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001



Mahasiswa



Miesbahul Layli
NRP. 10211810000058



ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO CAMPURAN SERBUK LOGAM SISA PROSES PEMESINAN DENGAN METODE METALURGI SERBUK

Nama Mahasiswa / NRP : Miesbahul Layli / 10211810000058
Departemen : Teknik Mesin Industri FV - ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Winarto, DEA
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Nur Husodo, M.S.

Abstrak

Sisa proses pemesinan logam yang berupa serbuk (*burr*) di Indonesia tergolong banyak dan belum sepenuhnya dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat prospek pemanfaatan dan pengolahan burr hasil proses pemesinan logam pada proses produksi dengan cara metalurgi serbuk.

Serbuk logam hasil proses pemesinan dengan ukuran 100 mesh, dicampur dengan *zinc stearat* sebagai zat pengikat sekaligus pelumas akan dibentuk menjadi spesimen berbentuk silinder dengan proses kompaksi. Untuk itu perlu dirancang *dies* dan *punch* yang akan digunakan dengan gaya tekan 100, 125, dan 150 kN. Spesimen hasil proses kompaksi selanjutnya akan diperiksa densitas dan porositasnya berkaitan dengan tekanan kompaksi yang diberikan. *Sintering* merupakan langkah selanjutnya, yaitu memanaskan spesimen dalam *oven* dengan suhu 1100°C dengan waktu penahanan 30 menit.

Uji kekerasan, kekasaran, geser dan metalografi terhadap spesimen merupakan langkah selanjutnya untuk mengetahui kemungkinan pemanfaatan limbah serbuk hasil proses pemesinan logam apakah dapat diolah kembali menjadi benda yang lebih bermanfaat, serta mengurangi limbah industri yang ada. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan tekanan kompaksi berbanding lurus dengan sifat mekanik. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen adalah ferrit dan pearlite. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan kompaksi maka struktur pearlite semakin berkurang, hal tersebut menyebabkan peningkatan sifat mekanik spesimen dikarenakan struktur pearlite bersifat lunak dan ulet.

Kata kunci: *Burr, Kompaksi, Metalurgi Serbuk, Sintering, Sisa Pemesinan.*

ABSTRACT

EFFECT OF VARIATION OF COMPACT PRESSURE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE OF MIXED POWDER METALS WITH POWDER METALURGY PROCESS MACHINERY PROCESS

Student Name / NRP : Miesbahul Layli / 10211810000058
Department : Teknik Mesin Industri FV - ITS
Counsellor Lecturer 1 : Ir. Winarto, DEA
Counsellor Lecturer 2 : Ir. Nur Husodo, M.S.

Abstract

The rest of the metal machining process in the form of powder (burr) in Indonesia is quite large and has not been fully utilized. This study aims to see the prospects for the utilization and processing of burrs resulting from the metal machining process in the production process by means of powder metallurgy.

Metal powder resulting from the machining process with a size of 100 mesh, mixed with zinc stearate as a binder as well as a lubricant will be formed into a cylindrical specimen by a compaction process. For this reason, it is necessary to design dies and punches that will be used with pressing style of 100, 125, and 150 kN. The specimens from the compaction process will then be examined for their density and porosity in relation to the given compaction pressure. Sintering is the next step, which is heating the specimen in an oven at a temperature of 1100°C with a holding time of 30 minutes.

Hardness, roughness, shear and metallographic tests on specimens are the next step to determine the possibility of utilizing powder waste resulting from the metal machining process whether it can be reprocessed into more useful objects, as well as reducing existing industrial waste. The test results show that the increase in compaction pressure is directly proportional to the mechanical properties. The microstructure formed in the specimen is ferrite and pearlite. The test results show that the higher the compaction pressure, the lower the pearlite structure, this causes an increase in the mechanical properties of the specimen because the pearlite structure is soft and ductile.

Keywords: *Burrs, Compaction, Powder Metallurgy, Sintering, Residual Machining.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur diucapkan kepada Tuhan YME, yang telah memberi kesehatan, kelancaran dan kemudahan hingga tersusunnya laporan Proyek Akhir ini. Laporan Proyek Akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Campuran Serbuk Logam Hasil Sisa Pemesinan dengan Metode Metalurgi Serbuk”** ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan alat maupun laporan proyek akhir ini, maka dari itu dengan segala kerendahan hati diucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak **Ir. Winarto, DEA** selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan nasihat, bimbingan dan pengetahuan hingga tersusumnya buku proyek akhir ini.
2. Bapak **Ir. Nur Husodo, M.S.** selaku dosen pembimbing 2 yang juga telah memberikan nasihat, bimbingan dan pengetahuan hingga tersusumnya buku proyek akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT** selaku kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Ibu **Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T.** selaku koordinator proyek akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Bapak **Ir. Budi Luwar Sanyoto, MT** selaku Dosen Wali kami di Departemen Tekni Mesin Industri FV-ITS.
6. Seluruh tim dosen penguji yang berkenan untuk menguji, memberi kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki proyek akhir ini.
7. Seluruh bapak ibu dosen pengajar, staff dan karyawan yang telah memberikan ilmu pengetahuannya kepada seluruh mahasiswa di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
8. Massawal dan Indawari selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan penuh baik moral maupun material.
9. Mohamad Fismanda Shabari dan Muhammad Bintang Falnanda yang sebagai teman seperjuangan mengerjakan proyek akhir ini.
10. Antika Qobliyatul Romadhona yang telah memberikan dukungan penuh, doa dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian proyek akhir ini.
11. Rekan-rekan seperjuangan Departemen Teknik Mesin Industri Angkatan 2018.
12. Semua pihak yang tak bisa saya sebut namanya telah membantu saya selama proses dalam menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Laporan proyek akhir ini tentunya masih memiliki banyak kekurangan baik dari segi isi maupun tata Bahasa. Maka dari itu, diharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Akhir kata, diharapkan laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 5 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR SIMBOL | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 1 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 1 |
| 1.4 Tujuan Proyek Akhir..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Logam..... | 3 |
| 2.2 Metalurgi Serbuk (<i>Powder Metallurgy</i>)..... | 3 |
| 2.3 Pembuatan Serbuk..... | 4 |
| 2.3.1 Sifat-sifat Khusus Serbuk Logam..... | 6 |
| 2.4 Pencampuran Serbuk (<i>Mixing</i>)..... | 8 |
| 2.4.1 Pencampuran Basah (<i>Wet Mixing</i>)..... | 9 |
| 2.4.2 Pencampuran Kering (<i>Dry Mixing</i>)..... | 9 |
| 2.4.3 Pelumasan..... | 9 |
| 2.5 Penekanan (<i>Compaction</i>)..... | 10 |
| 2.5.1 Sifat Fisik..... | 12 |
| 2.5.2 Sifat Mekanik..... | 12 |
| 2.5.3 Pola Ikatan..... | 13 |
| 2.6 Pemanasan (<i>Sintering</i>)..... | 13 |
| 2.6.1 Parameter Proses <i>Sintering</i> | 14 |
| 2.6.2 Proses yang Terjadi pada <i>Sintering</i> | 15 |
| 2.6.3 Tingkatan <i>Sintering</i> | 15 |
| 2.7 <i>Finishing</i> | 16 |
| 2.8 <i>Punch dan Dies</i> | 16 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 17 |
| 3.2 Bahan dan Alat Penelitian..... | 19 |
| 3.2.1 Bahan Penelitian..... | 19 |
| 3.2.2 Alat Penelitian..... | 19 |
| 3.3 Tahap Persiapan..... | 19 |
| 3.3.1 Identifikasi Awal..... | 19 |
| 3.3.2 Studi Literatur..... | 19 |
| 3.3.3 Studi Lapangan..... | 19 |
| 3.3.4 Persiapan Bahan..... | 19 |
| 3.3.5 Proses Penelitian..... | 20 |
| 3.4 Tahap Pengujian..... | 20 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 3.4.1 | Pengujian XRF | 20 |
| 3.4.2 | Pengujian Porositas dan Densitas..... | 21 |
| 3.4.3 | Pengujian Metalografi | 21 |
| 3.4.4 | Pengujian Kekerasan | 23 |
| 3.4.5 | Pengujian Geser | 24 |
| 3.4.6 | Pengujian Kekasaran Permukaan | 26 |
| 3.5 | Pembuatan Laporan | 27 |
| 3.6 | Desain Spesimen, <i>Punch</i> , dan <i>Dies</i> | 28 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| 4.1 | Hasil Rancangan <i>Punch</i> dan <i>Dies</i> | 30 |
| 4.2 | Proses Pengayakan Serbuk | 31 |
| 4.3 | Hasil Pengujian Bentuk Partikel Serbuk dengan Mikroskop..... | 31 |
| 4.4 | Hasil Pengujian XRF | 33 |
| 4.5 | Proses Pencampuran Serbuk dengan Metode <i>Dry Mixing</i> | 33 |
| 4.6 | Hasil Kompaksi..... | 34 |
| 4.7 | Hasil Pengukuran <i>Green Density</i> | 38 |
| 4.8 | Hasil Proses <i>Sintering</i> | 39 |
| 4.9 | Hasil Pengukuran <i>Sinter Density</i> | 42 |
| 4.10 | Hasil Analisa Sifat Mekanik | 43 |
| 4.10.1 | Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan | 43 |
| 4.10.2 | Hasil Pengujian Porositas dengan <i>Software Image J</i> | 44 |
| 4.10.3 | Hasil Pengujian Kekerasan | 46 |
| 4.10.4 | Hasil Pengujian Geser | 48 |
| 4.11 | Hasil Analisa Struktur Mikro..... | 51 |
| 4.11.1 | Hasil Pengujian Metalografi | 51 |
| 4.12 | Pembahasan | 55 |
| BAB V | KESIMPULAN | 57 |
| 5.1 | Kesimpulan | 57 |
| 5.2 | Saran | 57 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 58 |
| | LAMPIRAN | 60 |
| | BIODATA PENULIS | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Logam Ferro dan Non-Ferro (Laskar Teknik, 2010) | 3 |
| Gambar 2.2 Proses Metalurgi Serbuk (Auto Parts, 2018)..... | 4 |
| Gambar 2.3 Atomisasi Air (Kalpakjian dan Schmid, 2009)..... | 4 |
| Gambar 2.4 Atomisasi Gas (Kalpakjian dan Schmid, 2009)..... | 5 |
| Gambar 2.5 Atomisasi Sentrifugal (Kalpakjian dan Schmid, 2009)..... | 6 |
| Gambar 2.6 Kemampuan Partikel Mengisi Ruang Kosong Antar Serbuk (German, 1984)..... | 6 |
| Gambar 2.7 Bentuk-bentuk Partikel Serbuk (Mealy and Bayés, 2005)..... | 7 |
| Gambar 2.8 Ketidakhomogenan berat jenis terhadap proses kompaksi (German, 1984)..... | 8 |
| Gambar 2.9 Mekanisme pencampuran serbuk, dari kiri ke kanan yaitu difusi, konveksi, dan geser (German, 1984) | 9 |
| Gambar 2.10 Tahapan proses kompaksi serbuk (ASM Metals Handbook Vol. 8, 2000)..... | 11 |
| Gambar 2.11 Pengaruh temperatur <i>sinter</i> terhadap sifat mekanik (ASM Handbook Vol.8, 2000) | 14 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 18 |
| Gambar 3.2 XRF Minipal 4 Tipe PW 1030/45 B (Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju UM)..... | 21 |
| Gambar 3.3 500x <i>Metallurgical Microscope</i> (View Solutions Inc) | 22 |
| Gambar 3.4 <i>Water Cooling Manual Metallographic Grinding and Polishing Machine Stepless Speed</i> 50-600 rpm (Iqualitrol) | 23 |
| Gambar 3.5 Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> (Teknik Mesin Manufaktur) | 23 |
| Gambar 3.6 Prinsip Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> (ASM Metals Handbook, Vol. 8, 2000)..... | 24 |
| Gambar 3.7 Contoh Paku Keling yang Menerima Beban Geser (Pengujian Geser UNY)..... | 25 |
| Gambar 3.8 <i>Iosipescu Shear Test (Testing Configuration)</i> (ASTM Metals Handbook Vol. 8, 2000) | 25 |
| Gambar 3.9 <i>Specimen Iosipescu Shear Test</i> (ASTM Handbook Vol. 8, 2000)..... | 25 |
| Gambar 3.10 Mitutoyo SJ-410 <i>Portable Surface Roughness Tester</i> (Mitutoyo, 2015)..... | 26 |
| Gambar 3.11 a) <i>Desain Punch</i> ; b) <i>Dies</i> ; c) <i>Dies Statis</i> | 29 |
| Gambar 3.12 <i>Assembly</i> dari <i>Punch</i> , dan <i>Dies</i> | 29 |
| Gambar 4.1 Hasil Rancangan a) <i>Punch</i> , b) <i>Dies</i> , dan c) <i>Dies Statis</i> | 30 |
| Gambar 4.2 <i>Assembly</i> dari <i>Punch</i> , <i>Dies</i> dan <i>Dies Statis</i> | 30 |
| Gambar 4.3 a) Serbuk Hasil Sisa Pemesinan, dan b) Serbuk Hasil Sisa yang Sudah dilakukan Pengayakan | 31 |
| Gambar 4.4 Hasil Pengujian Bentuk Partikel Serbuk dengan Mikroskop Perbesaran 300x .. | 31 |
| Gambar 4.5 Pengamatan Distribusi Serbuk pada <i>Software Image J</i> | 32 |
| Gambar 4.6 Hasil Pengamatan menggunakan <i>Software Image J</i> | 32 |
| Gambar 4.7 Serbuk Fe sebelum dilakukan Pencampuran..... | 34 |
| Gambar 4.8 Serbuk Fe yang sudah dicampurkan dengan <i>Zinc Stearat</i> | 34 |
| Gambar 4.9 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 100 kN..... | 36 |
| Gambar 4.10 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 125 kN..... | 36 |
| Gambar 4.11 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 150 kN..... | 37 |
| Gambar 4.12 Grafik Penyusutan Tinggi Spesimen Tekanan Kompaksi | 37 |
| Gambar 4.13 Grafik <i>Green Density</i> | 39 |
| Gambar 4.14 Hasil Sintering Spesimen Kompaksi 100 kN..... | 40 |
| Gambar 4.15 Hasil Sintering Spesimen Kompaksi 125 kN..... | 40 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 4.16 | Hasil Sintering Spesimen Kompaksi 150 kN..... | 41 |
| Gambar 4.17 | Grafik <i>Sinter Density</i> | 43 |
| Gambar 4.18 | Titik Pengujian Kekasaran Permukaan pada Spesimen | 43 |
| Gambar 4.19 | Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan menggunakan <i>Surface Roughness Tester</i> , a) Kompaksi 100 kN, b) Kompaksi 125 kN, dan c) Kompaksi 150 kN..... | 44 |
| Gambar 4.20 | Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 1200x | 44 |
| Gambar 4.21 | Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 1200x | 45 |
| Gambar 4.22 | Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 1200x | 45 |
| Gambar 4.23 | Grafik Hasil Uji Poroistas | 46 |
| Gambar 4.24 | Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 100 kN | 46 |
| Gambar 4.25 | Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 125 kN | 47 |
| Gambar 4.26 | Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 150 kN | 47 |
| Gambar 4. 27 | Grafik Hasil Nilai Rata-rata | 48 |
| Gambar 4.28 | Hasil Patahan Spesimen setelah dilakukan Uji Geser..... | 50 |
| Gambar 4.29 | Patahan Spesimen 100 kN..... | 50 |
| Gambar 4.30 | Patahan Spesimen 125 kN..... | 50 |
| Gambar 4.31 | Patahan Spesimen 150 kN..... | 51 |
| Gambar 4.32 | Grafik Hasil Uji Geser | 51 |
| Gambar 4.33 | Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 600x | 52 |
| Gambar 4.34 | Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 1200x | 52 |
| Gambar 4.35 | Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 3000x | 53 |
| Gambar 4.36 | Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 1200x | 53 |
| Gambar 4.37 | Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 3000x | 54 |
| Gambar 4.38 | Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 1200x | 54 |
| Gambar 4.39 | Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 3000x | 55 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Indentor untuk Metode Rockwell (ASM Metals Handbook Vol.8, 2000) | 23 |
| Tabel 4.1 Hasil Uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) | 33 |
| Tabel 4.2 Hasil Proses Kompaksi | 35 |
| Tabel 4.3 Hasil Perhitungan <i>Green Density</i> | 39 |
| Tabel 4.4 Hasil Proses <i>Sintering</i> | 41 |
| Tabel 4.5 Hasil Perhitungan <i>Sinter Density</i> | 42 |
| Tabel 4.6 Hasil Uji Kekasaran Permukaan | 44 |
| Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> | 47 |
| Tabel 4.8 Hasil Uji Geser..... | 49 |

DAFTAR SIMBOL

| | | |
|--------|---------------------------------|--|
| A | = Luas permukaan/luas penampang | (m ²) |
| π | = Phi | (3,14 atau 22/7) |
| r^2 | = Jari-jari lingkaran | (m) |
| P | = Tekanan | (N/m ² atau Pa) |
| F | = Gaya tekan | (N) |
| V | = volume | (m ³ atau cm ³) |
| t | = Tinggi | (m) |
| ρ | = Massa jenis | (kg/m ³) atau (g/cm ³) |
| m | = Massa | (kg atau gram) |
| L | = Luas lingkaran | (cm ²) |
| τ | = Tegangan geser | (N/mm ²) |
| F | = Gaya tarik | (N) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia pada zaman Industri 4.0 seperti sekarang ini banyak sekali berdiri perusahaan besar dan kecil dibagian pemesinan. Dalam usaha pengembangan teknologi banyak upaya yang dilakukan yaitu dengan menciptakan suatu produk berbahan limbah pemesinan dengan metode tertentu, harapannya produk yang diciptakan tentunya dengan hasil yang banyak tetapi dengan biaya yang semurah mungkin, serta memiliki daya guna yang semestinya dan tentunya tahan lama atau awet.

Dalam proses pemesinan banyak kemungkinan ada bahan material yang dipakai dan ada sisa yang tidak dipakai. Namun pemanfaatan dan pengetahuan tentang cara-cara pengolahan sisa pemesinan yang tidak dipakai masih sangat kurang. Sehingga kita khususnya sebagai mahasiswa vokasi di Indonesia dituntut untuk bisa memanfaatkan dan mengolahnya dengan berkreatifitas melalui kombinasi yang ada di lingkungan sekitar. Salah satunya dengan cara memanfaatkan bahan *burr* yang di proses menjadi suatu produk baru yang layak pakai. Metode untuk membuat produk tersebut disebut metalurgi serbuk.

Dahulunya sudah pernah dilakukan penelitian tentang metalurgi serbuk dengan bahan dan pengujian yang bervariasi. Muhammad Budi Nur Rahman dan Totok Suwanda (2006) “Pengaruh Sudut *Water Sprayer* dan Tekanan Air Dalam *Sprayer Pump* Terhadap Hasil Serbuk Alumunium Pada Proses Atomisasi Air”. Imam Setiyanto (2009) “Pengaruh Variasi Temperatur *Sintering* Terhadap Ketahanan Aus Bahan Rem Sepatu Gesek”. Hafid dan Rudy S.Rachmat (2004) “Pembuatan Komponen *Guide*, CAM Chain pada Sepeda Motor dari Bahan Baja Tahan Karat 316 L dengan Teknologi Metalurgi Serbuk”. Ahmad Junaidi dan Amin Suhadi (2013) “Pengembangan Metode Pembuatan Elektroda Tembaga – Karbon dengan Metalurgi Serbuk”. Ridwan, Grace Tj.Sulungbudi dan Mujamilah (2005) “Aplikasi *High Energy Milling* Dalam Metalurgi Serbuk”.

Sisa pemesinan di Industri pemesinan tergolong banyak, namun sisa pemesinan tidak dipakai dan belum sepenuhnya dimanfaatkan lagi. Berdasarkan hal tersebut, pada kesempatan kali ini penulis mencoba memanfaatkan *burr* yang belum sepenuhnya dimanfaatkan menjadi penelitian baru untuk mengetahui bahan yang terkandung didalamnya dengan sesuatu yang berbeda. Judul penelitian tersebut yaitu *Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Campuran Serbuk Logam Sisa Proses Pemesinan dengan Metode Metalurgi Serbuk*. Harapannya nanti dapat menambah wawasan ataupun informasi baru di dunia industri pemesinan di Indonesia dan mengurangi limbah indutri dengan memanfaatkan serta mengolahnya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan masalah yang akan diselesaikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apa saja kandungan bahan dalam butiran serbuk logam sisa pemesinan ?
2. Bagaimana merancang bentuk dan geometri *punch-dies* pada cetakan yang akan digunakan ketika kompaksi ?
3. Bagaimana pengaruh variasi tekanan terhadap volume penyusutan, porositas, sifat mekanik, dan struktur mikro ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan spesimen *green compact* dengan ukuran diameter 20 mm dan tinggi awal 20 mm.
2. Menggunakan tekanan kompaksi 100, 125, dan 150 kN.
3. Menggunakan temperatur *sintering* 1100°C dengan waktu penahanan 30 menit.
4. Menggunakan pelumas dan sekaligus *binder* yaitu *zinc stearate*.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan bahan dan ukuran serbuk logam sisa pemesinan.
2. Mewujudkan desain dan geometri *punch* dan *dies* untuk cetakan.
3. Mengetahui pengaruh tekanan kompaksi terhadap penyusutan, porositas, sifat mekanik, dan struktur mikro pada spesimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi bahwa serbuk logam sisa pemesinan dapat dipakai lagi untuk menghasilkan suatu produk.
2. Memberikan informasi sifat mekanik dan struktur mikro yang terbentuk akibat variasi dari tekanan kompaksi.
3. Dapat merancang *punch* dan *dies* yang akan dipakai.
4. Memberikan informasi bagi pembaca yang akan melakukan penelitian baru yang berhubungan dengan penelitian metalurgi serbuk.
5. Dapat mengurangi sampah industri yang sudah tidak dipakai lagi.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan Proyek Akhir terdiri dari 5 bab yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penulisan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari berbagai referensi yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan acuan, perhitungan dan Analisa perhitungan yang digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari tahapan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan Proyek akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari tahapan perencanaan system elektro-pneumatik yang terjadi.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil perhitungan, perbandingan, dan pembahasan yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam

Dalam ilmu kimia, logam atau metal adalah unsur, senyawa, atau paduan yang biasanya bersifat keras, buram, mengkilap, dan memiliki konduktivitas listrik termal yang baik. Logam sendiri dibagi menjadi beberapa macam seperti logam dasar, logam ferro, dan logam non-ferro (logam mulia, logam berharga, logam berat) (Magnets, 2005).

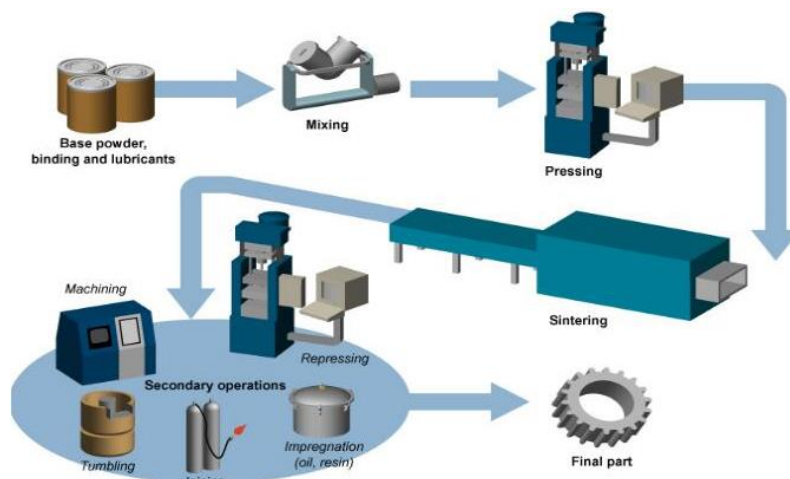


Gambar 2.1 Logam Ferro dan Non-Ferro (Laskar Teknik, 2010)

2.2 Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

Teknologi metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) adalah teknologi pengolahan logam yang banyak digunakan dan dikembangkan dalam industri manufaktur saat ini untuk pembuatan bahan logam besi dan non besi.

Secara umum, proses metalurgi serbuk adalah memadatkan beberapa bahan murni atau serbuk paduan dalam cetakan, dan kemudian di *sinter* atau dipanaskan dalam tungku pada suhu tertentu sampai terjadi ikatan partikel-partikel logam karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Penggunaan metalurgi serbuk logam banyak digunakan dalam pembuatan part produksi, misalnya untuk menghemat biaya produksi, pembuatan roda gigi, perkakas dan part yang kompleks dapat di atasi dengan metode metalurgi serbuk tanpa perlu proses *finishing* (Kalpakjian and Schmid, 2013).



Gambar 2.2 Proses Metalurgi Serbuk (Auto Parts, 2018)

Secara umum langkah-langkah dasar *powder metallurgy* yaitu, pembuatan serbuk (preparasi material), pencampuran (*mixing*), penekanan (*compaction*), pemanasan (*sintering*), *finishing*.

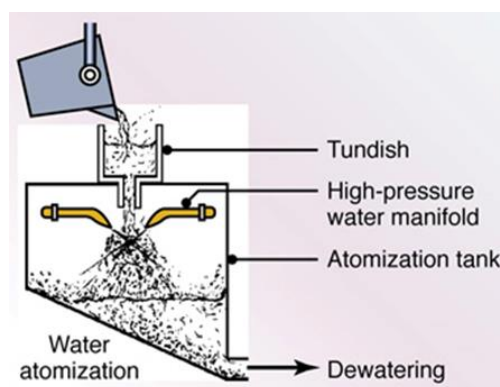
2.3 Pembuatan Serbuk

Ada beberapa metode dalam pembuatan serbuk, karena semua jenis serbuk memiliki sifat fisis dan kimia tertentu, sehingga setiap cara pembuatan memerlukan cara yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

- 1) *Decomposition*, terjadi pada bahan yang mengandung unsur logam. Bahan akan terurai/memisahkan unsur-unsurnya jika dipanaskan sampai suhu yang cukup tinggi. Proses ini melibatkan dua reaktan, yaitu senyawa logam dan zat pereduksi. Kedua reagen dapat berupa padat, cair atau gas (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).
- 2) *Atomization of Liquid Metals*, bahan cair dapat menjadi serbuk dengan menuangkan bahan cair melalui *nozzle* dengan tekanan air, sampai membentuk butiran-butiran kecil. cara yang baik untuk produksi serbuk dari logam bersuhu rendah seperti timah hitam, aluminium, seng dan timah putih. Partikel-partikel itu bentuknya tidak beraturan dan ukurannya bervariasi. Proses ini dikenal sebagai granulasi tergantung pada pembentukan oksida pada permukaan partikel saat pengadukan. Prinsip kerja metode atomisasi yaitu memecah atau mengatomisasi logam cair hingga menjadi partikel serbuk dengan menyemprotkan gas atau cairan bertekanan tinggi dari *nozzle*. Beberapa metode yang termasuk dalam metode atomisasi yaitu metode atomisasi air, metode atomisasi gas dan metode atomisasi sentrifugal, yaitu:

a. Metode Atomisasi Air

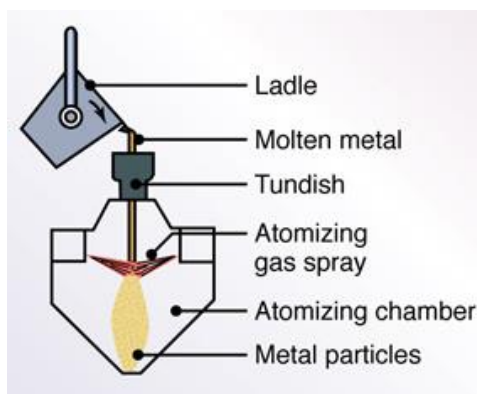
Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan untuk pembuatan serbuk logam dengan titik leleh hingga 1600°C . Prinsip kerja atomisasi air serbuk. Logam dilebur dalam tungku dan kemudian mengalir melalui lubang di bagian bawah tungku. Air bertekanan tinggi disemprotkan ke arah aliran jatuh logam cair, menghasilkan dekomposisi logam cair dengan pendinginan yang cepat. Logam cair terurai menjadi partikel kecil dan membeku dengan cepat, terbawa arus dan jatuh sebagai serbuk. Sifat serbuk yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan dan tekanan air yang memecah aliran logam cair, sudut aliran air ke nosel, rasio aliran debit air dengan logam cair, jumlah *nozzel* air yang digunakan, karakteristik logam yang akan dibuat, serbuk, dan faktor lainnya. Bentuk serbuk yang dihasilkan dari atomisasi ini tidak beraturan dan kasar disertai dengan oksidasi. Ini karena proses pendinginan yang cepat (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).



Gambar 2.3 Atomisasi Air (Kalpakjian dan Schmid, 2009)

b. Metode Atomisasi Gas

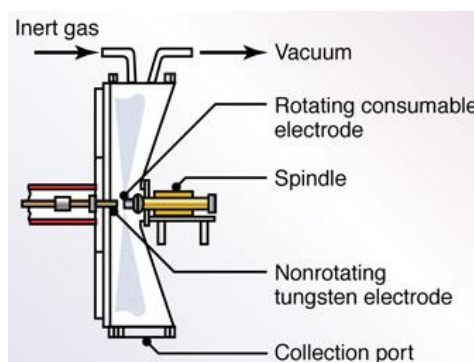
Prinsip kerja metode atomisasi gas adalah dengan melelehkan sejumlah logam di bagian atas melalui tungku induksi. Logam cair mengalir ke *nozzle*. Gas bertekanan tinggi dengan cepat dikeluarkan dari beberapa lubang yang dipasang di sekitar nosel. Gas yang berkembang pesat ini membelah dan mengatomisasi aliran logam cair yang meninggalkan nosel menjadi tetesan kecil. Semakin besar kecepatan gas yang keluar dari *nozzle*, semakin halus partikel yang dihasilkan. Gas yang umum digunakan untuk metode atomisasi ini adalah udara, nitrogen, argon, dan helium. Gas dalam metode ini tidak hanya digunakan untuk atomisasi logam cair. Itu juga dapat melindungi partikel logam dari oksidasi. Pilihan gas yang digunakan tergantung pada logam yang akan dihancurkan. Serbuk yang dihasilkan oleh atomisasi gas berbentuk bulat, ukuran partikel kecil, dan homogen (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).



Gambar 2.4 Atomisasi Gas (Kalpakjian dan Schmid, 2009)

c. Metode Atomisasi Sentrifugal

Metode ini menggunakan gaya sentrifugal untuk memecah logam cair menjadi bentuk percikan logam cair, dan kemudian menjadi bentuk serbuk padat karena pendinginan yang cepat. Karena semakin cepat putaran, semakin besar gaya sentrifugal, dan semakin halus partikel serbuk yang dihasilkan. Contoh dari metode atomisasi sentrifugal tersebut adalah metode elektroda berputar. Prinsip kerja dari metode ini adalah sebagai berikut: batang logam yang akan dijadikan serbuk digunakan sebagai anoda dan dipasang pada poros utama yang berputar. Batang dipanaskan oleh elektroda tungsten tetap, yang bertindak sebagai katoda dengan memancarkan busur yang dihasilkan di antara keduanya. Karena gaya sentrifugal dari batang yang berputar, logam cair terlempar menjadi partikel. Keuntungan dari metode ini yaitu dihasilkan serbuk yang lebih bersih, berbentuk bulat, ukuran partikelnya relatif kecil dan seragam, dan sedikit kontaminasi (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).



Gambar 2.5 Atomisasi Sentrifugal (Kalpakjian dan Schmid, 2009)

- 3) *Electrolytic Deposition*, produksi serbuk dengan proses elektrolisis sering menghasilkan serbuk yang sangat reaktif dan rapuh. Untuk alasan ini, bahan electrolytic deposition harus menjalani proses annealing khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh residu elektrolit berbentuk dendritic (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).
- 4) *Mechanical Processing of Solid Materials*, produksi serbuk dengan menghancurkan bahan dengan ball milling. Bahan yang digunakan dengan mechanical processing harus bahan yang mudah retak seperti logam murni, bismut, antimony, paduan logam yang relatif keras dan rapuh, keramik (Materials and Company ASM Metals Handbook, Vol 2).

2.3.1 Sifat-sifat Khusus Serbuk Logam

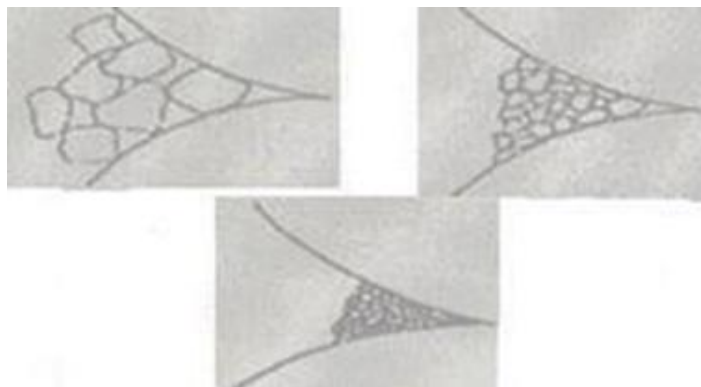
Tentunya dari berbagai macam logam fero dan non-fero pasti mempunyai karakteristik masing-masing, yaitu sebagai berikut :

1) *Ukuran Partikel*

Menentukan ukuran partikel dapat dilakukan dengan metode pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berhubungan erat dengan ukuran butir, dan faktor ini berhubungan dengan bidang kontak antar permukaan Porositas butir kecil kecil, dan luas kotak antar permukaan besar, sehingga difusi antar permukaan juga lebih besar , dan kekompakannya juga tinggi (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).

2) *Distribusi Ukuran dan Mampu Alir*

Distribusi ukuran partikel menentukan jumlah partikel ukuran standar dalam serbuk. Distribusi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap fluiditas dan porositas produk. Fluiditas merupakan karakteristik yang menggambarkan fluiditas serbuk dan kemampuannya untuk mengisi ruang pencetakan. Distribusi ukuran partikel adalah sekelompok besar partikel dengan ukuran tertentu, yang dirancang untuk menunjukkan hasil pengukuran densitas maksimum partikel. Data ukuran digunakan untuk menggambarkan hasil pengukuran dan asumsi bentuk partikel. Selain itu juga akan terlihat densitas partikel yang pada akhirnya akan menentukan densitas, porositas dan kekuatan *feeder* (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).



Gambar 2.6 Kemampuan Partikel Mengisi Ruang Kosong Antar Serbuk (German, 1984)

3) *Sifat Kimia*

Terutama yang berkaitan dengan kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diizinkan dan kandungan elemen lainnya. Dalam metalurgi serbuk, diharapkan tidak ada reaksi kimia antara matriks dan tulangan (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).

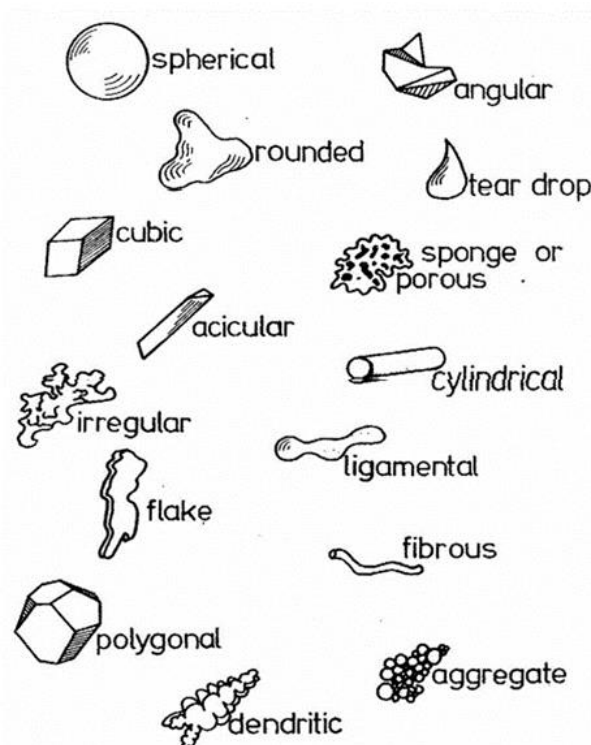
4) *Bentuk Partikel Serbuk*

Bentuk partikel serbuk mempunyai pengaruh yang besar terhadap besarnya kontak antar partikel, sehingga besar kecilnya gesekan antar partikel berhubungan dengan luas permukaan partikel serbuk tersebut. Semakin kecil ukuran butir, semakin besar gesekan antar partikel, dan semakin besar luas permukaan kontak antar partikel selama proses pemadatan, sehingga meningkatkan mekanisme ikatan antar partikel selama proses *sintering* melalui difusi. Selain itu, serbuk kasar memiliki luas permukaan kontak kecil antara partikel selama pemadatan, yang akan menyebabkan proses *sintering* yang buruk, sehingga mengurangi sifat mekanik produk metalurgi serbuk (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).

Bentuk partikel serbuk dapat diklasifikasikan berdasarkan ISO 3252:

- a. Acicular : bentuk jarum
- b. Angular : bentuk polihedral kasar dengan tepi tajam
- c. Dendritic : bentuk kristalin dan bercabang
- d. Fibrous : bentuk serabut beraturan atau tidak beraturan
- e. Flaky : bentuk serpihan
- f. Granular : bentuk tidak beraturan dan hampir bulat
- g. Irregular : bentuk tidak beraturan atau tidak mempunyai simetri
- h. Nodular : bentuk bulat dan tidak beraturan
- i. Spheroidal: bentuk bulat

Selain kontak antar partikel serbuk, kereaktifan serbuk juga dipengaruhi oleh ikatan antar partikel serbuk, transfer material serbuk, transfer material saat dikompaksi, dan *compressibility*. Hal ini pada gilirannya akan mempengaruhi perpindahan massa selama proses *sintering* (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).



Gambar 2.7 Bentuk-bentuk Partikel Serbuk (Mealy and Bayés, 2005)

5) Mampu Tekan Serbuk (*Compressibility*)

Kompresi adalah rasio antara volume asli serbuk dan volume benda yang akan dikompresi. Nilai ini bervariasi dan dipengaruhi oleh ukuran partikel dan distribusi

bentuk. Besarnya kompresibilitas yang dapat diperoleh adonan dengan memberikan tekanan adalah kompresibilitas adonan. Kuat tekan serbuk dapat dipengaruhi oleh gaya gesekan antar partikel. Sebagai contoh, serbuk besi atomik dengan bentuk yang lebih teratur, lebih halus dan porositas antar partikel yang lebih kecil akan memiliki kuat tekan dan densitas hijau yang lebih tinggi daripada serbuk *sponge iron* (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).

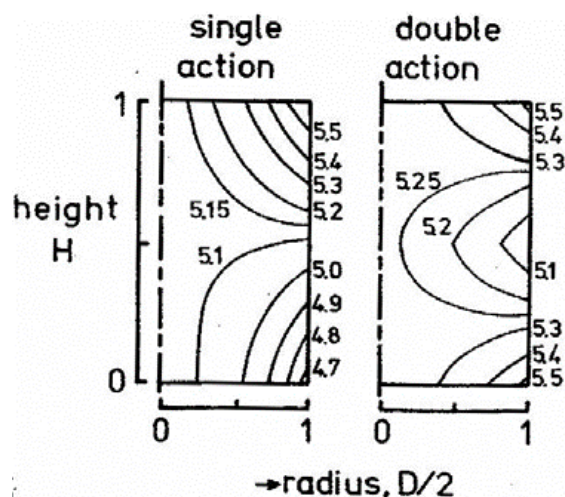
6) *Kemampuan Sinter*

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya (Nunes ASM Metals Handbook, Vol 17).

7) *Berat Jenis Serbuk*

Berat jenis serbuk sangat tergantung pada ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, kondisi permukaan, efisiensi pepadatan dan struktur partikel (berpori atau tidak berpori). Dalam metalurgi serbuk, massa per satuan volume serbuk curah dinyatakan sebagai densitas serbuk atau apparent density, sedangkan densitas setelah serbuk dipadatkan selama *sintering* disebut *green density*. Dalam penerapannya, kerapatan serbuk yang dipadatkan terkadang tidak seragam. Berikut beberapa cara untuk mengurangi terjadinya heterogenitas tersebut, antara lain:

- Memberikan pelumas untuk mengurangi gesekan antarpartikel dan gesekan dengan cetakan.
- Mengatur ratio ukuran cetakan antara tinggi dengan lebar rongga cetakan (L/D). Semakin besar (L/D) maka distribusi akan tidak merata. Oleh karena itu, L/D harus kecil sehingga distribusi serbuk akan merata/ homogen.
- Meningkatkan rasio penekanan kompaksi agar distribusi serbuk lebih baik.
- Menggunakan penekanan dua arah (*double punch*) agar berat jenis serbuk homogen.
- Melakukan penekanan secara bertahap dari mulai yang paling rendah kemudian tingkatkan tekanannya secara bertahap sampai titik maksimal (Mealy and Bayés, 2005).



Gambar 2.8 Ketidakhomogenan berat jenis terhadap proses kompaksi (German, 1984)

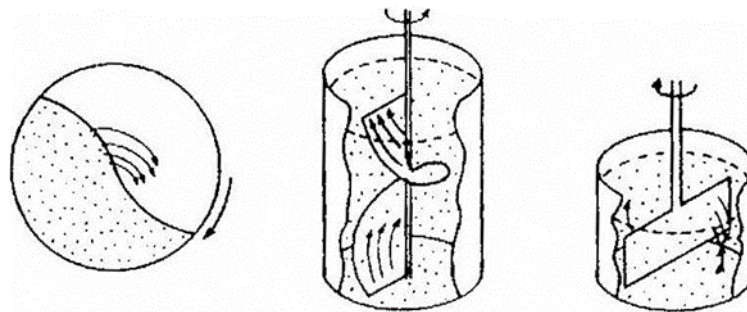
2.4 Pencampuran Serbuk (*Mixing*)

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam dan bahan lain yang berbeda untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Pencampuran dapat dilakukan dengan cara kering (*dry mixing*) dan cara basah (*wet mixing*). Pelumas (*lubricant*)

dapat ditambahkan untuk meningkatkan karakteristik aliran serbuk (*powders flow*). Tambahkan pengikat (*binders*) untuk meningkatkan (*green strength*), seperti lilin (*wax*) atau polimer termoplastik (German, 1984).

Pencampuran dan pengadukan serbuk adalah untuk menghasilkan serbuk yang seragam. Saat mencampur dan mengaduk serbuk, variabel-variabel yang mempengaruhi jenis bahan serbuk, ukuran partikel, jenis pengaduk, ukuran pengaduk, kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan. Mekanisme yang terjadi pada saat pencampuran serbuk tergantung dari cara pencampuran (*mixing*) yang digunakan, yaitu:

- 1) Difusi: terjadinya pencampuran karena adanya pergerakan antar partikel serbuk yang terjadi pada saat drum berputar.
- 2) Konveksi: pencampuran terjadi karena ulir bejana berputar pada porosnya.
- 3) Geser: pencampuran terjadi karena menggunakan suatu media pengaduk.



Gambar 2.9 Mekanisme pencampuran serbuk, dari kiri ke kanan yaitu difusi, konveksi, dan geser (German, 1984)

Ketika wadah berputar, gaya sentrifugal dan turbulensi akan terjadi, yang mengarah ke reaksi pencampuran serbuk. Ketika gaya sentrifugal kecil tetapi turbulensi diperbolehkan, itu adalah kondisi terbaik untuk mencampurkan serbuk. Jika gaya sentrifugal terlalu besar, serbuk yang lebih padat hanya akan berada di luar, dan jika tidak ada turbulensi, pencampuran tidak akan sempurna. Oleh karena itu, mekanisme pengadukan sangat dipengaruhi oleh kecepatan, waktu dan ukuran wadah yang digunakan (German, 1984).

Selain faktor di atas, ada faktor lain yang mempengaruhi proses pencampuran, yaitu gesekan antar partikel serbuk. Semakin kecil nilai gesekan antar partikel serbuk, semakin rendah tingkat keberhasilan pencampuran serbuk. Nilai gesekan partikel dipengaruhi oleh efisiensi pencampuran, pelumasan dan pengeringan.

2.4.1 Pencampuran Basah (*Wet Mixing*)

Pencampuran basah adalah proses pencampuran di mana bubuk dasar dan pengisi dicampur terlebih dahulu dengan pelarut polar. Gunakan metode ini ketika bahan yang digunakan (matriks dan pengisi) rentan terhadap oksidasi. Tujuan pemberian pelarut polar adalah untuk memperlancar proses pencampuran bahan yang digunakan, dan untuk menutupi permukaan bahan agar tidak bersentuhan dengan udara luar, sehingga mencegah bahan yang digunakan dari oksidasi (German, 1994).

2.4.2 Pencampuran Kering (*Dry Mixing*)

Pencampuran kering adalah proses pencampuran di udara luar tanpa menggunakan pelarut untuk membantu melarutkannya. Jika bahan yang digunakan tidak mudah teroksidasi (German, 1994).

2.4.3 Pelumasan

Kemampuan partikel serbuk besar untuk bergesekan selama pemadatan akan mengurangi fluiditas partikel dan meningkatkan tekanan pemadatan. Selain itu, gesekan antara partikel dan dinding juga dapat membuat bedak sulit diperas. Untuk mengatasi

masalah tersebut digunakan larutan pelumas (*lubricant*) yang tepat agar lebih mudah ditekan atau dipadatkan, dan juga lebih mudah dibongkar (German, 1994).

Tujuan utama pelumasan dalam proses metalurgi serbuk adalah untuk mengurangi gesekan antara dinding cetakan dan antara serbuk. Komposisi pelumas yang digunakan berkisar antara 1-2% wt (Jhony, 2014). Penggunaan yang berlebihan akan mengurangi nilai densitas dan kemauan keras. Jenis pelumas yang umum digunakan didasarkan pada stearat, termasuk aluminium, seng, kalsium, litium, magnesium, dll. Pelumas jenis ini digunakan karena titik lelehnya yang rendah, sehingga cepat menguap pada saat *sintering*. Berikut ini adalah karakteristik beberapa pelumas dalam metalurgi serbuk:

Tabel 2.1 Karakteristik pelumas yang sering dipakai pada aplikasi metalurgi serbuk (Kalpakjian and Schmid, 2013)

| Nama Umum | Oksida | Jumlah Oksida (%) | Temperatur Pelunakan (°C) | Titik Lebur (°C) | Berat Jenis (gr/cm ³) |
|-------------------------|--------|-------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
| <i>Zinc Stearate</i> | ZnO | 14 | 100-120 | 130 | 1,09 |
| <i>Calcium Stearate</i> | CaO | 9 | 115-120 | 160 | 1,03 |
| <i>Lithium Stearate</i> | LiO | 5 | 195-200 | 220 | 1,01 |

2.5 Penekanan (*Compaction*)

Kompaksi adalah suatu proses pembentukan atau pemadatan serbuk murni atau paduan atau campuran dari berbagai serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan kekuatan yang cukup untuk diproses lebih lanjut (Mealy and Bayés, 2005).

Ada beberapa metode penekanan, antara lain penekanan dingin (*cold pressing*) dan penekanan panas (*hot compaction*). Penekanan dingin (*cold compaction*) adalah untuk memadatkan bubuk pada suhu kamar pada 100-900 MPa untuk menghasilkan *green body*. Ada beberapa proses penekanan dingin (*cold compaction*), antara lain:

- 1) *Die Pressing*, yaitu penekanan pada cetakan yang berisi serbuk.
- 2) *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan serbuk di bawah tekanan yang sama dari segala arah pada suhu kamar.
- 3) *Rolling*, yaitu penekanan serbuk metal menggunakan *rolling mill*.

Penekanan pada bubuk adalah untuk memungkinkan bubuk untuk mengikat satu sama lain sebelum mereka meningkatkan kekuatan ikatan mereka melalui proses *sintering*. Dalam proses pembuatan paduan menggunakan metode metalurgi serbuk, serbuk diikat menjadi satu karena adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adhesi-koheksi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir (difusi) dapat terjadi selama proses *sintering*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari pengepresan disebut benda hijau, yang mirip dengan produk akhir, tetapi kekuatannya masih sangat rendah. Kekuatan akhir material diperoleh setelah proses *sintering* (Kalpakjian and Schmid, 2013).

Selain memberikan bentuk dan mengontrol ukuran serbuk, kompaksi sangat erat hubungannya dengan tekanan yang diberikan dari luar untuk mengubah bentuk serbuk menjadi aglomerat dengan densitas tinggi. Ini berarti bahwa tekanan, sifat mekanik dan laju kompresi yang diterapkan pada bubuk adalah parameter proses utama yang menentukan kepadatan dan hasil bubuk. Peningkatan penekanan akan mendapatkan hasil *packing* yang lebih baik dan penurunan porositas (Zainuri, Moniada and Darminto, 2005).

Proses kompaksi dapat dilakukan dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) atau penekanan dua arah (*double end punch*) baik secara *cold compacting* maupun *hot pressing*. Saat menggunakan pers satu arah, penekanan atas bergerak ke bawah. Sedangkan pers dua arah, dua penekanan, bagian atas dan bawah bergerak ke arah yang berlawanan secara bersamaan. Untuk mendapatkan berat jenis bahan yang homogen, perlu diperhatikan juga rasio tinggi dan diameter cetakan (L/D) (Wijaya, 2011).

Selama proses kompaksi, serbuk dalam cetakan mengalami beberapa tahapan perilaku, antara lain:

1) *Penataan ulang partikel serbuk (Rearrangement)*

Pada awal penekanan, serbuk telah menyesuaikan posisinya ke tempat yang lebih luas, yaitu serbuk tidak mengalami deformasi. Partikel serbuk bergerak dan mengatur ulang karena tekanan, membuat partikel serbuk lebih tersusun rata. Susunan partikel ini dibatasi oleh gesekan antara partikel itu sendiri atau antara partikel dan permukaan cetakan.

2) *Deformasi elastis partikel serbuk*

Serbuk saling bersentuhan, jika berhenti menekan, serbuk akan kembali ke bentuk semula. Hal ini disebabkan oleh respon suatu material dengan sifat elastis ketika tegangan dibawah yield stress-nya.

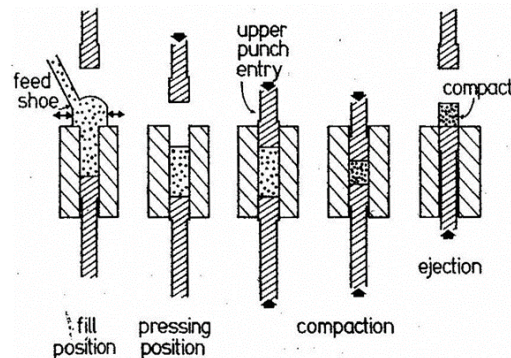
3) *Deformasi plastis partikel serbuk*

Proses pemadatan (densifikasi) terjadi pada tahap proses kompaksi ini. Pada prinsipnya, semakin tinggi tekanan yang diberikan, semakin besar derajat deformasi plastis dan pemadatan. Faktor-faktor yang menentukan deformasi plastis termasuk kekerasan dan transfer tegangan antara partikel yang berdekatan.

4) *Penghancuran partikel serbuk*

Pada tahap ini, serbuk mengalami *interlocking* mekanis. Mekanisme ini disebut pengelasan dingin yang merupakan ikatan antara dua permukaan partikel logam bersih yang disebabkan oleh kohesi tanpa pengaruh leleh atau termal. Dalam keadaan normal, permukaan bubuk akan teroksidasi, tetapi di bawah permukaan oksida adalah permukaan yang bersih. Oleh karena itu, lapisan oksida harus dihancurkan sebelum pengelasan dingin terjadi. Saat serbuk ditekan, densitas serbuk meningkat dan porositas berkurang karena rongga berkurang. Ketika serbuk ditekan, distribusi kepadatan serbuk tidak seragam, di bagian yang dekat dengan pers, berat jenis bubuk lebih besar, dan kepadatan lebih rendah di tengah.

Ketika tekanan kompaksi meningkat, jumlah partikel terdeformasi plastis akan meningkat. Di bawah tekanan rendah, aliran plastis terkonsentrasi di tempat kontak partikel. Ketika tekanan meningkat, aliran plastik homogen terjadi. Jika penekanan cukup, seluruh partikel akan mengalami strain hardening ketika jumlah porositas berkurang (Mufidah, 2015).



Gambar 2.10 Tahapan proses kompaksi serbuk (ASM Metals Handbook Vol. 8, 2000)

2.5.1 Sifat Fisik

Sifat fisik bahan sangat dipengaruhi oleh hasil kompaksi. Sifat-sifat itu adalah berat jenis bahan (*green compact*) dan porositas. Berat jenis bahan adalah berat jenis partikel serbuk yang dipadatkan, yang berhubungan dengan kemampuan partikel serbuk untuk mengisi celah antar partikel serbuk. Berat jenis bahan sangat menentukan karakteristik material. Beberapa faktor yang mempengaruhi densitas bahan adalah:

- 1) Tekanan kompaksi yang optimal.
- 2) Distribusi ukuran partikel yang bervariasi dan seragam.
- 3) Kekuatan dan kekerasan dari partikel relatif rendah.
- 4) Kecepatan tekanan yang relatif lambat.

Untuk mengurangi terjadinya berat jenis yang tidak homogen, solusi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Memberikan pelumas atau minyak penetrant untuk mengurangi gesekan antara partikel atau partikel dengan dinding cetakan.
- 2) Atur perbandingan ukuran cetakan, yaitu L/D harus optimal di mana L =tinggi, D =lebar rongga cetakan. Nilai L/D harus kecil agar distribusi serbuk menjadi merata dan homogen.
- 3) Rasio tekanan tinggi agar mencapai distribusi serbuk yang lebih baik.
- 4) Gunakan *double press* (penekanan pada kedua arah) untuk membuat berat jenis serbuk lebih homogen.
- 5) Mulailah dengan tekanan rendah dan tingkatkan tekanan secara bertahap, lalu tingkatkan tekanan secara bertahap hingga titik optimal (Kalpakjian and Schmid, 2013).

Sifat fisik lain yang mempengaruhi hasil kompaksi adalah porositas. Porositas adalah ketidakmampuan partikel serbuk untuk mengisi ruang antar partikel, dan ruang yang tersisa akan menjadi pori-pori yang terisolasi. Pori diisolasi karena tidak menyentuh permukaan luar bahan. Karena tekanan gas yang terperangkap, porositas yang terisolasi di dalam sinter dan akan mengembang. Selama proses kompaksi, jika udara dapat dibuang ke permukaan bahan, pori-pori yang berisi udara akan digantikan oleh sejumlah massa partikel padat. Namun, jika udara tidak dapat dikeluarkan, jumlah pori tidak akan berkurang. Kompaksi berkecepatan tinggi dan distribusi ukuran partikel yang tidak merata juga dapat menyebabkan timbulnya porositas terisolasi (Kalpakjian and Schmid, 2013).

2.5.2 Sifat Mekanik

Sifat mekanik bahan diantaranya kekuatan bahan (*green strength*), kekerasan dan ketahanan aus (Nurrohman, 2017). Karakteristik ini berasal dari mekanisme interlocking mekanis, yaitu kombinasi sempurna partikel serbuk selama proses kompaksi. Kekuatan mekanik akan meningkat dalam situasi berikut:

- 1) Ukuran partikel serbuk yang digunakan sangat halus, tujuannya adalah untuk meningkatkan *green density*.
- 2) Memiliki area permukaan yang kasar untuk memungkinkan terjadinya interlocking mekanis.
- 3) Menghilangkan kontaminasi permukaan yang disebabkan oleh udara luar, sehingga tidak ada oksida yang dihasilkan. Permukaan bebas oksida meningkatkan ikatan antar partikel.
- 4) Penggunaan tekanan kompaksi yang optimal untuk meningkatkan berat jenis bahan.
- 5) Gunakan pelumas yang tidak berlebihan, agar berat jenis bahan tidak berkurang, dan diikuti dengan penurunan kekuatan bahan (Kalpakjian and Schmid, 2013).

2.5.3 Pola Ikatan

Proses kompaksi ada tiga kemungkinan model ikatan yang disebabkan oleh gaya *vanderwals*:

1) *Pola Ikatan Bola-bola*

Hal ini terjadi ketika besarnya gaya tekan yang diberikan lebih kecil dari kekuatan luluh/ *yield strength* (*ys*) dari matriks dan pengisi, sehingga serbuk tidak akan berubah bentuk secara permanen atau mengalami deformasi elastis dalam matriks maupun pengisi, sehingga bubuk tetap dalam bentuk bola (Mealy and Bayés, 2005).

2) *Pola Ikatan Bola-bidang*

Terjadi ketika besarnya gaya tekan yang diterapkan adalah antara kekuatan luluh/ *yield strength* (*ys*) dari matriks dan pengisi. Tekanan ini menyebabkan deformasi plastis dari salah satu material (matriks) dan deformasi elastis dari material lainnya (*filler*), membuat partikel tampak berbentuk bola-bidang (Mealy and Bayés, 2005).

3) *Pola Ikatan Bidang-bidang*

Terjadi ketika besarnya gaya tekan yang diterapkan lebih besar dari kekuatan luluh/ *yield strength* (*ys*) dari matriks dan pengisi. Tekanan ini menyebabkan deformasi plastis pada kedua material (matriks dan *filler*) yang membuat partikel terlihat berbentuk bidang-bidang (Mealy and Bayés, 2005).

2.6 Pemanasan (*Sintering*)

Sintering adalah pemanasan pada suhu yang lebih rendah dari titik leleh atau titik lebur material. Proses ini juga mencakup langkah-langkah untuk meningkatkan ikatan antar partikel.

Istilah *sintering* berasal dari bahasa Jerman, "*sinter*" dan dalam bahasa Inggris berasal dari kata "*cinder*" yang berarti bara. *Sintering* adalah metode pembuatan bahan dari serbuk dengan pemanasan untuk membentuk ikatan partikel. *Sintering* adalah pengikatan antapartikel pada suhu tinggi. *Sintering* dapat terjadi di bawah titik leleh (*melting point*). Proses *sintering* merupakan tahap lanjutan setelah pembuatan *green body* dari proses kompaksi. *Sintering* terjadi pada suhu antara 70% dan 90% dari suhu leleh (Kalpakjian dan Schmid, 2009).

Ada dua jenis dapur *sintering*, yaitu dapur satuan (*batch furnace*) dan dapur kontinyu (*continuous furnace*). Dapur satuan diisi dengan bahan yang akan di *sinter*, dan suhunya disesuaikan sesuai kebutuhan. Dapur kontinyu dilengkapi dengan sabuk yang terdiri dari bentangan kawat, di mana *green body* ditempatkan. Sabuk bergerak ke zona pemanasan dan kemudian ke zona pendinginan. Proses *sintering* dapur kontinyu biasanya digunakan untuk produksi komponen dalam jumlah banyak. Dapur satuan digunakan untuk siklus *sintering* khusus dengan produksi terbatas (ASM Handbook Vol.8, 2000).

Ikatan yang terjadi selama proses *sintering* meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan dan kekerasan. Proses *sintering* dilakukan di dapur tertutup untuk mencegah pengaruh reaksi antara lingkungan sekitar dapur yang dapat bereaksi dengan bahan. Secara umum, perubahan serbuk hasil kompaksi yang disinter adalah sebagai berikut:

- 1) Saat partikel mulai berikatan, maka akan meningkatkan kekuatan mekanis.
- 2) Jika suhu *sintering* dinaikkan dan waktu *sintering* diperpanjang, kekuatan mekanik akan terus meningkat.
- 3) Peningkatan suhu dan waktu *sintering* akan mengurangi jumlah porositas dan meningkatkan densitas.
- 4) Saat pertumbuhan butir terjadi, maka ukuran butir yang dihasilkan akan lebih besar dari ukuran butir sebelum dilakukan *sintering*.
- 5) Selama proses *sintering*, pori-pori akan menjadi lebih halus dan bentuknya lebih bulat.

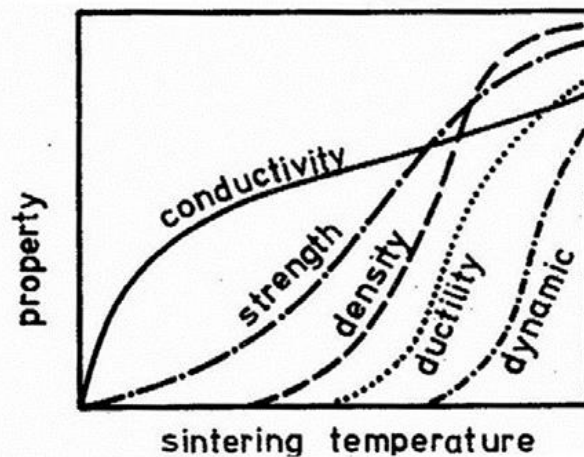
- 6) Jika kondisi atmosfer dapur baik, udara yang terperangkap di dalam butir akan keluar, dan partikel oksida akan berkurang (ASM Handbook Vol.8, 2000).

2.6.1 Parameter Proses Sintering

Parameter proses *sintering* yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1) Temperatur Sintering

Dengan suhu *sintering* tinggi, akan terjadi penyusutan yang lebih besar, pertumbuhan butir, dan biayanya tinggi. Proses perpindahan massa dipengaruhi oleh suhu *sintering*. Dengan meningkatnya suhu *sintering*, sifat mekanik bahan yang telah dipanaskan (*sintering*) juga akan meningkat, seperti kekuatan, kekerasan, ketangguhan, keuletan, umur fatik, kekuatan impak dan konduktivitas listrik. Namun, peningkatan suhu juga dapat menyebabkan kerugian seperti penyusutan ukuran partikel, pengurangan akurasi dimensi, dan terjadinya pertumbuhan butir. Biaya energi proses dan desain dapur lebih mahal. Untuk mendapatkan hasil *sintering* yang baik maka suhu *sintering* yang digunakan harus sesuai, karena mempengaruhi kinetika dan proses homogenisasi yang selanjutnya menentukan perubahan dimensi yang terjadi selama proses *sintering* (ASM Handbook Vol.8, 2000).



Gambar 2.11 Pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanik (ASM Handbook Vol.8, 2000)

2) Ukuran Partikel Serbuk

Semakin halus serbuk yang digunakan, maka semakin cepat laju *sintering*, dan level impuritas akan semakin baik.

3) Waktu Sintering

Semakin lama proses *sintering*, semakin besar diameter serbuk. Waktu *sintering* juga menentukan densifikasi, tetapi pengaruhnya kecil dibandingkan dengan suhu *sintering*. Peningkatan waktu *sintering* memiliki sedikit efek dari pada suhu *sintering*. Peningkatan waktu *sintering* memiliki efek yang hampir sama pada sifat mekanik dengan peningkatan suhu *sintering*. Semakin tinggi waktu tahan *sintering*, suhu *sintering* dan *green density*, semakin tinggi densitas *sintering*. Namun, kerugian waktu tahan *sintering* yang lebih lama menyebabkan penyusutan yang lebih tinggi, pertumbuhan butir, dan biaya proses yang lebih tinggi.

4) Green Density

Peningkatan densitas akan menghasilkan penyusutan yang lebih kecil, membentuk porositas yang lebih kecil dan mencapai ukuran yang seragam.

5) Tekanan Kompaksi

Semakin tinggi tekanan kompaksi maka akan semakin banyak terjadi dislokasi, sehingga mempercepat *sintering*. Selain itu, produk awal yang dipadatkan kompaksi dengan tekanan rendah akan menyusut (*shrinkage*) lebih besar dari produk awal yang dikompresi dengan tekanan tinggi karena tekanan kompaksi mengurangi porositas dan meningkatkan densitas produk awal.

6) Atmosfer Sintering

Penggunaan atmosfer *sintering* dimaksudkan bertujuan untuk mengontrol reaksi kimia antara bahan dengan lingkungannya. Gas yang tidak diinginkan di atmosfer *sintering* tidak hanya dapat bereaksi pada permukaan luar bahan, tetapi juga menembus struktur pori dan bereaksi pada permukaan bahan. Ada enam jenis atmosfer yang dapat digunakan untuk melindungi bahan, yaitu hidrogen, amonia, gas inert, nitrogen, vakum, dan gas alam. Atmosfer vakum biasanya digunakan sebagai atmosfer sintering karena prosesnya bersih dan atmosfernya mudah dikendalikan. Selama proses *sintering*, pengontrolan atmosfer sangat penting untuk mendapatkan hasil *sintering* yang terbaik. Namun, terkadang tidak hanya atmosfer yang dapat menimbulkan reaksi kimia, serbuk yang dikompaksi biasanya juga membawa kontaminasi seperti oksida dan gas yang terperangkap, sehingga ketika dipanaskan (*sintering*), komposisi atmosfer akan berubah (ASM Handbook Vol.8, 2000).

2.6.2 Proses yang Terjadi pada Sintering

Berdasarkan pola ikatan yang terjadi saat proses kompaksi, terdapat dua fenomena yang mungkin terjadi saat *sintering*, yaitu:

1) Penyusutan (*shrinkage*)

Jika pola ikatan bola-bidang terbentuk selama proses kompaksi, maka akan terbentuk penyusutan selama proses *sintering*. Hal ini terjadi karena selama proses *sintering*, gas (pelumas) di dalam porositas mengalami *degassing* (pelepasan gas selama proses sintering). Jika suhu *sintering* terus meningkat, maka akan terjadi difusi permukaan antara matriks, partikel, dan *filler* akhirnya akan terbentuk *liquid bridges* atau *necking* (memiliki fasa campuran antara matrik dan *filler*). *Liquid bridge* akan menutupi porositas, sehingga eliminasi porositas atau menurunnya jumlah dan ukuran porositas. Penyusutan dominan terjadi jika pepadatan belum mencapai kejenuhan (Herfurth and Scharf, 2021).

2) Retak (*Cracking*)

Jika saat kompaksi terbentuk pola ikatan antara partikel berupa bidang-bidang, akan menyebabkan terjadi gas *trapping* (pelumas terperangkap dalam material). Saat *sintering*, gas yang terperangkap belum sempat keluar, tapi *liquid bridge* telah terjadi. Sehingga, jalur porositas telah tertutup rapat. Gas yang terperangkap akan mendorong ke segala arah dan mengembang, membuat tekanan di porositas lebih tinggi daripada tekanan luar. Jika kualitas ikatan permukaan partikel dalam material komposit rendah, maka ia tidak akan mampu menahan tekanan yang lebih besar, hingga menyebabkan keretakan. Retak juga dapat disebabkan oleh proses pepadatan yang tidak sempurna, *shock* termal selama pemanasan disebabkan oleh pemuaihan dari matrik dan *filler* yang berbeda (Herfurth and Scharf, 2021).

2.6.3 Tingkatan Sintering

Proses *sintering* meliputi tiga tahap mekanisme pemanasan:

1) Presintering

Suhu *presintering* dilakukan pada $1/3 T_m$ (titik leleh) (Mufidah, 2015). *Presintering* merupakan proses pemanasan yang bertujuan untuk:

- a. Mengurangi tegangan internal akibat proses kompaksi (*green density*).
- b. Pengeluaran gas dari atmosfer atau pelumas padat yang terjebak di dalam porositas bahan komposit (*degassing*).
- c. Menghindari perubahan suhu terlalu cepat saat proses *sintering* (*shock thermal*).

2) *Difusi Permukaan*

Hal ini dilakukan pada suhu *sintering* ($2/3 T_m$) selama proses pemanasan di mana terjadi transportasi massa pada permukaan antara partikel serbuk yang berinteraksi. Atom-atom pada permukaan partikel serbuk berdifusi satu sama lain, sehingga meningkatkan kohesi antar partikel (Mufidah, 2015).

3) *Eliminasi Porositas*

Tujuan akhir dari proses *sintering* komposit berbasis metalurgi serbuk adalah untuk mendapatkan material dengan kompaktibilitas tinggi. Hal ini disebabkan difusi antara permukaan partikel serbuk, yang menyebabkan terjadinya leher (*liquid bridge*) antara partikel dan proses akhir pemanasan menyebabkan eliminasi porositas (terbentuknya sinter *density*) (Widarma, 2017).

2.7 *Finishing*

Saat *finishing* porositas pada saat sepenuhnya disinter masih signifikan (4-15%). Untuk meningkatkan properti pada serbuk diperlukan *sintering* ulang dan dengan waktu yang lebih lama, dan perawatan panas (Vladimir, 2019).

2.8 *Punch dan Dies*

1. *Punch*

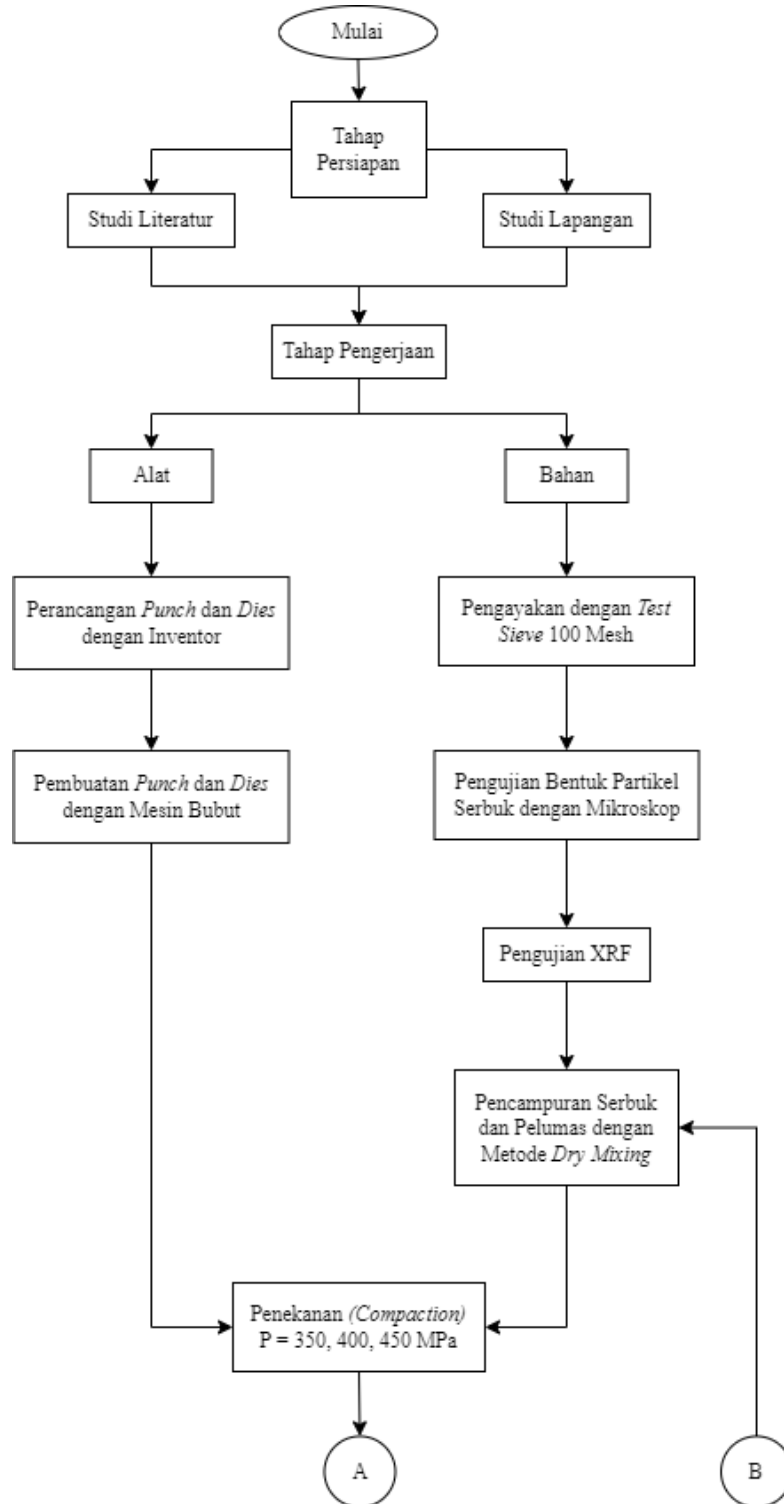
Punch adalah pembentuk bagian atas dari *press tool* yang digunakan untuk menekan benda kerja ke arah *dies* saat melakukan proses *forming*. *Forming* sendiri merupakan proses melakukan perubahan bentuk pada benda kerja dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis (Syah, 2016).

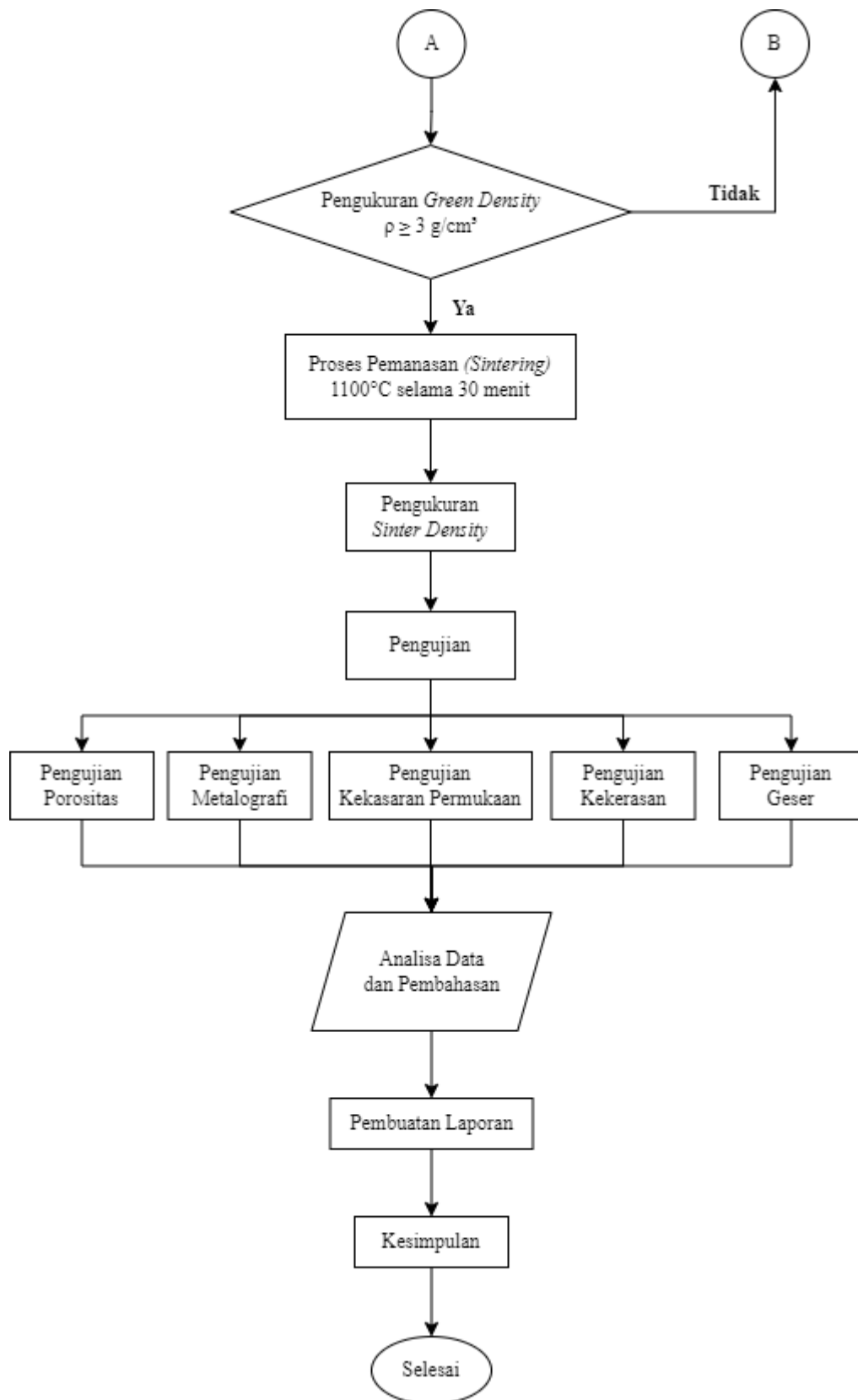
2. *Dies*

Dies merupakan cetakan yang digerakkan mesin *press* untuk menekan atau mengepress material penghasil barang tertentu. *Dies* berfungsi sebagai cetakan yang bentuknya telah disesuaikan dengan desain benda kerja dan *punch* (Syah, 2016).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Serbuk sisa-sisa pemesinan (*burr*).
2. *Zinc Stearate*, sebagai pelumas (*lubricant*) sekaligus zat pengikat (*binder*) (Hajikarimi *et al.*, 2018).
3. Logam untuk pembuatan *punch* dan *dies*.

3.2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian proyek akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Mesin bubut, digunakan untuk membuat *punch* dan *dies*.
2. Kaca mata, sarung tangan, dan masker, untuk keamanan tercemarnya serbuk.
3. Mesin XRF, untuk menguji komposisi dan kandungan serbuk sisa pemesinan.
4. Pengayakan (*test sieve*), untuk memisahkan serbuk yang diinginkan dengan serbuk yang kasar.
5. Spatula, untuk mengambil serbuk sisa pemesinan, dan *zin stearate*.
6. Gelas ukur, untuk tempat pencampuran serbuk sekaligus pengadukan serbuk.
7. Timbangan digital, untuk menimbang massa serbuk sekaligus specimen yang sudah dilakukan *sintering*.
8. Cetakan (*dies*), untuk mencetak specimen yang akan diuji.
9. Alat kompaksi, untuk mengompaksi serbuk yang sudah di *mixing*.
10. Amplas/kertas gosok, untuk menghaluskan permukaan specimen.
11. Jangka sorong, untuk mengukur specimen yang sudah di kompaksi.
12. *Oven furnace*, untuk pemanasan pada proses *sintering*.
13. Mikroskop, untuk melihat struktur mikro permukaan specimen dan mengamati bentuk serbuk.
14. Alat uji kekerasan, untuk mengetahui ketahanan specimen yang diuji.
15. *Surface Roughness Tester*, untuk mengetahui kekasaran permukaan pada specimen.

3.3 Tahap Persiapan

3.3.1 Identifikasi Awal

Secara garis besar, alur kerja penyelesaian Proyek Akhir dalam hal analisis pengaruh besaran kompaksi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada metalurgi serbuk.

3.3.2 Studi Literatur

Pada tahap persiapan awal ini, menerapkan tentang penelusuran literatur mengenai "*Powder Metallurgy*" dan parameter prosesnya seperti cara kerja, cara membuat serbuk, bahan dan alat yang digunakan serta pengujian yang akan dipakai.

3.3.3 Studi Lapangan

Pengambilan dan pengumpulan data dilakukan di tempat magang. Penelitian yang dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung pada objek yang teliti untuk memperoleh data primer. Pengumpulan data yang dilakukan berupa wawancara kepada pekerja dan dokumentasi.

3.3.4 Persiapan Bahan

Sebelum melakukan penelitian maka harus melakukan tahap-tahap awal yang harus dilakukan, yaitu sebagai berikut :

1. Pembuatan cetakan (*dies*), pertama mendesain di Autodesk Inventor Professional. Setelah itu membuatnya di mesin bubut.

2. Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF), sebelum bahan digunakan ketika pencampuran dilakukan pengecekan unsur yang terkandung.
3. Penimbangan serbuk sesuai dengan persentase berat yang telah ditentukan.
4. *Mixing* serbuk matrik dan filler dengan cara memasukkan serbuk ke dalam beaker glass serta ditambahkan *zinc stearate* dari berat campuran serbuk, kemudian diaduk menggunakan spatula.

3.3.5 Proses Penelitian

1. Pengumpulan tinjauan pustaka (*text book*, jurnal, diktat, penelitian sebelumnya, dll) sebagai acuan penelitian.
2. Bahan dan alat penelitian disiapkan dengan mempertimbangkan metode yang dipakai pada penelitian.
3. Perancangan *punch* dan *dies* menggunakan software Autodesk Inventor Professional 2022.
4. Pembuatan *punch* dan *dies* menggunakan mesin bubut (*lathe machine*).
5. Pengayakan bahan logam sisa pemesinan dengan menggunakan *test sieve* dengan ukuran 100 mesh.
6. Pengujian XRF untuk mengetahui kandungan bahan didalamnya.
7. Penimbangan bahan dengan komposisi yang sudah ditentukan.
8. Mencampurkan serbuk dan pelumas dengan metode *dry mixing*.
9. Memasukkan serbuk yang sudah di campur kedalam *dies*.
10. Melakukan kompaksi dengan tekanan 100 kN, 125 kN, dan 150 kN.
11. Menimbang massa spesimen yang sudah dikompaksi menggunakan neraca digital.
12. Mengukur diameter dan tinggi spesimen menggunakan jangka sorong.
13. Menghitung densitas (*green density*) setelah dikompaksi.
14. Melakukan *sintering* dengan suhu 1100°C selama 30 menit menggunakan *furnace*.
15. Menimbang massa spesimen yang sudah dilakukan menggunakan neraca digital.
16. Mengukur diameter dan tinggi spesimen menggunakan jangka sorong.
17. Pengukuran densitas setelah proses *sintering* (*sinter density*).
18. Melakukan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell.
19. Melakukan pengujian geser.
20. Melakukan pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat *Surface Roughness Tester*.
21. Melakukan pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikro spesimen.

3.4 Tahap Pengujian

Pengujian yang digunakan dalam penelitian proyek akhir diantaranya sebagai berikut :

3.4.1 Pengujian XRF

Pada dasarnya XRF (*X-Ray Fluorescence*) merupakan metoda yang tak merusak sehingga tidak banyak memerlukan bahan spesimen. Metoda analisis menggunakan XRF memerlukan permukaan spesimen yang homogen sehingga analisis dapat mewakili komposisi unsur yang terkandung dalam bahan. Prinsip metoda XRF adalah terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan spesimen oleh sinar-x dari sumber sinar-x (Rosika, Dian and Djoko, 2007).

Pada uji ini bertujuan untuk mengetahui kandungan bahan yang terkandung dalam spesimen secara kualitatif maupun kuantitatif.



Gambar 3.2 XRF Minipal 4 Tipe PW 1030/45 B (Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju UM)

Prosedur Pengujian XRF, yaitu sebagai berikut:

1) Langkah I Preparasi Alat XRF

Hidupkan XRF, putar kunci HT *On (X-Ray On)*, hidupkan *computer* dan buka program Minipal dan tunggu sekitar 10-15 menit atau sampai alat benar-benar siap untuk digunakan.

2) Langkah II Preparasi Sampel Uji

Untuk sampel serbuk sisa pemesinan yang dipakai pada penelitian ini termasuk padatan, siapkan *holder* yang sudah dipasangi dengan plastik khusus untuk XRF dan masukkan sampel serbuk yang akan di uji ke dalam *holder*.

3) Langkah III Pengukuran

Masukkan sampel serbuk kedalam alat XRF, pada program Minipal nuka menu *Measure Standardless*, isi nama sampel yang akan diukur pada *Sampel Ident* dan *Measure* (sesuai dengan urutan sampel). Tunggu beberapa menit sampai proses pengukuran selesai. Untuk melihat hasil buka menu *Result*, *Open Result*, *<Standardless>* kemudian cetak hasil yang di inginkan.

3.4.2 Pengujian Porositas dan Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas setelah proses metalurgi serbuk. Pengujian densitas dilakukan dua kali, yaitu: *Green density* dan *Sinter density*. Untuk pengukuran *green density* dilakukan dengan menimbang massa spesimen uji dan melakukan pengukuran dimensi menggunakan jangka sorong. Sedangkan pengukuran *sinter density* dilakukan dengan menggunakan *Software Image J* (Widarma, 2017).

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar porositas yang terdapat pada benda uji. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Pengujian porositas dilakukan pada uji densitas. Sehingga pengujian porositas dapat langsung bersamaan dengan densitas (Widarma, 2017).

3.4.3 Pengujian Metalografi

Pada dasarnya, pengujian metalografi merupakan analisis struktur dan komposisi fisik logam atau paduan, yang dapat diamati secara langsung atau dengan bantuan mikroskop optik, mikroskop elektron, dan peralatan difraksi sinar-X. Metalografi adalah salah satu pengujian yang paling banyak digunakan dalam proses pembuatan logam. Melalui metalografi, informasi terkait struktur mikro logam dapat diperoleh, yang nantinya dapat digunakan untuk menjelaskan sifat-sifat berbagai logam (Almadani and Siswanto, 2020).

Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan dan perubahan struktur mikro yang mempengaruhi sifat-sifat mekanis logam, untuk itu ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Proses *grinding* dan *polishing* merupakan proses yang sangat penting untuk membuat permukaan sampel bahan menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan observasi (Zainuri, Moniada and Darminto, 2005).



Gambar 3.3 500x Metallurgical Microscope (View Solutions Inc)

Tahapan yang akan dilakukan dalam pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

- 1) Pemotongan (*cutting*), yaitu proses pemotongan benda uji disesuaikan dengan penampang yang akan diamati
- 2) Pemingkisan (*mounting*), yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
- 3) *Grinding*, yaitu proses meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel menggunakan kertas amplas anti air secara berurutan mulai dari kekasaran 120, 240, 360, 400, 700, 800, dan 1200, selama proses grinding diberi air untuk mencegah terjadinya oksidasi pada permukaan sampel.



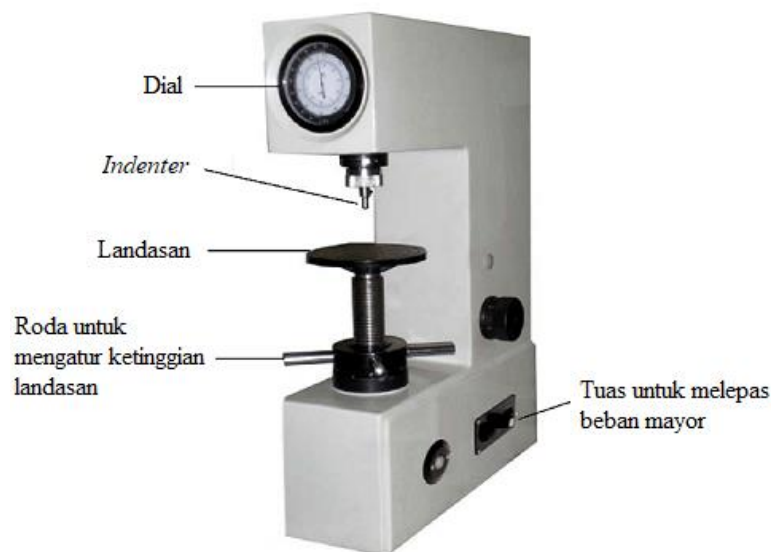
Gambar 3.4 *Water Cooling Manual Metallographic Grinding and Polishing Machine Stepless Speed 50-600 rpm (Iqualitrol)*

- 4) Pemolesan (*polishing*), yaitu menghaluskan serta menghilangkan goresan-goresan selama proses grinding sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas dan mengkilap seperti cermin, menghilangkan ketidakrataan sampel.
- 5) Etsa, yaitu mereaksikan sampel dengan bahan etsa sehingga dapat memunculkan gambar struktur mikro dengan jelas.
- 6) *Viewing*, yaitu pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron.

3.4.4 Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan skala Rockwell (HR) yang dikembangkan oleh S.P. Rockwell pada tahun 1922. Prinsip pengujian pada metoda Rockwell adalah dengan menekan *penetrator* ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman *indentasi* akan memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman *indentasi* yang didapatkan dari beban mayor dan minor (Herfurth and Scharf, 2021).

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell ini bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja (HRB) ataupun kerucut intan (HRC) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.



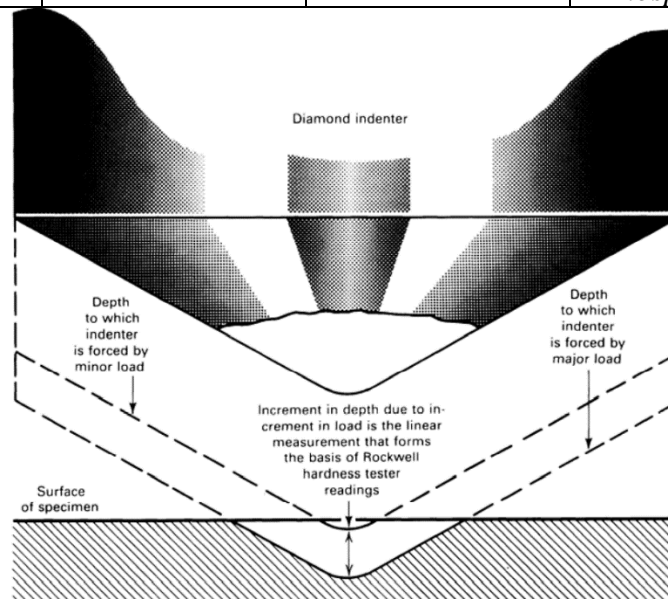
Gambar 3.5 Alat Uji Kekerasan Rockwell (Teknik Mesin Manufaktur)

Pada metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Pada Tabel 3. dapat diketahui beberapa skala dengan jenis indenter dan besar beban utamanya. Untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C, dan angka kekerasannya dinyatakan dengan Rb dan Rc. Sedangkan untuk pengujian material serbuk sisa pemesinan ini menggunakan skala C dengan indenter *Brake* bola dan beban utama 150 kg (Kalpakjian and Schmid, 2013).

Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Indentor untuk Metode Rockwell (ASM Metals Handbook Vol.8, 2000)

| Skala | Beban Utama (Kgf) | Indentor | Aplikasi |
|-------|-------------------|----------|----------|
|-------|-------------------|----------|----------|

| | | | |
|---|-----|--------------|---------------------------------------|
| A | 60 | <i>Brale</i> | <i>Cemented carbides, Thin steel</i> |
| B | 100 | 1/16" bola | Paduan tembaga, <i>Soft steels</i> |
| C | 150 | <i>Brale</i> | Baja, <i>Hard cast iron</i> |
| D | 100 | <i>Brale</i> | <i>Thin steel</i> |
| F | 60 | 1/16" bola | Besi tuang, Aluminium |
| G | 150 | 1/16" bola | <i>Malleable iron, Phospor bronze</i> |



Gambar 3.6 Prinsip Uji Kekerasan Rockwell (ASM Metals Handbook, Vol. 8, 2000)

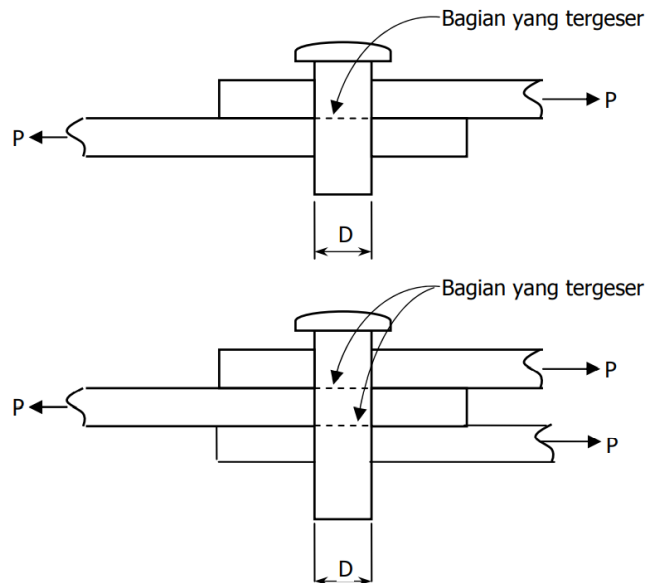
Langkah pengujian kekerasan Rockwell yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Meratakan permukaan sampel yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 180, 240, 600, 800, 1000, dan 1500.
- 2) Sampel diletakkan pada *holder* khusus untuk menjepit sampel uji *hardness* dengan ukuran kecil.
- 3) Pada mesin uji dipilih indenter untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi.
- 4) Jejak indentasi diukur dengan cara menggerakkan garis pengukur yang dilihat menggunakan mikroskop pada alat uji *hardness*. Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis.

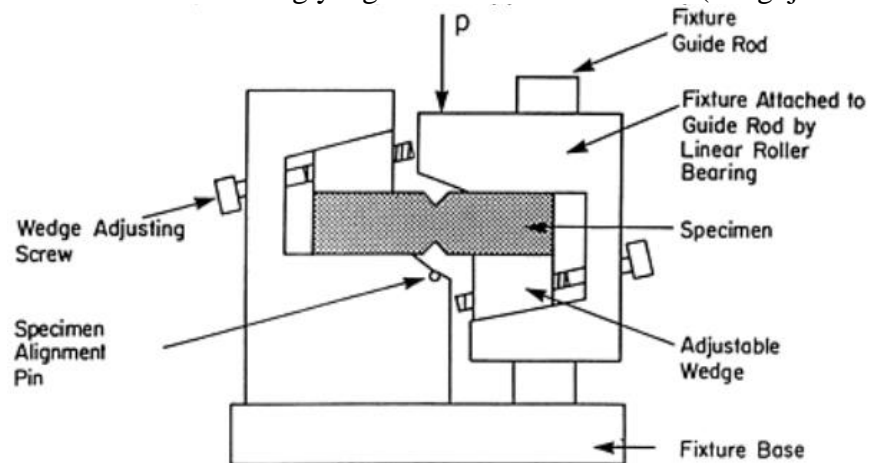
3.4.5 Pengujian Geser

Alat uji geser merupakan seperangkat peralatan untuk mengetahui seberapa besar ketahanan geser maksimum yang dapat ditahan oleh material pada kondisi tegangan efektif dan pembebanan secara berkelanjutan, sehingga memungkinkan terjadinya displacement pada material yang diujikan.

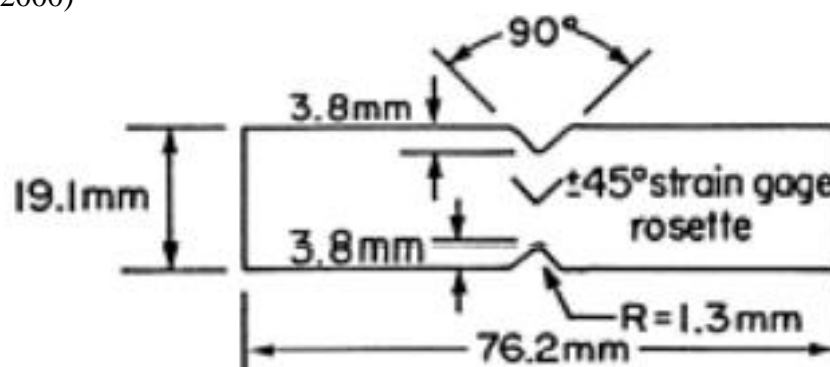
Kuat geser suatu material adalah tegangan yang menyebabkan komponen rusak atau patah akibat pembebanan geser. Uji geser dapat dilakukan pada mesin uji tarik dengan menggunakan peralatan bantu khusus.



Gambar 3.7 Contoh Paku Keling yang Menerima Beban Geser (Pengujian Geser UNY)



Gambar 3.8 Iosipescu Shear Test (Testing Configuration) (ASTM Metals Handbook Vol. 8, 2000)



Gambar 3.9 Specimen Iosipescu Shear Test (ASTM Handbook Vol. 8, 2000).

Langkah pengujian geser yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

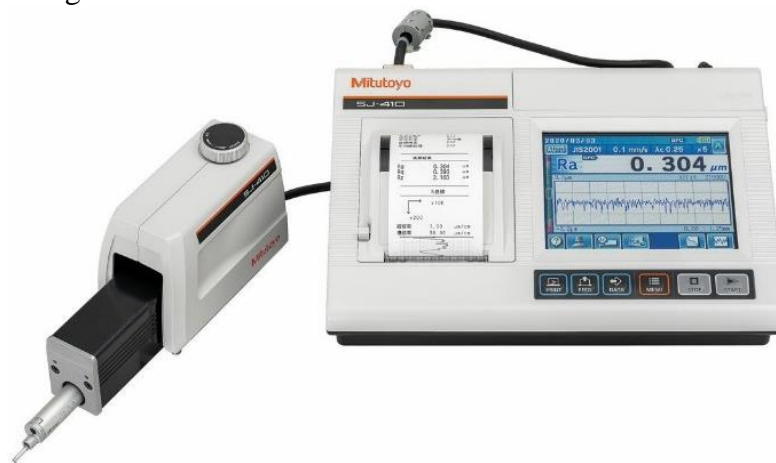
- 1) Siapkan dan ukur spesimen yang akan diuji. Catatlah ukuran dan jenis bahannya.
- 2) Periksa keadaan mesin serta peralatan yang digunakan.
- 3) Putar switch utama pada posisi "1", switch terletak pada bagian belakang mesin dalam switch gear cabinet.
- 4) Hidupkan mesin dengan menekan tombol "ON".

- 5) Aturilah posisi katup pada kedudukan *closed*.
- 6) Putar kran pengatur pada posisi menutup (putar kekanan agak kencang) atau pada posisi "1".
- 7) Aturilah kedudukan kopling atau lever dalam keadaan netral (nol) dengan cara memutar *micro controlling*.
- 8) Tentukan piringan beban/*load* sesuai dengan bahan spesimen yang akan diuji.
- 9) Pasang perangkat bantu untuk pengujian geser. Masukkan spesimen pada lubang pisau penggeser.
- 10) Mulailah pengujian dengan perlahan-lahan sambil memutar *micro controlling* ke kanan
- 11) Amati pertambahan gaya pada skala indikator dan catat gaya tertinggi yang dicapai.
- 12) Setelah spesimen patah, amati dan gambar bentuk patah gesernya.
- 13) Hitung kekuatan geser spesimen.

3.4.6 Pengujian Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan didefinisikan sebagai ketidakaturan konfigurasi permukaan pada suatu benda atau bidang. Alat yang digunakan yaitu *Surface Roughness Tester* (Karmin, Ginting and Yunus, 2013).

Pengujian ini bertujuan mengetahui ketidakhalusan permukaan hasil pengerjaan penelitian metalurgi serbuk.



Gambar 3.10 Mitutoyo SJ-410 *Portable Surface Roughness Tester* (Mitutoyo, 2015)

Sebelum melakukan pengujian kekasaran permukaan alat ukur di kalibrasi terlebih dahulu, yaitu:

- 1) Siapkan *precision roughness* spesimen dan *calibration stage*.
- 2) Buka menu *Calibration Measurement*.
- 3) Masukkan nilai awal *precision roughness* spesimen ke SJ-410.
- 4) Tempatkan SJ-410 pada *calibration stage* dengan benar.
- 5) Tekan tombol [START/STOP], kemudian akan muncul *Measurement Waveform Display*.
- 6) Setelah *Stylus* berhenti bergerak dan hasil kalibrasi muncul, hasil akan terbaca. Jika nilai didapatkan $\pm 0,009 \mu\text{m}$ dari awal, tekan tombol [RED] (Update). Namun jika berbeda, ganti titik pengukuran dan ulangi Langkah 5 hingga nilai yang didapatkan sesuai (Karmin, Ginting and Yunus, 2013).

Langkah pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari setup alat dan benda, penentuan *sampling length*, dan pengukuran, lebih jelasnya yaitu sebagai berikut:

A. Setup Alat dan Benda Ukur

- 1) Ukur Panjang benda ukur menggunakan jangka sorong.
- 2) Letakkan benda ukur pada *V-block*.
- 3) Lepaskan *drive unit* dari *display unit* dan sambungkan dengan *connection cable* khusus.
- 4) Sejajarkan *detector* dengan permukaan benda ukur dengan memanfaatkan meja datar.

B. Penentuan *sampling length*

- 1) Input *measuring condition*, pilih standar ISO 1997, profil *Roughness*, parameter Ra dan Rz.
- 2) Perkirakan nilai Ra, Rz, atau Rsm spesimen berdasarkan data-data relevan, inspeksi visual, dan sejenisnya.
- 3) Cari nilai *sampling length* yang sesuai dengan nilai Ra, Rz, atau Rsm.
- 4) Ukur Ra, Rz atau Rsm sesuai *sampling length* yang dipilih.
- 5) Apabila hasil keluar tidak sesuai *range* nilai parameternya, pilih *sampling length* yang lebih kecil atau besar.
- 6) Ulangi Langkah 4 dan 5 sampai menemukan *sampling length* yang sesuai dengan *range* nilai parameternya.

C. Pengukuran

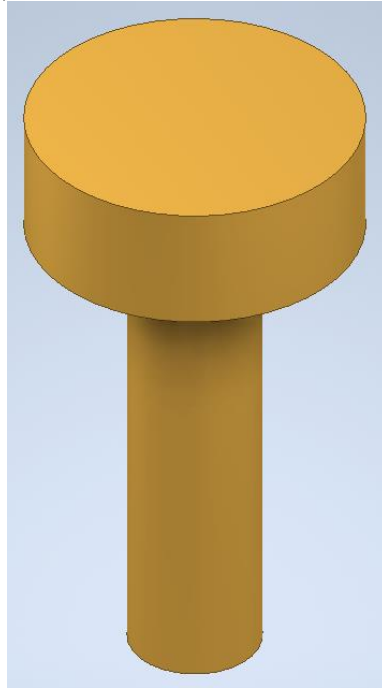
- 1) Atur jumlah pengambilan sampel (n) pada *measuring condition*. Sesuaikan dengan Panjang benda ukur dan nomenklatur.
- 2) Pastikan kondisi *detector* tetap sesuai dengan kondisi yang benar.
- 3) Kembali ke halaman utama pada *display unit*.
- 4) Tekan tombol [START/STOP].
- 5) Tunggu sampai *detector* berhenti bergerak. Catat hasil pengukuran.
- 6) Simpan data pengukuran.
- 7) Lakukan pengukuran sebanyak 3 kali pada setiap spesimen. Ulangi Langkah 2-6 pada titik pengukuran berbeda.

3.5 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan berisikan tentang apa yang penulis dapat guna untuk menyelesaikan proyek akhir. Didalam laporan ini terdapat semua data dan juga pengerjaan penulis tentang uji coba pemanfaatan sisa pemesinan.

3.6 Desain Spesimen, *Punch*, dan *Dies*

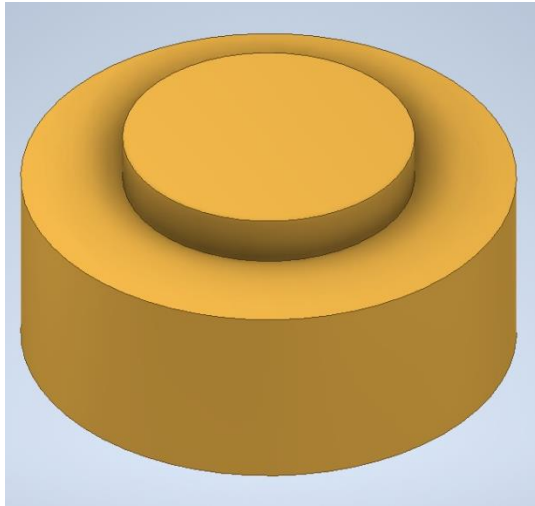
a)



b)



c)



Gambar 3.11 a) Desain *Punch*; b) *Dies*; c) *Dies Statis*

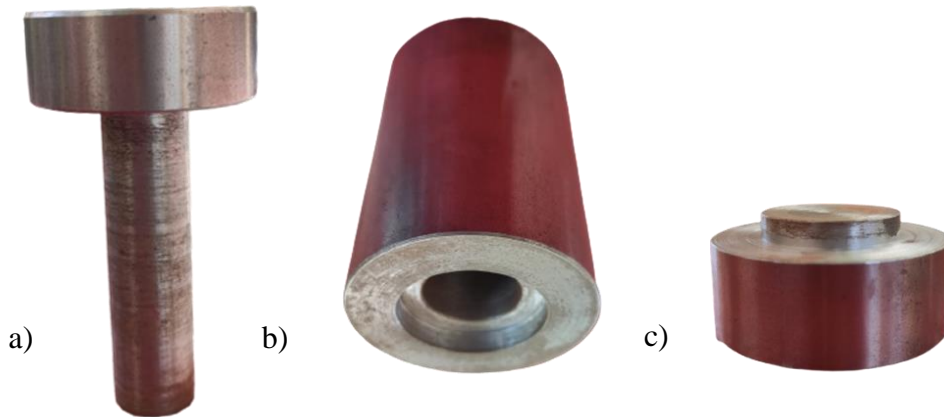


Gambar 3.12 *Assembly* dari *Punch*, dan *Dies*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan *Punch* dan *Dies*

Pada penelitian ini, alat cetakan untuk *punch* dan *dies* ketika kompaksi menggunakan bahan AS ST 41. Dibuat dengan proses pemesinan yaitu mesin bubut dengan geometri berbentuk tabung dan diantara *punch dies* harus ada sudut kemiringan 15° untuk mempermudah saat proses pengeluaran spesimen dari cetakan *punch* dan *dies* setelah dilakukan kompaksi.



Gambar 4.1 Hasil Rancangan a) *Punch*, b) *Dies*, dan c) *Dies Statis*

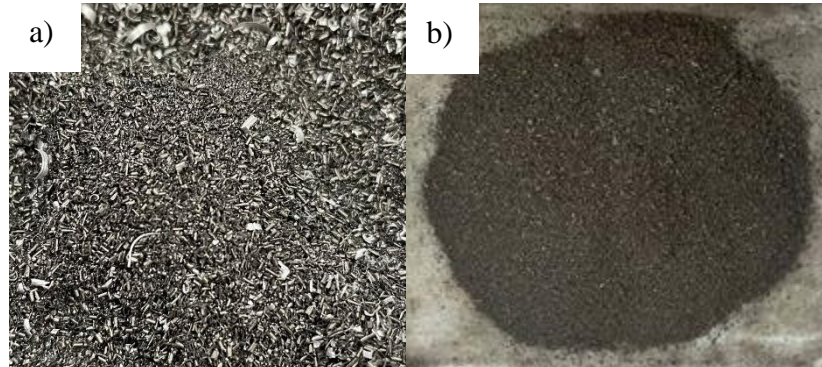


Gambar 4.2 *Assembly* dari *Punch*, *Dies* dan *Dies Statis*

Pada Gambar 4.1a di atas yaitu *punch* hasil jadi setelah dibubut dengan tinggi 75 mm dan tinggi total 94,5 mm dan diameter 20 mm bagian yang kecil untuk menekan pada *dies* nantinya serta diameter penampang atas yaitu 50 mm. *Punch* bagian untuk menekan sengaja dibuat lebih panjang dari *dies* untuk mempermudah ketika mengeluarkan specimen ketika sudah dilakukan kompaksi. Untuk Gambar 4.1b *dies* dengan dimensi tinggi 71 mm, diameter luar 50 mm, diameter lubang untuk spesimen 20 mm dan untuk diameter lubang bagian bawah yaitu 30 mm dan tebal 5 mm. Lubang bagian bawah *dies* dibuat dengan 2 tujuan, yang pertama untuk penahan bagian bawah dapat presisi dengan *dies* dan tidak tergeser ketika dilakukan proses kompaksi, tujuan yang ke-2 yaitu agar *dies* ada rongga untuk mengeluarkan spesimen ketika kompaksi.

4.2 Proses Pengayakan Serbuk

Serbuk sisa proses pemesinan logam sebelum dilakukan penelitian maka serbuk tersebut di ayak menggunakan *test sieve* dengan ukuran 100 mesh untuk mendapatkan serbuk yang halus serta dapat dikatakan homogen.

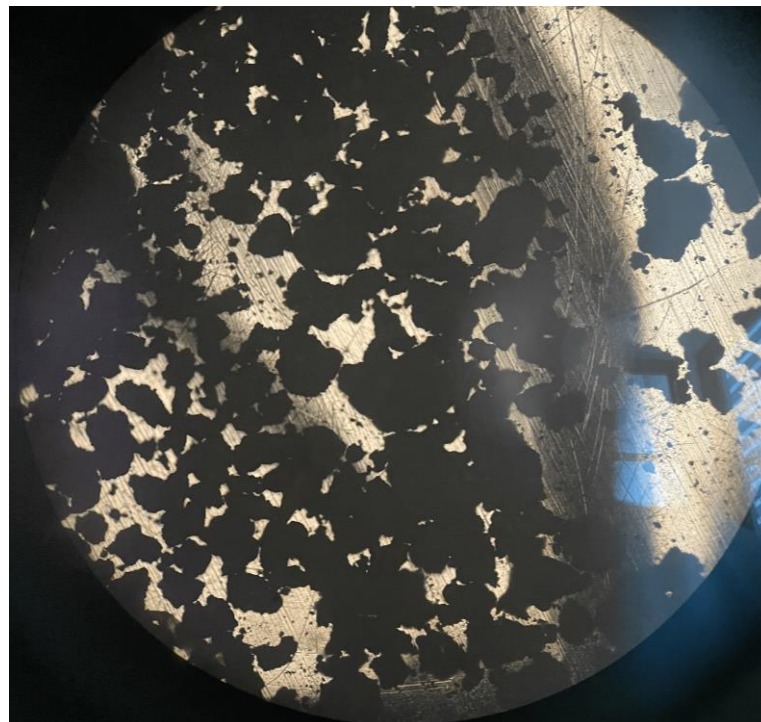


Gambar 4.3 a) Serbuk Hasil Sisa Pemesinan, dan b) Serbuk Hasil Sisa yang Sudah dilakukan Pengayakan

Serbuk hasil sisa pemesinan secara umum berwarna perak seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 a. Serta untuk serbuk yang sudah dilakukan pengayakan cenderung berwarna abu-abu gelap ditunjukkan pada gambar 4.3 b.

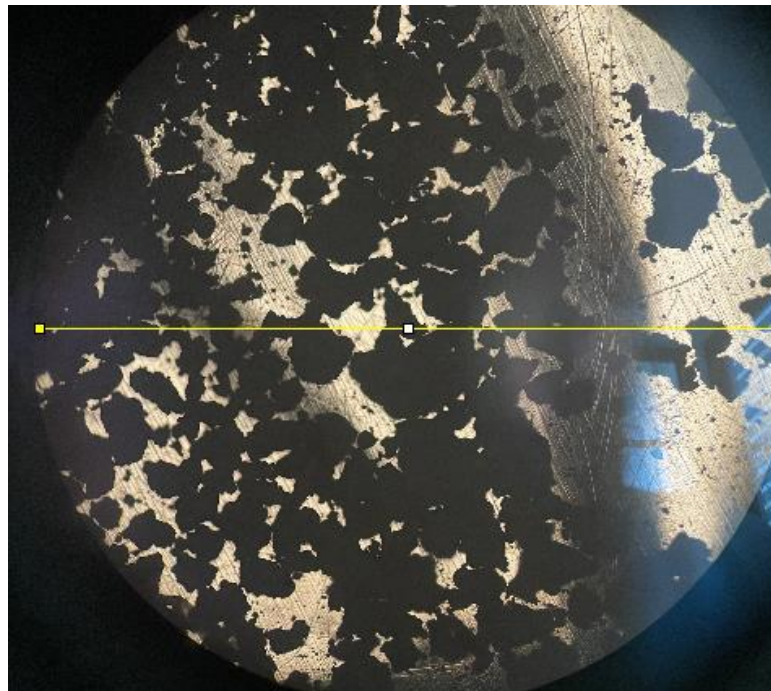
4.3 Hasil Pengujian Bentuk Partikel Serbuk dengan Mikroskop

Gambar 4.4 merupakan penampakan serbuk hasil sisa pemesinan yang sudah di ayak dan dilakukan pengamatan di Laboratorium Material Teknik Departemen Teknik Mesin Industri menggunakan Mikroskop Olympus dengan pembesaran 300x.



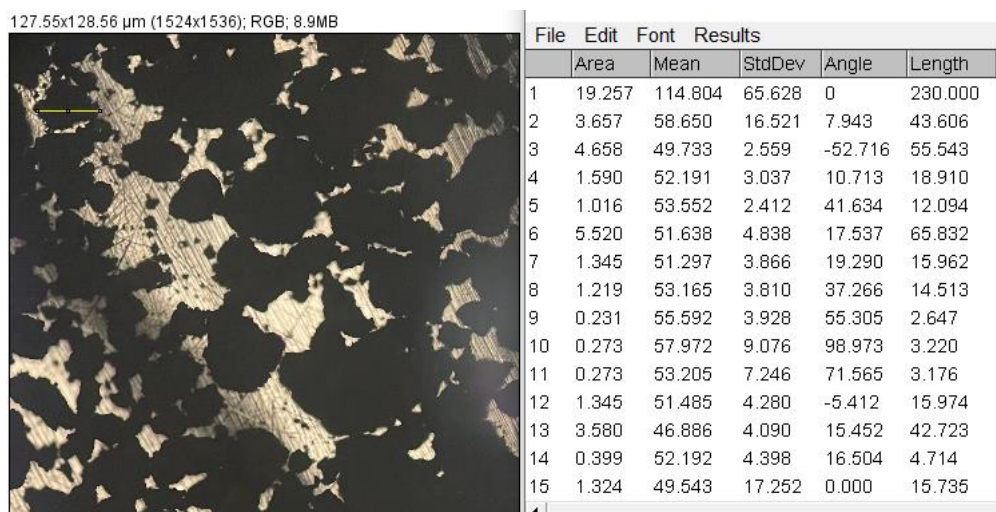
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Bentuk Partikel Serbuk dengan Mikroskop Perbesaran 300x

Hasil pengujian mikroskop pada Gambar 4.4 di potret menggunakan kamera *handphone* dengan area pengamatan diameter 230 μ m dengan melakukan pengukuran menggunakan *Software Image J*.



Gambar 4.5 Pengamatan Distribusi Serbuk pada *Software Image J*

Selanjutnya untuk mengetahui ukuran serbuk ada 2 cara. Cara yang pertama dengan mengukur manual menggunakan *shortcut line* setelah itu akan langsung terlihat berapa ukuran *line* tersebut, berikut beberapa pengukuran serbuk manual menggunakan *Software Image J*:



Gambar 4.6 Hasil Pengamatan menggunakan *Software Image J*

Untuk metode yang ke-2 yaitu juga menggunakan *Software Image J* namun perbedaanya tidak dilakukan manual. Diubah terlebih dahulu tone warna pada hasil pengujian kemudian dimasukkan apa saja data yang ingin didapat. Pada gambar di bawah ini data yang di ambil yaitu banyak serbuk yang tertangkap dalam pengujian mikroskop, kemudian total area serbuk

dari diameter total, ukuran rata-rata serbuk, pembagian persen area yang dicakup dalam gambar.

Terlihat pada Gambar 4.6 di atas hasil dari pengukuran serbuk pada software imageJ dari 15 sampel yang diambil memiliki ukuran yang berbeda beda, menunjukkan serbuk yang tidak merata atau tidak homogen, akan tetapi ini baik untuk digunakan proses metalurgi serbuk dikarenakan besar kecil serbuk baik untuk mengisi rongga yang kosong sehingga serbuk dapat terikat dengan baik.

4.4 Hasil Pengujian XRF

Dari hasil pengayakan serbuk maka langkah selanjutnya yaitu pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan pada Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS. Pengujian XRF dilakukan dengan tujuan mengetahui unsur apa saja yang terkandung di dalamnya. Pada pengujian ini dilakukan 2x pembacaan untuk memastikan kandungan apa saja yang terbaca oleh alat uji XRF.

Tabel 4.1 Hasil Uji *X-Ray Fluorescence* (XRF)

| Nama Sampel | Jenis Uji (Unsur) | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Satuan | Metode Pengujian |
|-----------------------------|-------------------|-------------|-------------|--------|----------------------------|
| Serbuk Sisa Pemesinan Logam | Fe | 95,61 | 95,35 | % | <i>X-Ray Fluorescence*</i> |
| | Si | 1 | 1 | | |
| | Mn | 0,88 | 0,902 | | |
| | Zr | 0,66 | 0,69 | | |
| | S | 0,49 | 0,52 | | |
| | P | 0,3 | 0,3 | | |
| | Ca | 0,29 | 0,29 | | |
| | Cr | 0,27 | 0,28 | | |
| | Cu | 0,2 | 0,2 | | |
| | Br | 0,12 | 0,12 | | |
| | Ni | 0,054 | 0,053 | | |
| | Sc | 0,03 | 0,03 | | |
| Rb | 0,007 | 0,01 | | | |

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 unsur paling banyak yang terkandung dalam serbuk sisa pemesinan logam yaitu Fe dengan 95,61%. Setelah mengetahui unsur paling banyak maka untuk proses selanjutnya menggunakan parameter yang sesuai dengan Fe.

4.5 Proses Pencampuran Serbuk dengan Metode *Dry Mixing*

Pada pembuatan spesimen digunakan komposisi serbuk Fe 97,5% dengan *zinc stearat* 2,5% yaitu Fe 20,5 gram dan *zinc stearat* 0,5 gram dengan total serbuk awal yang dipakai 21 gram. *Zinc stearate* yang dipakai berfungsi sebagai pelumas sekaligus *binder*.



Gambar 4.7 Serbuk Fe sebelum dilakukan Pencampuran



Gambar 4.8 Serbuk Fe yang sudah dicampurkan dengan *Zinc Stearat*

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 serbuk Fe secara fisik sebelum dicampur cenderung berwarna abu-abu pekat dan ketika sudah dicampur dengan *zinc stearate* berwarna abu-abu keputihan. Pencampuran serbuk berperan penting terhadap hasil kompaksi.

4.6 Hasil Kompaksi

Proses kompaksi bertujuan untuk memadatkan serbuk Fe yang sudah di campur *zinc stearat* dengan hasilnya yaitu spesimen. Rencana awal H_0 (tinggi awal) = 30 mm, *green compact* t 20 mm d 20 mm. Simulasi 21 gram dengan tujuan menentukan jumlah yang dibutuhkan membuat specimen dengan dimensi diameter 20 mm dan tinggi 20 mm. Setelah serbuk dimasukkan kedalam *dies*, *punch* dimasukkan tanpa tekanan. Selanjutnya ditekan dengan tekanan masing-masing 100, 125, 150 kN. Karena alat yang digunakan menggunakan satuan kN maka dari rencana awal yang menggunakan alat dengan satuan MPa maka:

Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2$$
$$A = 3,14 \times 10^2$$
$$A = 314 \text{ mm}^2$$

Tekanan 350 MPa

$$P = 350 \text{ MPa}$$
$$P = \frac{F}{A}$$
$$350 \text{ MPa} = \frac{F}{314 \text{ mm}^2}$$
$$F = 109900 \text{ N}$$
$$F = 109,9 \text{ kN}$$

Tekanan 400 MPa

$$P = 400 \text{ MPa}$$
$$P = \frac{F}{A}$$
$$400 \text{ MPa} = \frac{F}{314 \text{ mm}^2}$$
$$F = 125600 \text{ N}$$
$$F = 125,6 \text{ kN}$$

Tekanan 450 MPa

$$P = 350 \text{ MPa}$$
$$P = \frac{F}{A}$$
$$450 \text{ MPa} = \frac{F}{314 \text{ mm}^2}$$
$$F = 141300 \text{ N}$$
$$F = 141,3 \text{ kN}$$

Tabel 4.2 Hasil Proses Kompaksi

| Spesimen | Tekanan (kN) | H ₀ (mm) | H ₁ (mm) | Penurunan | |
|----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------|-------|
| | | | | mm | % |
| I | 100 | 30,2 | 20,5 | 9,7 | 32,12 |
| II | 125 | 30,5 | 20,3 | 10,2 | 33,44 |
| III | 150 | 30,4 | 19,5 | 10,9 | 35,86 |

Keterangan:

$\varnothing = 20$ mm (Diameter Spesimen)

H_0 = Tinggi Awal

H_1 = Tinggi Akhir



Gambar 4.9 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 100 kN

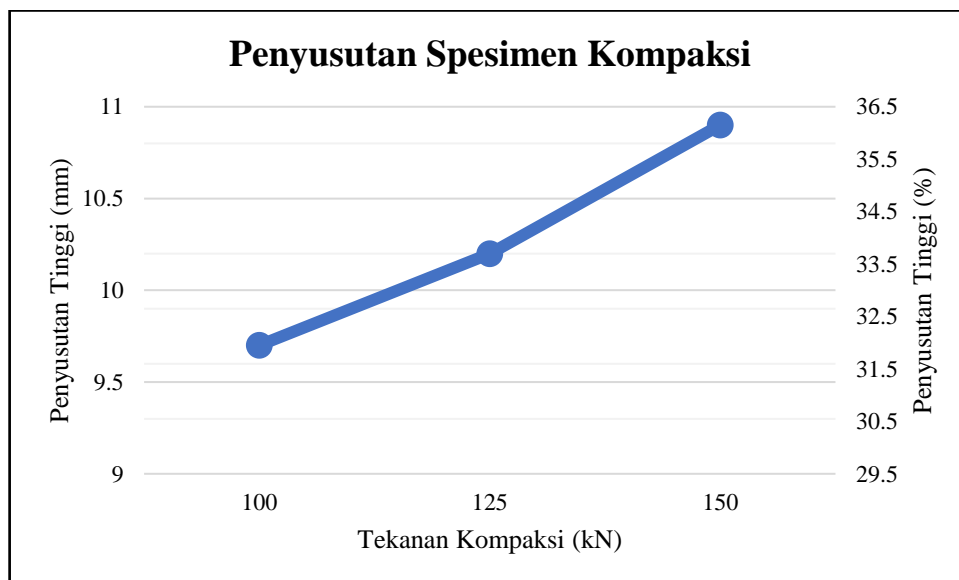


Gambar 4.10 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 125 kN



Gambar 4.11 Hasil Kompaksi dengan Tekanan 150 kN

Terlihat pada Tabel 4.2 pengaruh hasil kompaksi terhadap tinggi spesimen terlihat hasil yang berbeda pada tinggi spesimen. Pada spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN terjadi penyusutan ketinggian dari 30,2 mm menjadi 20,5 mm dan spesimen paling tinggi dari yang lain dikarenakan tekanan paling rendah dari pada spesimen yang lain. Untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 125 kN dari tinggi awal 30,5 mm ketika dikompaksi menjadi 20,3 mm, untuk spesimen terakhir dengan tekanan kompaksi paling tinggi yaitu 150 kN yang tinggi awalnya 30,4 mm menjadi 19,5 mm.



Gambar 4.12 Grafik Penyusutan Tinggi Spesimen Tekanan Kompaksi

Dari Gambar 4.12 di atas dapat dilihat mengalami kenaikan dari spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN sampai pada spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN. Pengaruh variasi tekanan kompaksi terhadap penyusutan spesimen sangat berdampak pada tinggi spesimen, jika tekanan kompaksi semakin tinggi maka spesimen tingginya semakin pendek atau rendah.

4.7 Hasil Pengukuran *Green Density*

Green density yaitu rasio perbandingan volume serbuk logam dengan volume eksternal bagian yang dicetak, dan merupakan ukuran seberapa rapat partikel serbuk. Dari hasil proses kompaksi dilakukan pengukuran densitas dengan perhitungan sebagai berikut:

Volume Tabung

$$V = \pi x r^2 x t$$

Volume Spesimen dengan Kompaksi 100 kN

$$V = \pi x r^2 x t$$
$$V = 3,14 x 10^2 x 20,5 \text{ mm}$$
$$V = 6437 \text{ mm}^3$$
$$V = 6,437 \text{ cm}^3$$

Volume Spesimen dengan Kompaksi 125 kN

$$V = \pi x r^2 x t$$
$$V = 3,14 x 10^2 x 20,3 \text{ mm}$$
$$V = 6374,2 \text{ mm}^3$$
$$V = 6,374 \text{ cm}^3$$

Volume Spesimen dengan Kompaksi 150 kN

$$V = \pi x r^2 x t$$
$$V = 3,14 x 10^2 x 19,5 \text{ mm}$$
$$V = 6123 \text{ mm}^3$$
$$V = 6,123 \text{ cm}^3$$

Densitas Spesimen Kompaksi 100 kN

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{6,437 \text{ cm}^3}$$
$$\rho = 3,262 \text{ gr/cm}^3$$

Densitas Spesimen Kompaksi 125 kN

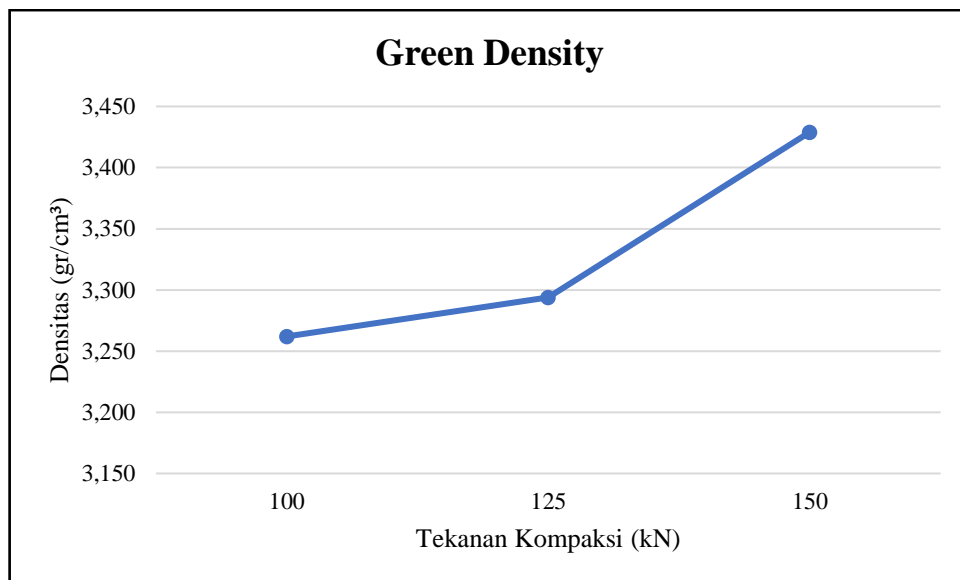
$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{6,374 \text{ cm}^3}$$
$$\rho = 3,294 \text{ gr/cm}^3$$

Densitas Spesimen Kompaksi 150 kN

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{6,123 \text{ cm}^3}$$
$$\rho = 3,429 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Green Density*

| No. | Spesimen | Ø (mm) | Tinggi (mm) | Massa (gram) | Volume (cm ³) | Densitas (gr/cm ³) |
|---------------------------|-----------------|--------|-------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1 | Kompaksi 100 kN | 20 | 20,5 | 21 | 6,437 | 3,262 |
| 2 | Kompaksi 125 kN | 20 | 20,3 | 21 | 6,374 | 3,294 |
| 3 | Kompaksi 150 kN | 20 | 19,5 | 21 | 6,123 | 3,429 |
| Densitas Rata-rata | | | | | | 3,328 |



Gambar 4.13 Grafik *Green Density*

Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa spesimen dengan tekanan kompaksi paling tinggi memiliki densitas yang tinggi juga. Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa spesimen 100 kN memiliki densitas paling rendah dengan rata-rata 3,262 gr/cm³ dikarenakan tekanan kompaksinya juga paling rendah. Untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 125 kN memiliki densitas 3,294 gr/cm³. Dan untuk tekanan kompaksi yang paling tinggi yaitu 150 kN memiliki densitas 3,429 gr/cm³. Maka semakin tinggi tekanan kompaksi densitas yang dihasilkan semakin tinggi pula setelah dilakukan kompaksi dan hasil tersebut berbanding lurus dengan variasi tekanan yang diberikan saat kompaksi dilakukan.

4.8 Hasil Proses *Sintering*

Proses *sintering* yaitu pemanasan pada temperatur sesuai unsur yang terkandung dalam spesimen uji dan waktu penahanan tertentu, dengan tujuan memperkuat ikatan butir serbuk yang sudah dilakukan proses kompaksi. Pada penelitian ini proses *sintering* menggunakan *Muffle Furnace Thermolyne* yang berada di Laboratorium Material Teknik Departemen Teknik

Mesin Industri. Spesimen *green compact* yang diuji menggunakan suhu *sintering* 1000°C dan waktu penahanan selama 30 menit.



Gambar 4.14 Hasil *Sintering* Spesimen Kompaksi 100 kN



Gambar 4.15 Hasil *Sintering* Spesimen Kompaksi 125 kN



Gambar 4.16 Hasil *Sintering* Spesimen Kompaksi 150 kN

Dari ketiga spesimen tersebut terdapat hasil yang berbeda. Pada 3 gambar hasil di atas terdapat perubahan bentuk spesimen setelah dilakukan *sintering*, semakin padat serta tingginya semakin pendek.

Tabel 4.4 Hasil Proses *Sintering*

| Pengujian | Tekanan | Ø_0 | Ø_1 | H_0 | H_1 |
|--------------|---------|--------------|--------------|---------|---------|
| Spesimen I | 100 kN | 20 mm | 21,5 mm | 20,5 mm | 19,9 mm |
| Spesimen II | 125 kN | 20 mm | 22,3 mm | 20,3 mm | 19,5 mm |
| Spesimen III | 150 kN | 20 mm | 22,5 mm | 19,5 mm | 19 mm |

Pada Tabel 4.4 di atas setelah dilakukan *sintering* dapat dilihat terjadi perubahan signifikan pada diameter dan tinggi spesimen. Untuk diameter terjadi peningkatan pada semua spesimen namun hanya dibagian atas dan bawah saja. Spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN dari diameter awal 20 mm menjadi 21,5 mm. Untuk spesimen 125 kN dari diameter 20 mm menjadi 22,3 mm. Dan untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN dari diameter 20 mm menjadi 22,5 mm. Hal tersebut terjadi akibat dari berbedanya hasil proses pencampuran serbuk yang tidak sama antar 3 spesimen. Sedangkan untuk tinggi spesimen terjadi penurunan, spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN dari tinggi awalnya 20,5 mm menjadi 19,9 mm. Untuk spesimen 125 kN dari tinggi awalnya 20,3 mm menjadi 19,5 mm. Dan untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN dari tinggi awalnya 19,5 mm menjadi 19 mm. Hal tersebut diakibatkan dari beberapa partikel serbuk setelah dipanaskan menjadi bergabung 1 partikel. Maka pengaruh tekanan kompaksi pada *sintering* ini yaitu semakin tinggi tekanan kompaksi pada spesimen yang dilakukan maka hasil *sintering* spesimen akan memengaruhi bentuk dan ukuran spesimen. Untuk diameternya semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin besar

diameter yg dihasilkan setelah dilakukan *sintering* dan sebaliknya untuk tinggi spesimen, semakin tinggi tekanan kompaksi maka hasil *sintering* spesimen semakin pendek atau rendah.

4.9 Hasil Pengukuran *Sinter Density*

Setelah dilakukan proses *sintering*, maka untuk mencari volume penyusutan harus dilakukan pengukuran pada spesimen dengan memasukkan spesimen kedalam gelas ukur yang berisi air kemudian di timbang menggunakan timbangan digital, dan untuk menghitung densitas setelah dilakukan *sintering* yaitu sebagai berikut:

Densitas Spesimen Kompaksi 100 kN

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

$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{7,121 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 2,949 \text{ gr/cm}^3$$

Densitas Spesimen Kompaksi 125 kN

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

$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{7,042 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 2,982 \text{ gr/cm}^3$$

Densitas Spesimen Kompaksi 150 kN

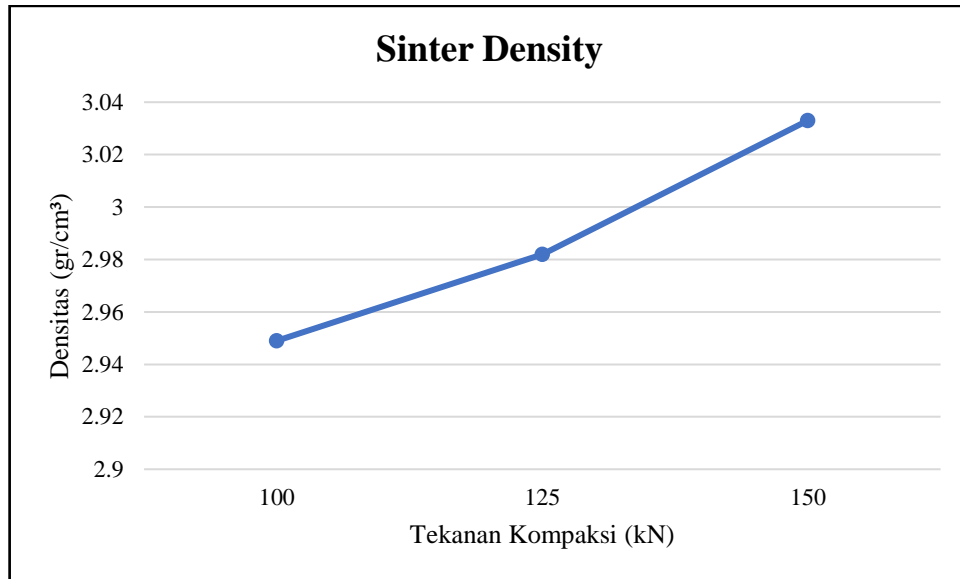
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{21 \text{ gr}}{6,923 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 3,033 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Sinter Density*

| Spesimen | Tekanan (kN) | Massa (gram) | Volume (cm ³) | Densitas (gr/cm ³) |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|
| I | 100 | 21 | 7,121 | 2.949 |
| II | 125 | 21 | 7,042 | 2,982 |
| III | 150 | 21 | 6.923 | 3.033 |
| Densitas Rata-rata | | | | 2,988 |



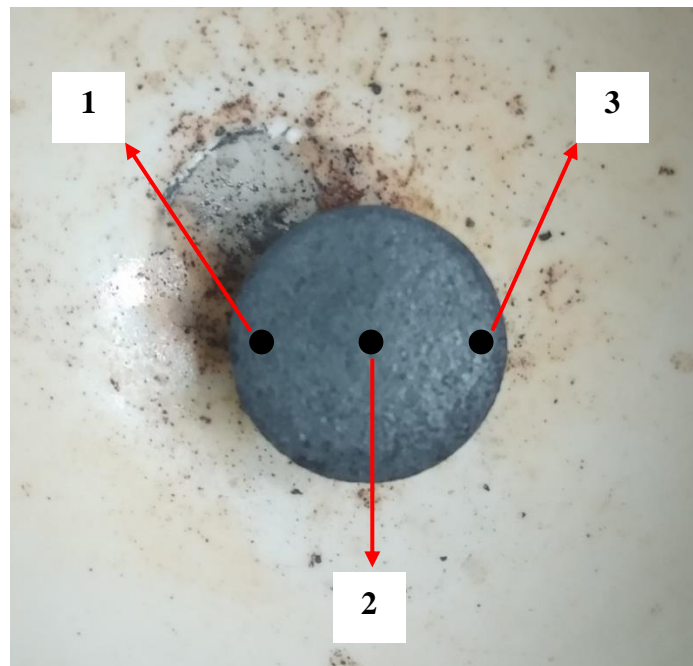
Gambar 4.17 Grafik *Sinter Density*

Dari grafik pada Gambar 4.17 di atas dapat dilihat untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN menghasilkan densitas 2,949 gr/cm³, untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 125 kN menghasilkan densitas 2,982 gr/cm³ dan untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN menghasilkan densitas 3,033. Maka pengaruh tekanan kompaksi terhadap hasil *sinter density* yaitu berbanding lurus, semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin tinggi pula hasil *sinter density* yang dihasilkan.

4.10 Hasil Analisa Sifat Mekanik

4.10.1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan bertujuan untuk mengetahui seberapa kasar/halus permukaan spesimen.



Gambar 4.18 Titik Pengujian Kekasaran Permukaan pada Spesimen



Gambar 4.19 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan menggunakan *Surface Roughness Tester*, a) Kompaksi 100 kN, b) Kompaksi 125 kN, dan c) Kompaksi 150 kN

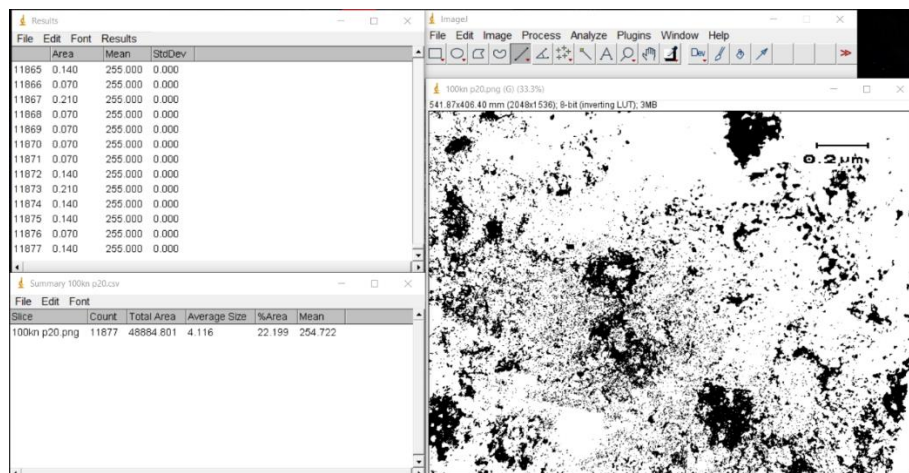
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekasaran Permukaan

| Spesimen | Tekanan (kN) | Pengukuran (μm) | | | Rata-rata |
|----------|--------------|-----------------|-------|-------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| I | 100 | 2,781 | 2,662 | 2,713 | 2,718 |
| II | 125 | 1,117 | 1,864 | 1,456 | 1,479 |
| III | 150 | 0,413 | 1,108 | 0,952 | 0,824 |

Dengan hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen yang sudah dilakukan *sintering* pada Tabel 4.6 di atas semakin besar tekanan kompaksi maka semakin halus permukaan spesimen. Pengaruh tekanan kompaksi terhadap hasil uji kekasaran permukaan yaitu berbanding lurus, semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan maka semakin halus spesimen yang dihasilkan.

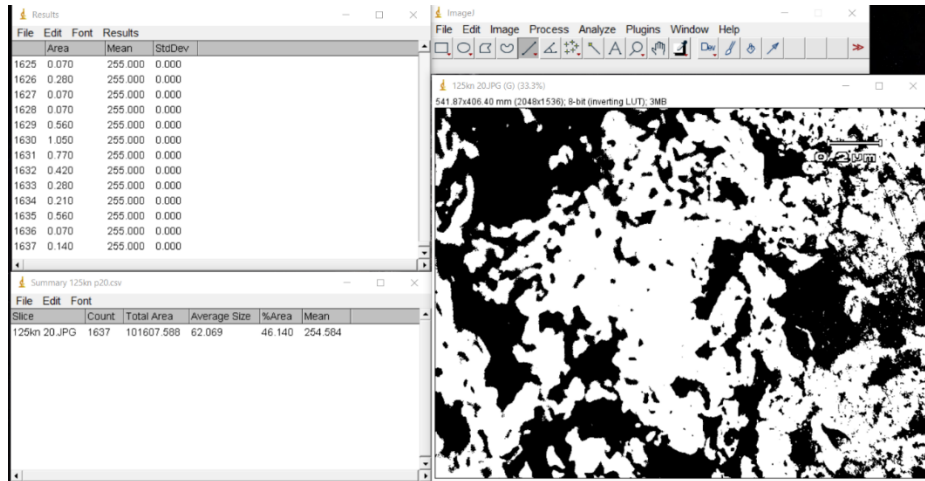
4.10.2 Hasil Pengujian Porositas dengan *Software Image J*

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui ruang kosong antar serbuk yang sudah dilakukan proses kompaksi dan *sintering*.



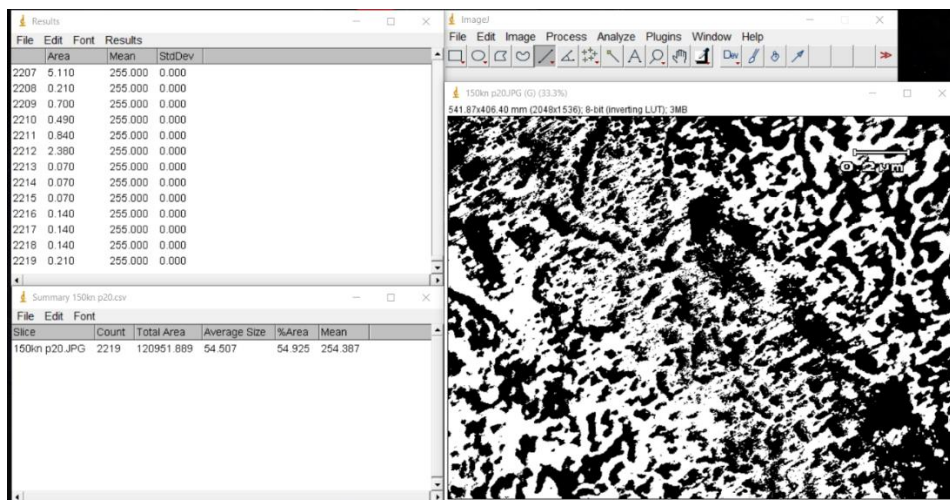
Gambar 4.20 Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 1200x

Pada Gambar 4.20 di atas yang berwarna hitam merupakan area bukan porositas yang terbentuk pada spesimen dengan tekanan kompaksi 100 kN sebanyak 11877 porositas dari hasil mikroskop dengan pembesaran 1200x dan total area bukan porositas yang terbaca pada *Software Image J* yaitu 22,199% dan area porositasnya 77,801%



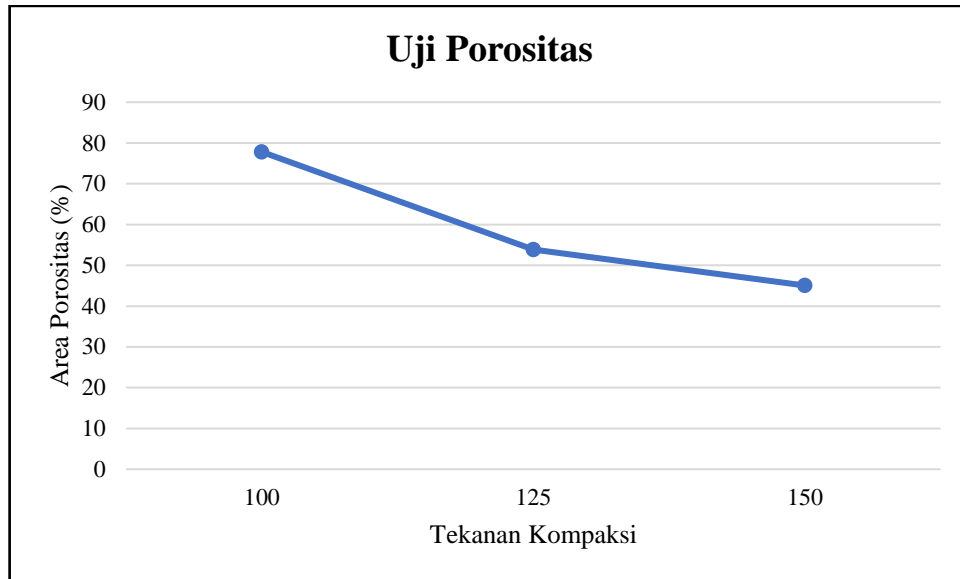
Gambar 4.21 Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 1200x

Pada Gambar 4.21 di atas yang berwarna hitam merupakan bukan porositas yang terbentuk pada spesimen dengan tekanan kompaksi 125 kN sebanyak 1637 porositas dari hasil mikroskop dengan pembesaran 1200x dan total area bukan porositas yang terbaca pada *Software Image J* yaitu 46,140% dan area porositasnya 53,86%.



Gambar 4.22 Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 1200x

Pada Gambar 4.22 di atas yang berwarna hitam merupakan bukan porositas yang terbentuk pada spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN sebanyak 2219 porositas dari hasil mikroskop dengan pembesaran 1200x dan total area bukan porositas yang terbaca pada *Software Image J* yaitu 54,925% dan area porositasnya 45,0575%.

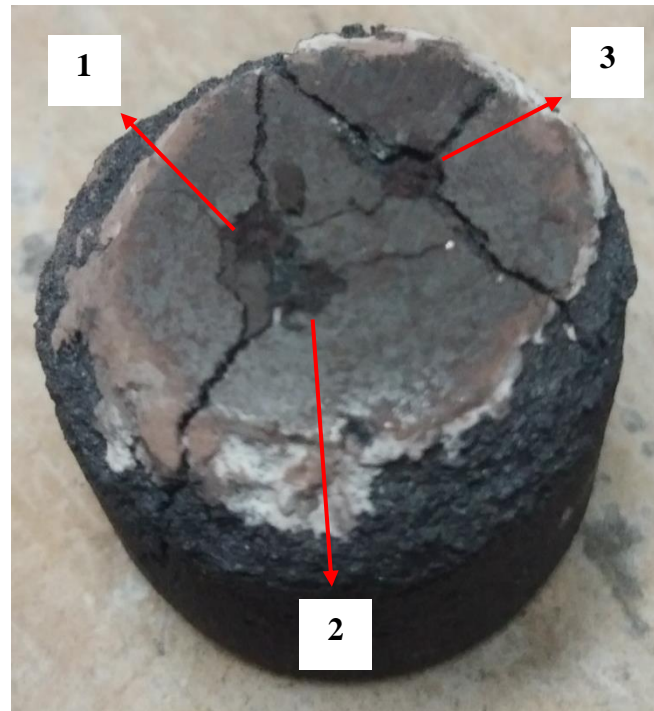


Gambar 4.23 Grafik Hasil Uji Porositas

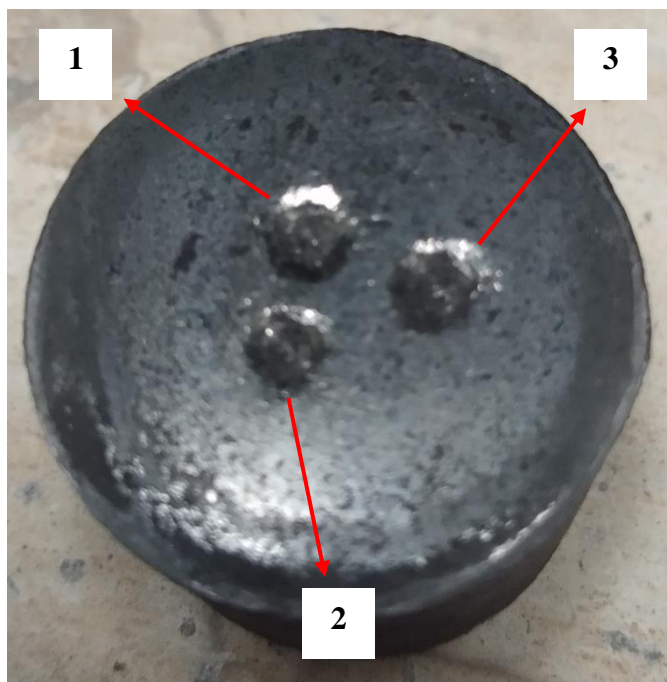
Maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh tekanan kompaksi terhadap porositas spesimen yaitu semakin tinggi tekanan kompaksi semakin sedikit porositas dihasilkan, hal ini berbanding lurus dengan semakin tinggi kompaksi yang dilakukan pada spesimen yaitu semakin padat.

4.10.3 Hasil Pengujian Kekerasan

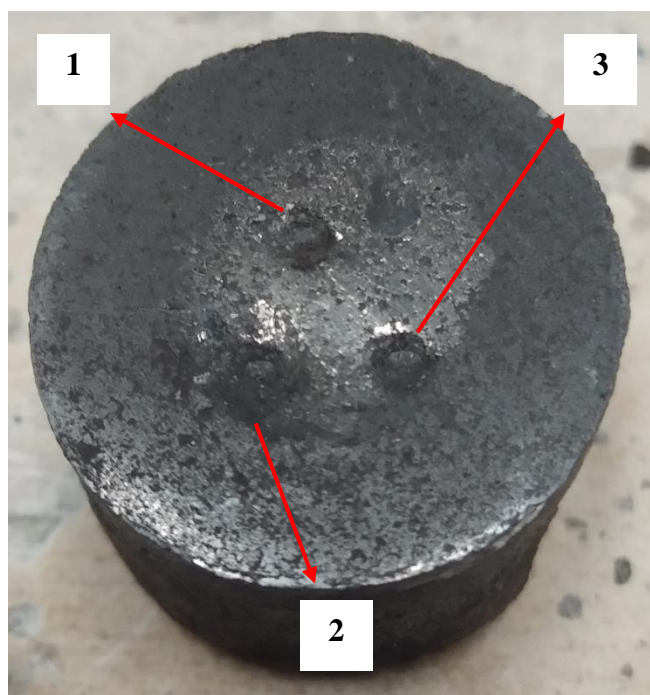
Pada dasarnya pengujian kekerasan ini bertujuan menentukan nilai kekerasan material yang sudah dilakukan proses sebelumnya yaitu kompaksi dan *sintering*. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Rockwell* dengan indenter *diamond cone* 120° dan *major weight* 60 kgf. Indenter scale A ini merupakan indenter dengan beban terkecil yang di mana spesimen yang dipakai bersifat getas.



Gambar 4.24 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 100 kN



Gambar 4.25 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 125 kN

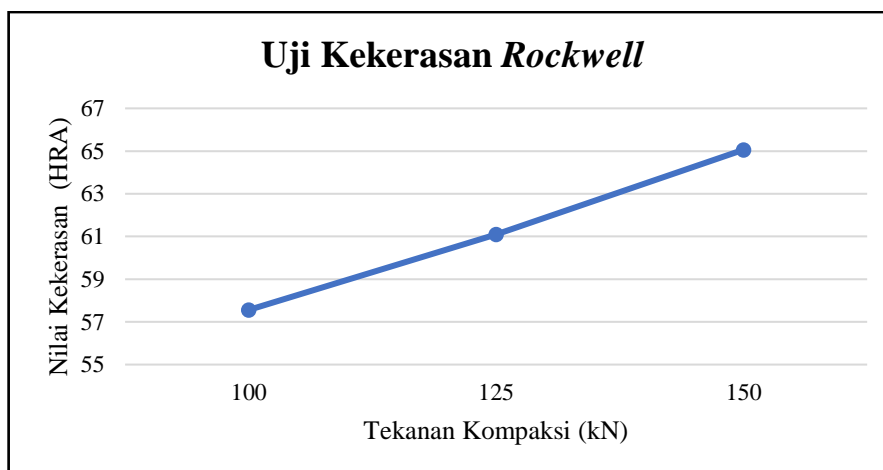


Gambar 4.26 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen dengan Kompaksi 150 kN

Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Rockwell

| Spesimen | Tekanan (kN) | Kekerasan Pada Titik (HRA) | | | Rata-rata |
|----------|--------------|----------------------------|------|----|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| I | 100 | 56,2 | 57,5 | 59 | 57,56 |

| | | | | | |
|-----|-----|------|------|------|--------------|
| II | 125 | 58,9 | 61 | 63,4 | 61,1 |
| III | 150 | 60,5 | 65,7 | 69 | 65,06 |



Gambar 4. 27 Grafik Hasil Nilai Rata-rata

Pada Tabel 4.7 pengaruh tekanan kompaksi terhadap nilai kekerasan hasil spesimen pengujian kekerasan yang didapatkan menunjukkan nilai yang semakin besar mulai dari kompaksi 100, 125, 150 kN, artinya semakin tinggi nilai yang didapat maka semakin keras spesimen yang dihasilkan.

4.10.4 Hasil Pengujian Geser

Pada pengujian geser ini dilakukan guna mengetahui kekuatan geser dari spesimen, seberapa kuat spesimen untuk menerima gaya geser yang diberikan. Pengujian ini menggunakan 2 buah plat yang dilubangi sesuai dengan ukuran spesimen kemudian spesimen diletakkan dikedua plat dan diberikan gaya. Dari pengujian geser yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut:

Luas Penampang Lingkaran Spesimen Kompaksi 100 kN

$$L = \pi x r^2$$

$$L = 3,14 x 10,65^2$$

$$L = 356,14665 \text{ mm}^2$$

Luas Penampang Lingkaran Spesimen Kompaksi 125 kN

$$L = \pi x r^2$$

$$L = 3,14 x 11,35^2$$

$$L = 404,50265 \text{ mm}^2$$

Luas Penampang Lingkaran Spesimen Kompaksi 150 kN

$$L = \pi x r^2$$

$$L = 3,14 x 11,45^2$$

$$L = 411,66185 \text{ mm}^2$$

Tegangan Geser Spesimen Kompaksi 100 kN

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

$$\tau = \frac{2000 \text{ N}}{356,14665 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 5,61566 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan Geser Spesimen Kompaksi 125 kN

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

$$\tau = \frac{5000 \text{ N}}{404,50265 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 12,36085 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan Geser Spesimen Kompaksi 150 kN

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

$$\tau = \frac{6000 \text{ N}}{411,66185 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 14,57506 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 4.8 Hasil Uji Geser

| Spesimen | Luas Penampang (mm ²) | Gaya Tarik (N) | Diameter (mm) | Tegangan Geser (N/mm ²) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------|---------------|-------------------------------------|
| Kompaksi 100 kN | 362,866 | 2000 | 21,3 | 5,64566 |
| Kompaksi 125 kN | 390,372 | 5000 | 22,7 | 12,36085 |
| Kompaksi 150 kN | 329,896 | 6000 | 22,9 | 14,57506 |



Gambar 4.28 Hasil Patahan Spesimen setelah dilakukan Uji Geser



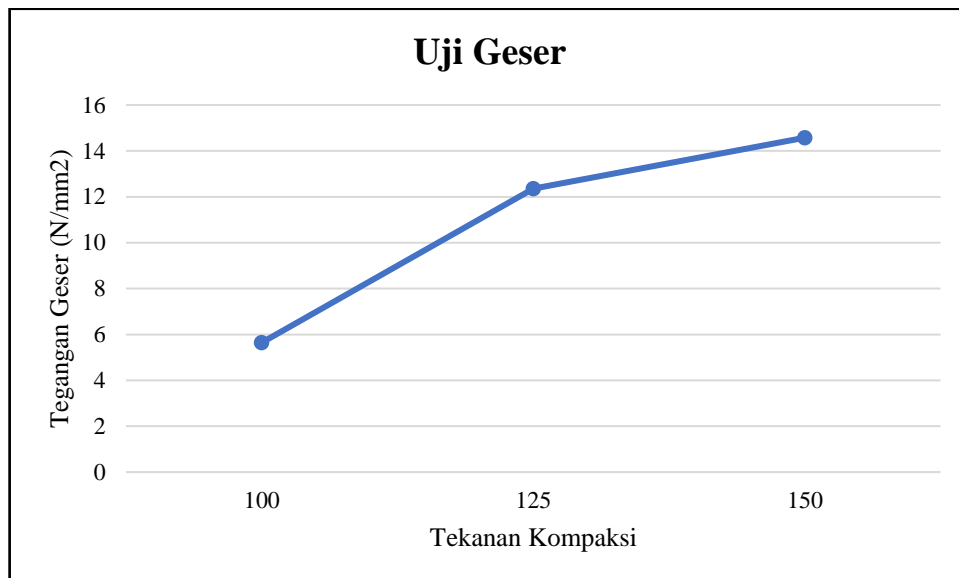
Gambar 4.29 Patahan Spesimen 100 kN



Gambar 4.30 Patahan Spesimen 125 kN



Gambar 4.31 Patahan Spesimen 150 kN



Gambar 4.32 Grafik Hasil Uji Geser

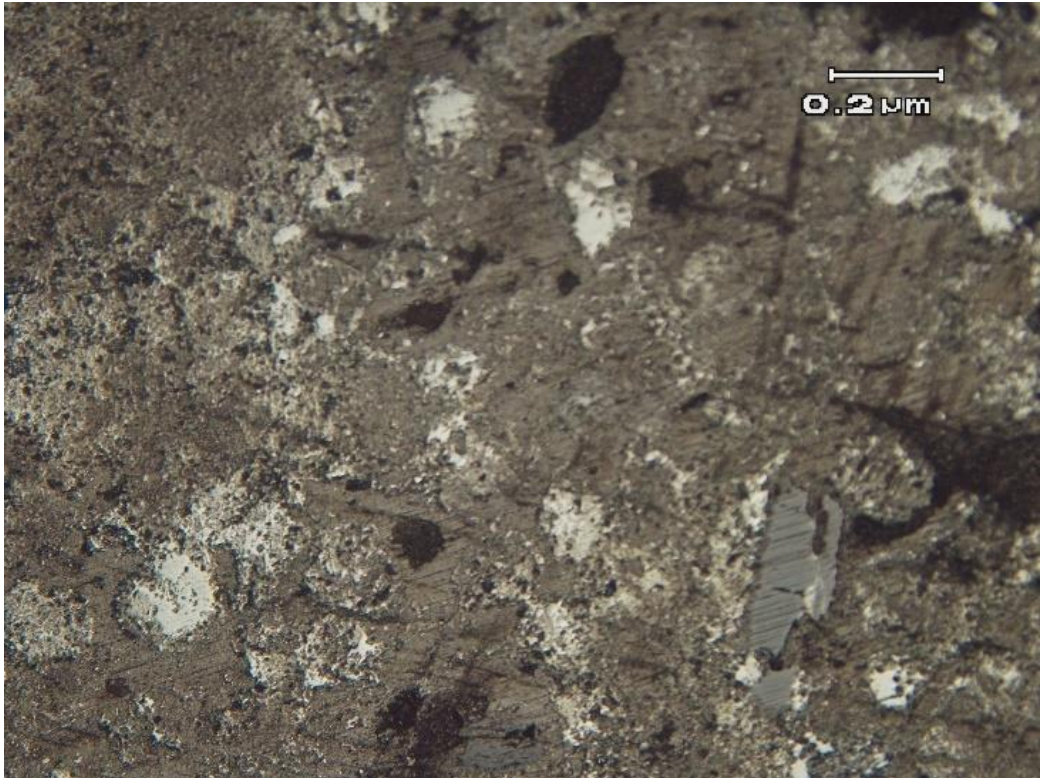
Terlihat pada gambar hasil uji geser dan Tabel 4.8 pengaruh tekanan kompaksi terhadap spesimen dengan kompaksi 100 kN hanya memiliki kekuatan geser 5,64566 N/mm² dan hasil dari pengujian geser spesimen mengalami patahan menjadi beberapa bagian dari yang besar sampai yang kecil. Untuk spesimen dengan kompaksi 125 kN menghasilkan etgangan geser 12,36085 N/mm² patahan yang lebih sedikit yaitu dengan 3 bagian. Dan untuk spesimen 150 kN menghasilkan tegangan geser 14,57506 N/mm² mengalami hal yang berbeda dengan spesimen lainnya, hanya patah menjadi 2 bagian. Maka semakin besar tekanan kompaksi yang dihasilkan semakin besar juga tegangan geser yang dihasilkan.

4.11 Hasil Analisa Struktur Mikro

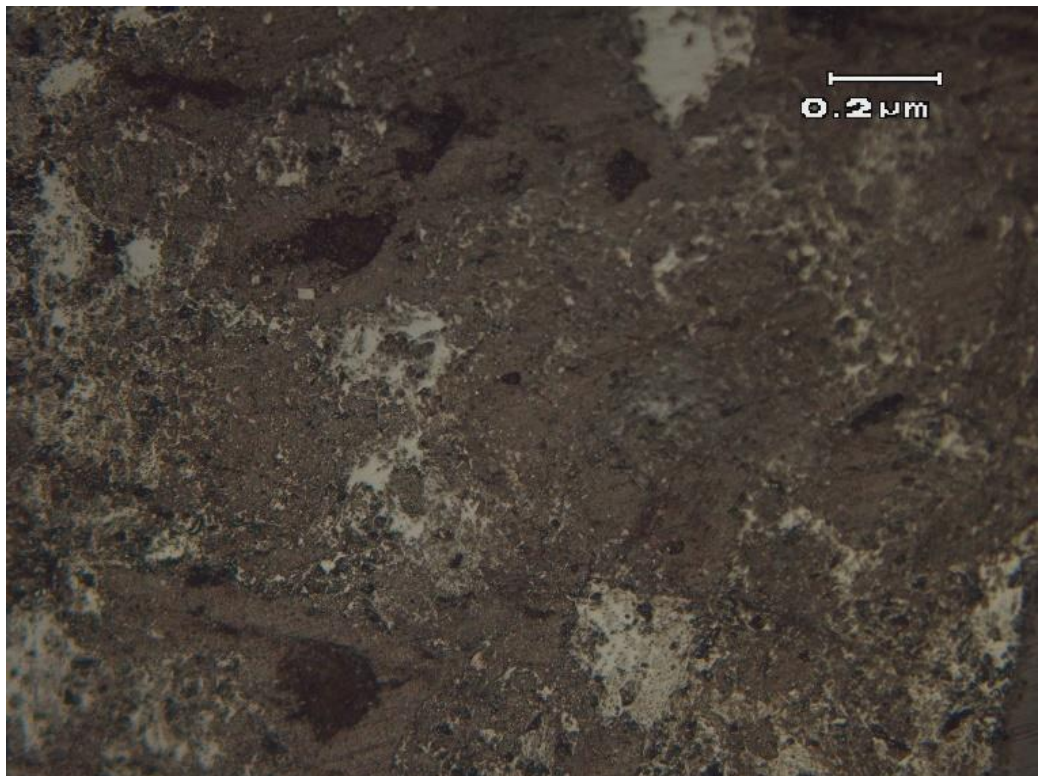
Spesimen yang sudah dilakukan proses kompaksi dan *sintering*, langkah selanjutnya untuk mengetahui struktur mikro apa saja yang tekandung didalam spesimen maka dilakukan pengujian metalografi, berikut ini hasil dari pengujian metalografi:

4.11.1 Hasil Pengujian Metalografi

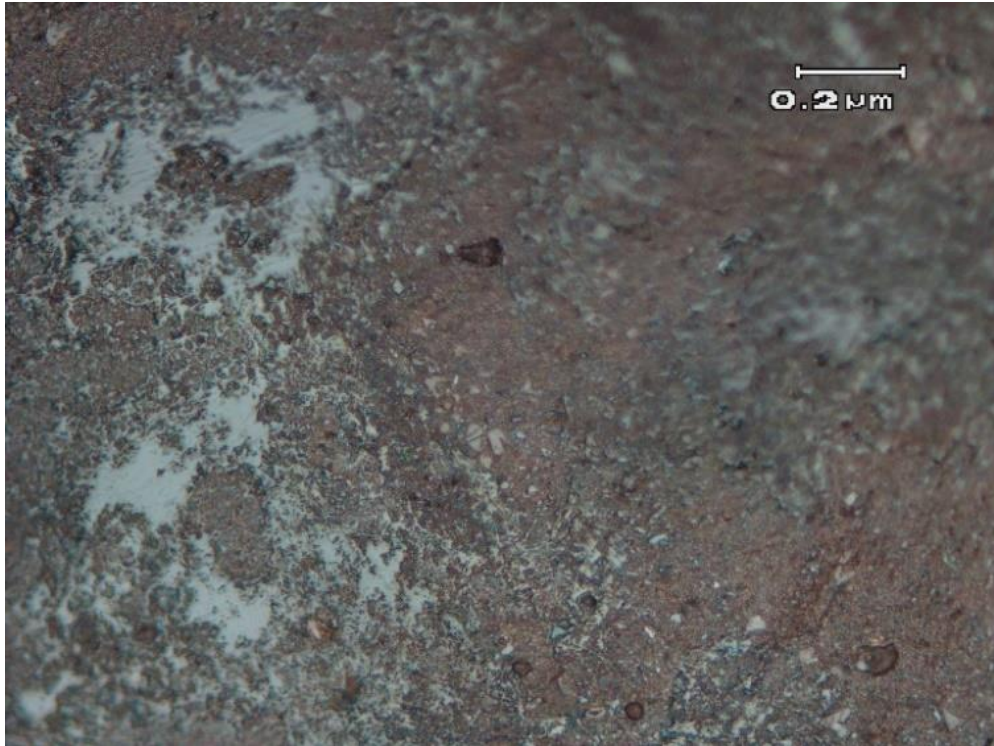
Pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk setelah dilakukan proses *sintering*.



Gambar 4.33 Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 600x

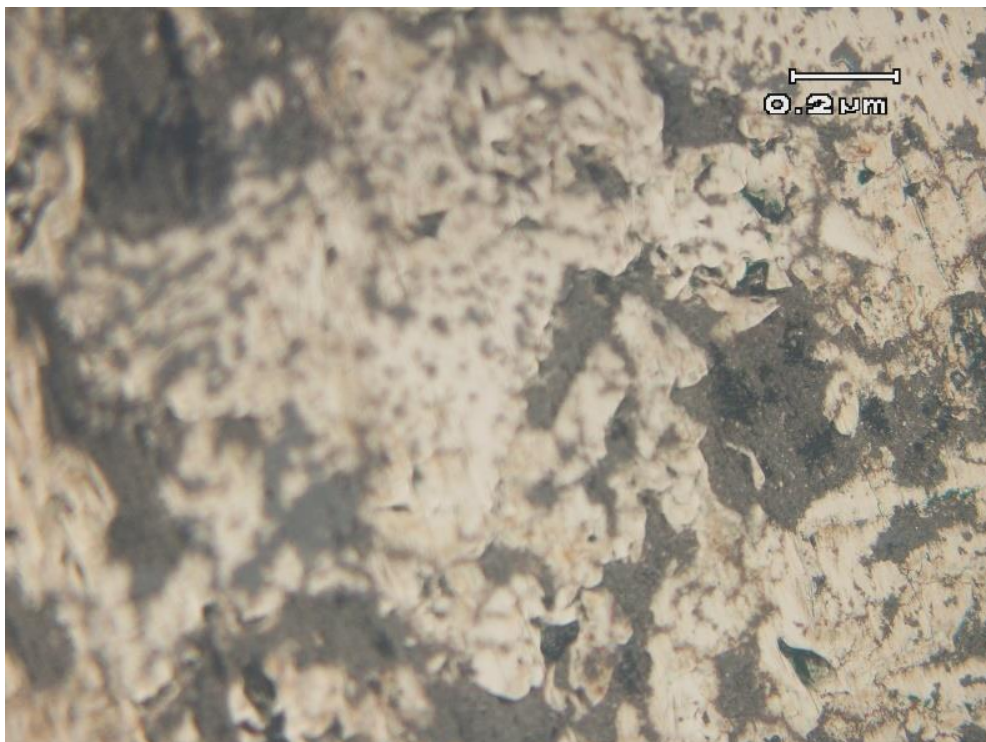


Gambar 4.34 Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 1200x

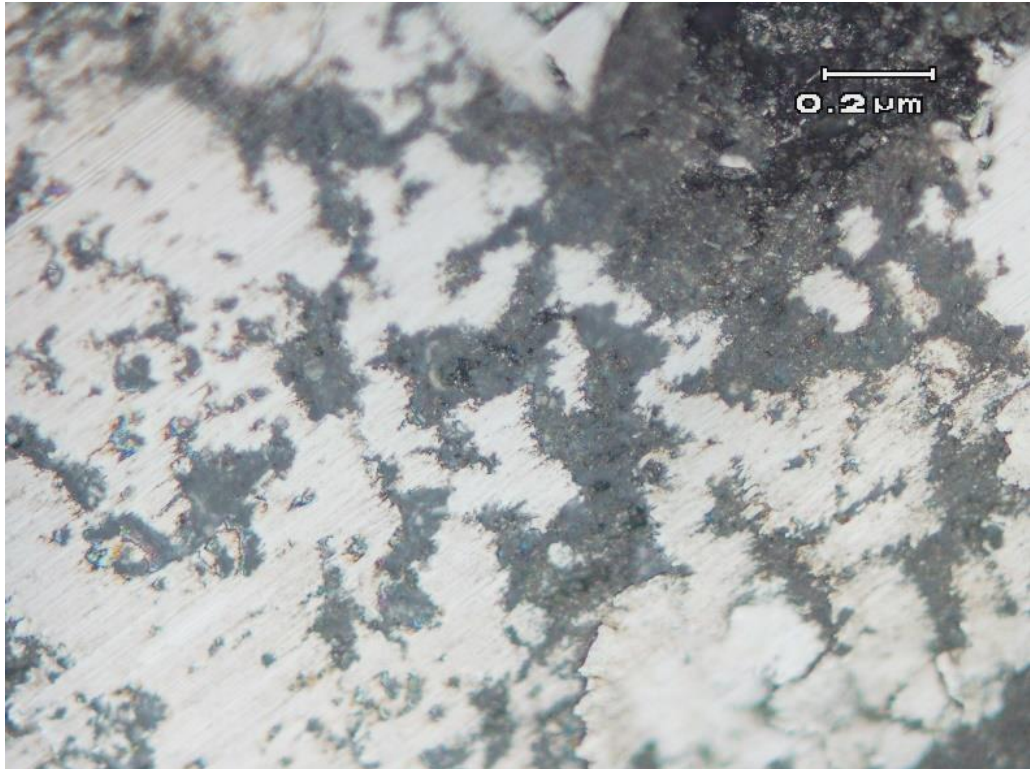


Gambar 4.35 Kompaksi 100 kN dengan Perbesaran 3000x

Pada Gambar 4.34 spesimen uji metalografi dilakukan perhitungan struktur mikro, hasil pada spesimen kompaksi 100 kN dengan perbesaran 1200x struktur yang terbentuk lebih banyak pearlite dari pada ferrit.

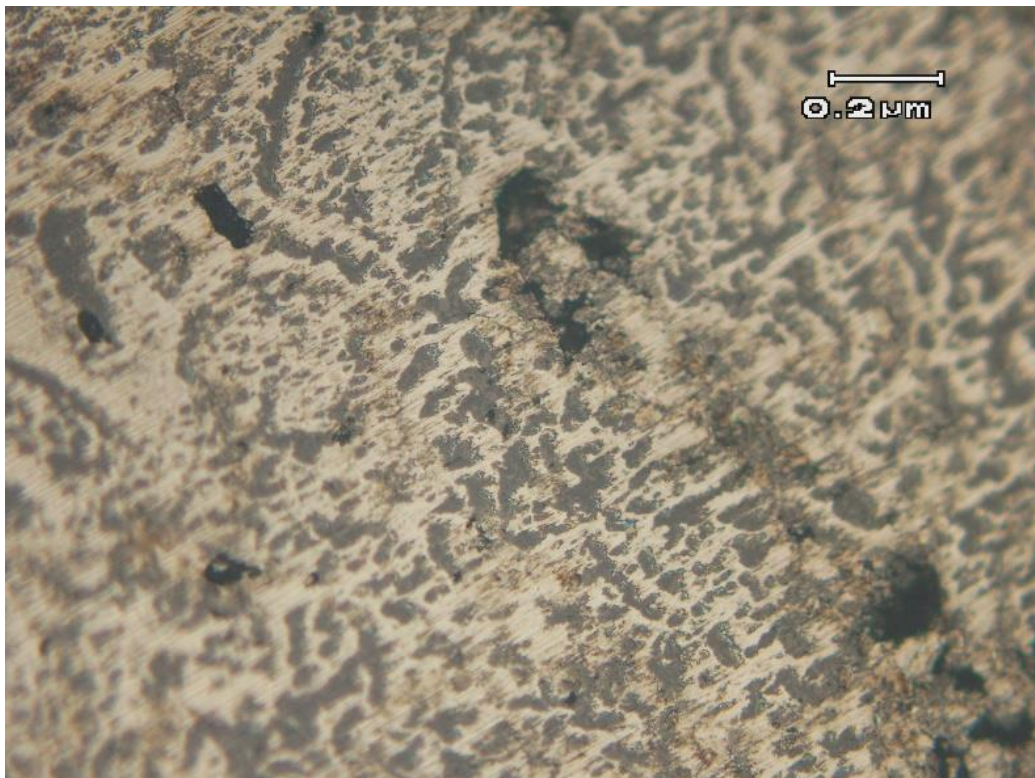


Gambar 4.36 Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 1200x

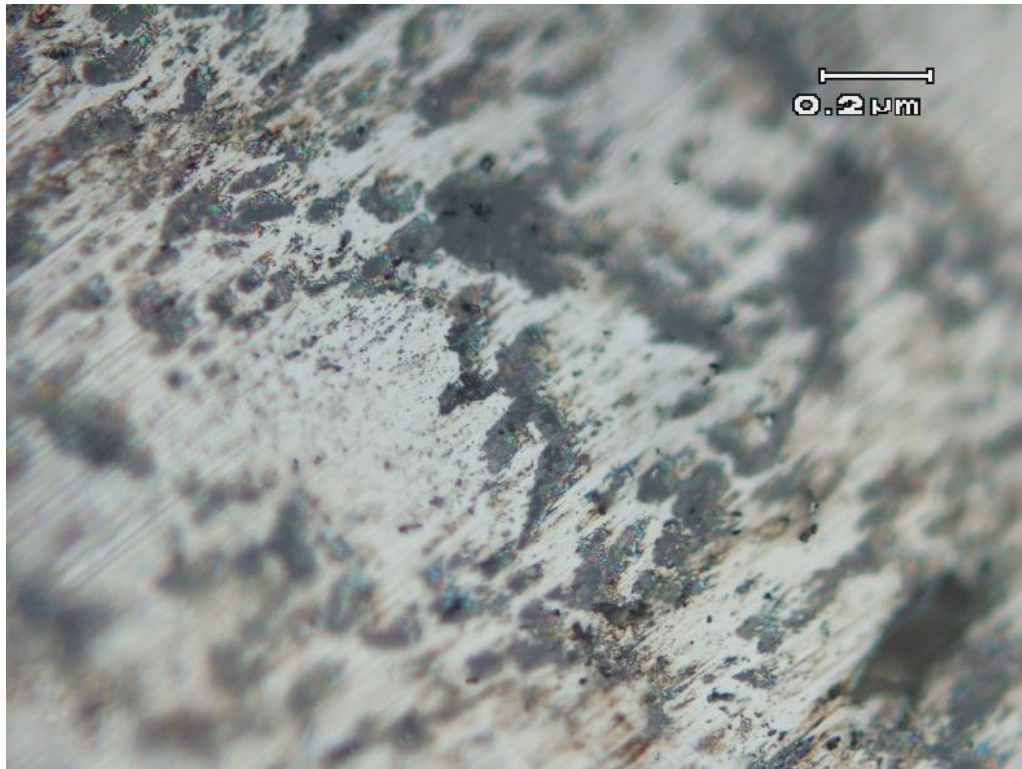


Gambar 4.37 Kompaksi 125 kN dengan Perbesaran 3000x

Pada Gambar 4.36 spesimen uji metalografi dilakukan perhitungan struktur mikro, hasil pada spesimen kompaksi 125 kN dengan perbesaran 1200x struktur yang terbentuk juga lebih banyak pearlite dari pada ferrit.



Gambar 4.38 Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 1200x



Gambar 4.39 Kompaksi 150 kN dengan Perbesaran 3000x

Pada Gambar 4.38 spesimen uji metalografi dilakukan perhitungan struktur mikro, hasil pada spesimen kompaksi 100 kN dengan perbesaran 1200x struktur yang terbentuk lebih banyak pearlite dari pada ferrit meskipun perbandingannya hanya sedikit saja.

Struktur mikro yang terbentuk pada ketiga spesimen adalah ferrit dan pearlite, karena semua spesimen mengalami suhu tinggi pada proses *sintering* dan juga dilakukan pendinginan normalizing atau penyimpanan suhu normal dalam ruangan. Pada gambar di atas, pearlite cenderung berwarna hitam pada gambar struktur mikro, sedangkan ferrit cenderung berwarna putih. Dengan meningkatnya tekanan kompaksi, struktur pearlite pada spesimen semakin berkurang. Maka dari itu Pengaruh tekanan kompaksi terhadap struktur mikro yang terbentuk semakin tinggi tekanan kompaksi maka struktur pearlite yang terbentuk pada spesimen semakin sedikit. Pengurangan struktur pearlite ini dapat meningkatkan sifat mekanik spesimen. Karena struktur pearlite bersifat lunak dan ulet.

4.12 Pembahasan

Penelitian ini tentang pengaruh variasi tekanan kompaksi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada campuran serbuk logam sisa pemesinan dengan metode metalurgi serbuk ditujukan untuk mengetahui apakah material serbuk sisa pemesinan dapat digunakan kembali dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa sifat mekanik dari spesimen berupa kekerasan permukaan, kekasaran permukaan dan kekuatan geser sebagai efek variasi dari tekanan kompaksi. Metode pelaksanaan dimulai dengan mempersiapkan bahan utama berupa serbuk sisa permesinan yang di mana serbuk perlu dilakukan pengayakan agar ukuran serbuk menjadi homogen. Setelah ukuran serbuk homogen, dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui kandungan logam dari serbuk sisa. Kemudian, merancang dan membuat punch, dies serta dies statis yang membentuk spesimen dengan ukuran diameter 20mm dan tinggi 20mm. Selanjutnya, serbuk sisa yang telah dicampur dengan

zinc stearate sebagai pelumas sekaligus binder, setelah dicampur maka dilakukan kompaksi dengan variasi tekanan sebesar 100, 125, dan 150 kN menggunakan alat kompaksi dengan suhu operasi pada tempertur kamar. Pada proses kompaksi ini terjadi perbedaan ketinggian, di mana setelah dilakukan kompaksi spesimen mengalami penurunan ketinggian yang dikarenakan distribusi serbuk kurang merata sehingga mengakibatkan adanya rongga kosong didalamnya ataupun menumpuk pada satu sisi. Setelah proses kompaksi, green compact yang terbentuk di *sintering* dengan suhu 1100°C dengan waktu lama penahanan 30 menit. Proses *sintering* merupakan proses pemanasan yang dapat menyebabkan partikel-partikel saling menempel sehingga densitasnya meningkat. Untuk spesimen dengan tekanan kompaksi 150 kN mengalami perubahan fisik yang sangat berbeda jauh dibandingkan dengan spesimenn 100 kN dan 125 kN. Hal ini membuktikan proses *sintering* sangat mempengaruhi bentuk dan ukuran dari spesimen, di mana semakin tinggi tekanan pada kompaksi maka bentuk spesimen tampak seperti melebur yang menyebabkan perubahan ukuran. Untuk membuktikan pengaruh variasi tekanan kompaksi terhadap spesimen, dilakukan beberapa pengujian. Pengujian pertama yang dilakukan yaitu pengujian metalografi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro hingga tingkat homogenitas sampel dan daerah interface. Berdasarkan pengujian metalografi yang telah dilakukan, struktur mikro yang terbentuk pada ketiga spesimen tersebut yaitu pearlite dan ferrit. Di mana, semakin bertambahnya tekanan kompaksi maka struktur pearlite pada spesimen semakin menurun. Penurunan struktur pearlite ini dapat memperkuat sifat mekanik dari spesimen. Sebab struktur pearlite ini bersifat lunak dan ulet. Selain pengujian metalografi, dilakukan pengujian secara mekanik. Uji mekanik ini meliputi uji kekasaran, uji kekerasan, uji geser dan uji porositas. Berdasarkan uji kekasaran yang telah dilakukan, didapatkan hasil akhir yang fluktuatif. Sehingga, tekanan kompaksi tidak mempengaruhi kekasaran pada spesimen. Selanjutnya untuk uji kekerasan, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan tekanan kompaksi mempengaruhi kekerasan dari spesimen. Hal ini ditandai dengan semakin meningkatnya tekanan kompaksi maka kekerasan pada spesimen juga semakin bertambah. Penambahan kekerasan ini sejalan dengan pengujian metalografi di mana dengan meningkatnya suhu maka struktur mikro pearlite berkurang sehingga spesimen yang terbentuk akan semakin keras. Kemudian untuk uji geser, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui beban geser yang dapat diterima spesimen. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, tekanan kompaksi juga mempengaruhi tegangan geser dari spesimen. Hal ini ditandai dengan seiring bertambahnya tekanan kompaksi, maka tegangan geser dari suatu spesimen juga bertambah. Dan untuk uji porositas, berdasarkan pengujian porositas yang telah dilakukan, semakin meningkatnya tekanan kompaksi maka porositas dari suatu spesimen akan menurun dikarenakan semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin padat pula spesimen yang terbentuk. Dari sekian pembahasan di atas, kedepannya pengapliasian ke benda jadi bisa dijadikan alat-alat dalam rumah tangga contohnya asbak, karena nilai kekerasan yang tidak terlalu kuat apabila dijadikan part-part dalam sepeda motor ataupun mobil.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada BAB IV dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Unsur kandungan yang terkandung dalam serbuk sisa pemesinan logam dapat diketahui melalui pengujian XRF. Unsur paling dominan yang terkandung di dalamnya yaitu Fe 95,61%. Ukuran serbuk yang dipakai yaitu 100 mesh.
2. Hasil rancangan *punch* dan *dies* dengan bentuk geometri. Dimensi *punch* hasil jadi setelah dibubut dengan tinggi 75 mm dan tinggi total 94,5 mm dan diameter 20 mm bagian yang kecil untuk menekan pada dies nantinya serta diameter penampang atas yaitu 50 mm. *Punch* bagian untuk menekan sengaja dibuat lebih panjang dari *dies* untuk mempermudah ketika mengeluarkan spesimen ketika sudah dilakukan kompaksi. *Dies* dengan dimensi tinggi 71 mm, diameter luar 50 mm, diameter lubang untuk spesimen 20 mm dan untuk diameter lubang bagian bawah yaitu 30 mm dan tebal 5 mm. Serta sudut kemiringan 15° pada bagian punch untuk mempermudah pengeluaran spesimen ketika sudah dilakukan kompaksi.
3. Kenaikan tekanan kompaksi berbanding lurus dengan sifat mekanik. Pengaruh variasi tekanan kompaksi terhadap penyusutan spesimen sangat berdampak pada tinggi spesimen, jika tekanan kompaksi semakin tinggi maka spesimen tingginya semakin pendek atau rendah. Pengaruh tekanan kompaksi terhadap porositas spesimen yaitu semakin tinggi tekanan kompaksi semakin sedikit porositas dihasilkan, hal ini berbanding lurus dengan semakin tinggi kompaksi yang dilakukan pada spesimen yaitu semakin padat. Pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat mekanik ada beberapa yaitu terhadap hasil uji kekasaran permukaan yaitu berbanding lurus, semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan maka semakin halus spesimen yang dihasilkan, untuk uji kekerasan semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan pada spesimen maka nilai yang didapat semakin keras spesimen yang dihasilkan, begitu juga untuk uji geser semakin besar tekanan kompaksi yang dihasilkan semakin besar juga tegangan geser yang dihasilkan. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen adalah ferrit dan pearlite, karena semua spesimen mengalami suhu tinggi pada proses *sintering* dan juga dilakukan pendinginan *normalizing* atau penyimpanan suhu normal dalam ruangan. Dengan meningkatnya tekanan kompaksi, struktur pearlite pada spesimen semakin berkurang. Maka dari itu pengaruh tekanan kompaksi terhadap struktur mikro yang terbentuk semakin tinggi tekanan kompaksi maka struktur pearlite yang terbentuk pada spesimen semakin sedikit. Pengurangan struktur pearlite ini dapat meningkatkan sifat mekanik spesimen. Karena struktur pearlite bersifat lunak dan ulet.

5.2 Saran

1. Material *punch dies* yang lebih kuat karena material cetakan menyebabkan *barrelling* atau terdeformasi, dan menyesuaikan penampang alat uji tekan dengan diameter cetakan yang dipakai.
2. Penelitian ini dapat diteruskan dengan material dan variabel yang berbeda.
3. Dapat digunakan acuan praktikum di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- German, R.M. (1994), *Powder Metallurgy Science*. New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M. (1984), *Powder Metallurgy Science*. United States of America.
- Almadani, M. I. and Siswanto, R. (2020) 'Proses Manufaktur Mesin Poles Dan Ampelas Untuk Proses Metalografi', *Jtam Rotary*, 2(1), p. 15. doi: 10.20527/jtam_rotary.v2i1.2001.
- Dr. Vladimir, V. F. (2019) 'BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64', *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), pp. 5–24.
- Hajikarimi, P. *et al.* (2018) 'The Effect of Zinc Stearate Modification on Aging Characteristics of Asphalt Binder', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 416(1). doi: 10.1088/1757-899X/416/1/012083.
- Herfurth, K. and Scharf, S. (2021) 'Casting', *Springer Handbooks*, pp. 325–356. doi: 10.1007/978-3-030-47035-7_10.
- Jhony, P. (2014) 'Analisa pengaruh temperatur dan waktu tahan sintering terhadap ikatan antar muka pada komposit matrik logam Cu-10% wtSn dengan metode metalurgi serbuk'. Available at: https://repository.its.ac.id/63795/1/2710100057-Undergraduate_Thesis.pdf.
- Kalpakistan, S. and Schmid, S. (2013) 'Manufacturing engineering and technology, SI 6th Edition', *Pearson*, p. 1216.
- Karmin, Ginting, M. and Yunus, M. (2013) 'Analisa Keasaran Permukaan Hasil Proses Pengampelasan Terhadap Logam Dengan Perbedaan Kekerasan', 5, pp. 1–7.
- Magnets, P. (2005) 'Metal Powders: A Global Survey of Production, Applications and Markets', pp. 5–17.
- Mitutoyo (2015) 'SURFTEST SJ-410 Series', *M3 Solution Centers*, (2196), pp. 1–12.
- Mufidah, I. (2015) 'PENGARUH PEMANASAN SERBUK Al PRA-KOMPAKSI TERHADAP SIFAT FISIS KOMPOSIT Al/SiC HASIL METODE METALURGI SERBUK IMROATUL MUFIDAH NRP 1110 100 703', p. 12.
- Nurrohman, H. (2017) 'Pengaruh variasi temperatur dan waktu Holding Sintering terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn dengan Metode Metalurgi Serbuk untuk Aplikasi Orthopedic Devices', p. 107. Available at: <http://repository.its.ac.id/2055/>.
- Rosika, K., Dian, A. and Djoko, K. (2007) 'Pengujian Kemampuan XRF untuk Analisis Komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni', *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 17 – 18 Juli 2007*, pp. 17–18.
- Syah, R. Y. (2016) 'Perancangan Punch & Dies Untuk Pembuatan Rangka Utama Sepeda ITS', *Institute Teknologi Sepuluh Nopember*, p. 14.
- Widarma (2017) 'BIODEGRADABLE Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya'.
- Wijaya, W. W. (2011) 'Rancangan Alat Uji Tekan pada Bahan Komposit Natural Fiber Dengan Memperhatikan Aspek Keterulangan pada Hasil Pengujian'.
- Zainuri, M., Moniada, Y. and Darminto, D. (2005) 'Variasi tekanan dalam proses metalurgi serbuk dan pengaruhnya pada modulus elastisitas bahan komposit Al-SiC', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(1), p. 050105. doi: 10.12962/j24604682.v1i1.1000.
- Setiyanto Imam (2009), Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Ketahanan Aus Bahan Rem Sepatu Gesek, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Nayiroh Nurun (2015). Metalurgi Serbuk, Diakses 7-12-2021 <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2015/09/METALURGI-SERBUK.pdf>

- _____. (1992), *ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International.
- _____. (1992), *ASM Metal Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams*. ASM International.
- _____. (1998), *ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications*. ASM International.
- _____. (2000), *ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation*. ASM International.
- _____. (2001), *ASM Metal Handbook Volume 21 Composites*. ASM International.
- _____. (1997), *ASM Metals Reference Book Third Edition*. ASM International.
- _____. (1992), *ASM Materials Engineering Dictionary First Edition*. ASM International.

LAMPIRAN

Hasil Uji XRF



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5953759, Fax (031) 5953759, PABX : 1404,1405,1330
Website: www.its.ac.id/drpm Email: drpm@its.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No : 145/LHP/LEL-ITS/XII/2021

Nama Pemilik : M. Bintang Falnanda
Alamat Pemilik : Mojo Kidul D/33 Surabaya
Nama Contoh : **Serbuk Logam** Tanggal Terima : 14 Desember 2021
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 15 Desember 2021
Contoh Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 15 Desember 2021
Kemasan : Botol Plastik
Kode Contoh : **EL-190** Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

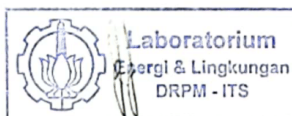
Hasil Pengujian (terlampir 1 halaman)

Suhu : 23,2°C
Humidity : 62%
Analisis : NFS
Sampling : Dilakukan oleh pelanggan

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 20 Desember 2021
Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan



Suprpto, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19720919 199802 1 002

Koordinator Teknis

Vita Yuliana
NPP. 1990201822404



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5953759, Fax (031) 5953759, PABX : 1404,1405,1330
Website: www.its.ac.id/drpm Email: drpm@its.ac.id

Lampiran 1 dari 1

Lampiran No : 145/LHP/LEL-ITS/XII/2021

| No. | Nama Contoh | Jenis Uji (Unsur) | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Satuan | Metode Pengujian |
|-----|--------------|-------------------|-------------|-------------|--------|---------------------|
| 1. | Serbuk Logam | Si | 1 | 1 | % | X-Ray Fluorescence* |
| | | P | 0,3 | 0,3 | | |
| | | S | 0,49 | 0,52 | | |
| | | Ca | 0,29 | 0,29 | | |
| | | Sc | 0,03 | 0,03 | | |
| | | Cr | 0,27 | 0,28 | | |
| | | Mn | 0,88 | 0,902 | | |
| | | Fe | 95,61 | 95,35 | | |
| | | Ni | 0,054 | 0,053 | | |
| | | Cu | 0,2 | 0,2 | | |
| | | Br | 0,12 | 0,12 | | |
| | | Rb | 0,007 | 0,01 | | |
| Zr | 0,66 | 0,69 | | | | |

| No. | Nama Contoh | Jenis Uji (Oksida) | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Satuan | Metode Pengujian |
|------------------|--------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------|---------------------|
| 1. | Serbuk Logam | SiO ₂ | 2 | 2 | % | X-Ray Fluorescence* |
| | | P ₂ O ₅ | 0,6 | 0,5 | | |
| | | SO ₃ | 0,99 | 0,95 | | |
| | | CaO | 0,3 | 0,32 | | |
| | | Sc ₂ O ₃ | 0,03 | 0,03 | | |
| | | Cr ₂ O ₃ | 0,29 | 0,29 | | |
| | | MnO | 0,822 | 0,822 | | |
| | | Fe ₂ O ₃ | 94,08 | 94,12 | | |
| | | NiO | 0,045 | 0,042 | | |
| | | CuO | 0,17 | 0,17 | | |
| | | Br | 0,071 | 0,074 | | |
| | | Rb ₂ O | 0,01 | 0,01 | | |
| ZrO ₂ | 0,6 | 0,61 | | | | |

* Hasil bersifat Semikuantitatif

Koordinator Teknis

Vita Yuliana
NPP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian

Ter/Rev./TP: 3/1/01022021

Dipindai dengan CamScanner

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sumenep, 5 Juni 2000, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK PGRI Tanjung, SDN Tanjung, SMPN 2 Saronggi dan SMAN 1 Sumenep. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti Tes Vokasi dan diterima di Departemen Teknik Mesin Industri FV - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 10211810000058. Di Departemen Teknik Mesin Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar dan Kuliah Tamu yang diselenggarakan oleh Departemen, dan penulis juga aktif mengikuti kegiatan organisasi dan kepanitiaan di kampus. Pengalaman kepanitiaan di FORDA dengan bagian yakni anggota sie PDD dalam acara FOKUS EXPO 2019, ketua sie Dokumentasi dalam acara FOKUS EXPO 2020.

Serta untuk pengalaman kepanitiaan di kampus penulis pernah menjadi anggota sie PDD dalam acara OKKBK HMDM ITS 2019, anggota sie PDD dalam acara Servis Gratis 2019, anggota sie Dokumentasi dalam acara SEC 2.0 yang diadakan oleh HMDM ITS. Tidak hanya aktif di kepanitiaan melainkan penulis juga aktif mengikuti pelatihan di kalangan kampus seperti, PKTI TD ITS 2018, MABIT HMDM ITS 2019, LKMW TD HMDM ITS 2019, LKMM PRA TD HMDM ITS 2019, LKMM TD HMDM ITS 2020, BMS HMDM ITS 2021, dan PRA PDO HMDM ITS 2021. Penulis sempat mengikuti Magang Industri di PT. Boma Bisma Indra (Persero) dengan waktu 4 bulan tahun ajaran 2021/2022. Penulis berharap Proyek akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya dan dapat menghantarkan penulis lulus dari ITS dengan Gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T).

E-mail: miesbahull@gmail.com

No. Hp: +62 85336105656