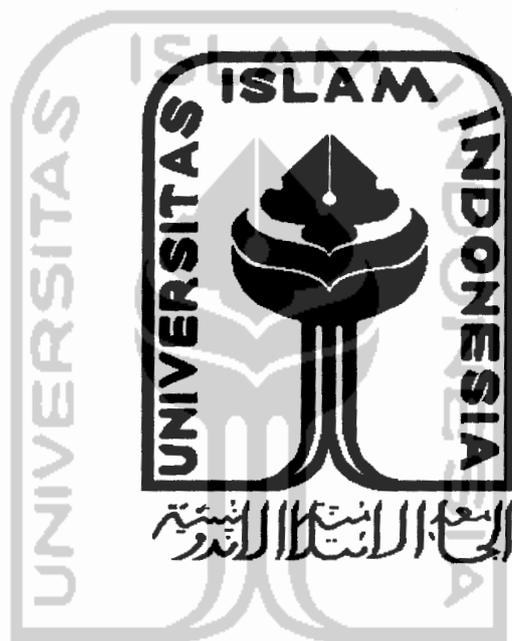


**PEMBUATAN PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN SERBUK
ALUMINIUM HASIL PROSES ATOMISASI UDARA**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin



Oleh :

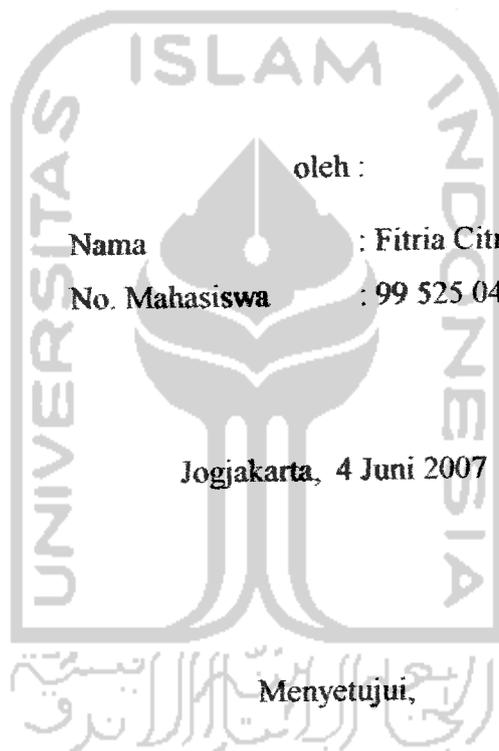
Nama : Fitria Citra Perdana
No. Mahasiswa : 99 525 047
NIRM : 990051013109120047

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA**

2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PEMBUATAN PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN SERBUK
ALUMINIUM HASIL PROSES ATOMISASI UDARA

TUGAS AKHIR



oleh :

Nama : Fitria Citra Perdana

No. Mahasiswa : 99 525 047

Jogjakarta, 4 Juni 2007

Menyetujui,

Pembimbing

(M. Ridwan, ST.,MT.)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PEMBUATAN PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN SERBUK
ALUMINIUM HASIL PROSES ATOMISASI UDARA

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Fitria Citra Perdana
No. Mahasiswa : 99 525 047

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Jogjakarta, 4 Juli 2007

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, ST.,MT.
Ketua

Yustiasih Purwaningrum, ST.,MT.
Anggota I

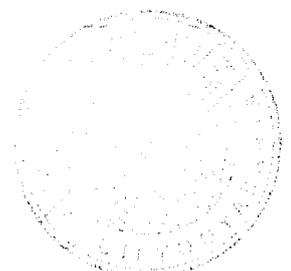
Risdiyono, ST.,M.Eng.
Anggota II



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



(Muhammad Ridlwan, ST.,MT.)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Allahi SWT ... Dengan segala kebesaranMu.

*Ayahanda Harmanto dan Ibunda Dwi Ismuntari tercinta,
untuk curahan kasih sayang, doa yang tak pernah berhenti, kesabaran, pengorbanan, dan
dorongan semangat yang telah diberikan selama ini.
Ini adalah bagian kecil bentuk pengabdianku untuk membalas semua jasa yang begitu banyak
dan sangat berarti bagiku.*

*Alm simbah kakung Ciptoharjo, Alm simbah putri Sisbariyah dan simbah putri Ciptoharjo
tercinta, untuk curahan kasih sayang dan doa restumu, matur nuwun mbahi.*

*Kedua adikku tercinta
Sisca Nerita dan Surya Pramana
untuk kasih sayang, doa dan segala bantuanmu.*

*Kasihku Desy Ariana
terima kasih atas doamu, kasih sayang, kesetiaan dan ketulusan cintamu.
You are the one*

*Pak Sony dan keluarga besar Mangun Diardjan
untuk kasih sayang, nasehat dan doa yang telah diberikan.*

*Saudara-saudaraku di Teknik Mesin VII
BMP kost, PIP dan teman-teman Wisma PSIM
yang telah membuat hari-hariku menjadi lebih berwarna.*

MOTTO

"Dan, barangsiapa yang bertakwa kepada Allah niscaya Allah akan menjadikan baginya jalan kemudahan dalam urusannya."

(QS. Ath-Thalâq: 5)

"Maka sabarlah kamu sebagaimana orang-orang yang mempunyai keteguhan hati dari Rasul-rasul."

(QS. Al-Ahqâf: 35)

"Bekerjalah kamu niscaya Allah dan Rasul-Nya serta orang-orang mukmin akan melihat pekerjaanmu."

(QS. At-Taubah: 105)

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada

Tuhanmulah hendaknya kamu berharap."

(QS. Al-Insyirah: 6-8)

Tidak ada kata terlambat untuk melangkah ke jalan yang baik.

KATA PENGANTAR



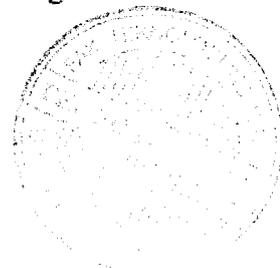
Assalaamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas Akhir berjudul Pembuatan Produk Dengan Menggunakan Serbuk Aluminium Hasil Proses Atomisasi Udara ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Tentunya penulisan tugas akhir tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan baik moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis, baik berupa bimbingan, dorongan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Fathul Wahid, ST., Msc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Bapak M. Ridlwan ST., MT, selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan FTI UII yang telah membimbing dan membantu baik kegiatan akademis maupun administratif.
4. Risky, hari, wahyu, heri, yudi, jaka, adi dan mega semoga persahabatan kita selamanya.
5. Dan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.



Penulis menyadari bahwa dalam laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca demi kemajuan penulis di masa mendatang.

Harapan penulis laporan ini dapat membantu mengembangkan ilmu pengetahuan penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Jogyakarta, 4 Juli 2007

Penulis

Fitria Citra Perdana

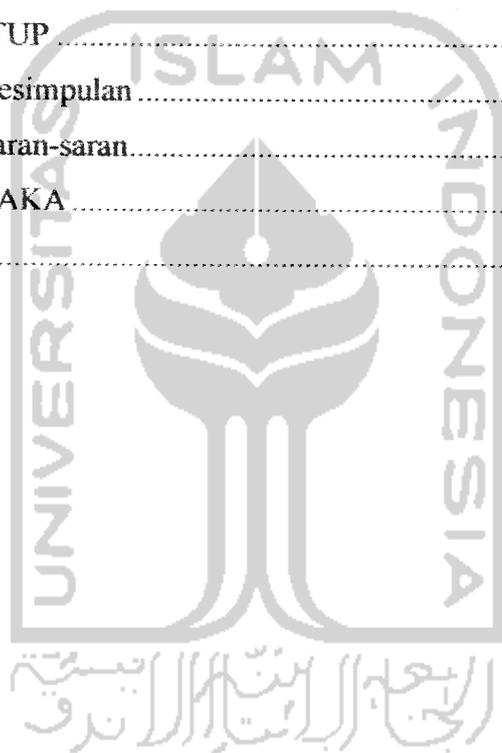


DAFTAR ISI

Halaman judul.....	i
Lembar Pengesahan Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Penguji.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstraksi.....	viii
Daftar isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	2
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Bentuk Partikel.....	4
2.2. Ukuran Partikel.....	5
2.2.1. <i>Possible Size Measure</i>	5
2.2.2. <i>Equivalent Sphere Diameter</i>	6
2.3. Distribusi Ukuran Partikel.....	6
2.4. Proses Pembuatan Serbuk.....	8
2.4.1. Metoda Atomisasi Gas.....	8
2.4.2. Metoda Atomisasi Air.....	9
2.4.3. Metoda Atomisasi Udara.....	10
2.5. Proses Pembuatan Produk.....	12
2.5.1. Metoda Cetakan slip (<i>Slip Casting</i>).....	12

2.5.2.	Metoda Pemadatan (<i>Compacting</i>).....	12
2.5.3.	Metoda Mengerol (<i>Rolling</i>).....	15
2.5.4.	Metoda Sinter Gravitasi (<i>Gravity Sintering</i>).....	15
2.5.5.	Metoda Pencetakan Isostatik (<i>Isostatic Molding</i>)...	16
2.5.6.	Pemampatan Eksplosif (<i>Explosive Compacting</i>)....	17
2.5.7.	Metode Ekstrusi (<i>Extruding</i>).....	17
2.6.	Metoda Pemanasan (<i>Sintering</i>).....	18
2.7.	Sinter Latu (<i>Spark Sintering</i>).....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1.	Metode Pengujian.....	21
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	22
3.2.1.	Bahan Penelitian.....	22
3.2.2.	Peralatan Penelitian.....	22
3.3.	Penentuan ukuran serbuk.....	22
3.4.	Metoda Pemadatan.....	23
3.4.1.	Cetakan Logam.....	23
3.4.2.	Penentuan Tekanan.....	25
3.4.3.	Penentuan Berat Serbuk Awal.....	25
3.4.4.	Proses Pemadatan Serbuk.....	26
3.5.	Metoda Pemanasan.....	27
3.6.	Pengujian yang Dilakukan.....	28
3.6.1.	Pengujian Berat Jenis.....	28
3.6.1.1.	Pengujian Berat.....	28
3.6.1.2.	Pengukuran Tinggi.....	29
3.6.2.	Pengujian Kekerasan.....	29
3.6.3.	Pengujian Struktur Mikro.....	30
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN		31
4.1.	Data Hasil Penelitian.....	31
4.1.1.	Penentuan Ukuran Serbuk.....	31
4.1.2.	Penentuan Tekanan.....	33
4.1.3.	Penentuan Berat Serbuk Awal.....	33

4.1.4. Penentuan Temperatur	34
4.2. Data Hasil Pengujian.....	34
4.2.1. Pengujian Berat Jenis.....	34
4.2.1.1. Pengujian Berat.....	34
4.2.1.2. Pengukuran Tinggi.....	37
4.2.2. Pengujian Kekerasan.....	38
4.2.3. Pengujian Struktur Mikro	41
4.3. Analisa Hasil Pengujian.....	43
BAB V PENUTUP.....	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran-saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	xv



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar ukuran ayakan.....	7
Tabel 4.1	Hasil pengayakan dari proses atomisasi udara.....	31
Tabel 4.2	Hasil timbangan produk sebelum proses pemanasan.....	34
Tabel 4.3	Hasil timbangan produk sesudah proses pemanasan.....	34
Tabel 4.4	Hasil perubahan berat produk.....	35
Tabel 4.5	Hasil pengujian berat jenis produk sebelum pemanasan.....	36
Tabel 4.6	Hasil pengujian berat jenis produk sesudah pemanasan.....	36
Tabel 4.7	Hasil perubahan berat jenis pada produk.....	36
Tabel 4.8	Hasil pengukuran tinggi produk.....	37
Tabel 4.9	Hasil Kekerasan Brinell pada produk I dengan ukuran serbuk <math><75\mu\text{m}</math>.....	39
Tabel 4.10	Hasil Kekerasan Brinell pada produk II dengan ukuran serbuk $75\mu\text{m}$.....	39
Tabel 4.11	Hasil Kekerasan Brinell pada produk III dengan ukuran serbuk $90\mu\text{m}$.....	39
Tabel 4.12	Hasil Kekerasan Brinell pada produk IV dengan ukuran serbuk $106\mu\text{m}$.....	39
Tabel 4.13	Hasil rata-rata Kekerasan Brinell pada produk.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk-bentuk partikel serbuk.....	5
Gambar 2.2	<i>Posible size measure</i>	5
Gambar 2.3	Diameter Bola Ekuivalen.....	6
Gambar 2.4	Metoda ayakan (<i>screening</i>).....	6
Gambar 2.5	Distribusi ukuran partikel.....	7
Gambar 2.6	Metoda atomisasi gas vertical.....	8
Gambar 2.7	Serbuk hasil atomisasi gas.....	9
Gambar 2.8	Metoda atomisasi air.....	9
Gambar 2.9	Serbuk yang dibuat dengan metoda atomisasi air.....	10
Gambar 2.10	Metoda atomisasi semprotan udara.....	11
Gambar 2.11	Hasil serbuk dengan metoda atomisasi udara.....	11
Gambar 2.12	Susunan penekan dan <i>die</i> untuk memadatkan serbuk logam.....	13
Gambar 2.13	Mesin kompak hidrolis <i>TarnoGrocky</i>	14
Gambar 2.14	Produksi lembaran logam kontinu.....	15
Gambar 2.15	Skema susunan peralatan tekanan isostatik.....	16
Gambar 2.16	Ekstrusi dingin untuk serbuk logam.....	18
Gambar 2.17	<i>Elektric sintering</i>	19
Gambar 2.18	Skema sinter latu untuk menghilangkan kotoran pada permukaan partikel serbuk.....	20
Gambar 3.1	Diagram alir proses pengujian.....	21
Gambar 3.2	<i>Sieve Analysis Mesh</i>	22
Gambar 3.3	Cetakan logam.....	23
Gambar 3.4	Komponen penyusun cetakan.....	23
	(a) <i>Upper punch</i>	24
	(b) Cetakan (<i>die</i>).....	24
	(c) Landasan cetakan.....	24
Gambar 3.5	Bentuk spesimen.....	25

Gambar 3.6	Skema proses pemadatan serbuk	26
	(a) Proses pemasukan serbuk	26
	(b) Posisi pengepresan (<i>pons</i> atas masuk)	26
	(c) Proses pemadatan	26
	(d) Proses pengeluaran kompak mentah	26
Gambar 3.7	Skema proses pemanasan kompak mentah.....	27
	(a) Batu tahan api.....	27
	(b) Ruang sinter.....	27
	(c) <i>elektiric sintering</i>	27
Gambar 3.8	Timbangan digital	28
Gambar 3.9	Jangka sorong.....	29
Gambar 3.10	<i>Universal Hardness Tester</i>	29
Gambar 3.11	Mikroskop optik.....	29
Gambar 3.12	Mikroskop Optik Digital.....	30
Gambar 4.1	Grafik perbandingan berat dari tiap-tiap mesh	32
Gambar 4.2	Grafik persentase kumulatif partikel serbuk.....	32
Gambar 4.3	Grafik perbandingan perubahan berat pada produk.....	35
Gambar 4.4	Grafik perbandingan perubahan berat jenis pada produk	37
Gambar 4.5	Grafik perbandingan tinggi pada masing-masing produk.....	38
Gambar 4.6	Grafik perbandingan Kekerasan Brinell pada produk	40
Gambar 4.7	Stuktur Mikro produk	41
	(a) Stuktur Mikro produk I (Ukuran serbuk <math><75\mu\text{m}</math>).....	41
	(b) Stuktur Mikro produk II (Ukuran serbuk $75\mu\text{m}$).....	41
Gambar 4.8	Stuktur Mikro produk	42
	(a) Stuktur Mikro produk III (Ukuran serbuk $90\mu\text{m}$).....	42
	(b) Stuktur Mikro produk IV (Ukuran serbuk $106\mu\text{m}$).....	42

PEMBUATAN PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN SERBUK ALUMINIUM HASIL PROSES ATOMISASI UDARA

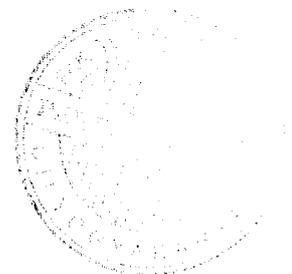
Abstraksi :

Metalurgi serbuk adalah proses pembuatan produk dengan *raw* material berupa serbuk logam yang dikompaksi di dalam cetakan dan kemudian dipanaskan sehingga dihasilkan sebuah produk yang solid dengan bentuk seperti cetakannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan produk dan kualitas produk, khususnya untuk kekerasan logam, berat jenis produk dan struktur hasil produk.

Cetakan logam menggunakan cetakan baja tahan karat dengan diameter 15 mm dan tinggi 60 mm. Bentuk produk memiliki ukuran diameter 15 mm dengan tinggi 10 mm, material awal menggunakan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara dengan tingkatan ukuran mesh <75 μm , 75 μm , 90 μm dan 106 μm , kemudian dipadatkan dengan beban penekanan 4 ton dan dipanaskan pada temperatur 600° C selama 30 menit. Produk dengan berat jenis paling tinggi yaitu pada produk I dengan ukuran partikel serbuk <75 μm dengan nilai berat jenis 2.268 gr/cm^3 . Pada pengujian struktur mikro produk memiliki pengikatan partikel yang rapat, permukaan produk halus tetapi masih terdapat porositas.

Produk dalam penelitian ini mempunyai berat jenis, nilai kekerasan produk dan struktur mikro yang berbeda-beda dari berbagai ukuran serbuk yang dibuat menjadi produk. Pada proses metalurgi serbuk menggunakan metoda pemadatan dan pemanasan, produk yang dihasilkan solid dengan bentuk seperti cetakannya. Produk dengan menggunakan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara memiliki kekerasan logam (HB) berkisar antara 112.61 kg/mm^2 sampai 134.28 kg/mm^2 .

Kata kunci : Serbuk aluminium, pemadatan, kualitas produk.



BAB I PENDAHULUAN

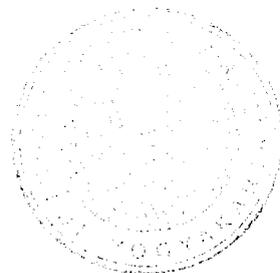
1. Latar Belakang

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup benda komersial dari serbuk logam melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah *sintering* menghasilkan pengikatan partikel halus, dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya meningkat, produk hasil dari metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk sebagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda jadi secara keseluruhan.

Ada beberapa metoda proses pembuatan produk menggunakan serbuk yang telah dikenal yaitu metoda pemadatan, metoda peningkatan kepadatan secara sentrifugal, metoda cetakan slip, metoda ekstrusi, metoda sinter gravitasi, metoda mengerol dan metoda pencetakan isostatik. Setiap metoda tersebut menghasilkan produk dengan kualitas tertentu. Salah satu metoda pembuatan produk menggunakan serbuk adalah metoda pemadatan (*Compacting*) dan pemanasan (*Sintering*). Suatu proses pembuatan produk hasil proses metalurgi serbuk, selalu dituntut untuk menghasilkan produk dengan kualitas baik. Kualitas baik dalam suatu proses pembuatan produk, bisa diperoleh dengan mengoptimalkan faktor-faktor yang mendukung proses pembuatan produk antara lain adalah karakteristik dari serbuk, proses kompaksi dan proses pemanasan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana membuat produk menggunakan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara dengan metoda kompaksi dan pemanasan.



1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Proses pembuatan produk hanya dibatasi menggunakan material yaitu: Serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara.
2. Proses pembuatan produk ini dibatasi menggunakan metoda pemadatan dan metoda pemanasan.
3. Proses pembuatan produk ini dibatasi pada pembuatan spesimen berbentuk tabung dengan ukuran spesimen diameter 15 mm dan tinggi 10 mm.
4. Pengujian hanya dibatasi dengan 4 tingkatan ukuran mesh, yaitu ukuran <math><75\ \mu\text{m}</math>, 75 μm , 90 μm dan 106 μm .
5. Proses pembuatan produk ini dibatasi menggunakan pengujian berat jenis, pengujian Kekerasan Brinell dan struktur mikro.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat produk dengan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari proses penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui proses pemadatan serbuk dan proses pemanasan produk dari serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara.
2. Dapat mengetahui kualitas produk dari pembuatan produk dengan metoda pemadatan dan pemanasan antara lain terhadap perubahan berat jenis, kekerasan pada produk dan struktur mikro dari berbagai ukuran serbuk yang dibuat menjadi produk.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan ini terdiri dari tiga bagian pokok, yaitu bagian pendahuluan, bagian isi laporan dan bagian akhir. Bagian pendahuluan berisikan halaman judul, lembar pengesahan dosen pembimbing, lembar pengesahan dosen penguji, halaman persembahan, halaman motto, kata pengantar, abstraksi dan daftar isi.

Bagian isi laporan terdiri dari lima bab yaitu Bab I, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II, berisikan teori-teori yang menjelaskan proses pembuatan serbuk dan proses pembuatan produk. Bab III, berisikan flowchart penelitian, bahan dan alat yang digunakan, metoda pemadatan, metoda pemanasan dan pengujian yang dilakukan. Bab IV, berisikan tentang pengambilan data dari hasil proses pemadatan, proses pemanasan, data hasil pengujian berat, kekerasan pada produk dan analisis struktur mikro. Bab V, berisi kesimpulan mengenai semua uraian yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya dan dilengkapi saran-saran.

Bagian penutup, memuat daftar pustaka yang digunakan pada penelitian, pembuatan produk dan penulisan tugas akhir.



BAB II LANDASAN TEORI

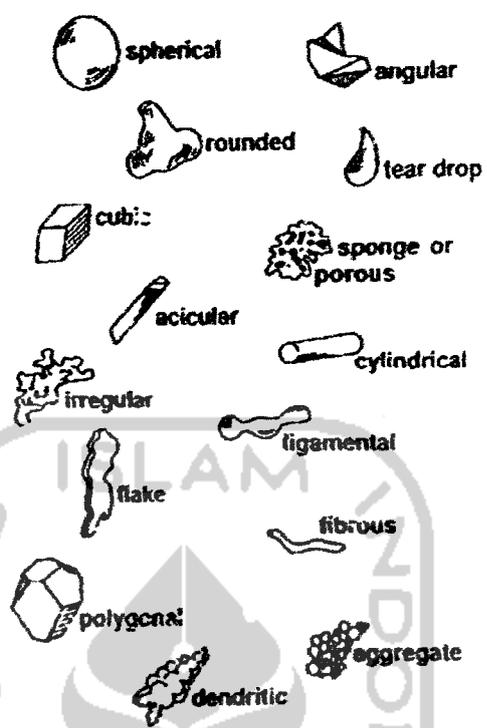
Metallurgi serbuk adalah proses pembuatan produk dengan *raw material* berupa serbuk logam atau non logam yang dikompaksi (*compacting*) di dalam cetakan (*dies*) dan kemudian dipanaskan (*sintering*) sehingga dihasilkan sebuah produk yang solid dengan bentuk seperti cetakannya [1].

Serbuk untuk produk tertentu harus dipilih dengan teliti agar terjamin proses pembentukan yang ekonomis dan diperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam produk akhir. Bila hanya digunakan satu jenis serbuk dengan distribusi ukuran partikel yang tepat, biasanya tidak perlu dilakukan pencampuran lagi sebelum penekanan. Kadang-kadang berbagai ukuran partikel serbuk dicampurkan dengan tujuan merubah beberapa karakteristik tertentu seperti mampu alir dan berat jenis tetapi umumnya serbuk yang ada mempunyai sebaran ukuran partikel yang memadai [2]. Pencampuran sangat penting bila digunakan campuran serbuk atau bila ditambahkan campuran serbuk bukan logam. Pencampuran serbuk harus dilakukan pada lingkungan tertentu untuk mencegah terjadinya oksida atau cacat [3].

Tekanan yang lebih besar menghasilkan benda dengan berat jenis yang lebih tinggi, oleh karena itu kekuatannya bertambah. Berat jenis juga bisa ditingkatkan dengan serbuk yang lebih halus. Pada proses sinter meningkatkan kekuatan dan memperbaiki struktur kristal [3].

2.1. Bentuk Partikel

Bentuk partikel serbuk tergantung pada bagaimana proses pembuatan serbuk dilakukan. Bentuk partikel ini mempengaruhi sifat ketertampakan (*compressibility*), karakteristik alir (*flow characteristic*), dan ketertampakan (*packing*) dari serbuk. Berbagai bentuk partikel serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut ini :

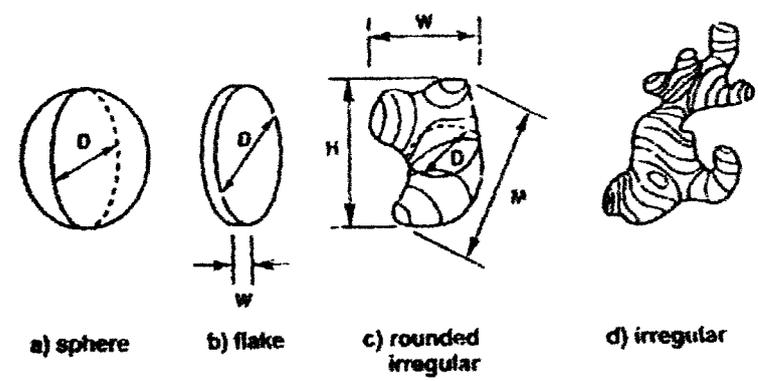


Gambar 2.1. Bentuk-bentuk partikel serbuk [4].

2.2. Ukuran Partikel

Ukuran partikel merupakan salah satu karakteristik penting dalam metalurgi serbuk. Ada dua cara penentuan ukuran partikel, yaitu : *Possible Size Measure* dan *Equivalent Sphere Diameter*.

2.2.1. Possible Size Measure

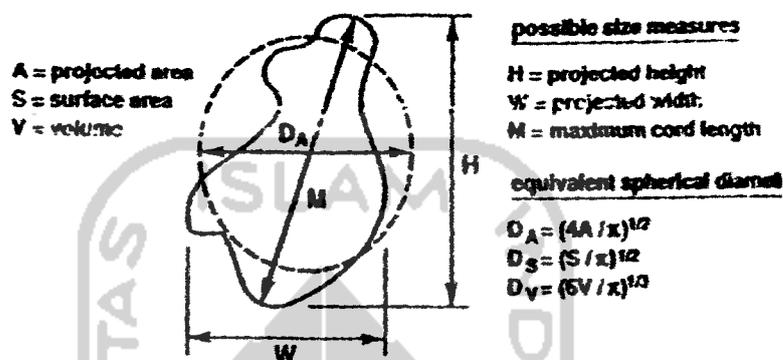


Gambar 2.2. Possible size measure [4].



2.2.2. Equivalent Sphere Diameter

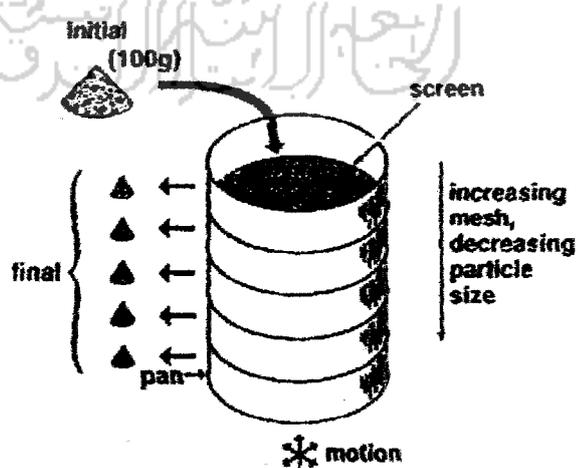
Diameter Bola Ekuivalen (*Equivalent Sphere Diameter*) dapat ditentukan dari luas permukaan, volume, dan luas proyeksi dari partikel, pada Gambar 2.3. berikut ini :



Gambar 2.3. Diameter Bola Ekuivalen [4].

2.3. Distribusi Ukuran Partikel

Metoda yang umum dan dapat digunakan dengan cepat untuk menentukan ukuran partikel secara kolektif adalah menggunakan metoda ayakan (*screening*), seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. berikut ini :

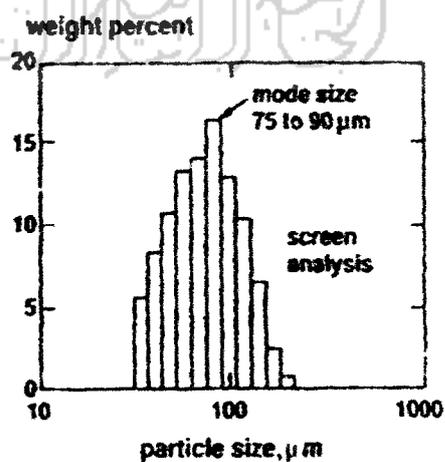


Gambar 2.4. Metoda ayakan (*screening*) [4].

Tabel 2.1. Standar ukuran ayakan (*standard sieve size*).

Ukuran ayakan	Ukuran lubang, μm	Ukuran ayakan	Ukuran lubang, μm
18	1000	100	150
20	850	120	125
25	710	140	106
30	600	170	90
35	500	200	75
40	425	230	63
45	355	270	53
50	300	325	45
60	250	400	38
70	212	450	32
80	180	500	25
		600	20

Ukuran partikel secara kolektif dinyatakan dalam analisis distribusi ukuran partikel yang berbentuk grafik histogram. Grafik ini menunjukkan jumlah serbuk yang berada dalam setiap inkremen ukuran partikel, seperti pada Gambar 2.5. berikut ini :

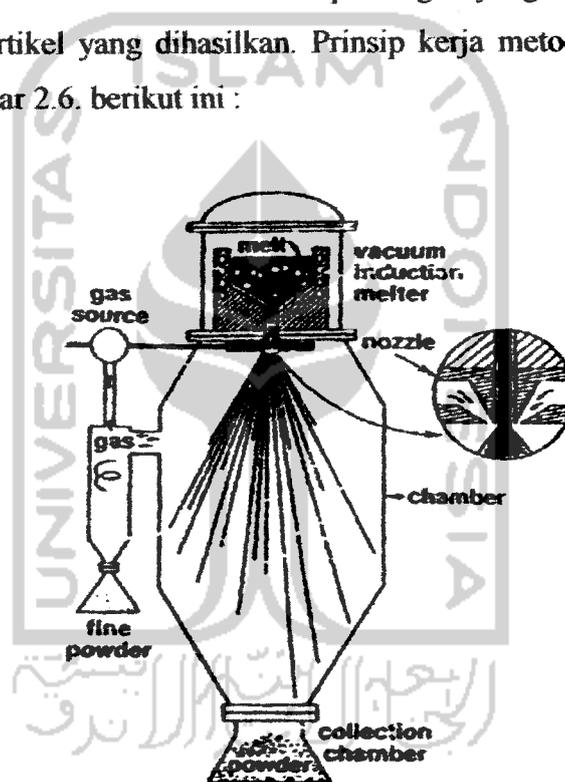


Gambar 2.5. Distribusi ukuran partikel [4].

2.4. Proses Pembuatan Serbuk

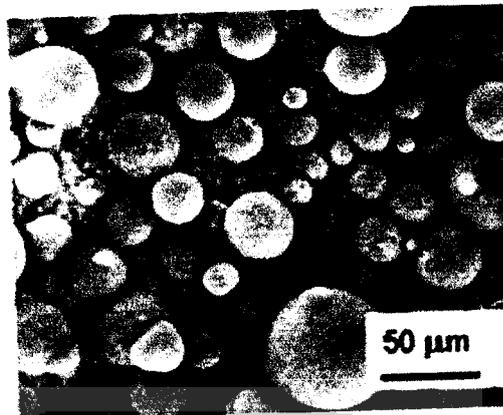
2.4.1. Metoda Atomisasi Gas

Prinsip kerja dari metoda atomisasi gas adalah sejumlah logam dicairkan dengan tungku induksi yang berada di atas. Logam yang telah mencair dialirkan ke dalam nosel. Gas bertekanan tinggi keluar dengan cepat dari beberapa lubang yang dipasang di sekeliling nosel tersebut. Gas yang tereksansi dengan cepat ini memecah dan mengatomisasi aliran logam cair yang keluar dari nosel menjadi butiran-butiran kecil. Semakin besar kecepatan gas yang keluar dari nosel maka semakin halus partikel yang dihasilkan. Prinsip kerja metoda atomisasi gas dapat dilihat pada Gambar 2.6. berikut ini :



Gambar 2.6. Metoda atomisasi gas vertical [4].

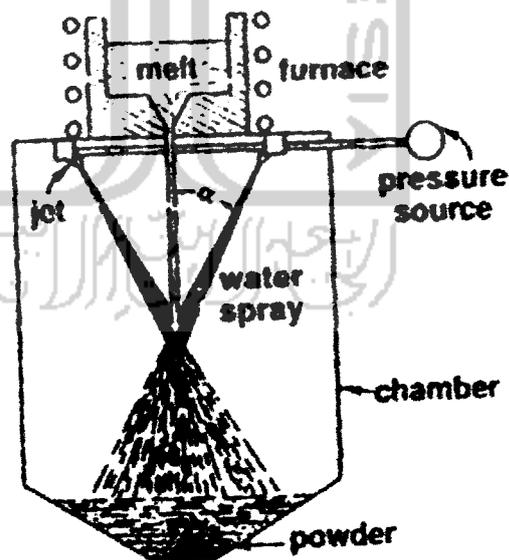
Gas yang biasa digunakan dalam metoda atomisasi ini adalah udara, nitrogen, argon, dan helium. Gas dalam metoda ini selain berfungsi untuk mengatomisasi logam cair, juga untuk melindungi butiran logam dari oksidasi. Pemilihan gas yang digunakan tergantung pada logam yang akan dibuat serbuk. Serbuk yang dihasilkan dari atomisasi gas mempunyai bentuk bulat (*spherical*), ukuran relatif kecil, dan homogen, seperti terlihat pada Gambar 2.7. berikut ini :



Gambar 2.7. Serbuk hasil atomisasi gas [4].

2.4.2. Metoda Atomisasi Air

Metoda ini adalah metoda yang paling sering digunakan untuk membuat serbuk logam yang mempunyai titik cair sampai dengan 1600 °C. Prinsip kerja pembuatan serbuk dengan metoda atomisasi air, seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. berikut ini :



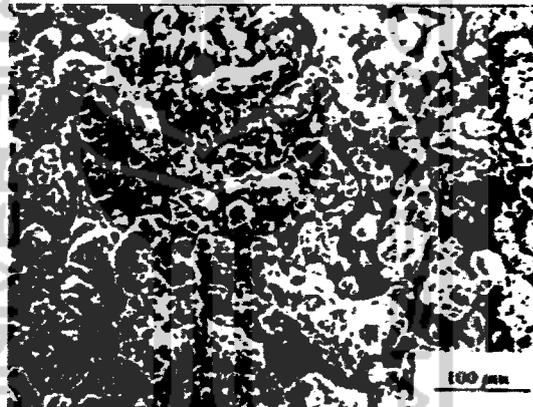
Gambar 2.8. Metoda atomisasi air [4].

Logam dicairkan dalam tungku, kemudian dialirkan ke bawah melalui lubang yang berada pada dasar tungku. Air bertekanan tinggi disemprotkan ke arah aliran logam cair yang sedang jatuh, sehingga terjadi pemecahan aliran logam cair yang

disertai dengan proses pendinginan cepat. Logam cair terpecah menjadi butiran-butiran kecil dan mengalami pembekuan dengan cepat, terbawa oleh aliran air jatuh ke bawah dalam bentuk serbuk.

Karakteristik serbuk yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan dan tekanan air yang memecah aliran logam cair, sudut pancar air terhadap nosel, perbandingan antara debit air dengan debit logam cair, jumlah nosel air yang digunakan, karakteristik dari logam yang dibuat serbuk, dan faktor-faktor lainnya.

Bentuk serbuk yang dihasilkan dari metoda atomisasi ini adalah tidak beraturan dan kasar yang disertai dengan oksidasi. Hal tersebut disebabkan karena proses pendinginan yang cepat, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. berikut ini :

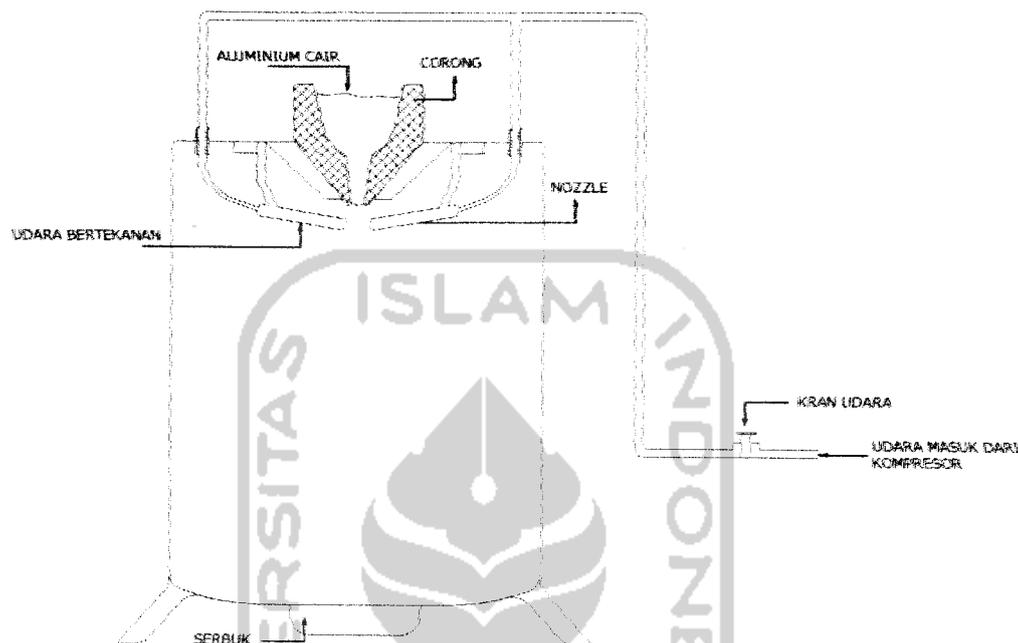


Gambar 2.9. Serbuk yang dibuat dengan metoda atomisasi air [4].

2.4.3. Metoda Atomisasi Udara

Prinsip kerja dari metoda atomisasi udara adalah sejumlah logam telah dicairkan menggunakan alat proses peleburan. Logam yang telah mencair pada titik cair $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ dialirkan melalui plat besi yang berbentuk (V), plat tersebut dipanaskan bertujuan untuk mengurangi pembekuan yang cepat pada waktu logam cair mengalir melalui plat. Dibawah plat terdapat empat buah nosel yang mengelilingi plat, kemudian udara bertekanan tinggi keluar melalui nosel. Udara bertekanan tinggi yang keluar dengan cepat ini akan memecah dan mengatomisasi aliran logam cair yang mengalir dari ujung plat kemudian membentuk butiran-butiran kecil, maka butiran-butiran kecil akan turun ke bawah *chamber* dan dibawah *chamber* diberikan

air yang bertujuan butiran-butiran serbuk tidak lengket. Semakin besar kecepatan udara yang keluar dari nozel maka semakin halus partikel serbuk yang dihasilkan. Prinsip kerja metoda atomisasi udara dapat dilihat pada Gambar 2.10. berikut ini :



Gambar 2.10. Metoda atomisasi semprotan udara.



Gambar 2.11. Hasil serbuk dengan metoda atomisasi udara, pembesaran 10 kali.

Bentuk serbuk yang dihasilkan dari metoda atomisasi ini adalah (*tear drop*) yaitu berbentuk seperti tetesan air dan halus yang disertai dengan oksidasi. Hal tersebut disebabkan karena proses pendinginan yang cepat, disemprot dengan udara dan jatuh kebawah mengenai air, seperti yang terlihat pada Gambar 2.11. diatas.

2.5. Proses Pembuatan Produk

2.5.1. Metoda Cetakan slip (*Slip Casting*)

Kompak mentah serbuk wolfram, molibden dan serbuk lain kadang-kadang dibuat dengan metode slip. Serbuk yang diubah menjadi campuran kental, mula-mula dituangkan dalam cetakan yang dibuat gips. Karena cetakan ini *poreus*, cairan terserap dan terbentuklah lapisan bahan yang padat pada permukaan cetakan. Setelah terbentuk lapisan dengan ketebalan tertentu, cairan kental berlebihan dituangkan ke luar menghasilkan benda yang berongga. Prosedur ini sangat sederhana dan memungkinkan dibentuknya benda dengan berbagai bentuk dan ukuran. Proses ini banyak digunakan untuk membuat benda-benda keramik.

2.5.2. Metoda Pematatan (*Compacting*)

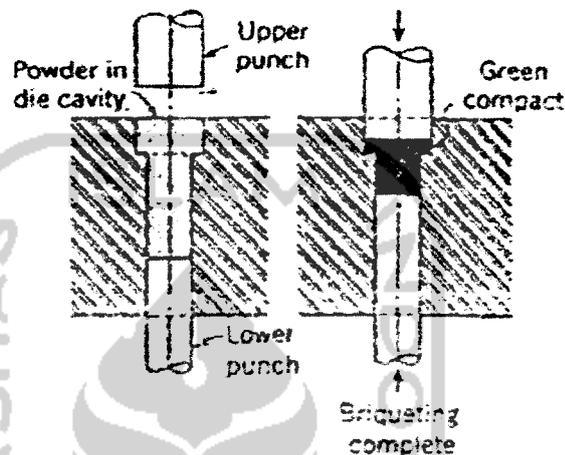
Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup benda komersial dari serbuk logam melalui penekanan. Serbuk ditekan dalam cetakan (*dies*) baja dengan tekanan sebesar 70 MPa sampai 1400 Mpa [3]. Karena partikel yang lunak dapat ditekan dengan mudah, serbuk yang bersifat plastik tidak memerlukan tekanan yang tinggi, sedang untuk serbuk yang keras untuk mencapai berat jenis yang memadai diperlukan tekanan yang lebih besar.

Berat jenis dengan kekerasan meningkat dengan meningkatnya tekanan, akan tetapi selalu ada tekanan optimum. Untuk tekanan yang lebih tinggi, diperlukan *die* yang kuat dan mesin pres yang berkapasitas tinggi, oleh karena itu dengan sendirinya ongkos produksi naik dengan meningkatnya tekanan.

Umumnya mesin kompak yang dikembangkan untuk proses lain dapat dimanfaatkan pula untuk metalurgi serbuk. Meskipun kompak mekanik banyak digunakan karena laju produksinya yang tinggi, kompak hidrolis digunakan bila benda besar dan bila diperlukan tekanan yang tinggi. Kompak "*punch*" tunggal dan Kompak "*multi punch rotary*" berkecepatan tinggi di desain sedemikian rupa sehingga operasinya, mulai pengisian cetakan dengan serbuk, pengeluaran benda cetak jadi berlangsung secara kontinyu atau bertahap.

Kompak meja putar mempunyai laju produksi yang tinggi, karena dilengkapi dengan serangkaian lubang *die*, yang masing-masing dilengkapi dengan *pons* atas

dan bawah. Selama meja berputar, operasi pengisian, penekanan dan pengeluaran produk berlangsung secara bertahap. Pada gambar 2.12. tampak susunan *punch* dan *die* yang sederhana untuk memadatkan serbuk logam. Ada dua penekan, penekan atas yang sesuai dengan bentuk atas dari benda dan penekan bawah yang sesuai dengan *die* bagian bawah.



Gambar 2.12. Susunan penekan dan *die* untuk memadatkan serbuk logam [3].

Penekan bawah yang juga berfungsi sebagai *ejector* untuk mengeluarkan benda yang telah dicetak. Ruang *die* harus halus untuk mengurangi gesekan dan harus tirus sedikit untuk memudahkan pengeluaran benda. Gesekan dinding akan mengurangi tekanan ke serbuk dan bila tekanan berkerja pada satu sisi saja, dalam benda itu sendiri akan timbul perbedaan berat jenis (dari atas dan bawah). Oleh karena itu digunakan penekan baik dari atas maupun bawah. Bentuk benda dikeluarkan, yang disebut kompak mentah, telah menyerupai produk akhir akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir diperoleh setelah proses sinter. Tekanan kompak yang dipersyaratkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

P = tekanan kompak yang dipersyaratkan, MPa

F = gaya tekan, dalam Newton

A = luas, mm^2

dimana,

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.2)$$

A = luas, mm²

D = diameter produk, mm

Berat jenis merupakan salah satu ciri khas produk serbuk logam. Tekanan yang lebih besar menghasilkan benda dengan berat jenis yang lebih tinggi, oleh karena itu kekuatannya bertambah. Berat jenis juga bisa ditingkatkan dengan serbuk yang lebih halus.

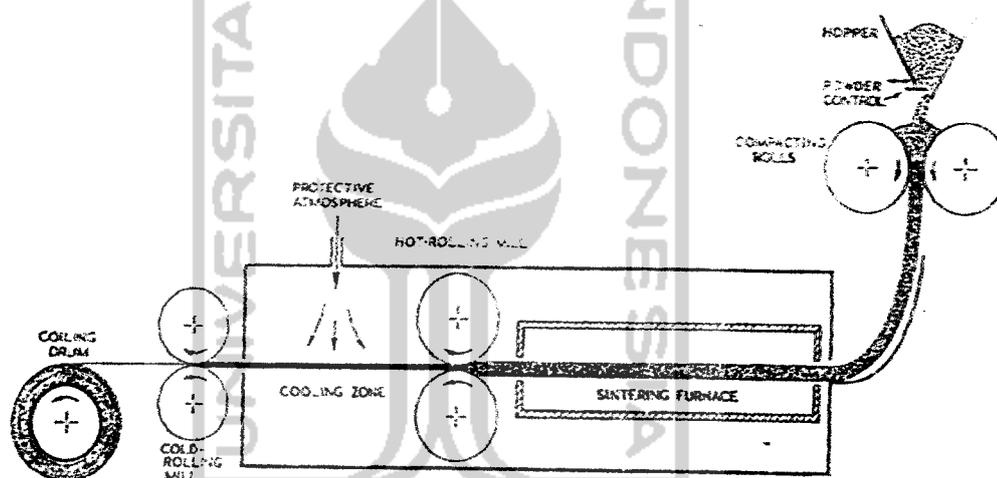
Salah satu contoh mesin kompak hidrolis *TarnoGrocky* atau juga bisa disebut (*Universal testing machine*) dengan beban penekanan maksimal 20 ton, yang termasuk dalam metoda pemadatan proses metalurgi serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.13. berikut ini :



Gambar 2.13. Mesin kompak hidrolis *TarnoGrocky*.

2.5.3. Metoda Mengerol (*Rolling*)

Dari tempat pengumpulan, serbuk dimasukkan diantara dua rol yang menekan dan membentuknya menjadi lembaran dengan kekuatan yang memadai sehingga dapat dimasukkan dalam dapur sinter. Lembaran tersebut kemudian dirol melalui beberapa pasangan rol lainnya dan mengalami perlakuan panas selanjutnya bila diperlukan. Dengan mencampurkan serbuk sebelum memasuki rol, dapat dibuat lembaran paduan. Serbuk logam yang dapat dirol menjadi lembaran adalah tembaga, kuningan, perunggu, monel dan baja tahan karat. Sifat mekanik yang merata dan porositas yang terkendali dapat dihasilkan melalui proses rol ini, prinsip kerjanya dapat dilihat pada Gambar 2.14. berikut ini :



Gambar 2.14. Produksi lembaran logam kontinu, rol untuk kompak logam [3].

2.5.4. Metoda Sinter Gravitasi (*Gravity Sintering*)

Lembaran logam dengan porositas terkendali dapat dibuat dengan sinter gravitasi. Proses ini banyak diterapkan untuk pembuatan lembaran baja tahan karat. Serbuk dengan ketebalan merata diletakkan diatas tatakan keramik dan disinter selama 48 jam dalam lingkungan gas amonia pada suhu tinggi. Lembaran tersebut kemudian digiling agar ketebalan merata dan agar memiliki penyelesaian permukaan yang lebih baik. Lembaran tadi kemudian dapat dibentuk lebih lanjut. Lembaran baja porous tahan karat digunakan sebagai filter dalam industri minyak bumi dan kimia.

2.5.5. Metoda Pencetakan Isostatik (*Isostatic Molding*)

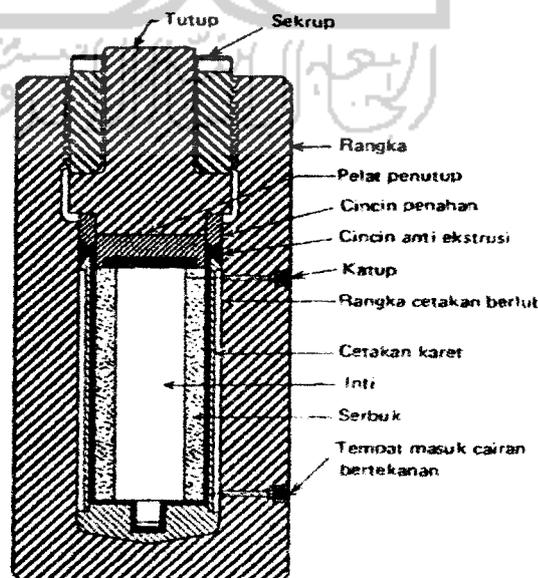
Pencetakan isostatik adalah suatu cara untuk mendapatkan serbuk logam dengan berat jenis merata pada operasi pemampatan. Metoda ini penting karena disini digunakan tekanan yang tinggi yang menghasilkan produk yang padat, media penekanan adalah gas.

Disebut penekanan hidrostatik jika digunakan media zat cair.

Teori pencetakan isostatik berdasarkan fakta bahwa tekanan pada suatu gas atau cairan diteruskan ke segala arah dengan besar yang sama. Serbuk diletakkan dalam wadah elastik yang ditekan dari berbagai arah.

Rongga dibagian dalam dibuat dengan menempatkan inti logam dalam wadah. Keseluruhannya kemudian ditempatkan dalam ruang tekan logam seperti terlihat pada gambar. Setelah operasi pemampatan selesai, benda dikeluarkan dari wadah dan inti di keluarkan.

Proses ini menghasilkan produk yang padat yang mempunyai kekuatan merata dalam segala arah, selain itu harga peralatan relatif murah dan kekuatan kompak mentah jauh lebih baik dibandingkan dengan cara lain. Serbuk logam yang dapat dibentuk dengan penekanan isostatik adalah aluminium, magnesium, berylium, besi, wolfram dan baja tahan karat. Prinsip kerjanya dapat dilihat pada Gambar 2.15. berikut ini :



Gambar 2.15. Skema susunan peralatan tekanan isostatik [3].

2.5.6. Pemampatan Eksplosif (*Explosive Compacting*)

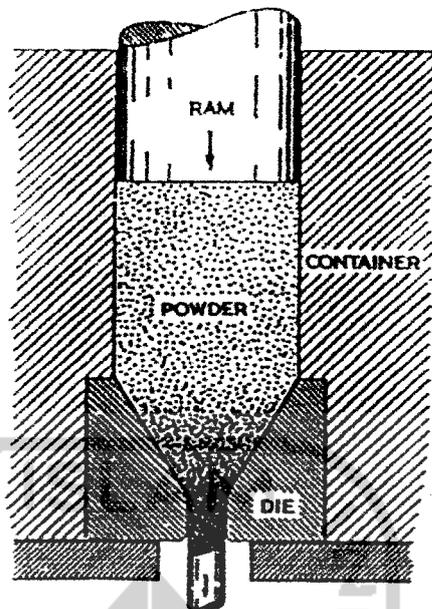
Pemampatan serbuk secara eksplosif umumnya diterapkan pada logam yang sulit dipadatkan. Cara ini dapat menghasilkan tekanan yang tinggi sehingga diperoleh produk yang padat. Dengan demikian waktu sinter dikurangi dan penciutan kompak juga berkurang, desain *die* sederhana sehingga didapatkan penghematan yang berarti.

Desain yang digunakan pada umumnya mempunyai sistem tertutup. Sebuah atau beberapa buah penekan ditempatkan disekitar serbuk logam dan dikendalikan oleh pelat yang berhubungan dengan ruang ledakan. Desain lainnya menggunakan air didalam silinder berdinding tebal. Serbuk ditempatkan dalam kantung kedap air yang dimasukkan kedalam silinder. Pada serbuk berkerja tekanan hidrostatik yang berasal dari ledakan di ujung silinder.

2.5.7. Metode Ekstrusi (*Extruding*)

Benda berbentuk panjang dibuat dengan proses ekstrusi. Perkembangan dibidang ini memungkinkan dibentuknya benda dari serbuk dengan berat jenis yang tinggi dan sifat mekanik yang baik. Cara ekstrusi tergantung pada karakteristik serbuk, beberapa jenis serbuk memerlukan ekstrusi dingin dengan bahan pengikat sedang lainnya dapat dipanaskan sampai suhu ekstrusi tertentu.

Umumnya serbuk ditekan, membentuk bilet, disusul dengan pemanasan atau sinter dalam lingkungan tanpa oksidasi sebelum dimasukkan dalam kompak. Ada kalanya untuk menghindari oksidasi, bilet tadi dimasukkan dalam wadah logam yang ditutup rapat sebelum dimasukkan ke dalam kompak. Proses ini banyak diterapkan pada pembuatan elemen bahan bakar padat nuklir dan bahan-bahan lainnya seperti untuk penggunaan pada suhu tinggi. Logam-logam lainnya seperti aluminium, tembaga, nikel dapat di ekstrusi juga. Metoda ekstrusi dapat dilihat pada Gambar 2.16. berikut ini :



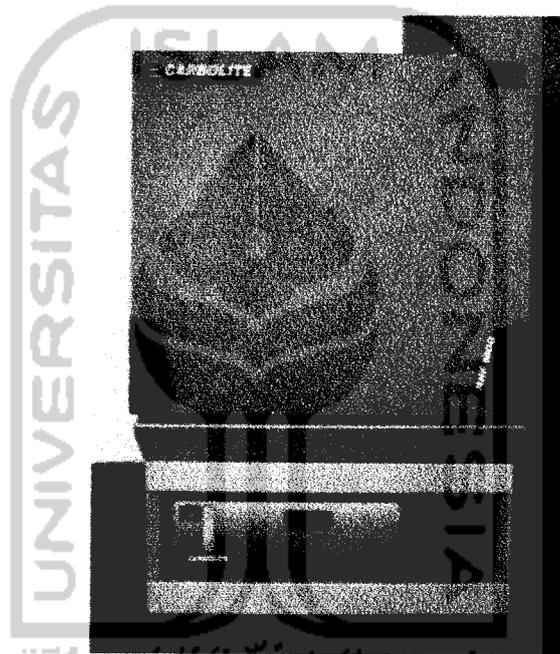
Gambar 2.16. Ekstrusi dingin untuk serbuk logam [3].

2.6. Metoda Pemanasan (*Sintering*)

Pemanasan kompak mentah sampai suhu tinggi disebut *sintering*. Pada proses pemanasan, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektifitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Dengan perkataan lain proses pemanasan menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Suhu pemanasan umumnya berada dibawah titik cair yaitu 70% sampai 90% °C dari unsur serbuk utama [3].

Untuk proses pemanasan serbuk logam umumnya dapat digunakan dapur komersial yang ada, namun beberapa jenis logam tertentu memerlukan dapur-dapur khusus. Suhu pemanasan untuk besi adalah 1095 °C, baja tahan karat 1180 °C, tembaga 870 °C dan untuk karbida tungsten 1480 °C. Waktu pemanasan berkisar antara 20 sampai 40 menit [3]. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam yang berlainan. Lingkungan sangat berpengaruh karena benda mentah terdiri dari partikel yang kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu lingkungan harus terdiri dari gas reduksi atau nitrogen untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses pemanasan.

Selama proses sinter terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan. Tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur sinter dan tekanan pemampatan. Ukuran yang tepat diperoleh berdasarkan perhitungan perubahan ukuran pada waktu pembuatan kompak mentah dan proses sinter. Metoda pemanasan dapat menggunakan alat pemanas *carbolite* dengan temperatur maksimal 1600° seperti terlihat pada Gambar 2.17. berikut ini :

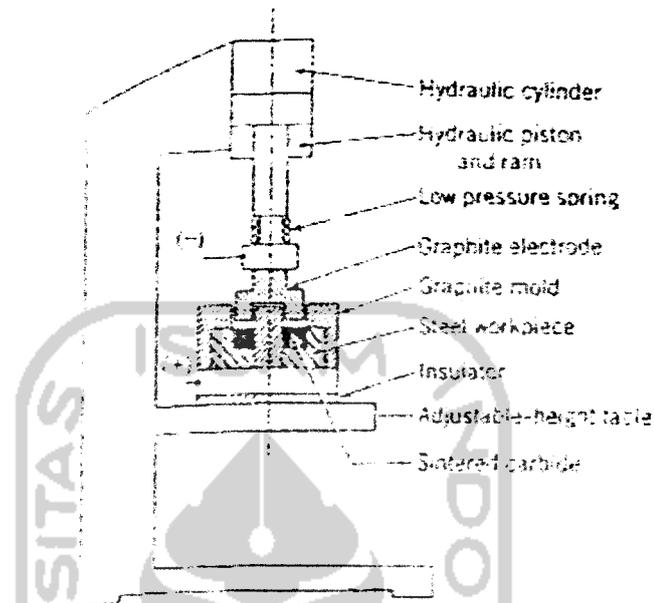


Gambar 2.17. Elektrik sintering.

2.7. Sinter Latu (*Spark Sintering*)

Sintering latu merupakan suatu proses dimana serbuk ditekan dan disinter sekaligus dalam waktu yang sangat singkat yaitu 12 sampai 15 detik. Suatu latu listrik berenergi tinggi yang berasal dari rangkaian kondensator dalam satu atau dua detik dapat menghilangkan kotoran partikel serbuk. Hal ini menyebabkan partikel menjadi satu, seperti terjadi pada proses sinter biasa, dan terbentuklah suatu satuan massa yang padat. Segera setelah latu terbetik, arus akan mengalir selama 10 detik, suhu berada dibawah titik cair serbuk dan terjadi ikatan kristal antar partikel. Pada

tahap akhir, benda yang terletak diantara elektroda ditekan secara hidrolik untuk meningkatkan kepadatannya.

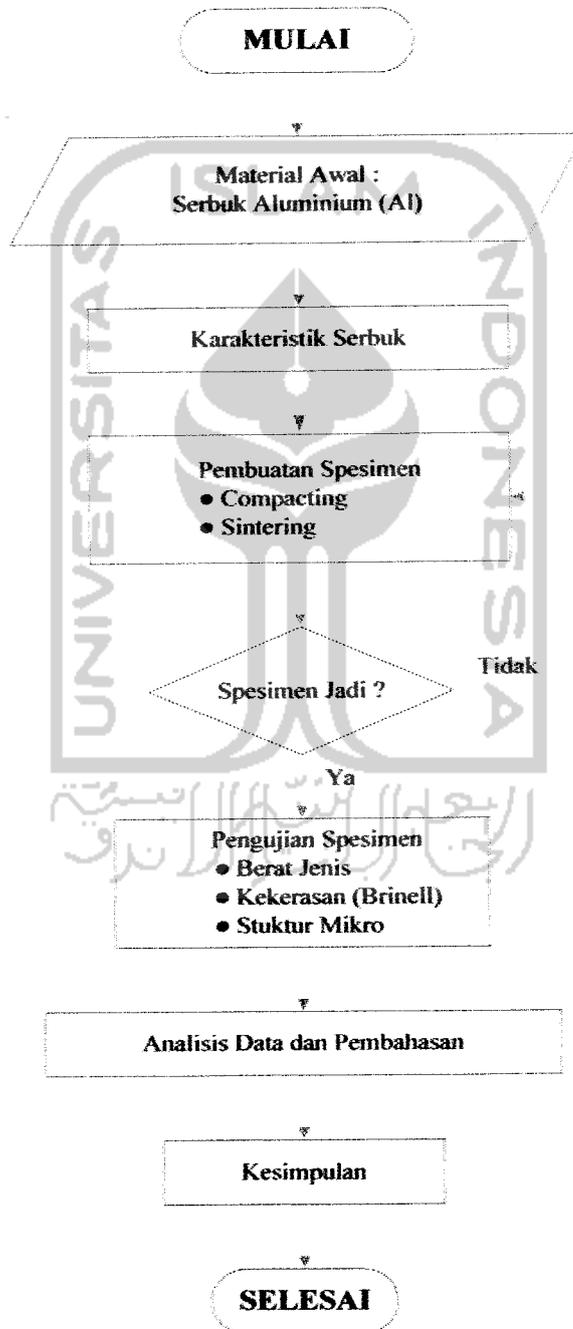


Gambar 2.18. Skema sinter latu untuk menghilangkan kotoran pada permukaan partikel serbuk [3].

Gambar 2.18. diatas tampak susunan sinter latu untuk membuat cetakan pons bimetal “Karbida sinter” adalah bahan karbida yang akan ditautkan pada benda baja dibawahnya. Mula-mula serbuk dituangkan sampai bagian atas dari cetakan grafit. Akhirnya elektroda grafit ditekan pada benda bimetal sehingga dihasilkan produk yang padat. Elektroda grafit dibentuk sesuai dengan dimensi produk akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Pengujian



Gambar 3.1. Diagram alir proses pengujian.



3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

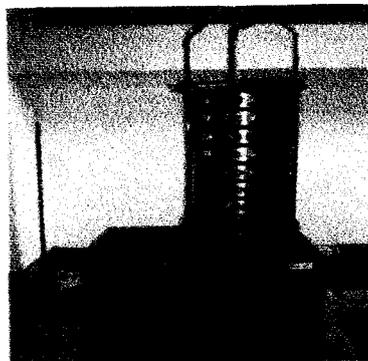
Serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara yang sudah dipisahkan berdasarkan tingkatan ukuran mesh.

3.2.2. Peralatan Penelitian

1. Ayakan untuk memisahkan serbuk.
2. Cetakan logam.
3. Corong untuk memasukkan serbuk ke dalam cetakan.
4. Mesin pres *TarnoGrocky* untuk memadatkan serbuk.
5. Timbangan untuk menimbang berat serbuk dan produk.
6. Jangka sorong untuk mengukur diameter dan tinggi produk.
7. Amplas anti air untuk menghaluskan produk.
8. Lap kain, *hair dryer* dan autosol untuk mengkilapkan produk.
9. *Universal hardness tester* untuk uji kekerasan dan mikroskop optik.

3.3. Penentuan ukuran serbuk

Sebelum serbuk dipadatkan maka serbuk hasil proses atomisasi udara dilakukan pengayakan terlebih dahulu. Pengayakan ini bertujuan untuk memisahkan serbuk berdasarkan tingkatan ukuran mesh. Tingkatan ukuran mesh yang digunakan ada tujuh tingkatan, tetapi yang digunakan untuk penelitian diambil ukuran yang kecil. Adapun proses pengayakan dapat dilihat pada Gambar 3.2. berikut ini :



Gambar 3.2. Sieve Analysis Mesh.

3.4. Metoda Pemasakan

3.4.1. Cetakan Logam

Cetakan logam yang digunakan untuk membuat spesimen pada penelitian ini yaitu cetakan baja tahan karat dengan diameter 15 mm dan tinggi 60 mm. Cetakan ini mempunyai struktur yang rapat, tahan pada suhu tinggi dan umur dari cetakan ini bisa beberapa puluh ribu kali pengisian kalau dipakai untuk membuat produk.

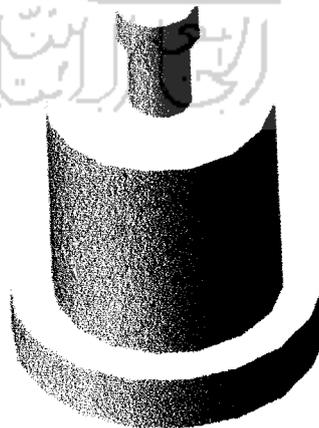
Pemasakan dengan menggunakan cetakan logam harus memperhatikan keuntungan dan kerugian dari cetakan tersebut. Adapun keuntungan dan kerugian cetakan logam :

A. Keuntungan dari cetakan logam :

1. Ketelitian sangat baik dibandingkan dengan cetakan non logam.
2. Struktur yang rapat dapat dihasilkan.
3. Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktivitas tinggi.

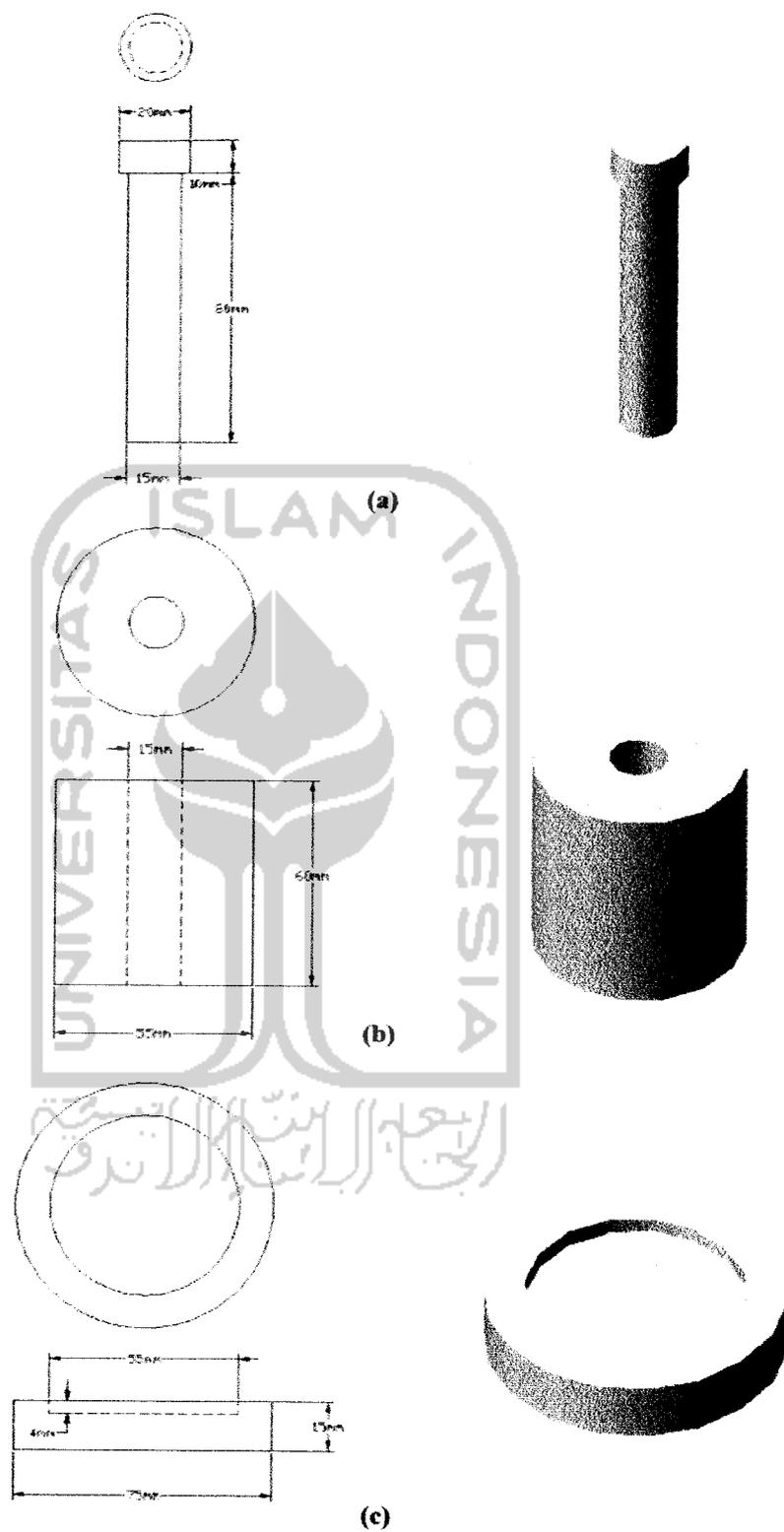
B. Kerugian dari cetakan logam :

1. Tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil disebabkan tingginya biaya cetakan logam.
2. Sukar untuk membuat cetakan yang berbentuk rumit dan biaya dari cetakan mahal.



Gambar 3.3. Cetakan logam.

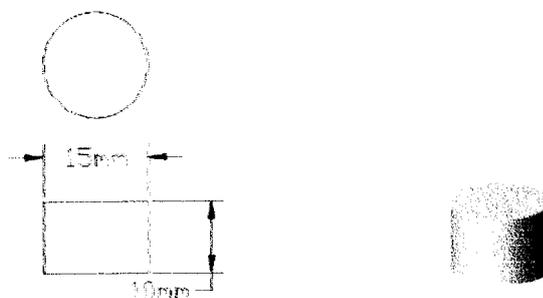
Komponen penyusun cetakan terdiri dari 3 bagian yaitu *upper punch* (pons atas), *die* (cetakan) dan landasan cetakan. Material menggunakan baja tahan karat. Adapun masing-masing komponen terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. (a) *Upper punch.*

(b) *Cetakan (die).*

(c) *Landasan cetakan.*



Gambar 3.5. Bentuk spesimen.

3.4.2. Penentuan Tekanan

Serbuk ditekan dalam cetakan (*dies*) baja dengan tekanan sebesar 70 MPa sampai 1400 Mpa [3]. Dalam penentuan tekanan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

P = tekanan kompak yang dipersyaratkan, dalam MPa

F = gaya tekan, dalam Newton

A = luas, mm^2

Dimana :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.2)$$

A = luas, mm^2

D = diameter produk, mm

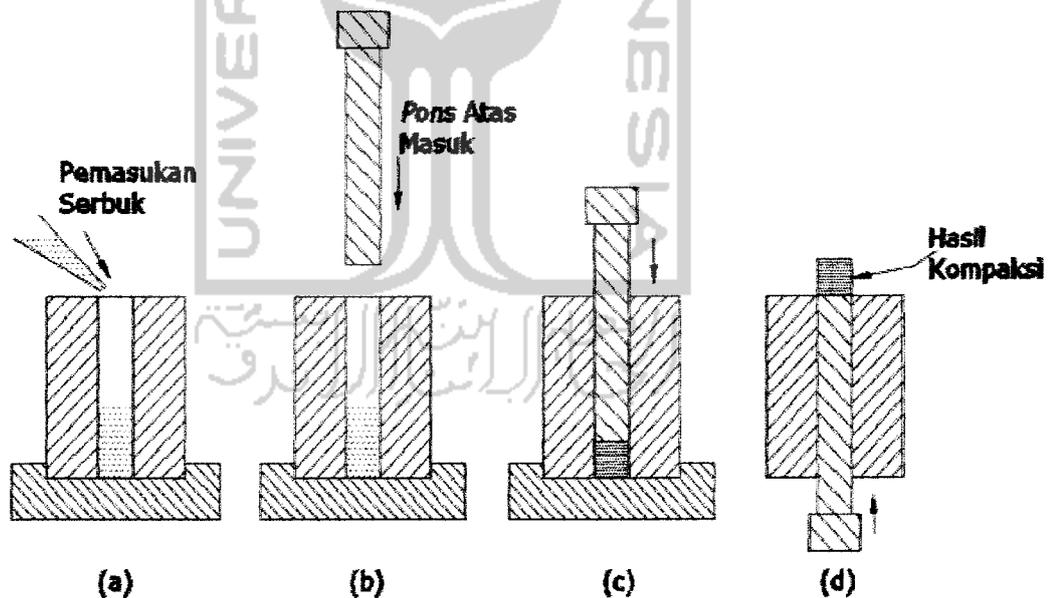
3.4.3. Penentuan Berat Serbuk Awal

Untuk mencari tinggi yang diinginkan, dimana ukuran cetakan adalah diameter 15 mm dan tinggi 60 mm, maka untuk membuat produk dengan diameter 15 mm dengan tinggi 10 mm dilakukan percobaan berat serbuk awal untuk mencari tinggi yaitu serbuk yang akan dipadatkan ditimbang terlebih dahulu kemudian setelah proses pemadatan didapat hasil tinggi dari produk maka dalam penentuan berat serbuk awal yaitu berat serbuk dibagi dengan tinggi produk yang didapat dari proses pemadatan.

3.4.4. Proses Pemadatan Serbuk

Prinsip kerja dari proses pemadatan serbuk ini adalah sebagai berikut :

1. Tampak susunan *punch* dan *die* yang sederhana untuk memadatkan serbuk logam. Mula-mula serbuk logam dimasukkan dalam cetakan menggunakan corong penuangan.
2. Cetakan diletakkan dimeja mesin pres atau dijepit pada mesin pres, lalu diberi beban penekanan berlahan-lahan diperbesar sampai batas penekanan yang diberikan.
3. Setelah selesai proses penekanan cetakan dilepas dari mesin pres kemudian cetakan dibalik dan ditekan kembali sampai kompak mentah atau produk yang dihasilkan keluar dari cetakan.
4. Tahap akhir yaitu cetakan dilepas dari mesin pres dan kompak mentah yang dihasilkan diambil untuk diproses selanjutnya yaitu dipanaskan.

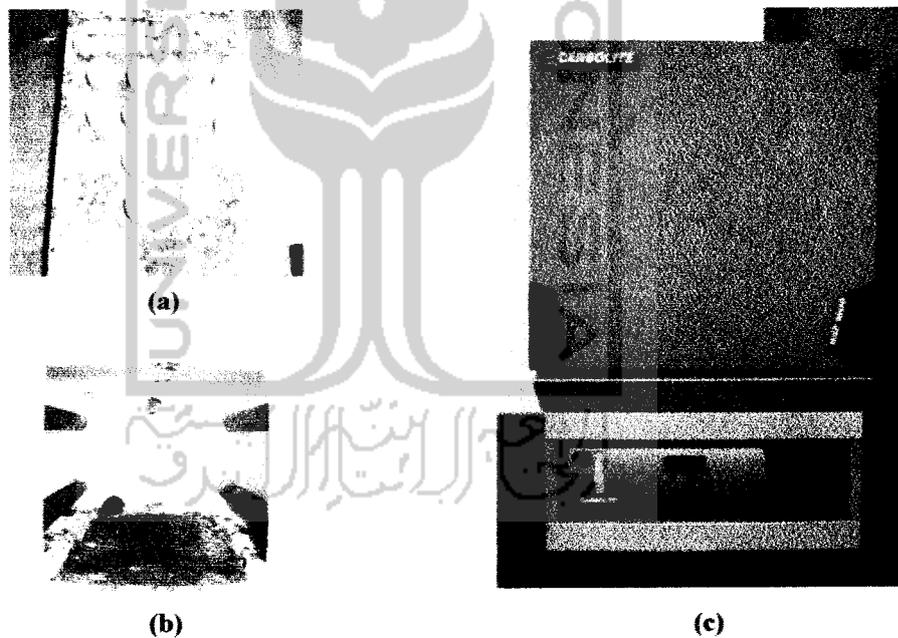


Gambar 3.6. Skema proses pemadatan serbuk.

- (a) Proses pemasukan serbuk.
- (b) Posisi pengepresan (*Upper punch* masuk).
- (c) Proses pemadatan.
- (d) Proses pengeluaran kompak mentah.

3.5. Metoda Pemanasan

Pemanasan kompak mentah sampai suhu tinggi disebut *sintering*. Kunci utama dari proses pemanasan logam yaitu temperaturnya berada dibawah titik cair, 70% sampai 90% °C dari unsur serbuk utama dan waktu pemanasan berkisar antara 20 - 40 menit [3]. Prinsip kerja metoda pemanasan ini seperti proses pemanasan biasa dimana kompak mentah atau produk diletakkan pada batu tahan api kemudian dimasukkan dalam ruang sinter dan dipanaskan sampai temperatur dan waktu pemanasan yang diberikan. Proses pemanasan ini bertujuan untuk mengikat partikel serbuk sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah dan meningkatkan kekerasan, selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Skema pemanasan kompak mentah dapat dilihat pada Gambar 3.7. berikut ini :



Gambar 3.7. (a) Batu tahan api.
 (b) Ruang sinter.
 (c) *Elektric sintering*.

3.6. Pengujian yang Dilakukan

3.6.1. Pengujian Berat Jenis

3.6.1.1. Pengujian Berat

Setelah serbuk dipadatkan dan setelah produk dipanaskan kemudian produk ditimbang menggunakan timbangan digital, yaitu bertujuan untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi sebelum dan sesudah proses pemanasan (*sintering*).

Untuk mencari berat jenis menggunakan rumus sebagai berikut :

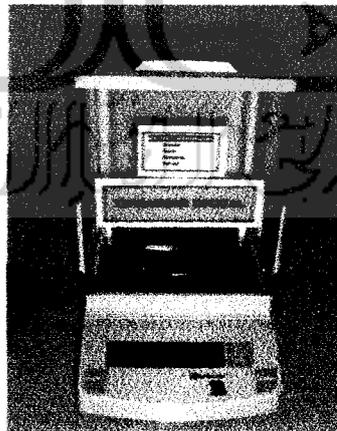
$$\gamma = \frac{w}{v}, \text{ dimana } v = \frac{\pi D^2}{4} h \quad (3.3)$$

Keterangan : $\gamma = \text{berat jenis, } \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, $h = \text{tinggi, cm}$

$w = \text{berat produk, gr}$ $D = \text{diameter, cm}$

$v = \text{volume, cm}^3$

Timbangan digital untuk menimbang berat produk dapat terlihat pada Gambar 3.8. berikut ini :



Gambar 3.8. Timbangan digital.

3.6.1.2. Pengukuran Tinggi

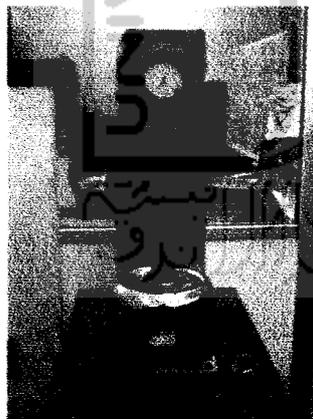
Untuk pengukuran tinggi dan diameter menggunakan jangka sorong, yaitu bertujuan untuk mengetahui perubahan dimensi yang terjadi sebelum dan sesudah proses pemanasan. Jangka sorong untuk mengukur tinggi dan diameter dapat terlihat pada Gambar 3.9. berikut ini :



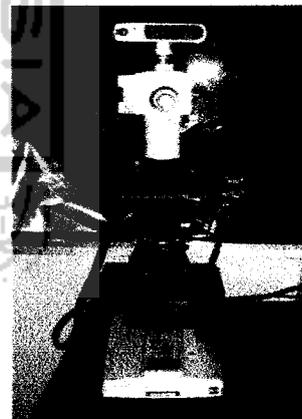
Gambar 3.9. Jangka sorong.

3.6.2. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk memperoleh angka kekerasan yang merupakan salah satu sifat mekanik yang penting [5]. Adapun alat uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.10. dan mikroskop optik untuk melihat bekas injakan dari penetrator untuk uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.11. berikut ini :



Gambar 3.10. Universal Hardness Tester.



Gambar 3.11. Mikroskop optik.

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan pengujian Kekerasan Brinell, dengan prinsip kerja sebagai berikut :

1. Penetrator ditekan pada permukaan produk dengan beban standar.
Penetrator : Bola baja karbida *tungsten*.
2. Ukur diameter bekas injakan penetrator dengan mikroskop optik.

3. Hitung tingkat Kekerasan Brinell dengan rumus :

$$H_B = \frac{P}{1/2\pi D(D - (D^2 - d^2)^{1/2})} = (\text{kg/mm}^2) \quad (3.4)$$

P = beban penekanan, kgf

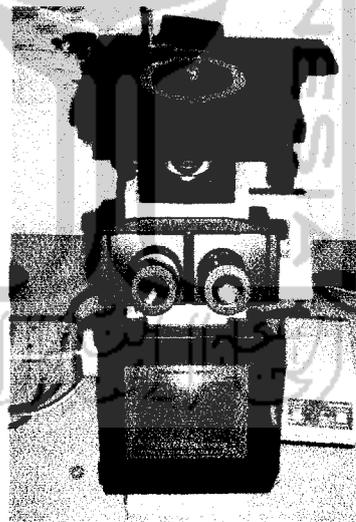
D = diameter penetrator, mm

d = diameter injakan penetrator, mm

H_B = Kekerasan Brinell, kg/mm²

3.6.3. Pengujian Struktur Mikro

Pada proses pembuatan produk dengan menggunakan metode kompaksi dan pemanasan, dapat dilihat struktur mikro dari spesimen dengan menggunakan mikroskop optik, yang bertujuan mengetahui porositas, pengikatan antar partikel [6]. Adapun gambar mikroskop optik digital adalah sebagai berikut :



Gambar 3.12. Mikroskop Optik Digital.

Prosedur penyiapan produk untuk pengujian struktur mikro :

1. Amplas produk dengan amplas tahan air berturut-turut dari nomor terkecil ke nomor terbesar sampai permukaan produk rata.
2. Cuci produk kemudian dikeringkan (lap dengan kain dan di *hair-dryer*) dan produk dihaluskan menggunakan autosol sampai mengkilap.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas data hasil penelitian, data hasil pengujian dan pembahasan, serta hasil dari produk yang didapat dari proses pembuatan produk menggunakan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara.

4.1. Data Hasil Penelitian

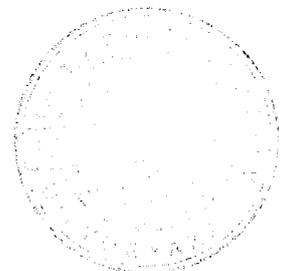
4.1.1. Penentuan Ukuran Serbuk

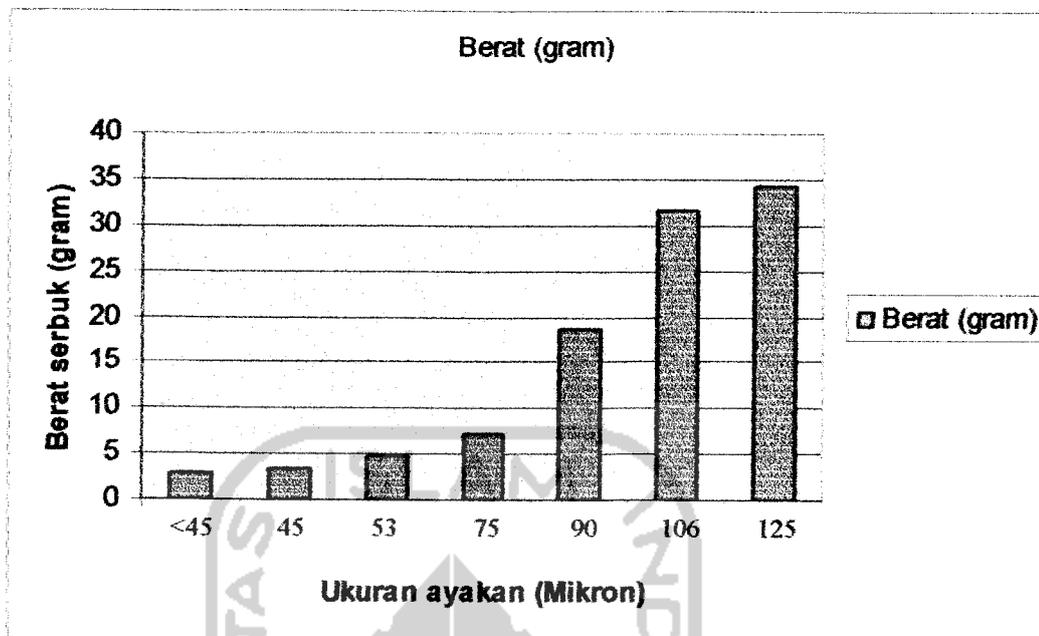
Berdasarkan hasil pengayakan serbuk, dapat dilihat perbandingan diantara setiap mesh, seperti pada Tabel 4.1. berikut ini:

Tabel 4.1. Hasil pengayakan dari proses atomisasi udara.

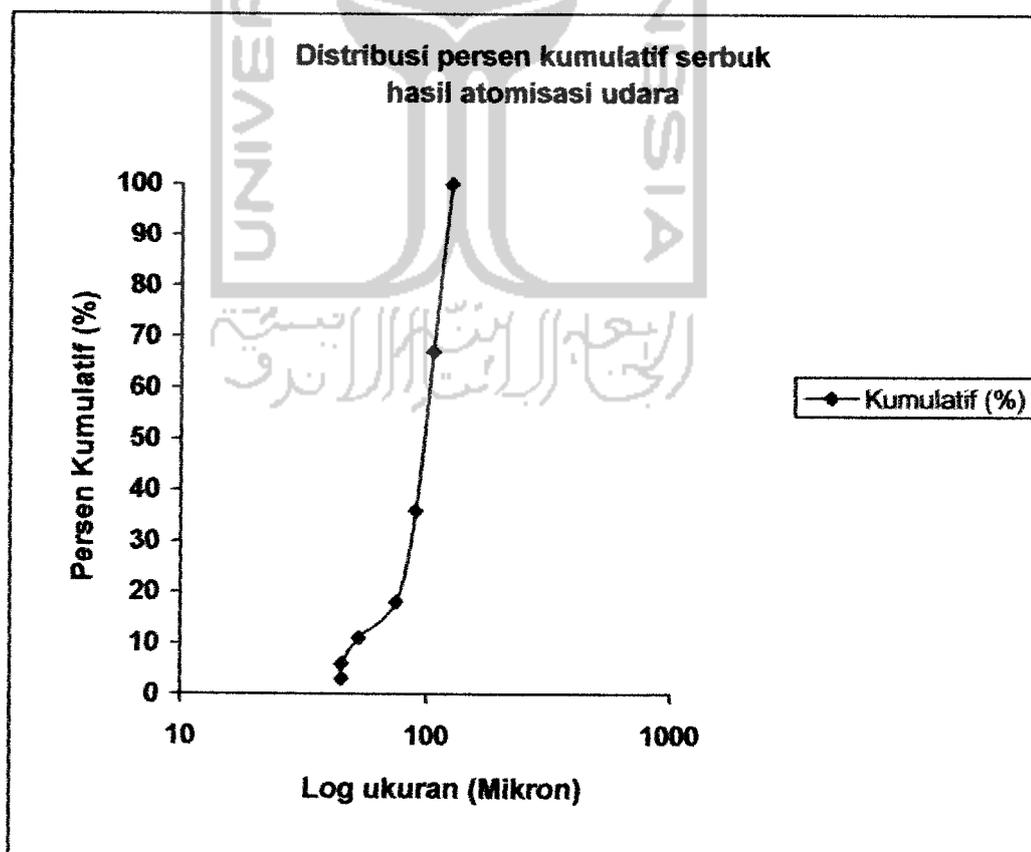
No	Sieve Size	Diameter lubang (Mikron)	Berat (gr)	Persentase	Persen Kumulatif %
1	>300	<45	2.80	2.73	3
2	300	45	3.40	3.31	6
3	270	53	4.70	4.58	11
4	200	75	7.30	7.11	18
5	170	90	18.80	18.31	36
6	140	106	31.50	30.67	67
7	120	125	34.20	33.30	100
Total			102.70		

Dari hasil pengayakan diatas maka dapat diketahui perbandingan berat serbuk yang didapat, terlihat pada grafik. Dari data yang terlihat pada grafik mesh 120 terlihat berat serbuk yang paling tinggi dengan berat 34.2 gr, sedangkan ukuran berat yang paling sedikit terdapat pada mesh >300 dengan berat 2.80 gr. Ukuran serbuk yang digunakan dalam penelitian untuk membuat produk adalah sebagai berikut : <75 μm , 75 μm , 90 μm dan 106 μm . Grafik perbandingan berat serbuk terlihat pada Gambar 4.1. dan grafik distribusi persen kumulatif serbuk hasil proses atomisasi udara terlihat pada Gambar 4.2. berikut ini :





Gambar 4.1. Grafik berat dari tiap-tiap mesh.



Gambar 4.2. Grafik persentase kumulatif partikel.

4.1.2. Penentuan Tekanan

- Dalam penentuan gaya yang dikenakan, diasumsikan sebagai berikut :

$$F = 4 \text{ ton} = 4000 \text{ kgf}$$

$$F = 4000 \text{ kgf} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 39200 \text{ N}$$

- Diketahui diameter produk (D) = 15 mm

Maka :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 225}{4} = 176.62 \text{ mm}^2$$

Dimana :

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

$$P = \frac{39200 \text{ N}}{176.62 \text{ mm}^2}$$

$$P = 221.94 \text{ N/mm}^2 = 221.94 \text{ MPa}$$

4.1.3. Penentuan Berat Serbuk Awal

Ukuran cetakan adalah diameter 15 mm dan tinggi 60 mm, maka untuk membuat produk dengan diameter 15 mm dengan tinggi 10 mm dilakukan percobaan berat serbuk awal untuk mencari tinggi, dalam percobaan tersebut menggunakan ukuran serbuk 106 μm dengan berat 3,65 gr dan beban penekanan 4 ton, ternyata didapat hasil tinggi (h) yaitu 10 mm, maka dalam penelitian ini berat serbuk awal yang dipadatkan adalah 3,65 gr. Karena pembuatan produk dalam penelitian ini menggunakan berat serbuk yang sama untuk masing-masing tingkat ukuran mesh, maka dalam penentuan berat serbuk awal yaitu berat serbuk (m) dibagi dengan tinggi produk (h) yang didapat dari proses pemadatan.

Jadi :

$$\frac{3.65 \text{ gr}}{10 \text{ mm}} = 0.365 \text{ gr/mm}$$

Benda uji dengan tinggi (h) = 1 mm = 0.365 gr

(h) = 10 mm = 3.65 gr

4.1.4. Penentuan Temperatur

Dalam penentuan temperatur diasumsikan sebagai berikut :

- Diketahui titik cair Aluminium = 660 °C [3].
- Penentuan temperatur mengambil 90 % dari titik cair Aluminium.

$$90 \% \text{ Titik cair} = \frac{90}{100} \times 660 \text{ } ^\circ\text{C} = 594 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pada penelitian ini produk setelah dipadatkan kemudian dipanaskan pada temperatur 600 °C dalam waktu pemanasan 30 menit menggunakan alat pemanas.

4.2. Data Hasil Pengujian

Setelah mendapat hasil produk aluminium dari proses pemadatan dan proses pemanasan, kemudian dilakukan pengujian pada masing-masing produk untuk mengetahui kualitas dari produk.

4.2.1. Pengujian Berat Jenis

4.2.1.1. Pengujian Berat

Dari pengujian berat produk dapat diketahui berat pada masing-masing produk seperti terlihat pada Tabel 4.2. sampai Tabel 4.3. berikut ini :

Tabel 4.2. Hasil timbangan produk sebelum proses pemanasan.

Produk (Spesimen)	Berat produk sebelum pemanasan (gr)		Nilai rata-rata (gr)
	Produk A	Produk B	
I	3.650	3.650	3.650
II	3.650	3.640	3.645
III	3.650	3.650	3.650
IV	3.640	3.650	3.645

Tabel 4.3. Hasil timbangan produk sesudah proses pemanasan.

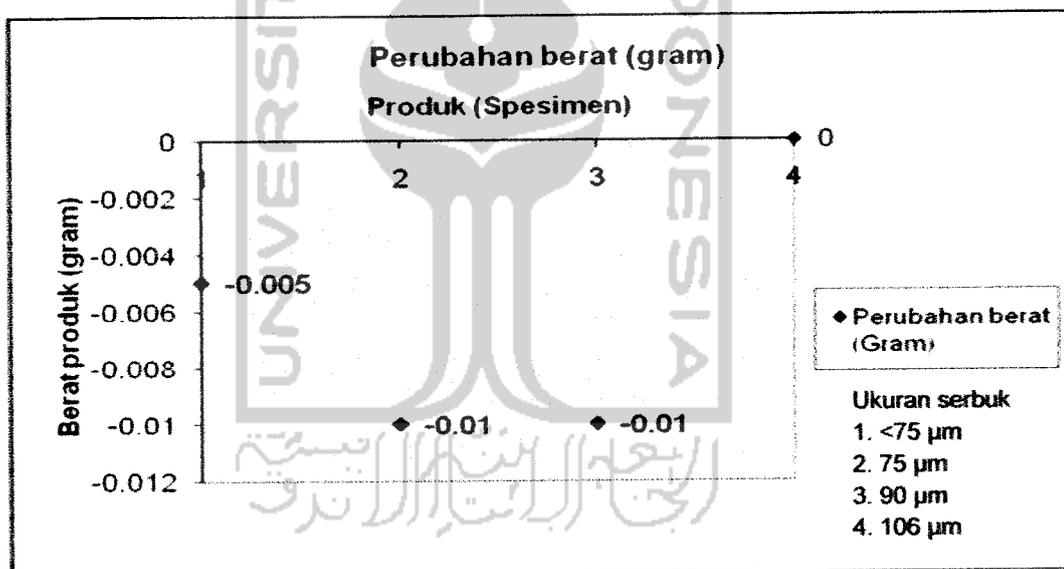
Produk (Spesimen)	Berat produk sesudah pemanasan (gr)		Nilai rata-rata (gr)
	Produk A	Produk B	
I	3.640	3.650	3.645
II	3.640	3.630	3.635
III	3.640	3.640	3.640
IV	3.640	3.650	3.645

Dari data di atas diketahui produk mengalami perubahan berat setelah proses pemanasan, hasil perubahan berat dapat dicari dengan berat sesudah pemanasan dikurangi berat sebelum pemanasan seperti terlihat pada Tabel 4.4. berikut ini :

Tabel 4.4. Hasil perubahan berat produk.

Berat (gram)	Produk (Spesimen)			
	I	II	III	IV
Berat produk sesudah pemanasan	3.645	3.635	3.640	3.645
Berat produk sebelum pemanasan	3.650	3.645	3.650	3.645
Perubahan berat produk	-0.005	-0.010	-0.010	0

Grafik perbandingan perubahan berat pada masing-masing produk seperti terlihat pada Gambar 4.3. berikut ini :



Gambar 4.3. Grafik perbandingan perubahan berat pada masing-masing produk.

Untuk mencari berat jenis menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{w}{v}, \text{ dimana } v = \frac{\pi D^2}{4} h \quad (4.1)$$

Keterangan : γ = berat jenis, $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, h = tinggi, cm

w = berat produk, gr D = diameter, cm

v = volume, cm^3

Dari hasil perhitungan berat jenis, dapat diketahui berat jenis sebelum pemanasan dan sesudah pemanasan pada masing-masing produk seperti terlihat pada Tabel 4.5. sampai Tabel 4.6. berikut ini :

Tabel 4.5. Hasil pengujian berat jenis produk sebelum proses pemanasan.

Produk (Spesimen)	Berat jenis produk sebelum pemanasan (gr/cm^3)		
	w(gr)	v(cm^3)	w/v (gr/cm^3)
I	3.650	1.607	2.271
II	3.645	1.651	2.208
III	3.650	1.678	2.175
IV	3.645	1.748	2.085

Tabel 4.6. Hasil pengujian berat jenis produk sesudah proses pemanasan.

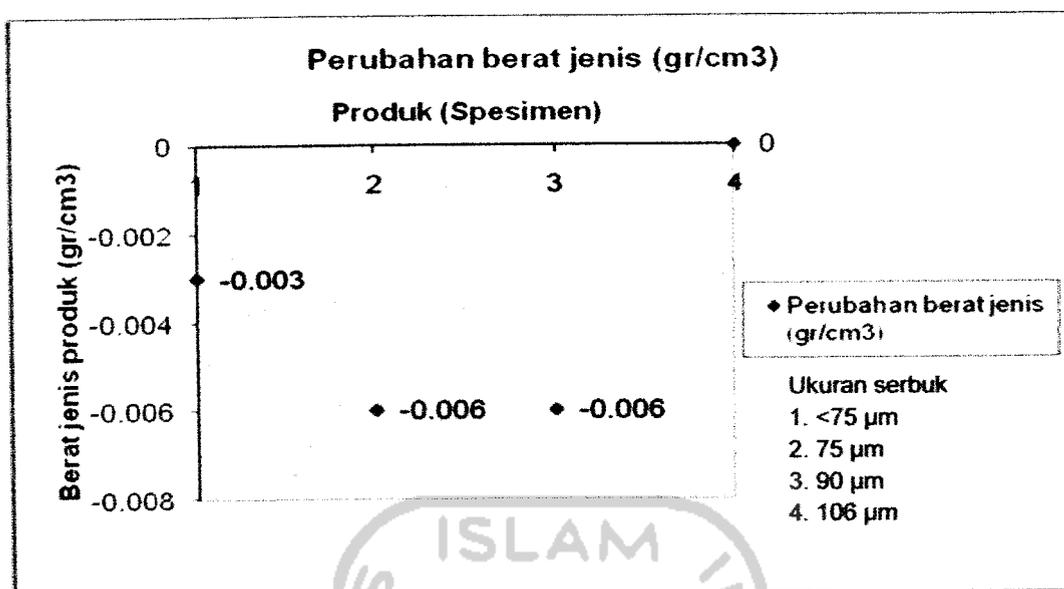
Produk (Spesimen)	Berat jenis produk sesudah pemanasan (gr/cm^3)		
	w(gr)	v(cm^3)	w/v (gr/cm^3)
I	3.645	1.607	2.268
II	3.635	1.651	2.202
III	3.640	1.678	2.169
IV	3.645	1.748	2.085

Dari data di atas dapat diketahui produk mengalami perubahan berat jenis setelah proses pemanasan, hasil perubahan berat jenis dapat diketahui dengan berat jenis produk sesudah pemanasan dikurangi berat jenis produk sebelum pemanasan, seperti terlihat pada Tabel 4.7. berikut ini :

Tabel 4.7. Hasil perubahan berat jenis pada produk.

Berat jenis (gr/cm^3)	Produk (Spesimen)			
	I	II	III	IV
Berat jenis produk sesudah pemanasan	2.268	2.202	2.169	2.085
Berat jenis produk sebelum pemanasan	2.271	2.208	2.175	2.085
Perubahan berat jenis produk	-0.003	-0.006	-0.006	0

Grafik perbandingan perubahan berat jenis pada masing-masing produk seperti terlihat pada Gambar 4.4. dibawah ini :



Gambar 4.4. Grafik perbandingan perubahan berat jenis pada masing-masing produk.

Dari data diatas diketahui produk I memiliki berat jenis paling besar dikarenakan produk I ini menggunakan material serbuk logam dengan ukuran partikel serbuk yang paling kecil yaitu dengan ukuran $<75 \mu\text{m}$, sedangkan produk IV memiliki berat jenis paling kecil dikarenakan pada produk IV ini menggunakan material serbuk logam dengan ukuran partikel serbuk paling besar yaitu $106 \mu\text{m}$. Karena semakin kecil ukuran partikel serbuk yang dipadatkan maka semakin sedikit rongga-rongga yang terdapat didalam produk yang padat.

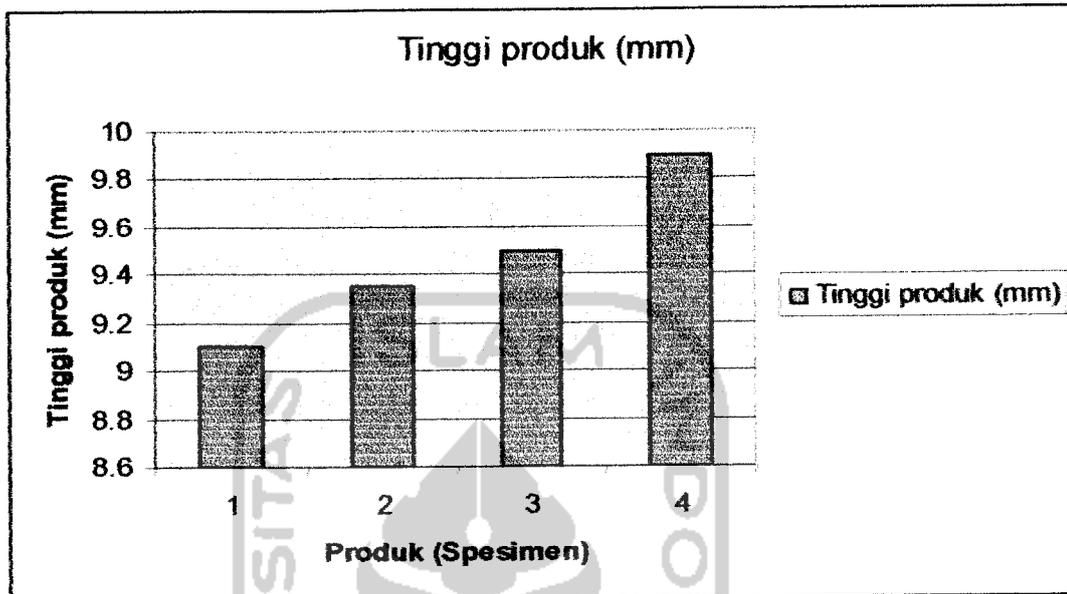
4.2.1.2. Pengukuran Tinggi

Setelah serbuk dipadatkan dan setelah produk dipanaskan maka dilakukan pengukuran tinggi dan diameter. Dari pengukuran tinggi yang dilakukan didapat data hasil pengujian dari masing-masing produk, terlihat pada Tabel 4.8. berikut ini :

Tabel 4.8. Hasil pengukuran tinggi produk.

Produk (Spesimen)	Tinggi produk (mm)		Nilai rata-rata (mm)
	Produk A	Produk B	
I	9.10	9.10	9.10
II	9.40	9.30	9.35
III	9.60	9.40	9.50
IV	9.80	10.0	9.90

Grafik perbandingan tinggi pada masing-masing produk seperti terlihat pada Gambar 4.5. berikut ini :



Gambar 4.5. Grafik perbandingan tinggi pada masing-masing produk.

Dari pengukuran tinggi di atas terlihat produk yang paling tinggi yaitu pada produk IV dengan serbuk ukuran 106 μm dan nilai tinggi rata-ratanya 9.9 mm, dikarenakan pada percobaan sebelum proses pemadatan untuk mencari berat serbuk awal yaitu menggunakan serbuk ukuran 106 μm sehingga ukuran serbuk yang lebih kecil menghasilkan tinggi produk yang lebih rendah, sedangkan tinggi produk yang paling rendah yaitu pada produk I dengan nilai tinggi rata-ratanya 9.1 mm. Data pengukuran diameter pada masing-masing produk yaitu 15mm dan pada pengukuran tinggi dan diameter produk, setelah proses pemanasan tidak mengalami perubahan dimensi, baik perubahan tinggi maupun diameter.

4.2.2. Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan Brinell dilakukan pada empat produk atau spesimen, di mana pengujian dilakukan tiga titik untuk tiap produk. Dari pengujian yang dilakukan didapat data hasil pengujian dari masing-masing produk, seperti terlihat pada Tabel 4.9. sampai Tabel 4.12. dibawah ini :

Hasil pengujian Kekerasan Brinell dengan $P = 153.20$ kgf.

Tabel 4.9. Hasil Kekerasan Brinell produk I, dengan ukuran serbuk <75 μm .

Pengujian produk	P(Kgf)	D(mm)	d(mm)	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)
I	153.20	2.50	1.12	147.34
II	153.20	2.50	1.25	116.53
III	153.20	2.50	1.19	129.51
Rata-rata	153.20	2.50	1.19	129.51

Tabel 4.10. Hasil Kekerasan Brinell produk II, dengan ukuran serbuk 75 μm .

Pengujian produk	P(Kgf)	D(mm)	d(mm)	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)
I	153.20	2.50	1.25	116.53
II	153.20	2.50	1.25	116.53
III	153.20	2.50	1.31	105.29
Rata-rata	153.20	2.50	1.27	112.61

Tabel 4.11. Hasil Kekerasan Brinell produk III, dengan ukuran serbuk 90 μm .

Pengujian produk	P(Kgf)	D(mm)	d(mm)	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)
I	153.20	2.50	1.25	116.53
II	153.20	2.50	1.25	116.53
III	153.20	2.50	1.25	116.53
Rata-rata	153.20	2.50	1.25	116.53

Tabel 4.12. Hasil Kekerasan Brinell produk IV, dengan ukuran serbuk 106 μm .

Pengujian produk	P(Kgf)	D(mm)	d(mm)	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)
I	153.20	2.50	1.19	129.51
II	153.20	2.50	1.19	129.51
III	153.20	2.50	1.12	147.34
Rata-rata	153.20	2.50	1.17	134.28

Dari data di atas dapat diketahui nilai hasil rata-rata pengujian Kekerasan Brinell dari masing-masing produk, seperti terlihat pada Tabel 4.13. berikut ini:

Tabel 4.13. Hasil rata-rata Kekerasan Brinell pada masing-masing produk.

Produk logam	P(Kgf)	D(mm)	d(mm)	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)
I	153.20	2.50	1.19	129.51
II	153.20	2.50	1.27	112.61
III	153.20	2.50	1.25	116.53
IV	153.20	2.50	1.17	134.28

Keterangan :

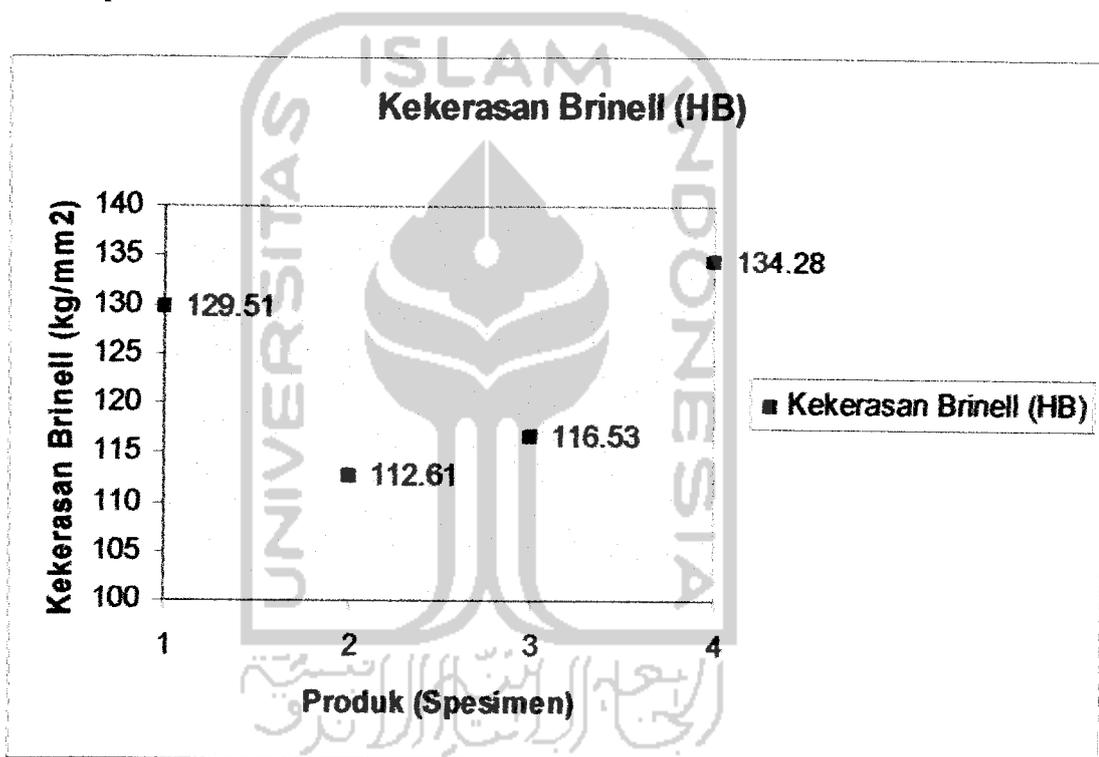
P = beban penekanan, kgf

D = diameter penetrator, mm

d = diameter injakan penetrator, mm

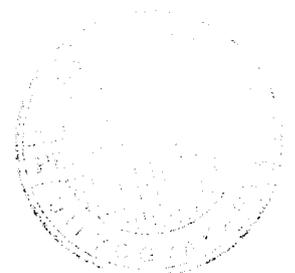
H_B = Kekerasan Brinell, kg/mm^2

Grafik perbandingan Kekerasan Brinell pada masing-masing produk seperti terlihat pada Gambar 4.6. berikut ini :



Gambar 4.6. Grafik perbandingan Kekerasan Brinell pada masing-masing produk.

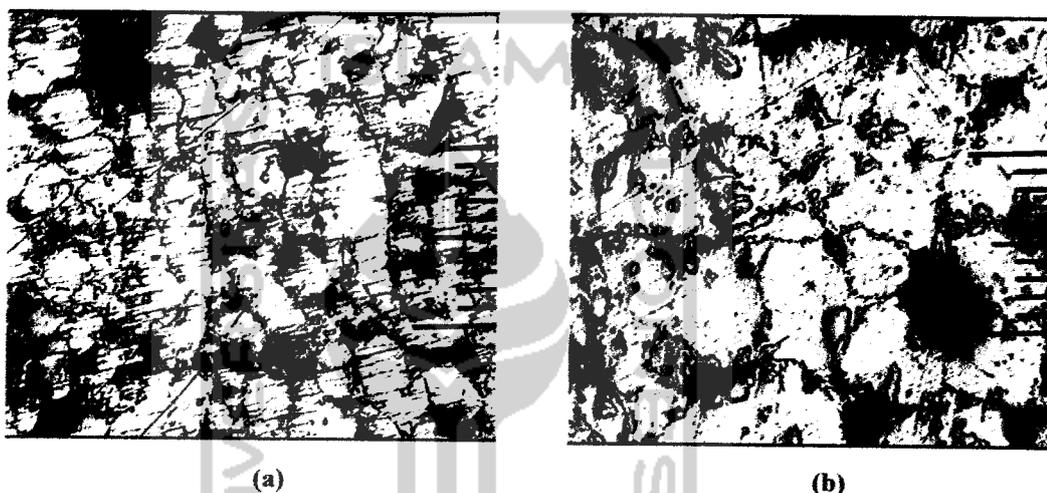
Pada hasil pengujian kekerasan bahwa produk yang memiliki kekerasan paling baik yaitu pada produk IV dengan ukuran serbuk $106 \mu\text{m}$, dimana nilai kekerasan (H_B) rata-ratanya 134.28 kg/mm^2 sedangkan yang memiliki nilai kekerasan paling rendah yaitu pada produk II dengan ukuran serbuk $75 \mu\text{m}$ dimana nilai kekerasan (H_B) rata-ratanya 112.61 kg/mm^2 .



4.2.3. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada empat produk dengan pengambilan gambar satu kali, berikut ini merupakan analisis serta gambar struktur mikro dari produk dengan menggunakan mikroskop optik digital dengan lensa pembesaran 100 kali. Data hasil pengujian struktur mikro, seperti terlihat pada Gambar 4.7. sampai Gambar 4.10. berikut ini :

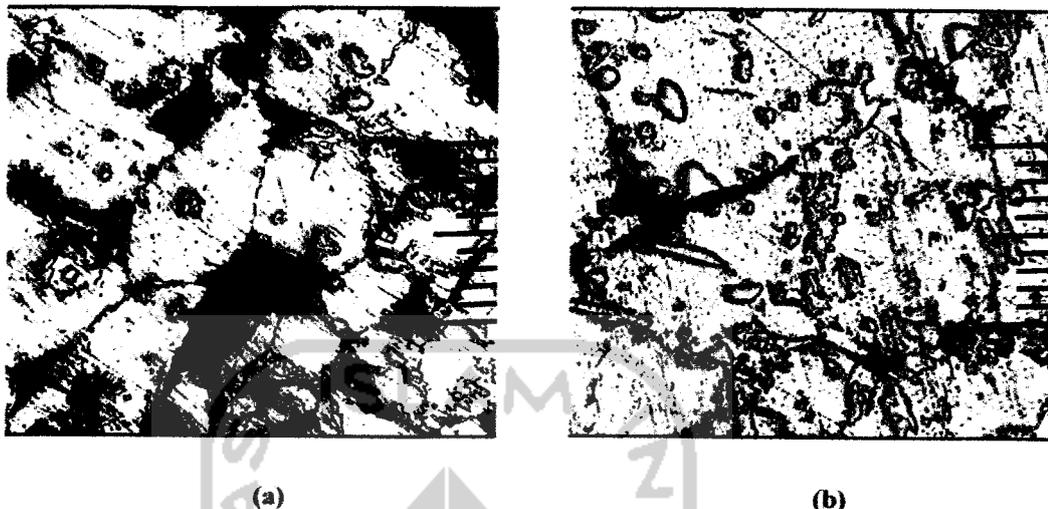
- Struktur mikro pada produk I dan II



Gambar 4.7. (a) Struktur mikro produk I (Ukuran serbuk <math><75 \mu\text{m}</math>).
(b) Struktur mikro produk II (Ukuran serbuk

Gambar 4.7. merupakan perbandingan dari serbuk yang dibuat menjadi produk. Hasil pengamatan produk I dan II pada pembesaran 100 kali terlihat banyak terdapat porositas yaitu bintik hitam seperti lubang-lubang dikarenakan bentuk partikel serbuk (*tear drop*) sehingga dalam kemampuan mampatan (*compressibility*) dan kemampuan aliran (*flow characteristic*) serbuk kurang baik dan menyebabkan logam aluminium yang memuai dapat keluar melalui rongga-rongga produk pada waktu proses pemanasan sehingga mengurangi berat dari produk, pengikatan antar partikel serbuk kurang baik, produk sedikit rapuh dan permukaan produk halus tetapi tidak merata.

- Struktur mikro pada produk III dan IV



Gambar 4.8. (a) Struktur mikro produk III (Ukuran serbuk 90 μm).
(b) Struktur mikro produk IV (Ukuran serbuk 106 μm).

Gambar 4.8. merupakan perbandingan dari serbuk yang dibuat menjadi produk. Hasil pengamatan produk III pada pembesaran 100 kali terlihat porositas tinggi atau dapat dilihat ukuran lubang-lubang hitam sangat besar sehingga logam aluminium yang memuai dapat keluar melalui rongga-rongga produk pada waktu pemanasan sehingga mengurangi berat dan bentuk partikel serbuk (*tear drop*) sehingga dalam kemampuan mampatan dan kemampuan aliran serbuk kurang baik, pengikatan antar partikel serbuk kurang baik, produk sedikit rapuh dan permukaan produk halus tetapi tidak merata. Pada produk IV terlihat porositas sangat rendah, permukaan produk setelah diampelas terlihat halus, terjadi pengikatan antar partikel serbuk yang baik, produk tidak rapuh. Hampir tidak ada bintik hitam atau lubang-lubang dikarenakan pada produk IV bentuk partikel serbuk cenderung kebentuk (*rounded*) sehingga dalam kemampuan mampatan (*compressibility*) dan kemampuan aliran (*flow characteristic*) lebih baik dari bentuk partikel serbuk (*tear drop*).

4.3. Analisa Hasil Pengujian

Pada analisa hasil pengujian lebih menekankan pada pengamatan terhadap hasil produk. Dari data hasil pengujian diatas dapat disimpulkan untuk pengujian berat produk yang mengalami penurunan berat paling tinggi terdapat pada produk II dan III dengan nilai -0.01 gr, disebabkan terdapat logam aluminium yang memuai keluar melalui rongga-rongga pada waktu proses pemanasan sehingga mengurangi berat dari produk sedangkan untuk produk IV dengan serbuk ukuran 106 μm tidak mengalami penurunan maupun penambahan berat dikarenakan pada produk ini pengikatan antar partikel serbuk pada proses pemadatan dan pemanasan baik sehingga porositas rendah dan tidak terdapat logam aluminium yang memuai keluar melalui rongga-rongga pada waktu proses pemanasan. Pada pengukuran tinggi dan pengukuran diameter produk, setelah proses pemanasan tidak mengalami perubahan dimensi, baik perubahan tinggi maupun diameter.

Pada analisa perhitungan berat jenis bahwa produk I yang memiliki berat jenis paling besar dengan nilai berat jenis sesudah pemanasan 2.268 gr/cm^3 dikarenakan produk I menggunakan material serbuk dengan ukuran partikel serbuknya paling kecil yaitu <75 μm sedangkan produk IV yang memiliki berat jenis paling kecil dengan nilai berat jenis sesudah pemanasan 2.085 gr/cm^3 dikarenakan produk IV menggunakan material ukuran partikel serbuk paling besar yaitu 106 μm . Karena semakin kecil ukuran partikel serbuk yang dipadatkan maka semakin sedikit rongga-rongga yang terdapat didalam produk yang padat dan dalam pembuatan produk, berat jenis juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan ukuran partikel serbuk yang lebih kecil atau halus.

Pada hasil pengujian kekerasan bahwa produk yang memiliki kekerasan paling baik yaitu pada produk IV dengan ukuran serbuk 106 μm , dimana nilai kekerasan (H_B) rata-ratanya 134.28 kg/mm^2 , dikarenakan pada proses pemanasan terjadi pengikatan antar partikel serbuk yang baik sehingga meningkatkan kekerasan produk dan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi, porositas rendah, permukaan produk halus dan produk tidak rapuh sedangkan yang memiliki nilai kekerasan paling rendah yaitu pada produk II dengan ukuran serbuk 75 μm dimana nilai

kekerasan (H_B) rata-ratanya 112.61 kg/mm^2 , disebabkan pengikatan antar partikel serbuk kurang baik dan permukaan produk rapuh.

Untuk pengujian struktur mikro dilakukan pada empat produk dengan pengambilan gambar 1 kali, dengan pembesaran lensa 100 kali, dapat dilihat dari hasil pengamatan bahwa produk yang paling baik yaitu pada produk IV dengan ukuran serbuk $106 \mu\text{m}$. Porositas sangat rendah, hampir tidak ada bintik hitam atau lubang-lubang dikarenakan pada produk IV bentuk partikel serbuk cenderung kebentuk (*rounded*) sehingga dalam kemampuan mampatan (*compressibility*) dan kemampuan aliran (*flow characteristic*) serbuk lebih baik dari pada bentuk partikel serbuk (*tear drop*), permukaan produk terlihat halus, terjadi pengikatan antar partikel serbuk yang baik dan produk tidak rapuh.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Pada data hasil pengujian produk didapat kesimpulan bahwa produk dalam penelitian ini mempunyai perubahan berat produk, berat jenis, nilai kekerasan produk dan struktur mikro yang berbeda-beda dari berbagai ukuran serbuk yang dibuat menjadi produk.
2. Pada proses metalurgi serbuk menggunakan metoda pemadatan dan metoda pemanasan, produk yang dihasilkan baik dan solid dengan bentuk seperti cetakannya.
3. Pada hasil pengujian produk dengan beban penekanan dan temperatur pemanasan yang sama, produk memiliki berat jenis paling tinggi yaitu pada produk ukuran partikel serbuk $<75 \mu\text{m}$ dengan nilai berat jenis 2.268 gr/cm^3 .
4. Produk dengan menggunakan serbuk aluminium hasil proses atomisasi udara memiliki nilai kekerasan logam (HB) berkisar antara 112.61 kg/mm^2 sampai 134.28 kg/mm^2 .

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi beban penekanan yang diberikan dan temperatur pemanasan sehingga didapatkan hasil penelitian yang optimal.
2. Pada penelitian selanjutnya cetakan dilengkapi dengan *upper punch* dan *lower punch*. Ada dua penekan, penekan atas yang sesuai dengan bentuk atas dari benda dan penekan bawah yang sesuai dengan *die* bagian bawah.
3. Pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan alat pemanas yang berfungsi untuk memanaskan cetakan pada proses pemadatan, serbuk ditekan dan disinter sekaligus sehingga produk yang dihasilkan lebih solid.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ridlwan. 2004. *Proses Pembuatan Serbuk dengan Metoda Atomisasi Las Oksi-Asitilen*. Penelitian Pasca Sarjana, Teknik Mesin UGM.
- [2] Tata Surdia, Shinkuro Saito. 1994. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita. Jakarta.
- [3] B.H. Amstead, Philip F. Ostwald, Myron L. Begeman, Sriati Djaprie. 1992. *Tekhnologi mekanik, Edisi ketujuh*. Erlangga. Jakarta.
- [4] German, M.R. 1972. *Powder Metallurgy Science*. Metal Powder Industries Federation. New Jersey.
- [5] Davis, H.E., et.al.: "The Testing and Inspection of Engineering Materials". Mc Graw Hill Book Co.
- [6] Dieter, G.E.: "Mechanical Metallurgy", Mc Graw Hill Book Co.

