

**PENGARUH VARIASI KADAR *BINDER* TERHADAP *POROSITY* DAN
MICROHARDNESS DURALUMIN PADA PROSES
*HOT ISOSTATIC PRESSING***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik**



**Disusun oleh :
ANDIKA MARTHA DINATA
NIM. 0810620031-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KADAR *BINDER* TERHADAP *POROSITY* DAN
MICROHARDNESS DURALUMIN PADA PROSES
*HOT ISOSTATIC PRESSING***

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik**



**Disusun oleh :
ANDIKA MARTHA DINATA
NIM. 0810620031-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr.Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.
NIP. 19551117 198601 1 001**

**Dr.Eng. Anindito Purnowidodo,ST.M.Eng
NIP. 19710310 199802 1 001**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI KADAR *BINDER* TERHADAP *POROSITY* DAN
MICROHARDNESS DURALUMIN PADA PROSES
*HOT ISOSTATIC PRESSING***

SKRIPSI KONSENTRASI MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ANDIKA MARTHA DINATA
NIM. 0810620031-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 04 Februari 2014

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Dr. Ir. Achmad As'ad Asonief, MT.
NIP. 19591128 198710 1 001

Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP. 19720817 200003 1 001

Skripsi III

Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001199903 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“PENGARUH VARIASI KADAR *BINDER* TERHADAP *POROSITY* DAN *MICROHARDNESS* DURALUMIN PADA PROSES *HOT ISOSTATIC PRESSING*”** ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
2. Purnami ST.,MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin
3. Dr.Ir. Wahyono Suprpto, MT, Met. Selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Material sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
4. Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini
5. Prof.Ir. Sudjito, Ph.D selaku Dosen Wali yang tiada bosan-bosannya menasehati dan memberi semangat dan saran untuk menjadi lebih baik.
6. Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya menjadi Asisten.
7. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin
8. Kedua Orang Tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Drs. Bambang Sugeng, MH dan Ibunda Tercinta Chusnul Chotimah yang tak hentinya mendo'akan dan memberi semangat, sungkem selalu untuk bapak ibu , tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan'nya.
9. Adik Tersayang Anita Dwi Nurcahya dan Andina Yuli Triastuti.
10. Spesial untuk Yuli Putri Asih Kusuma Ningrum, SE atas semangat dan bantuannya selama menempuh masa studi di kampus Biru Abang Arek Mesin.
11. Rekan Kerja dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini Harun Arrasid , Yuniar Arshandy(temon), Handy Rizkian (hendek), Afrima, Romy, Andika Angger, Latief,

Satriyo Muktiwibowo (Abtel), terima kasih sudah berjuang bersama dari awal sampai akhir.

12. Keluarga Besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Lek Joko Sumantri selaku laboran yang senantiasa mengingatkan. Tak lupa ucapan banyak terima kasih kepada saudara-saudaraku asisten : Cupu(Fauzi), Kinemon(Pungkas), Hamidun(Hamid), Farid, Raka Truk, Mr.Bin(Bintoro), Adik'e Cupu(Rian), Kipo(Christoper), Bayu, Angga, Tita, Risma, Suteg(Tegar), Doyok(Ariyo), Ucil(Yogi), Fajar, Alm. Oktafi Herepson(Epo).
13. Saudaraku "**EMPEROR**" M'08 baik yang sudah bekerja dimanapun anda berada , yang sedang menunggu panggilan kerja maupun yang sedang berjuang memperoleh gelar ST, semoga selalu diberikan kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever !!!*
14. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umunya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya. Aminn

Malang, Januari 2014

Penulis

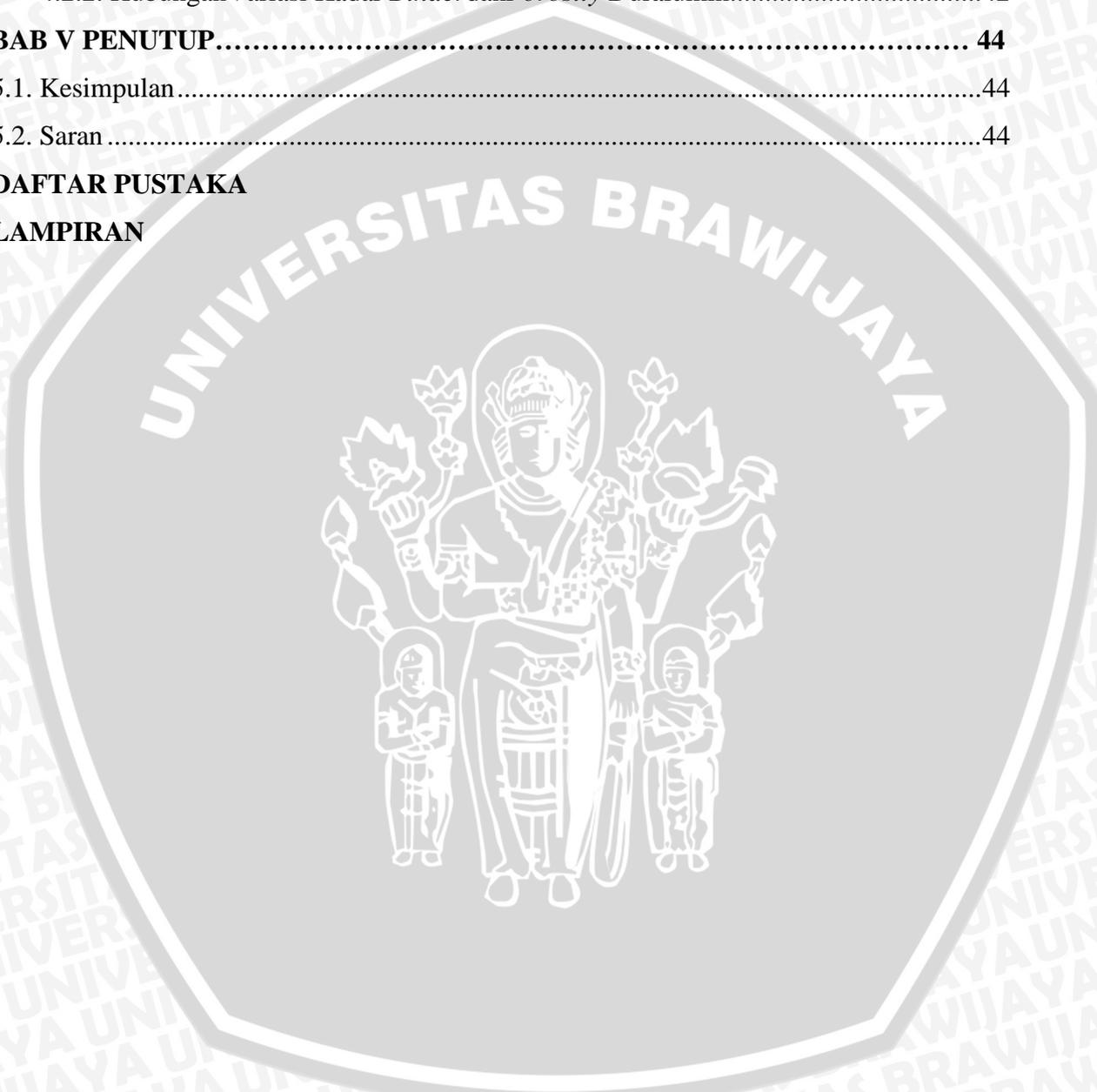
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Proses Metalurgi Serbuk	4
2.2.1. Pembuatan Serbuk	5
2.2.2. Proses Pencampuran Serbuk	6
2.2.3. Proses Penekanan atau Kompaksi	6
2.2.4. Sintering	7
2.3. Sifat-sifat Khusus Serbuk Logam	8
2.4. Isostatic Pressing	10
2.4.1. Prinsip Batas Pematatan (<i>Densification</i>)	10
2.4.2. Deformasi Penguatan Partikel Serbuk	10
2.4.3. Tegangan Geser Maksimum	11
2.5. Duralumin	12
2.5.1. Aluminium	12
2.5.2. Pengaruh Unsur Paduan	13
2.5.3. Sifat Umum dari Berbagai Jenis Paduan Al	14
2.5.4. Tembaga	15
2.6. Binder	15



2.7. Kekerasan	16
2.8. Porositas	17
2.8.1. Macam Densitas	17
2.8.2. Pengukuran Densitas menggunakan Metode Piknometri.....	19
2.8.3. Perhitungan Porositas	19
2.9. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	20
2.9.1. Sejarah Penemuan SEM	21
2.9.2. Cara Kerja SEM	21
2.9.3. Langkah Kerja SEM	23
2.9.4. Kelebihan dan Kekurangan Proses SEM.....	23
2.10. Hipotesa.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Tempat dan waktu Penelitian	25
3.2. Variabel Penelitian	25
3.2.1. Variabel Bebas	25
3.2.2. Variabel Terikat.....	25
3.2.3. Variabel Terkontrol	26
3.3. Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	26
3.3.1. Peralatan yang Digunakan.....	26
3.3.2. Bahan yang Digunakan	29
3.4. Instalasi Penelitian.....	30
3.5. Dimensi Hasil <i>Powder metallurgy</i>	30
3.6. Prosedur Penelitian	31
3.6.1. Prosedur Percobaan	31
3.6.2. Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data.....	32
3.7. Sumber Data	33
3.7.1. Data Primer.....	33
3.7.2. Data Sekunder	33
3.8. Diagram Alir Penelitian.....	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1. Hasil.....	36
4.1.1. Data Pengujian Kekerasan.....	36
4.1.2. Data Pengujian Prosentase <i>Porosity</i>	38
4.1.3. Perhitungan <i>Porosity</i>	39

4.1.3.1. Perhitungan <i>True Density</i>	40
4.1.3.2. Perhitungan <i>Apparent Density</i>	41
4.1.3.3. Perhitungan <i>Porosity</i>	41
4.2. Pembahasan	41
4.2.1. Hubungan Variasi Kadar <i>Binder</i> dan <i>Kekerasan Duralumin</i>	41
4.2.2. Hubungan Variasi Kadar <i>Binder</i> dan <i>Porosity Duralumin</i>	42
BAB V PENUTUP.....	44
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

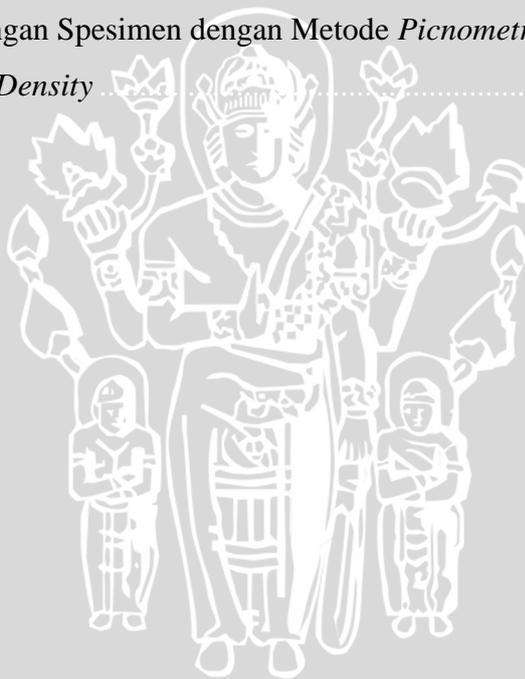
No Gambar	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1.	Skema proses metalurgi serbuk	5
Gambar 2.2.	Berbagai cara pembuatan serbuk	5
Gambar 2.3.	Klasifikasi proses kompaksi menurut tingkat kesulitannya standard MPIF (<i>The Metal Powder Industry Federation</i>) geometri (a),(b),(c) dan (d)	7
Gambar 2.4.(a)	Skema proses sintering serbuk logam solid-state	8
Gambar 2.4.(b)	Skema proses sintering serbuk logam liquid-phase	8
Gambar 2.5.	Bentuk-bentuk partikel serbuk	9
Gambar 2.6.	Serbuk yang melalui corong dengan <i>flow characteristic</i>	9
Gambar 2.7.	Kondisi dari aliran plastis disebuah bola logam berongga dibawah tekanan luar hidrostatik (P)	11
Gambar 2.8.	Diagram fasa Al-Cu	14
Gambar 2.9.	Skematis prinsip indentasi dengan metode vickers	16
Gambar 2.10.	Skema piknometri	19
Gambar 2.11.	<i>Bushing</i>	20
Gambar 2.12.	Mekanisme elektron setelah bertumbukan dengan sample	22
Gambar 2.13.	Hasil pencitraan SEM	22
Gambar 2.14.	Pantulan elektron pada SEM	23
Gambar 3.1.	Mesin press	26
Gambar 3.2.	Cetakan	26
Gambar 3.3.	<i>Picnometry test</i>	27
Gambar 3.4.	<i>Microvickers hardness apparatus</i>	27
Gambar 3.5.	Penjepit baja	28
Gambar 3.6.	Kayu	28
Gambar 3.7.	Kuas	28
Gambar 3.8.	Serbuk paduan Al-Cu	29
Gambar 3.9.	Serbuk <i>binder</i> (Mg)	29
Gambar 3.10.	Serbuk grafit	29
Gambar 3.11.	Instalasi <i>hot pressing</i>	30
Gambar 3.12.	Rancangan dimensi hasil <i>powder metallurgy</i>	30
Gambar 3.13.	Instalasi cetakan	31
Gambar 4.1.	Dimensi spesimen hasil <i>powder metallurgy</i>	36

Gambar 4.2.	Bagian <i>bushing</i> yang diuji kekerasannya	37
Gambar 4.3.	Grafik pengaruh variasi kadar <i>binder</i> terhadap kekerasan	38
Gambar 4.4.	Grafik pengaruh variasi kadar <i>binder</i> terhadap <i>porosity</i>	39
Gambar 4.5(a)	Hasil foto SEM kadar <i>binder</i> 2% setelah proses P/M perbesaran 1000x....	43
Gambar 4.5(b)	Hasil Foto SEM Kadar <i>binder</i> 4% setelah Proses P/M perbesaran 1000x	.43
Gambar 4.5(c)	Hasil Foto SEM Kadar <i>binder</i> 6% setelah Proses P/M perbesaran 1000x	.43



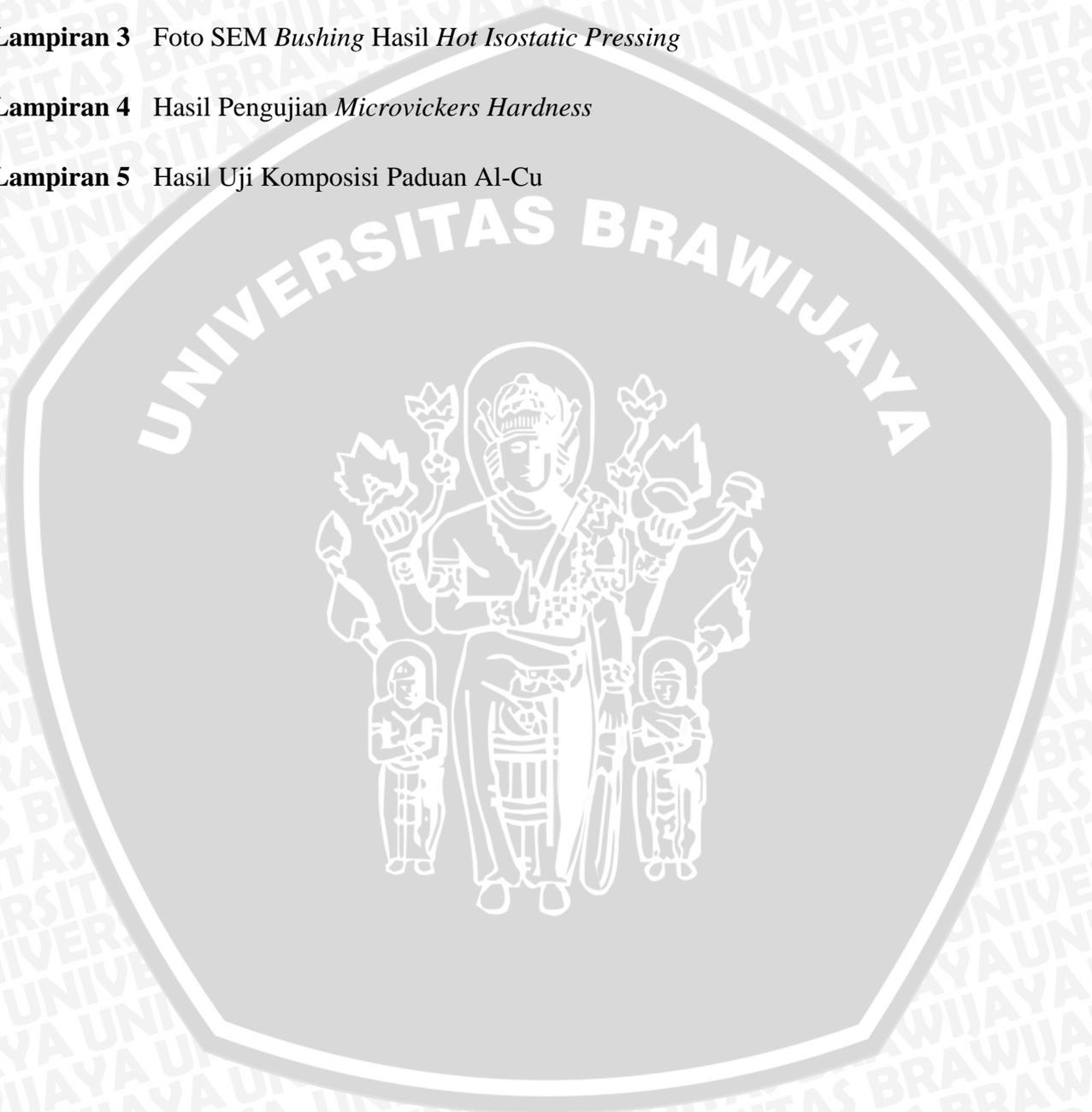
DAFTAR TABEL

No.	Judul tabel	Halaman
Tabel 2.1.	Tekanan kompaksi pada berbagai macam serbuk logam	7
Tabel 2.2.	Karakteristik dari <i>True density</i> beberapa jenis material	18
Tabel 2.2.	Karakteristik dari <i>True density</i> beberapa jenis material	18
Tabel 4.1.	Data pengukuran dimensi spesimen tiap kadar <i>binder</i>	36
Tabel 4.2.	Data Pengaruh Variasi Kadar <i>Binder</i> terhadap kekerasan	37
Tabel 4.3.	Data Persentase Porositas (%)	38
Tabel 4.4.	Densitas Unsur (gr/cm^3)	39
Tabel 4.5.	Prosentase Unsur untuk Kadar <i>Binder</i> 0 %wt	39
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan <i>True Density</i>	39
Tabel 4.7.	Hasil Penimbangan Spesimen dengan Metode <i>Picnometri</i>	40
Tabel 4.8.	Data <i>Apparent Density</i>	41



DAFTAR LAMPIRAN

- | No. | Judul |
|-------------------|---|
| Lampiran 1 | Data <i>True Density</i> tiap Unsur pada Campuran Serbuk |
| Lampiran 2 | Data Penimbangan Sampel dan Keranjang di Udara dan Air |
| Lampiran 3 | Foto SEM <i>Bushing</i> Hasil <i>Hot Isostatic Pressing</i> |
| Lampiran 4 | Hasil Pengujian <i>Microvickers Hardness</i> |
| Lampiran 5 | Hasil Uji Komposisi Paduan Al-Cu |



RINGKASAN

Andika Martha Dinata, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Variasi Kadar Binder terhadap Porosity dan Microhardness Duralumin pada Proses Hot Isostatic Pressing*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Anindito Purnowidodo.

Di Indonesia banyak sekali berdiri industri-industri besar dan kecil, dalam usaha pengembangan teknologi banyak upaya yang dilakukan yaitu dengan menciptakan karya baru dengan biaya murah, memiliki daya guna yang tinggi dan ekonomis. Namun pemanfaatan dan pengetahuan tentang cara-cara pengolahannya masih sangat kurang, sehingga sering banyak logam bekas yang terbuang percuma. Oleh sebab itu diperlukan sebuah kreatifitas dalam berkreasi dan berkarya untuk memunculkan ide baru. Salah satunya dengan cara memanfaatkan bahan logam bekas atau sudah tidak terpakai (rijek) yang dibuat menjadi geram atau serbuk logam. Serbuk logam tersebut dapat kita olah lagi melalui proses pengepresan dengan bantuan alat pemanas menjadi benda logam padat.

Penelitian ini menggunakan penambahan kadar *binder* (Mg) 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt. Kemudian dicampurkan serbuk duralumin dengan total berat campuran 40 gr. Kemudian cetakan (*base* dan *cover*) disusun dan selanjutnya diletakkan ke dalam mesin *hot pressing*. Setelah cetakan menempati tempatnya maka serbuk duralumin dimasukkan ke dalam cetakan tersebut. Kemudian lakukan proses *compacting* dan *sintering* secara bersamaan selama 30 menit serta beban penekanan seberat 500 bar dijaga konstan sehingga didapatkan produk berupa *bushing*. *Bushing* adalah bantalan jenis silinder bercelah yang berfungsi untuk menumpu poros. *Bushing* dapat dibuat dengan proses metalurgi serbuk, untuk mendapatkan proses pemadatan yang sempurna, kompaksi dapat dilakukan pada temperatur tinggi dengan tekanan konstan atau disebut *Hot Isostatic Pressing*

Hasil dari penelitian didapatkan semakin tinggi kadar *binder* yang diberikan maka nilai *porosity*-nya semakin menurun dan kekerasannya semakin meningkat. Hal ini terbukti dengan nilai rata-rata *hardness* untuk masing-masing kadar binder 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt yaitu 32,40 VHN, 39,58 VHN, 47,08 VHN, 53,36 VHN, 57,90 VHN dan 60,71 VHN, sedangkan nilai rata-rata porositasnya pada masing-masing kadar binder yaitu 25,54 %, 25,01 %, 23,87 %, 22,25 %, 21,96% dan 21,7 %.

Kata kunci: *Bushing*, *Binder*, Duralumin, *porosity*, *hardness*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia banyak sekali berdiri industri-industri besar dan kecil, dalam usaha pengembangan teknologi banyak upaya yang dilakukan yaitu dengan menciptakan karya baru dengan biaya murah, memiliki daya guna yang tinggi dan ekonomis. Namun pemanfaatan dan pengetahuan tentang cara-cara pengolahannya masih sangat kurang, sehingga sering banyak logam bekas yang terbuang percuma. Oleh sebab itu diperlukan sebuah kreatifitas dalam berkreasi dan berkarya untuk memunculkan ide baru.

Salah satunya dengan cara memanfaatkan bahan logam bekas atau sudah tidak terpakai (rijek) yang dibuat menjadi geram atau serbuk logam. Serbuk logam tersebut dapat kita olah lagi melalui proses pengepresan dengan bantuan alat pemanas menjadi benda logam padat. Tujuan dari proses pemadatan untuk mengurangi porositas. Tidak seperti metode pembentukan lainnya, teknik kompaksi menyebabkan partikel mengalami deformasi.

Data dari Kementerian Perindustrian menunjukkan bahwa pada tahun 2011 sebanyak 1,93 juta ton logam bekas terbuang dari perusahaan manufaktur di luar negeri dan diimpor oleh Indonesia, (Anonymous,2012). Menurut data dari PUSLITBANG Teknologi Mineral dan Batubara, pabrik antena yang ada di daerah Gedebage menghasilkan sludge (mengandung aluminium) sebanyak 10 ton per bulan. Pabrik elektronika di daerah Cicalengka menghasilkan limbah tembaga mencapai 40 ton per bulan. Apabila limbah-limbah tersebut di atas tidak dikelola dan diolah dengan baik akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan, Husaini dkk 2008.

Menurut ASM Handbook Vol.7 *Powder Metal Technologies and Applications*, definisi proses metalurgi serbuk adalah sebuah proses manufaktur yang mengkombinasikan teknologi pembentukan kompaksi serbuk dengan pengembangan sifat-sifat material akhir dan desain (fisik maupun mekanik) selama proses densifikasi dan konsolidasi selanjutnya, misal sintering. Hal ini penting diketahui hubungan pada awal proses desain karena sebuah perubahan kecil proses manufaktur dapat menyebabkan sebuah perubahan signifikan pada sifat-sifat material.

Proses metalurgi serbuk telah dikenal jauh sebelum dapur tungku dikembangkan untuk mencapai titik lebur dari logam. Sekitar 3000 SM, bangsa mesir menggunakan “*Sponge Iron*” untuk membuat perkakas. Pada proses awal, besi oksida

dipanaskan di sebuah kubah dengan api berasal dari batu bara, dimana telah diintensifkan oleh aliran udara tekanan tinggi dari bawah untuk mengurangi oksida menjadi logam besi *spongy*. Hasilnya besi panas *sponge* kemudian ditempa untuk pengikatan antar partikel besi secara bersamaan. Bentuk akhir akan dihasilkan dengan prosedur *finishing* di dapur tungku sederhana. Meskipun produk sering mengandung sejumlah besar kotoran non logam, beberapa struktur butiran telah berubah mengalami densifikasi (pemadatan).

Proses *hot isostatic pressing* (HIP) biasanya digunakan dalam industri manufaktur dengan tingkat produksi yang rendah dan jenis material mahal seperti *tool steels*, *superalloy*, titanium dan sebagainya. Proses HIP juga membutuhkan serbuk dengan tingkat kemurnian tinggi (umunya berbentuk bulat) dan diperuntukkan hanya untuk proses *near-net-shape*. Kombinasi dari sintering dan tekanan kompaksi konstan menyebabkan penggabungan serbuk menjadi produk akhir yang diinginkan.

Penggunaan binder berupa padatan (*solid*) secara signifikan mampu meningkatkan mampu alir (*flow rate*) dari campuran serbuk. Hal ini memiliki efek langsung pada produktivitas dan kualitas produk yang dihasilkan. Tingkat mampu alir yang baik menghasilkan produktivitas penekanan yang meningkat dikarenakan saat proses pengisian serbuk dapat lebih cepat bila dibandingkan campuran serbuk pada umumnya. Dan juga sifat mampu alir yang baik ini menjadikan fungsi kontrol berat dan densitas produk dengan ketebalan kecil dapat lebih baik.

1.2 Identifikasi Masalah

Yang menjadi masalah utama untuk memanfaatkan hasil serbuk tersebut adalah perlakuan-perlakuan terhadap serbuk logam tersebut dengan sebaik-baiknya, sehingga menjadi sebuah benda yang mempunyai nilai yang tinggi.

Untuk mendapatkan proses pemadatan yang sempurna proses kompaksi dapat dilakukan pada temperatur tinggi atau dikenal dengan istilah *Hot Pressing*. Pres dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lebih lunak/plastis, sehingga memudahkan untuk dipadatkan. Untuk itu pengaruh suhu pemanasan harus dapat terkontrol agar didapat produk yang homogen. Kepadatan sangat berpengaruh sekali terhadap kekuatan dari produk yang dihasilkan (Rusianto, 2009).

Diharapkan dengan hasil penelitian ini pada proses HIP dapat lebih efisien dan tahan terhadap keausan sehingga tingkat porositas semakin rendah dan kekerasan yang dihasilkan dapat meningkat dengan biaya produksi yang tidak terlalu tinggi.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti dalam pokok bahasan *powder metallurgy* yakni “bagaimanakah pengaruh variasi kadar *binder* terhadap *porosity* dan *microhardness duralumin* pada proses *hot isostatic pressing*”.

1.4 Batasan Masalah

1. Proses yang digunakan didalam *powder metallurgy* ialah HIP.
2. Pengujian yang dilakukan hanya sebatas pengujian porositas dan uji kekerasan (*Microhardness Test*).
3. Variasi yang di berikan hanya sebatas pada variasi kadar *binder* (pengikat) yakni Magnesium (Mg).
- 4 Untuk variasi tanpa perlakuan digunakan jenis serbuk yang sama yakni duralumin dengan kadar binder 0 % sebagai pembanding.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar *binder* terhadap *porosity* dan *microhardness duralumin* pada proses *hot isostatic pressing*.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Mempelajari mekanisme produk metalurgi serbuk akibat perlakuan panas sintering dan kompaksi pada kadar media *binder* yang berbeda.
2. Mempelajari persebaran difusi matriks diantara serat paduan logam saat sesudah benda kerja/spesimen telah dibuat dengan menggunakan metode HIP.
3. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan *powder metallurgy*.
4. Memberikan referensi tambahan bagi industri manufaktur yang memiliki masalah sama dengan penelitian ini.
5. Menambah referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai *powder metallurgy*.

BAB II

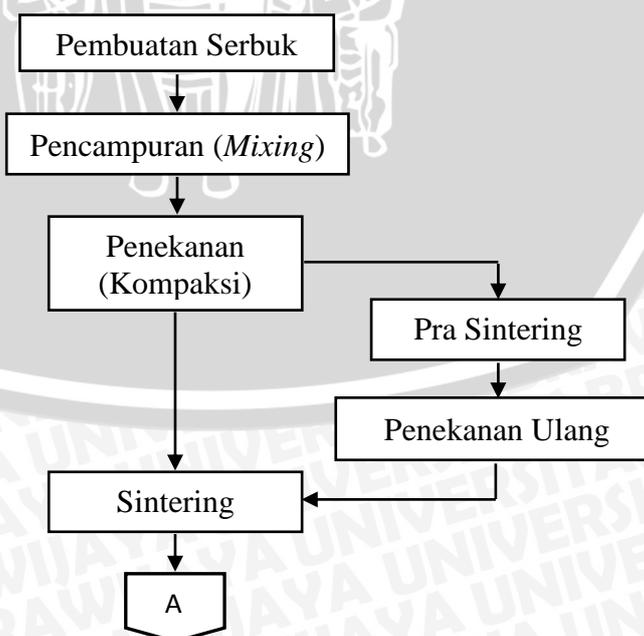
TINJAUAN PUSTAKA

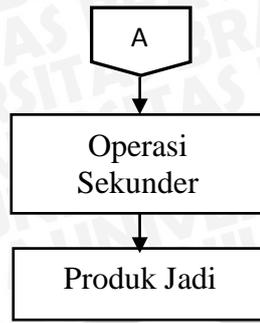
2.1 Penelitian Sebelumnya

Rusianto, (2009) meneliti tentang *hot pressing* dengan variasi suhu pemanasan. Variasi suhu pemanasannya yakni suhu ruangan, 100°C, 200°C, dan 300°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa foto struktur mikro terlihat bahwa aluminium berwarna putih keabuan dan yang terlihat berwarna hitam pada struktur mikro merupakan porositas. Persentase rata-rata porositas mengalami penurunan dengan meningkat temperatur kompaksi, dan berat jenis. Pada pengujian kekerasan diketahui bahwa kekerasan *bushing* meningkat dan laju keausan menurun dengan meningkatnya suhu *hot pressing*.

Suwanda, (2006) meneliti tentang optimalisasi tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan dan berat jenis aluminium pada proses pencetakan dengan metalurgi serbuk. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kekerasan aluminium maksimum sebesar 47 BHN diperoleh pada tekanan kompaksi optimum antara 162 MPa hingga 170 MPa, temperatur sinter optimum 500°C dan waktu sinter optimum antara 40 hingga 50 menit.

2.2 Proses Metalurgi Serbuk

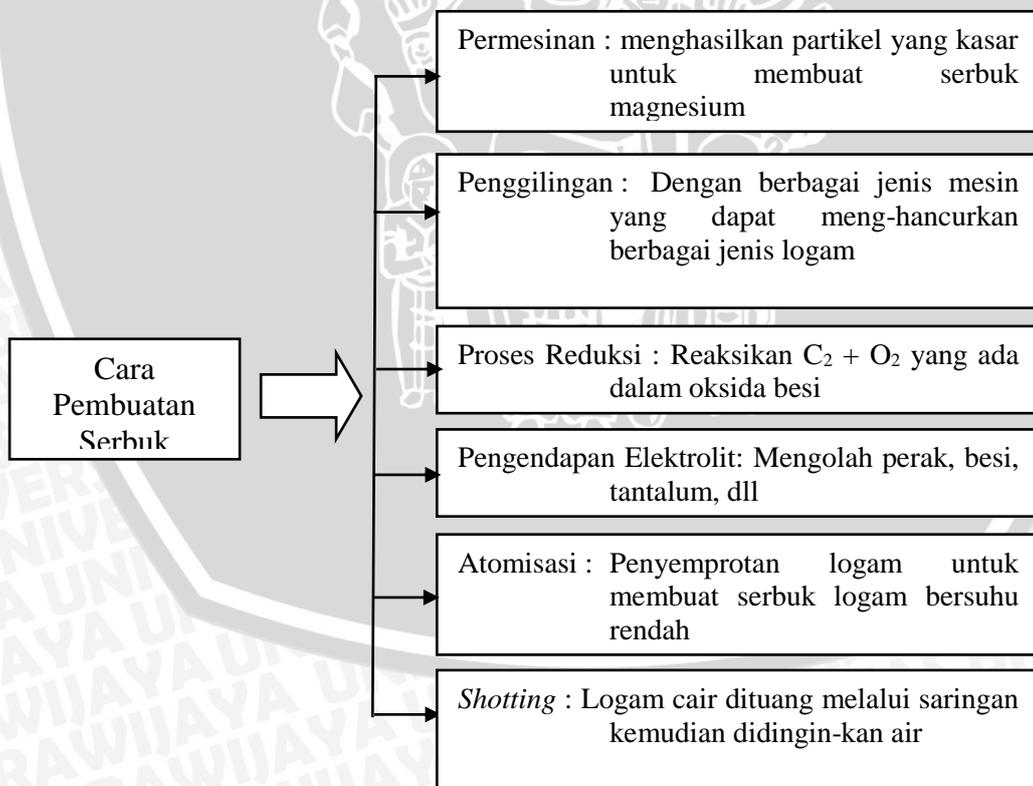




Gambar 2.1 Skema proses metalurgi serbuk
 Sumber : Paulus, 2007: 7

Metalurgi serbuk (*powder metallurgy/PM*) merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa serbuk, kemudian serbuk tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain.

2.2.1 Pembuatan Serbuk



Gambar 2.2 Berbagai cara pembuatan serbuk
 Sumber : Gary, 2011: 9

Dari berbagai jenis metode pembuatan serbuk, metode atomisasi merupakan metode yang paling cocok bila digunakan pada proses *hot isostatic pressing* dengan keuntungan sebagai berikut :

- Bentuk partikel serbuk yang hampir bulat (*spherical*) sempurna
- Kemampuan tekan semakin tinggi untuk partikel serbuk *spherical* sehingga menghasilkan densitas yang tinggi.
- Produktivitas tinggi dari distribusi ukuran partikel dapat memprediksi sifat-sifat deformasi serbuk yang konsisten.

2.2.2 Proses Pencampuran Serbuk

Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah (*wet mixing*) adalah cara yang lebih banyak dipakai yaitu dengan menggunakan pelarut organik untuk mengurangi pengaruh atmosfer yang menyebabkan peristiwa oksida.

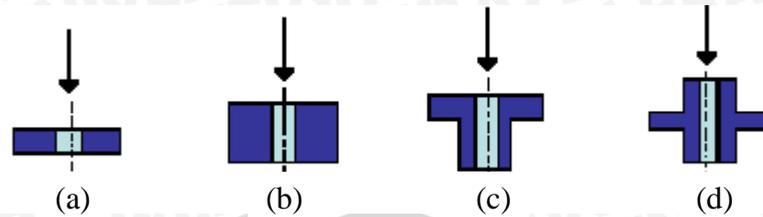
Untuk proses pencampuran serbuk terdapat dua metode yakni *blending* dan *mixing*. Metode *blending* memiliki tujuan untuk pembauran antar partikel serbuk yang memiliki unsur yang homogen sehingga diperoleh distribusi partikel yang memadai. Sedangkan untuk metode *mixing* memiliki tujuan untuk pengkombinasian antar serbuk yang memiliki kandungan unsur kimia yang berbeda.

2.2.3 Proses Penekanan atau Kompaksi

Penekanan adalah suatu proses pembentukan atau pemampatan serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya. Dibutuhkannya proses selanjutnya dikarenakan spesimen yang telah mengalami perlakuan (*green compact*) memiliki karakteristik densitas dan kekuatan yang rendah. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). *Cold compaction* adalah proses pemadatan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 MPa untuk menghasilkan *green body* atau kompak mentah.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Umumnya banyak digunakan untuk serbuk yang mudah teroksidasi. Sedangkan penekanan panas (*hot compaction*) yaitu proses pemadatan serbuk yang diiringi dengan pemanasan (*sintering*). Umumnya digunakan untuk serbuk yang tidak mudah teroksidasi. Untuk

HIP penekanan dilakukan secara konstan sehingga didapatkan distribusi kekerasan yang baik dan merata.



Gambar 2.3 Klasifikasi Proses kompaksi menurut tingkat geometrinya standard MPIF (*The Metal Powder Industry Federation*), geometri (a), (b), (c) dan (d)

Sumber : Anonymous 1, 2014

Keterangan :

Geometri (a) : Bentuk tipis sederhana dengan kompaksi satu arah

Geometri (b) : Bentuk tebal sederhana dengan kompaksi dua arah

Geometri (c) : Bentuk gabungan yakni tebal tipis dengan kompaksi dua arah

Geometri (d) : Bentuk gabungan beberapa ketebalan dengan kompaksi dua arah yang memiliki fungsi kontrol yang berbeda-beda

Tabel 2.1 Tekanan kompaksi pada berbagai macam serbuk logam

No	Metal	Pressure (MPa)
1	Aluminium	70 – 275
2	Brass	400 – 700
3	Bronze	200 – 275
4	Iron	350 – 800
5	Tantalum	70 – 140
6	Tungsten	70 – 140
7	Aluminium Oxide	110 – 140
8	Carbon	140 – 165
9	Cemented Carbides	140 – 400
10	Ferrites	110 – 165

Sumber : (German, 1994)

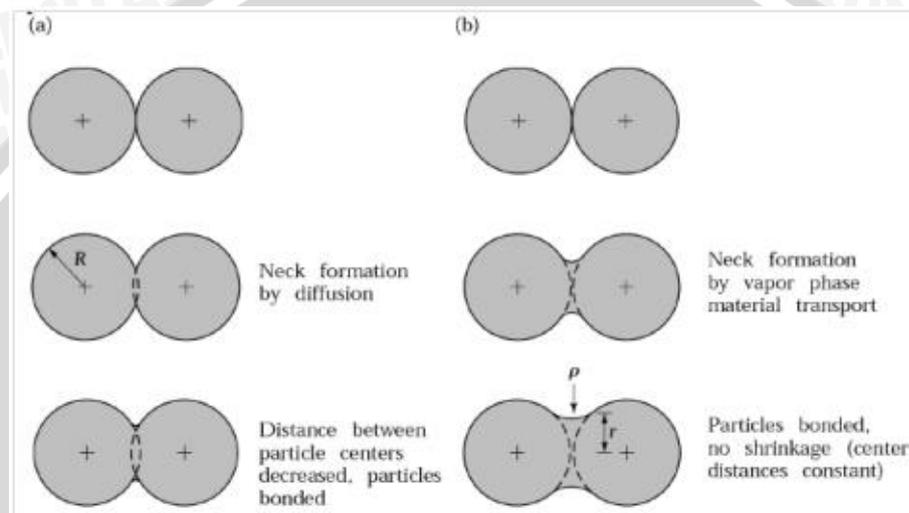
2.2.4 Sintering

Sinter adalah suatu proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan dibawah titik lebur, yang dilakukan selama proses penekanan atau sesudah penekanan. Temperatur sinter umumnya berada pada 0,7-0,9 dari temperatur cair serbuk utama atau $T_s = 0,7-0,9 T_m$. Proses sinter menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Disamping itu gas yang ada menguap sehingga membentuk cacat porositas yang diakibatkan oleh gelembung gas.

Proses sintering juga berfungsi sebagai penambah kekuatan dan densitas spesimen. Hal ini disebabkan fenomena *necking* yang mengurangi pori-pori dan pertumbuhan butiran. Ketika pori-pori yang terbentuk semakin sedikit dan butiran

menjadi lebih seragam akan meningkatkan densitas dan kekuatan dari spesimen itu sendiri.

Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan. Lingkungan sangat berpengaruh karena bahan mentah terdiri dari partikel 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 sinter.



Gambar 2.4 Skema proses sintering serbuk logam (a). Solid-state (b) Liquid-phase material (**R**: radius particle, **r**: neck radius, **p**: neck profile radius)

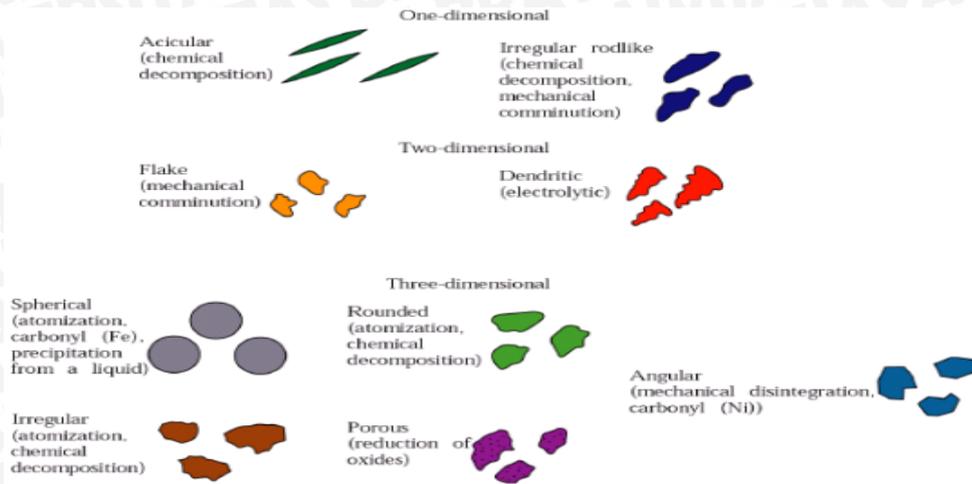
Sumber : Gary, 2011: 15

2.3 Sifat-sifat Khusus Serbuk Logam

Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam

1. Ukuran Partikel

Metoda untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kotak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

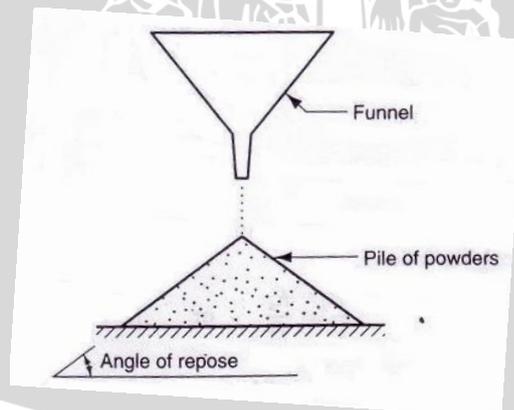


Gambar 2.5 Bentuk-bentuk partikel serbuk
 Sumber : Popov dkk, 2002

2. Distribusi Ukuran Dan Mampu Alir

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

Gesekan antar partikel mempengaruhi kemampuan dari serbuk untuk mengalir dengan mudah dan ditekan sampai padat. Dengan percobaan ini dapat disimpulkan bahwa untuk ukuran partikel yang kecil akan mengakibatkan tingginya gesekan antar partikel dan sudut yang terbentuk akan semakin curam. Untuk partikel yang berbentuk bulat (*spherical*) memiliki gesekan antar partikel paling rendah.



Gambar 2.6 Serbuk yang melalui corong dengan *flow characteristic*
 Sumber: Groover, 2007: 342

3. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

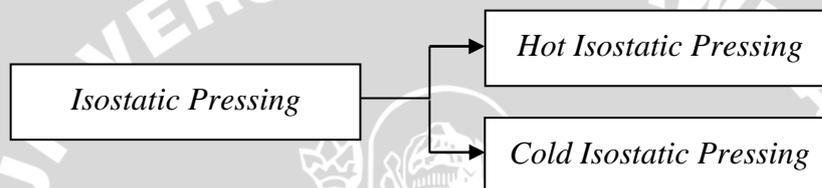
4. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volum benda setelah proses penekanan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir.

5. Kemampuan Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0,7-0,9 dari titik lelehnya. Kemampuan sinter dari suatu material juga berfungsi untuk mengurangi adanya oksidasi sehingga porositas yang terjadi meningkat dan kekerasannya berkurang.

2.4 *Isostatic Pressing*



Cara penekanan konvensional dilakukan secara uniaksial. Akibatnya terjadi pembatasan pada bagian geometri, karena serbuk logam tidak mudah mengalir dalam arah tegak lurus terhadap tekanan kompaksi. Penekanan uniaxial juga menyebabkan variasi kepadatan untuk proses kompaksi setelah penekanan.

HIP dilakukan pada temperatur dan tekanan tinggi, menggunakan gas seperti argon atau helium sebagai media kompresi. Proses HIP dapat menyelesaikan proses kompaksi dan sintering dengan hanya satu langkah. (Groover, 2007, 351)

2.4.1 **Prinsip Batas Pematatan (*Densification*)**

Sejak awal 1930-an, para ahli metalurgi serbuk telah berusaha untuk mencari deskripsi matematis yang cocok dari proses densifikasi serbuk. Nilai dari formula yang disarankan telah berpengaruh selama 3 dekade terakhir.

2.4.2 **Deformasi Penguatan Partikel Serbuk**

Untuk masalah gesekan pada penekanan dinding *die* dan pertimbangan densifikasi isostatis serbuk untuk saat ini diabaikan. Masalah densifikasi bubuk muncul dari masalah fisika dasar yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Dengan meningkatnya densifikasi, partikel serbuk terdeformasi plastis dan meningkatkan kekuatan deformasi, contohnya titik *yield* yang naik secara konstan

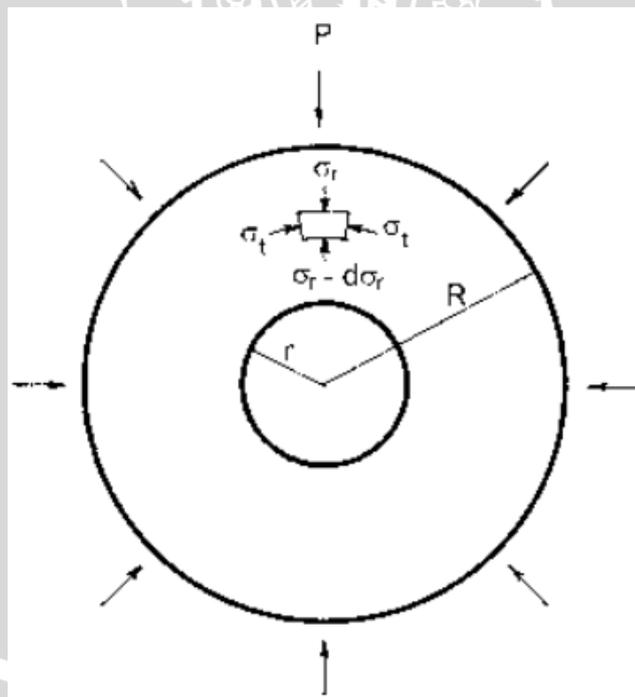
2. Kontak area antar partikel meningkat secara simultan dan konsekuensi yang terjadi tegangan geser efektif didalam partikel meningkat. Demikian juga saat tekanan eksternal konstan, berkurangnya tegangan geser bertemu dengan titik yield yang semakin meningkat dan semua deformasi lanjutan terhenti. Seperti proses densifikasi yang terhenti.

2.4.3 Tegangan Geser Maksimum

Pada sebuah kondisi densifikasi yang konstan dimana partikel serbuk ditekan bersama-sama sampai membentuk pori-pori awal yang saling terhubung telah berubah menjadi pori-pori kecil yang terisolasi dengan distribusi tegangan disekitarnya dapat dibidang cukup baik. Melalui pendekatan distribusi tegangan pada bola berongga dibawah tekanan luar hidrostatis (P).

Menurut teori elastisitas, deformasi plastis akan terjadi ketika tegangan geser maksimal τ_m pada permukaan luar dari bola berongga melebihi tegangan geser yield

τ_0 .



Gambar 2.7 Kondisi dari Aliran Plastis disebuah Bola Logam Berongga dibawah Tekanan Luar Hidrostatis (P)
Sumber : Anonymous 2, 2013

$$\sigma_r(R) - \sigma_t(R) \geq \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\sigma_r(R) = -P \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\sigma_t(R) = -P \frac{2R^3 + r^3}{2(R^3 - r^3)} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Substitusikan Persamaan 2.2 dan 2.3 kedalam persamaan 2.1

$$P \frac{3R^3}{2(R^3 - r^3)} \geq \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$\sigma_r(R)$ = Tegangan Radial

$\sigma_t(R)$ = Tegangan Tangensial

P = Tekanan Luar Hidrostatik

R = Jari-jari Lingkaran Luar

r = Jari-jari Lingkaran Dalam

2.5. Duralumin

Duralumin merupakan paduan antara aluminium dan tembaga. Duralumin memiliki sifat ringan, keuletan yang tinggi, dan juga sifat tahan korosi. Paduan ini dinamakan duralumin dikarenakan sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Untuk kepentingan penempaan, duralumin tidak boleh memiliki presentase tembaga lebih dari 5,6 % karena akan membentuk senyawa Al_2Cu dalam logam yang menjadikan logam rapuh. (Heine, 1990: 293)

2.5.1. Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara non fero (Surdia, 2000:129). Aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahnya paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka diperoleh kekuatan mekanik yang meningkat dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus dan sebagainya.

2.5.2 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur-unsur paduan aluminium antara lain:

❖ *Cooper* (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dengan berat atom 63,55 sma dan jari-jari atom 1,275 Å. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat paramagnetik. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, namun *castability* rendah.

❖ Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dengan berat atom 28,0855 sma dan jari-jari atom 1,46 Å yang merupakan unsur terbanyak kedua di bumi.

❖ Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dengan berat atom 24,31 sma dan jari-jari atom 1,610 Å. Magnesium adalah elemen kedelapan yang membentuk 2 % berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut *magnalium* atau *magnelium*. Magnesium juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan dan sifat mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

❖ *Ferrous* (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dengan berat atom 55,482 sma dan jari-jari atom 1,421 Å. Fe merupakan logam transisi dan bersifat ferromagnetik. Penambahan Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam presentase kecil.

❖ Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dengan berat atom 54,938 sma dan jari-jari atom 1,35 Å. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

❖ Zinc (Zn)

Seng (*Zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dengan berat atom 65,39 sma dan jari-jari atom 1,390 Å. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam presentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

2.5.3 Sifat Umum dari Berbagai Jenis Paduan Al

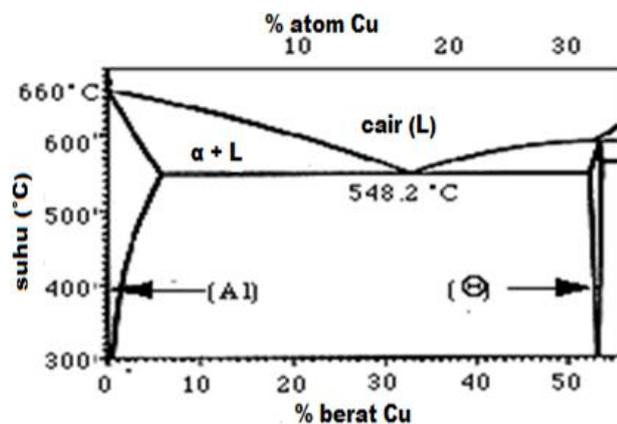
Berikut ini sifat-sifat umum dari berbagai jenis paduan aluminium yaitu:

• Jenis Aluminium Murni (seri 1xxx)

Jenis ini mengandung Al 9,9 %. Aluminium dalam seri ini memiliki sifat yang baik dan ketahanan karat, konduktivitas listrik, mampu las, dan mampu potong. Jenis aluminium ini kurang menguntungkan dari kekuatan yang rendah.

• Jenis Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diberikan perlakuan panas dengan melalui pengerasan endapan. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya (Heine, 1990: 294). Berikut diagram fase Al-Cu yang dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.8 Diagram Fasa Al-Cu

Sumber: Callister, 1997: 337

2.5.4. Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis 889gr/cm^3 . Mempunyai titik lebur 1070°C - 1193°C . Tembaga sering digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki penghantar panas yang baik, mudah dibentuk serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Selain dalam paduan aluminium, unsur tembaga ini dapat memperhalus butiran sehingga meningkatkan kekerasan.

Tembaga ini sendiri juga bisa dipadukan dengan unsur lainnya. Sebagai unsur utama, tembaga bisa dipadukan dengan unsur lain dan dibedakan menjadi dua paduan yaitu:

1. Kuningan

Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng, dan kuningan tegangan tinggi adalah paduan yang mengandung tembaga, aluminium, besi, mangan, nikel dan sebagainya dimana unsur-unsur tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya.

2. Perunggu

Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah, dan perunggu yang biasa dipakai mengandung kurang dari 15% timah (Surdia, 2000: 5). Paduan ini mempunyai sifat ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik pula.

2.6 *Binder*

Pada beberapa tahun terakhir proses produksi serbuk telah dikembangkan khususnya media *binder*. Fungsi dari *binder* yakni mengurangi zat pengotor serbuk induk, meningkatkan beberapa sifat teknis penting dari proses sintering dikarenakan dapat menyeragamkan butiran saat proses terakhir.

- Magnesium

Magnesium, dimana sering diekstraksi secara elektrolitik dari magnesium klorida yang terkonsentrasi di air laut, memiliki kerapatan lebih ringan dari aluminium, $1,74\text{ gr/cm}^3$, dan meleleh pada temperatur sedikit lebih rendah dari aluminium (650°C). Di banyak lingkungan, tahanan korosi magnesium mendekati aluminium, namun jika berada di lingkungan yang mengandung garam, seperti dekat laut, akan menyebabkan penguraian yang cepat.

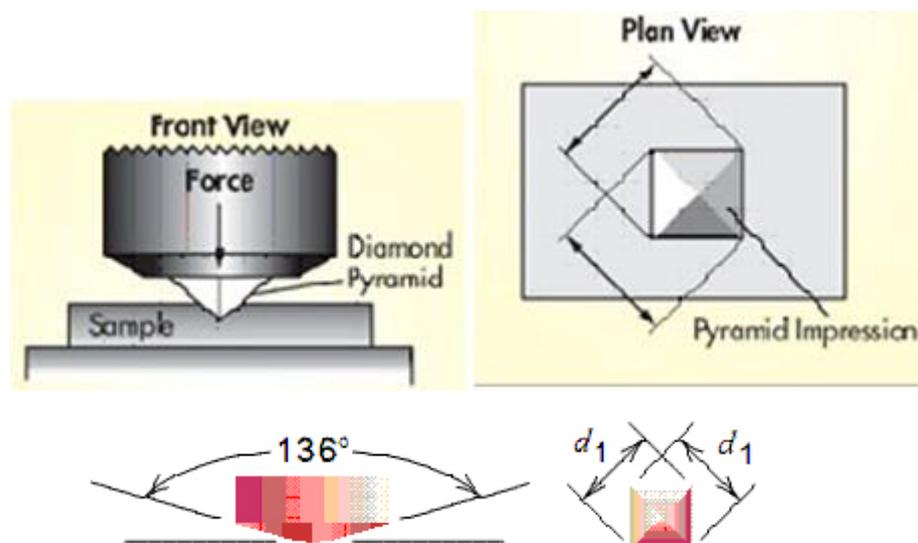
Walaupun paduan magnesium tidak sekuat paduan aluminium, kekuatan spesifiknya hampir sama. Oleh sebab itu paduan magnesium digunakan diaplikasi

pesawat udara, mesin kecepatan tinggi, peralatan transportasi dan peralatan penanganan material.

Magnesium mempunyai modulus elastisitas rendah (45 GN/m^2) dan ketahanan *fatigue*, *creep* dan aus yang rendah. Magnesium juga berbahaya selama pekerjaan pengecoran atau pemesinan, karena bisa bereaksi dengan mudah dengan oksigen dan terbakar. Respon magnesium terhadap mekanisme kekuatan juga rendah. (Daryus Asyari; 2006)

2.7. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi permukaan, yang disebabkan oleh penusukan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal, artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).



Gambar 2.9 Skematis prinsip indentasi dengan metode *vickers*
Sumber: Anonymous 3, 2013

Pengujian distribusi kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode pengujian *vickers*. Pada metode pengujian *vickers* digunakan indenter berbentuk piramida dengan

sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar 2.9. Prinsip pengujiannya adalah hampir sama dengan metode *brinell* yaitu pengujiannya menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi sehingga menghasilkan jejak berupa lingkaran. Namun pada pengujian *vickers*, karena indenter yang digunakan berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material yang diuji dengan metode *vickers* satuannya adalah VHN.

- Cara Perhitungan pengujian *vickers* sebagai berikut :

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^{\circ}}{2}$$

$$HV = \frac{F \cdot \sin \frac{136^{\circ}}{2}}{\frac{d^2}{2}}$$

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.8. Porositas

Porositas adalah presentase formasi yang terisi oleh ruang berpori. Keporioran tergantung pada tingkatan *sintering*. Pada produk-produk tertentu keadaan berporioran harus diamati, karena keporioran sangat berhubungan erat dengan sifat-sifat dari produk yang dibuat, misalnya: kekuatan, perbandingan berat, daya pengisapan dan daya penahan arus listrik serta panas semuanya tergantung pada keporioran suatu produk.

2.8.1 Macam Densitas

Di dalam pengukuran porositas yang terdapat dalam suatu produk digunakan perbandingan dua buah densitas, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True Density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm³). Persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) \right\} + etc} \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan:

- ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).
- $\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³)
- %Al, %Cu, etc = Presentase berat unsur (%)

Berikut ini *true density* untuk masing-masing unsur sebagai berikut :

Tabel 2.2 Karakteristik dari *True density* beberapa jenis material

Material	Density		Coefficient of Thermal Expansion, α		Melting Point, T_m	
	g/cm ³	lb/in ³	°C ⁻¹ x 10 ⁻⁶	°F ⁻¹ x 10 ⁻⁶	°C	°F
Metals						
Aluminium	2.70	0.098	24	13.3	660	1220
Copper	8.97	0.324	17	9.4	1083	1981
Iron	7.87	0.284	12.1	6.7	1539	2802
Lead	11.35	0.410	29	16.1	327	621
Magnesium	1.74	0.063	26	14.4	650	1202
Nickel	8.92	0.322	13.3	7.4	1455	2651
Steel	7.87	0.284	12	6.7	a	a
Tin	7.31	0.264	23	12.7	232	449
Tungsten	19.30	0.697	4.0	2.2	3410	6170
Zinc	7.15	0.258	40	22.2	420	787
Ceramics						
Glass	2.5	0.264	1.8-9.0	1.0-5.0	b	b
Alumina	3.8	0.697	9.0	5.0	NA	NA
Silica	2.66	0.258	NA	NA	b	b
Polymers						
Phenol resins	1.3	0.047	60	33	c	c
Nylon	1.16	0.042	100	55	b	b
Teflon	2.2	0.079	100	55	b	b
Natural Rubber	1.2	0.043	80	45	b	b
Polyethylene:						
Low density	0.92	0.033	180	100	b	b
High density	0.96	0.035	120	66	b	b
Polystyrene	1.05	0.038	60	33	b	b

^a Melting characteristic of steel depend on composition

^b Soften at elevated temperatures and does not have a well-defined melting point

^c Chemically degrades at high temperatures NA = not available; value of property for this material could not be obtained

Sumber : (Groover, 2007)

• *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang diuji (gr/cm³). Standar ASTM B311-93 sebagai berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³)

ρ_w = Densitas air (gr/cm³)

W_s = Berat sampel di luar air (gr)

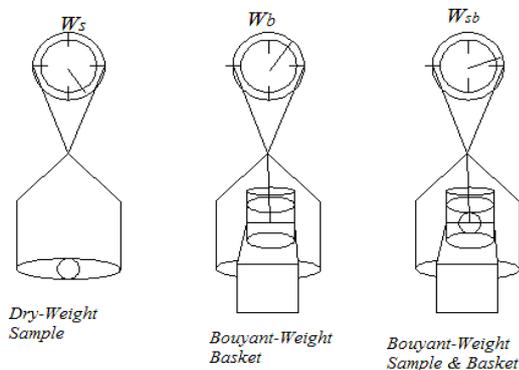
W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)



2.8.2. Pengukuran Densitas menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.6.



Gambar 2.10 Skema Piknometri
 Sumber: Taylor, 2000

2.8.3. Perhitungan Porositas

Perhitungan presentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, et al, 1999), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan:

$\%P$ = Presentase porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3)

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm^3)

Bushing atau yang dikenal sebagai bantalan merupakan elemen atau bagian dari peralatan mesin yang dirancang agar dapat menahan beban yang diterimanya, khususnya beban yang bergerak seperti poros sehingga putaran atau gerak bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Bushing* harus memiliki sifat mekanik yang baik agar poros dan elemen mesin yang lain dapat bekerja secara maksimal. Pada gambar 2.9 menunjukkan bentuk sebuah *bushing* (bantalan poros).





Gambar 2.11 *Bushing*

Dalam memilih bahan *bushing* yang perlu diperhatikan adalah :

1. Dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk, tahan terhadap beban yang berubah-ubah dan tahan terhadap temperatur tinggi.
2. Tahan gesekan dan tahan aus.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Dapat menghantar panas.
6. Koefisien muai kecil.
7. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik (Wikipedia,2010b).

Pemakaian *bushing* ini, antara lain *bushing* pada poros engkol, *bushing* pada mesin perkakas, *bushing* pada roda kereta api, *bushing* untuk penggunaan umum, dan masih banyak lagi sesuai dengan yang dibutuhkan.

2.9. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Mikroskop pada dasarnya dibedakan menjadi 3 diklasifikasikan menurut hasil pencitraan-nya yakni mikroskop cahaya, *scanning electron microscope* (SEM) dan *transmission electron microscope* (TEM). Jenis Mikroskop yang digunakan pada penelitian ini ialah SEM. Berikut ini cara kerja dari SEM sebagai berikut. Aplikasi dari SEM digunakan untuk mempelajari morfologi (sifat permukaan) suatu material yang terdiri dari ukuran partikel dan bentuk partikel.

Sering kali juga dilengkapi dengan fitur EDS (*Electron Dispersive Spectroscopy*). EDS dihasilkan dari Sinar X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDS kita juga bisa membuat elemental mapping (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda-beda dari masing-masing

elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen.

Sehingga jika dirangkum maka Aplikasi dari SEM-EDS sebagai berikut :

1. Topografi: Menganalisa permukaan dan tekstur (kekerasan, reflektivitas dsb)
2. Morfologi: Menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel
3. Komposisi: Menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Pada penelitian ini menggunakan aplikasi topografi untuk mengetahui porositas yang terjadi pada permukaan bushing Al-Cu dengan media pengikat Mg

2.9.1 Sejarah penemuan SEM

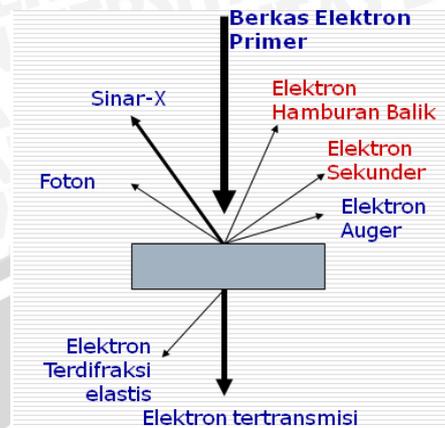
Tidak diketahui secara persis siapa sebenarnya penemu mikroskop pemindai elektron (*Scanning Electron Microscope-SEM*) ini. Publikasi pertama kali yang mendeskripsikan teori SEM dilakukan oleh fisikawan Jerman Dr. Max Knoll pada 1935, meskipun fisikawan Jerman lainnya Dr. Manfred von Ardenne mengklaim dirinya telah melakukan penelitian suatu fenomena yang kemudian disebut SEM hingga tahun 1937. Mungkin karena itu, tidak satu pun dari keduanya mendapatkan hadiah nobel untuk penemuan itu.

Pada 1942, tiga orang ilmuwan Amerika yaitu Dr. Vladimir Kosma Zworykin, Dr. James Hillier, dan Dr. Snijder, benar-benar membangun sebuah mikroskop elektron metode pemindaian (SEM) dengan resolusi hingga 50 nm atau magnifikasi 8.000 kali. Sebagai perbandingan SEM modern sekarang ini mempunyai resolusi hingga 1 nm atau pembesaran 400.000 kali. Mikroskop elektron cara ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek.

2.9.2 Cara Kerja SEM

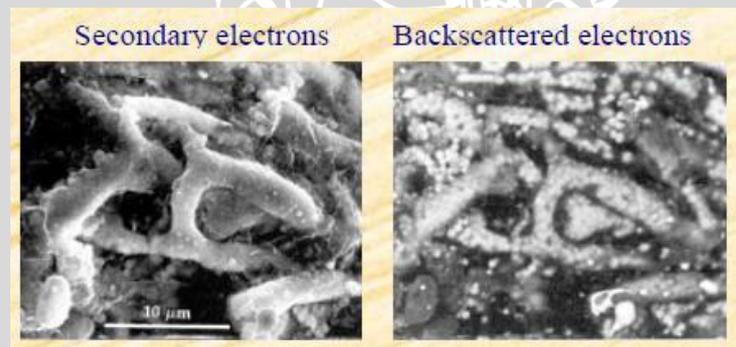
Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optic dan TEM. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa

dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi.



Gambar 2.12 Mekanisme Elektron setelah bertumbukan dengan sample
Sumber: Anonymous 4, 2013

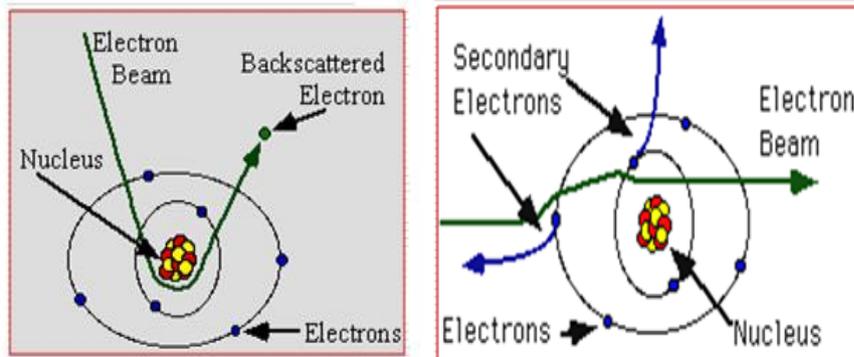
Dapat dilihat bahwa setelah elektron menumbuk sample akan menghasilkan beberapa jenis elektron baru yakni foton, sinar-x, elektron hamburan balik, elektron sekunder, elektron *auger*, elektron terdifraksi elastis dan elektron tertransmisi. Khusus untuk elektron terdifraksi elastis dan elektron tertransmisi akan ditangkap oleh sensor yang kemudian disebut dengan image hasil pencitraan TEM (*transmission electron microscope*). Berikut ini *image* yang tertangkap oleh sensor berupa elektron hamburan balik (*backscattered electron*) dan elektron sekunder (*secondary electron*)



Gambar 2.13 Hasil pencitraan SEM
Sumber: Anonymous 4, 2013

Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* adalah sebagai berikut: elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered electron* memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah.

Selain itu jika ditinjau dari cara pantulan elektron dapat dijelaskan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.14 Pantulan elektron pada SEM
Sumber: Anonymous 4, 2013

Dapat dilihat bahwa gelombang elektron yang memantul diakibatkan inti elektron disebut *backscattered electron*, jika gelombang elektron tepat bertumbukan dengan elektron dari material tersebut maka terciptalah elektron sekunder yang disebut *secondary electron*.

2.9.3 Langkah Kerja SEM

1. Bersihkan sampel.
2. Keringkan sampel dengan kondisi vakum jika memungkinkan (sampel harus bebas dari H_2O).
3. Tempatkan sampel pada *sample holder*.
4. Sputter dengan Au atau Pt (khusus untuk proses *sputtering* dilakukan pada sampel yang tidak bersifat konduktif dengan melakukan pelapisan emas (Au) / timbal (Pt)

2.9.4 Kelebihan dan Kekurangan Proses SEM

Kelebihan dari proses SEM :

- Preparasi sample cepat dan sederhana.
- Ukuran sample yang relatif besar.
- Rentang perbesaran yang luas: 3X -150,000X.

Kekurangan dari proses SEM :

- Dibanding TEM resolusinya lebih rendah.
- Digunakan vakum.
- Hanya permukaan yang teramati.
- Diperlukan *coating* dg Au.

2.10 Hipotesa

Semakin tinggi nilai kadar Mg sebagai media pengikat (*binder*) maka porositasnya semakin rendah dan nilai kekerasannya akan semakin meningkat karena Mg mengikat butiran Al-Cu sehingga menjadi padat dan rongga-rongga antar butir telah terisi Mg .



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh. Dengan asumsi variabel yang konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 9 September -9 Desember 2013. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu :

1. Laboratorium *Alpha Beta Gamma*, Landungsari Malang.
2. Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
3. Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
4. Laboratorium *Fatigue*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.2. Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah kadar *binder* (Mg) yakni 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah *porosity* dan *microhardness*.

3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian, variabel yang dijaga konstan dalam penelitian ini adalah :

- a. Lamanya kompaksi serta sintering 1 jam untuk satu spesimen.
- b. Tekanan saat kompaksi konstan yakni 500 bar.
- c. Suhu saat sintering dijaga konstan yakni 500 °C.

3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.3.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Press

Digunakan untuk proses kompaksi sekaligus sintering serbuk.



Gambar 3.1 Mesin press

2. Cetakan

Berfungsi membentuk spesimen.



Gambar 3.2 Cetakan

3. *Picnometry Test*

Untuk menguji benda kerja hasil *powder metallurgy* saat uji porositas



Gambar 3.3 *Picnometry test*

4. *Microvickers Hardness Apparatus*

Digunakan untuk pengujian kekerasan benda hasil proses HIP.



Gambar 3.4 *Microvickers hardness apparatus*

5. Palu

Digunakan untuk membantu proses pengeluaran spesimen dari cetakan.

6. Timbangan Elektrik

Digunakan untuk menimbang berat serbuk yang akan digunakan.

7. Penjepit baja

Digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.



Gambar 3.5 Penjepit Baja

8. Tang

Memiliki fungsi sama dengan penjepit baja yaitu digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.

9. Sarung Tangan

Digunakan untuk melindungi tangan dari panasnya api maupun cetakan.

10. Kayu

Digunakan membantu proses pengeluaran spesimen.



Gambar 3.6 Kayu

11. Kuas

Digunakan untuk melapisi cetakan dengan grafit sehingga spesimen akan mudah dikeluarkan sesudah proses HIP.



Gambar 3.7 Kuas

3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Serbuk paduan Al-Cu



Gambar 3.8 Serbuk paduan Al-Cu

Serbuk paduan Al-Cu yang digunakan memiliki ukuran butiran yang homogen dan diayak menggunakan mesin rotap dengan bukaan mesh 400 μ m.

2. Serbuk *binder* (Mg)



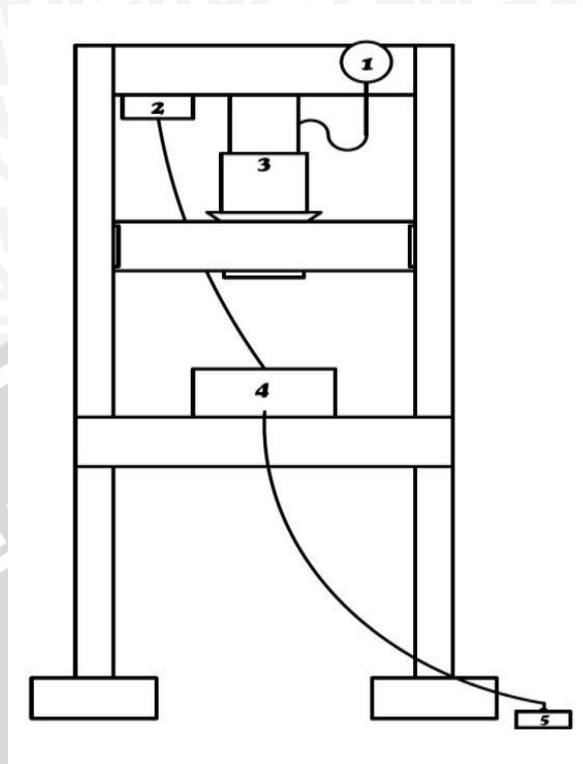
Gambar 3.9 Serbuk binder (Mg)

3. Grafit



Gambar 3.10 Serbuk grafit

3.4 Instalasi Penelitian

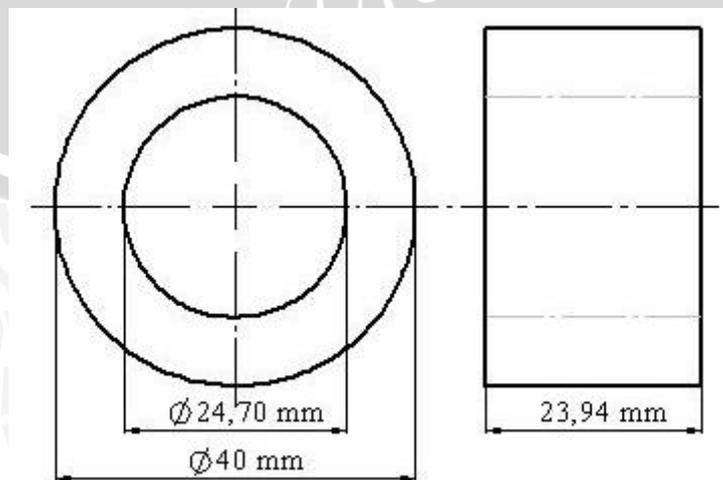


Gambar 3.11 Instalasi *hot pressing*

Keterangan:

1. *Pressure gauge*
2. *Display temperatur*
3. Beban penekan
4. Dapur pemanas
5. *Thermo regulator*

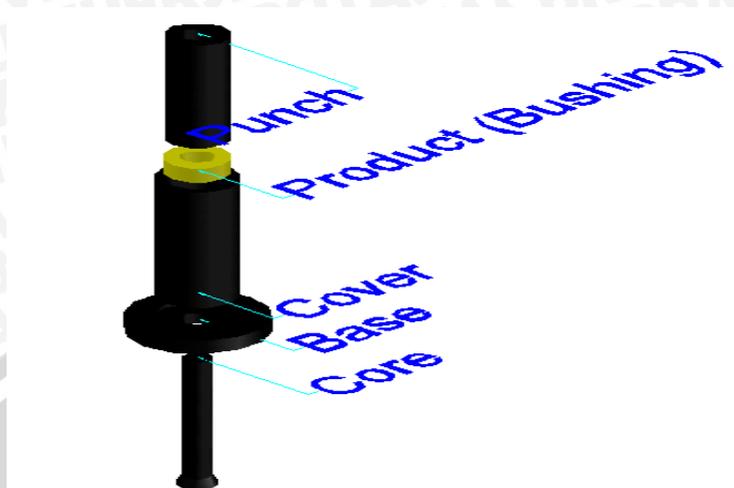
3.5 Dimensi Hasil *Powder Metallurgy*



Gambar 3.12 Rancangan dimensi hasil *powder metallurgy*

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Prosedur Percobaan



Gambar 3.13 Instalasi cetakan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin dalam kondisi baik.
2. Timbang serbuk *binder* (Mg) sesuai dengan kadar yang ditentukan, misalnya untuk kadar *binder* (Mg) 1%wt membutuhkan 0,4 gr dari total campuran serbuk 40 gr.
3. Tambahkan serbuk duralumin sesuai dengan kadar *binder* (Mg) yang diberikan, misalnya untuk kadar *binder* (Mg) 1%wt membutuhkan serbuk duralumin seberat 39,6 gr dari total campuran serbuk 40 gr.
4. Aduk secara merata campuran serbuk duralumin dengan serbuk *binder* (Mg).
5. Letakkan *core* dan *base* menjadi satu susunan.
6. Lapisi *cover*, *base* dan *punch* dengan larutan campuran antara grafit dengan air yang berfungsi untuk memudahkan proses pelepasan spesimen dari *cover*.
7. Letakkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *hot pressing*.
8. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga *core*, *base* dan *cover* menjadi satu susunan.
9. Masukkan campuran serbuk logam ke celah antara *cover* dan *core*.
10. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover* sehingga *core*, *base*, *cover* dan *punch* menjadi satu susunan.
11. Berikan tekanan hingga 100 bar pada cetakan dengan menaik-turunkan tuas hidrolik pada mesin *hot pressing*.

12. Tunggu hingga temperatur mencapai 500°C, kemudian naikan tekanan hingga 500 bar.
13. Mulai *timer* dengan waktu 30 menit.
14. Jaga temperatur selama *holding time* dengan memutus/menyambung aliran listrik serta tekanan kompaksi dijaga konstan.
15. Setelah waktu habis, lepaskan penekan hidrolik dari cetakan.
16. Angkat cetakan dari tungku mesin *hot pressing* kemudian letakkan di papan untuk membalik spesimen.
17. Lepaskan *cover* dari susunan *core* dan *base* kemudian lepaskan *punch* dari *cover*.
18. Pukul *punch* dengan kayu dan palu sampai spesimen keluar dari dalam *cover*.

Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 18 dengan variasi kadar *binder* (Mg) yaitu 2 %wt, 4 %wt, 6 %wt, dan 8 %wt .

- Spesimen kedua dilakukan dengan memberikan kadar *binder* (Mg) 2%wt seberat 0,8 gr.
- Spesimen ketiga dilakukan dengan memberikan kadar *binder* (Mg) 4%wt seberat 1,6 gr.
- Spesimen keempat dilakukan dengan memberikan kadar *binder* (Mg) 6%wt seberat 2,4 gr.
- Spesimen kelima dilakukan dengan memberikan kadar *binder* (Mg) 8%wt seberat 3,2 gr.

3.6.2 Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data

Dari hasil *powder metallurgy*, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai porositas dan nilai kekerasan. Langkah-langkah yang diambil sebagai berikut.

- a) Pengujian untuk mengetahui nilai porositas
 1. Mengambil spesimen hasil *powder metallurgy*, kadar *binder* 0%wt.
 2. Melakukan proses penimbangan berat akhir spesimen.
 3. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 2 pada spesimen *powder metallurgy* dengan kadar binder 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt.
 4. Melakukan proses pengujian porositas menggunakan peralatan *picnometry* pada semua spesimen.
 5. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
 6. Kesimpulan.

b) Pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan

1. Mengambil spesimen hasil *powder metallurgy*, kadar binder 0% wt.
2. Kemudian melakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas gosok sampai didapatkan permukaan yang halus.
3. Dilakukan pengujian kekerasan.
4. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 pada spesimen hasil *powder metallurgy* lainnya dengan kadar *binder* yang berbeda yaitu 1% wt, 2% wt, 4% wt, 6% wt dan 8% wt.
5. Melakukan pengambilan data seperti tabel.

3.7. Sumber Data

Sumber data penelitian terdiri atas sumber data primer dan data sekunder.

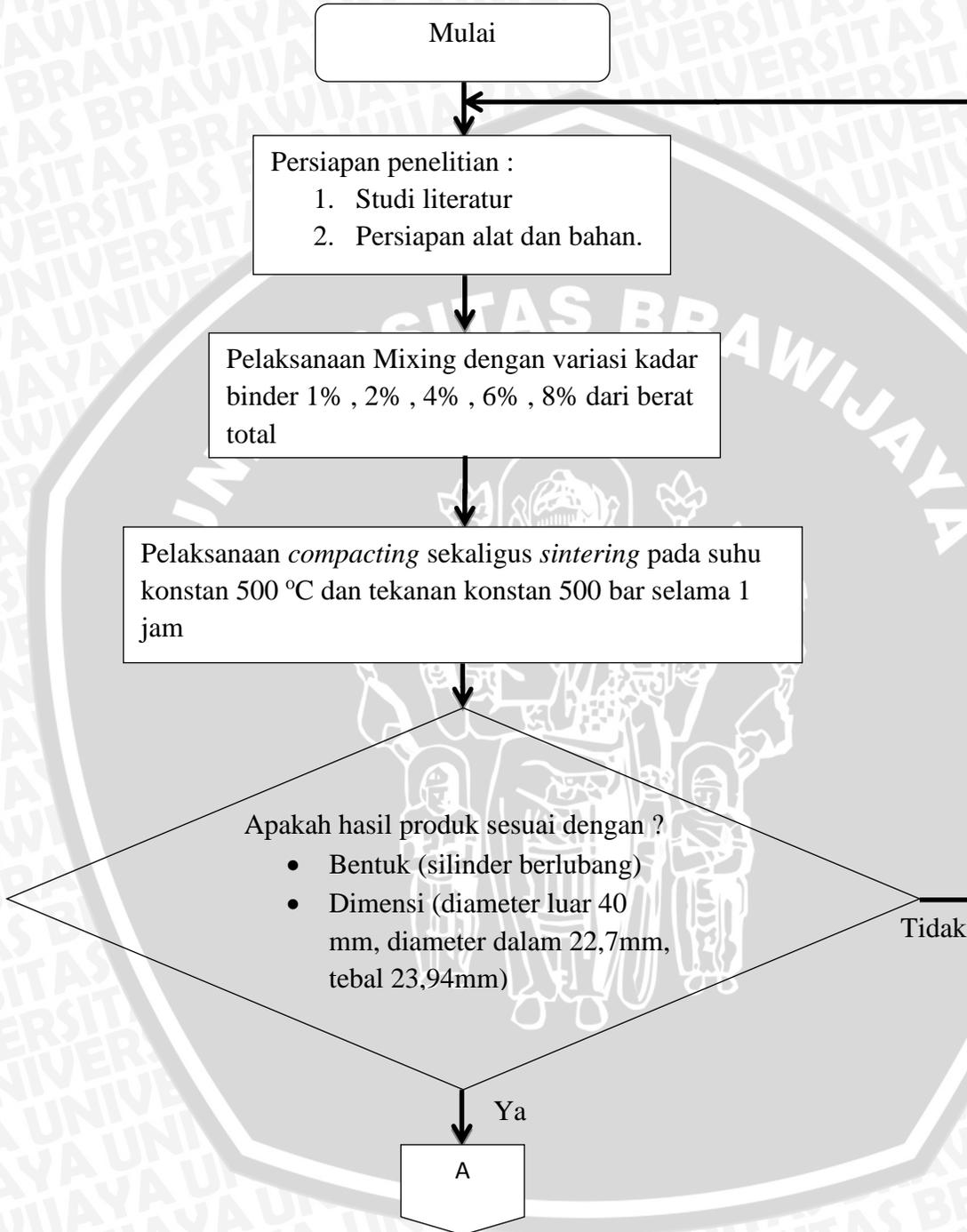
3.7.1. Data Primer

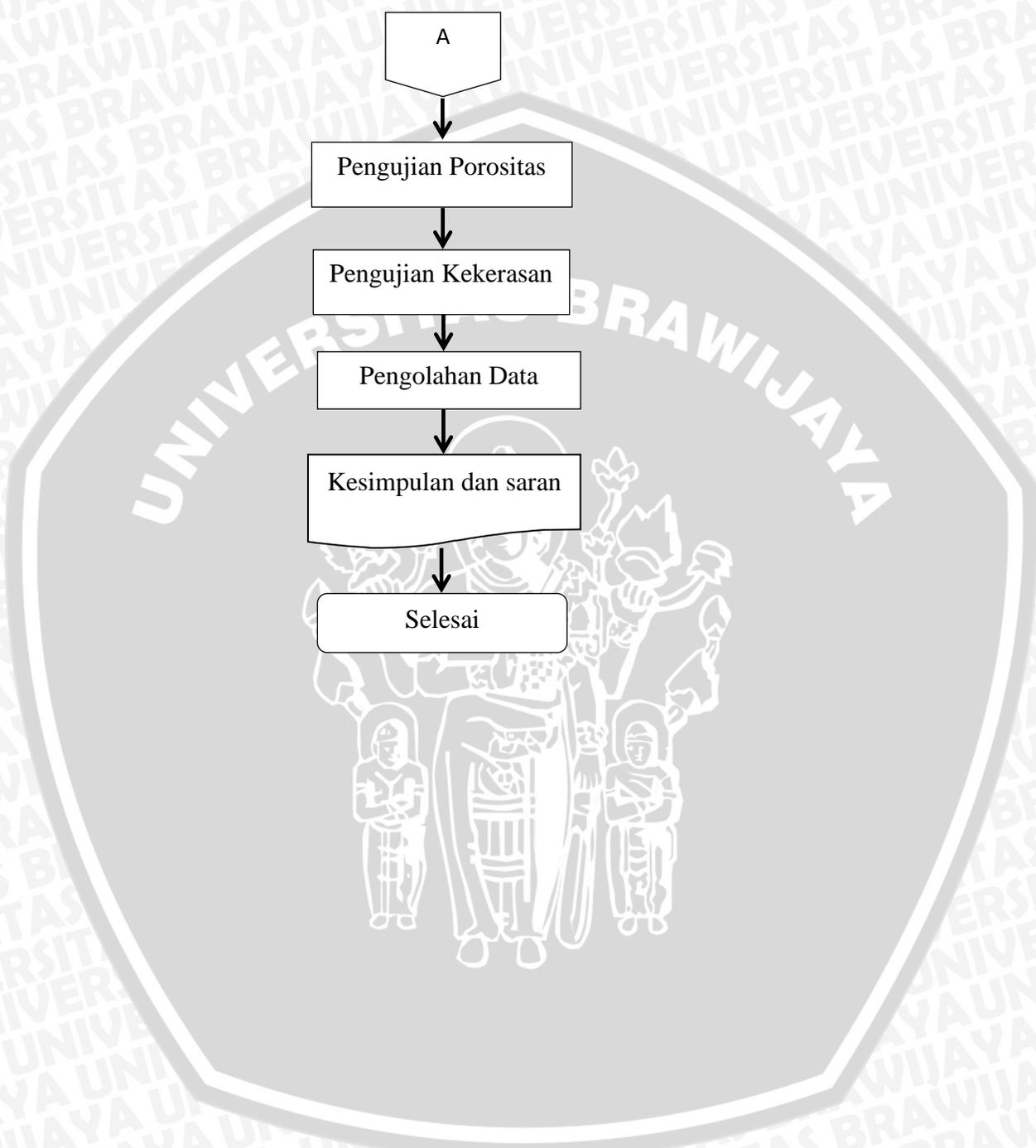
Data primer merupakan sumber data yang diperoleh langsung dari sumber asli. Data primer dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data primer yaitu metode penelitian eksperimental nyata.

3.7.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data pendukung yang diperoleh dari pihak lain atau data primer yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan baik oleh pengumpul data primer atau oleh pihak lain yang pada umumnya disajikan dalam bentuk tabel-tabel atau diagram-diagram. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data kandungan unsur pada duralumin oleh Febrienni Binarwati W dan pengujian foto SEM yang dilakukan di Laboratorium *Fatigue* Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.8 Diagram Alir Penelitian





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

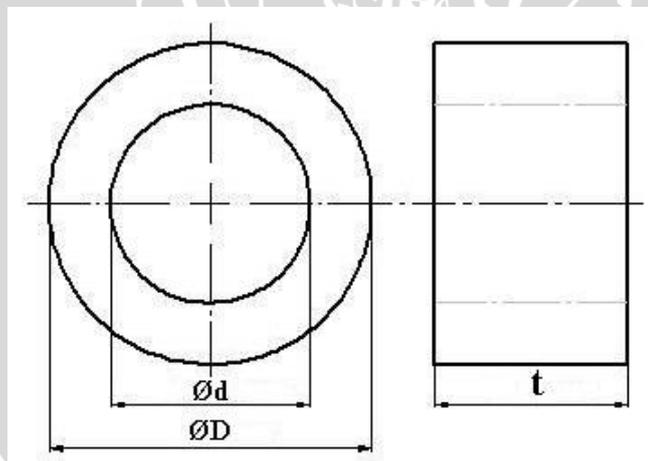
4.1. Hasil

4.1.1. Data Pengukuran Dimensi Spesimen

Pengukuran dimensi spesimen dimaksudkan untuk membandingkan dimensi sebenarnya dari sebuah spesimen dengan dimensi rancangan spesimen. Terjadi selisih ukuran yang diakibatkan oleh penyusutan. Berikut ini tabel dimensi spesimen.

Tabel 4.1 Data pengukuran dimensi spesimen tiap kadar *binder*.

No	Kadar Binder (% wt)	Ød (mm)	ØD (mm)	t (mm)
1	0	19,8	39,2	24,3
2	1	19,3	39,6	24,2
3	2	19,6	39,5	23,9
4	4	18,9	39,9	23,8
5	6	19,7	38,8	23,6
6	8	19,4	39,7	23,8



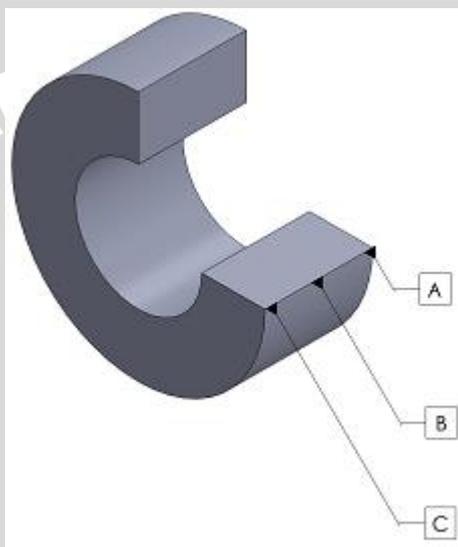
Gambar 4.1. Dimensi spesimen hasil *powder metallurgy*

4.1.2. Data Pengujian Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan nilai kekerasan *Vickers* (VHN) seperti tabel 4.1. Dalam pengujian sampel yang diambil untuk tiap variasi kadar *binder* yaitu A (0,3cm), B (1 cm) dan C (1,7 cm dari ujung pangkal atas). Pada tiap bagian sampel masing-masing

dilakukan tiga kali pengulangan di titik yang berbeda. Nilai kekerasan diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan tiap sampel.

Menurut ASTM E92-82R03E1 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* menunjukkan bahwa titik pusat indentasi seharusnya tidak boleh lebih dekat dengan ujung spesimen uji atau titik indentasi lainnya dari jarak yang sama dengan dua atau satu setengah kali panjang diagonal titik indentasi. Ketika permukaan material diuji, sebuah batas ikatan permukaan seharusnya diputuskan sebagai sebuah ujung untuk jarak perhitungan lekukan.

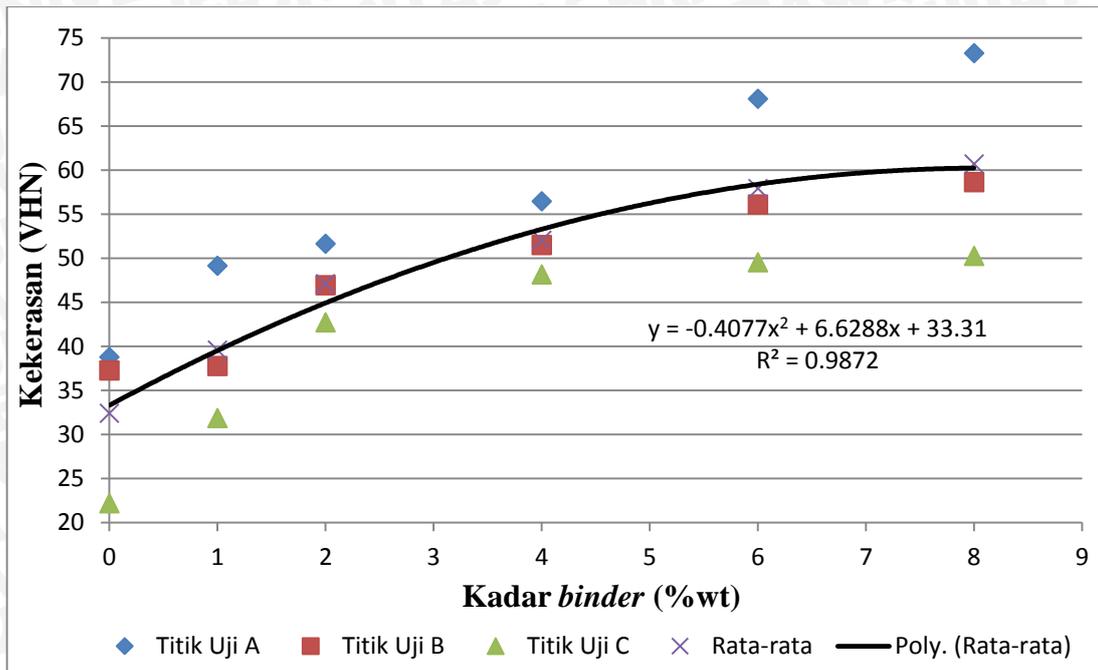


Gambar 4.2. Bagian *bushing* yang di uji kekerasannya

Tabel 4.2. Data pengaruh variasi kadar *binder* terhadap kekerasan

Kadar <i>Binder</i> (%wt)	Kekerasan Daerah titik uji (VHN)			
	A	B	C	Rata-rata
0	37,78	37,25	22,18	32,40
1	49,13	37,78	31,85	39,59
2	51,62	46,91	42,74	47,08
4	56,46	55,48	48,15	53,36
6	68,09	56,09	49,53	57,90
8	73,26	58,61	50,25	60,71

Dari tabel 4.1 Data hasil pengujian kekerasan didapat hubungan antara variasi kadar *binder* dan kekerasan yang terjadi pada tiap-tiap variasi dan digrafikkan seperti gambar 4.2.



Gambar 4.3. Grafik pengaruh variasi kadar *binder* terhadap kekerasan

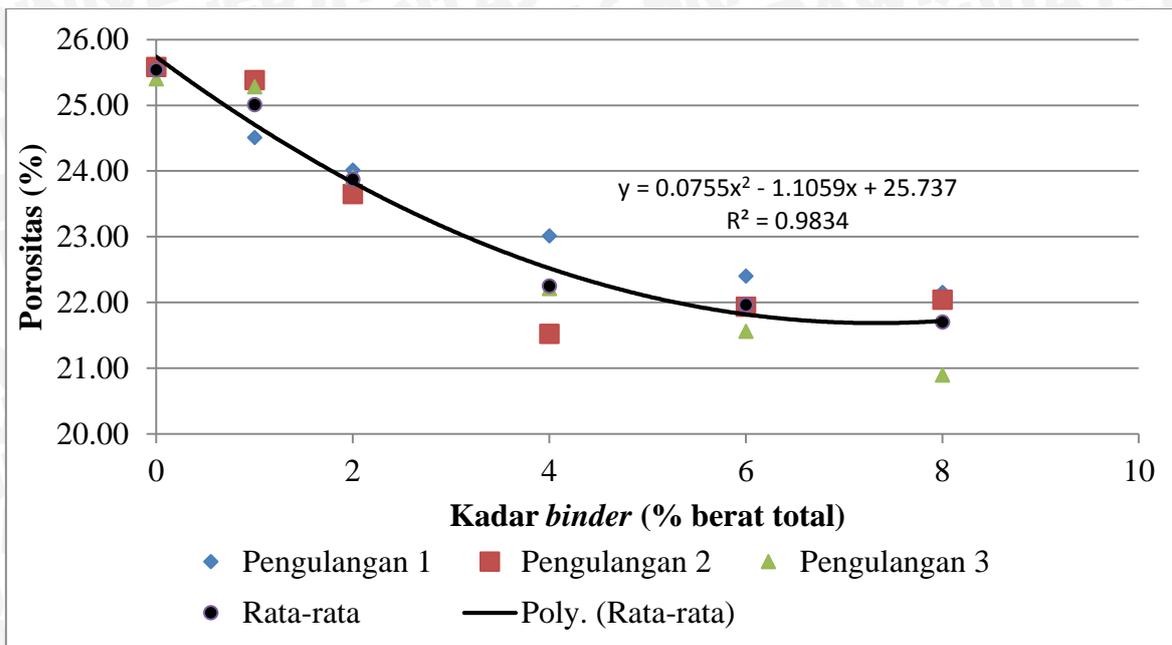
4.1.3. Data Pengujian Prosentase Porosity

Tabel 4.3 Data Persentase porositas (%)

Pengulangan	Porositas (%)					
	0% wt	1% wt	2% wt	4% wt	6% wt	8% wt
1	25,61	24,51	24,01	23,01	22,40	22,15
2	25,58	25,38	23,65	21,52	21,93	22,04
3	25,4	25,28	23,9	22,21	21,56	20,89
Rata-rata	25,54	25,01	23,87	22,25	21,96	21,7

Hasil porositas diatas didapat melalui serangkaian perhitungan yang dapat dilihat pada sub bab perhitungan porositas.

Dari tabel 4.2 Data hasil pengujian porositas dengan metode *picnometry* didapat hubungan antara variasi kadar *binder* dan porosity yang terjadi pada tiap-tiap variasi dan digrafikkan seperti gambar 4.2.



Gambar 4.4. Grafik pengaruh variasi kadar binder terhadap porosity

4.1.3 Perhitungan Porosity

4.1.3.1. Perhitungan True density

Tabel 4.4 Densitas Unsur (gr/cm³)

Densitas (gr/cm ³)	Unsur yang terkandung dalam Duralumin											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
	2,7	2,33	7,87	8,89	7,3	1,81	7,14	7,15	8,9	4,51	11,33	7,29

Hasil densitas unsur didapatkan berdasarkan nilai densitas untuk masing-masing unsur berdasarkan tabel periodik unsur.

Tabel 4.5 Prosentase Unsur untuk Kadar Binder 0%

Prosentase (%)	Unsur yang terkandung dalam Duralumin											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
	93,525	0,405	0,442	5,29	0,043	0,159	0,108	0,007	0,004	0,011	0,001	0,005

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan True Density

True Density (gr/cm ³)(**)	Kadar binder (% wt)					
	0	1	2	4	6	8
	2,811	2,797	2,782	2,755	2,727	2,700

(**) Perhitungan *True Density* masing-masing spesimen dengan kadar magnesium yang berbeda-beda. *True density* ialah berat jenis spesimen sebelum dilakukan proses HIP.

Perhitungan *true density* menggunakan standar ASTM E252-84. Data hasil dihitung menggunakan rumus (2-6):

$$\begin{aligned} &= \frac{100}{\text{Total A}} \\ &= \frac{100}{37,577} = 2,811 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total A} = \sum \frac{\text{Prosentase Unsur}}{\text{Densitas Unsur}}$$

Dengan adanya variabel kadar Mg maka mempengaruhi nilai *true density* masing-masing spesimen. Dengan semakin meningkatnya nilai kadar Mg yang terkandung, maka nilai *true density*-nya juga akan menurun.

4.1.3.2 Perhitungan *Apparent density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-4)

Tabel 4.7 Hasil Penimbangan Spesimen Menggunakan Metode *Picnometri*

Kadar <i>Binder</i> (% wt)	Pengulangan	Berat (gr)		
		W_s	W_b	W_{sb}
0	1	39,56	3,153	24,42

Keterangan :

W_s = Berat sampel di luar air (gr).

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr).

Perhitungan densitas sampel menggunakan data pengulangan pertama dengan variasi kadar *binder* 0%, menggunakan rumus (2-7):

$$\begin{aligned} &= 0,9668 \frac{39,56}{39,56 - (24,42 - 3,153)} \\ &= 2,091 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh perhitungan *apparent density* sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data *Apparent density* (gr/cm^3)

Pengulangan	<i>Apparent Density</i> untuk tiap spesimen (gr/cm^3)					
	0%	1%	2%	4%	6%	8%
1	2,091	2,109	2,114	2,121	2,116	2,102
2	2,092	2,087	2,124	2,162	2,129	2,105
3	2,097	2,090	2,117	2,143	2,139	2,136
Rata-rata	2,093	2,095	2,118	2,142	2,128	2,114

4.1.3.2 Perhitungan *Porosity*

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density*. Perhitungan presentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dengan kadar Mg 0 %, menggunakan rumus (2-8):

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \frac{2,091}{2,811} \times 100\% \\
 &= 25,61 \%
 \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Variasi Kadar *Binder* dan Kekerasan Duralumin

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh penambahan kadar Magnesium terhadap nilai distribusi kekerasan spesimen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai berkisar antara paling rendah 22,18 VHN dan nilai paling tinggi 73,26 VHN di ketiga titik uji A, B dan C Spesimen dengan kadar Mg 0% terlihat nilai distribusi kekerasan spesimen ialah 22,18 VHN – 37,78 VHN.

Bagian pangkal spesimen atau titik uji A yang bersentuhan langsung dengan penekan (Punch) memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada kekerasan di titik uji B dan C yaitu kadar Mg 0%, 1%, 2%, 4%, 6% dan 8% masing-masing memiliki nilai kekerasan 37,78 VHN, 49,13 VHN, 51,62 VHN, 56,46 VHN dan 73,26 VHN.

Bagian titik uji C memiliki kekerasan yang paling rendah bila dibandingkan dengan titik uji A dan B yaitu kadar Mg 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt masing-

masing memiliki nilai kekerasan 22,18 VHN, 31,85 VHN, 42,74 VHN, 48,15 VHN, 49,53 VHN dan 50,25 VHN. Untuk pembuatan bushing kompaksi dilakukan satu arah, bagian atas adalah bagian yang berhubungan langsung dengan punch, sedangkan bagian bawah langsung berhubungan dengan base sehingga tekanan kompaksi yang terjadi lebih tinggi dibagian atas dibanding bagian bawah. Sehingga butiran serbuk duralumin mengalami kepadatan yang tidak merata di bagian ujung pangkal atas sampai ujung pangkal bawah.

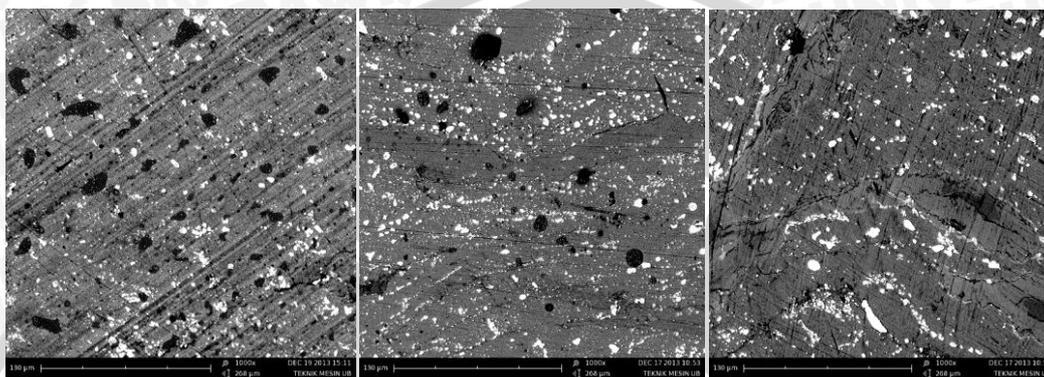
Selain itu bagian tengah titik uji B memiliki nilai kekerasan lebih rendah bila dibanding titik uji A yaitu untuk kadar Mg 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt masing-masing memiliki nilai kekerasan 37,25 VHN, 37,78 VHN, 46,91 VHN, 55,48 VHN, 56,09 VHN dan 58,61 VHN. Dengan semakin bertambahnya kadar Mg maka kekerasannya juga akan meningkat, ini disebabkan rongga-rongga butiran serbuk duralumin saling terisi oleh serbuk Mg sehingga ikatan antar butiran akan semakin meningkat. Gelembung-gelembung yang terbentuk juga semakin sedikit dengan terisinya rongga-rongga antar butiran duralumin dengan *binder*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai distribusi kekerasan per bagian permukaan memiliki nilai yang berbeda-beda. Di urutan pertama yang memiliki nilai distribusi kekerasan paling tinggi adalah bagian ujung pangkal spesimen dengan jarak 0,3 cm kemudian diurutan kedua bagian tengah spesimen dengan jarak 1 cm dari ujung pangkal atas dan selanjutnya bagian bawah berjarak 1,7 cm dari ujung pangkal atas. Hal ini disebabkan saat proses compacting dan sintering, serbuk duralumin mengalami penekanan satu arah sebesar 500 bar dan dipanaskan dengan suhu 500 °C secara konstan sehingga butiran di titik pengujian A mengalami gaya tekan yang lebih besar daripada titik pengujian B dan C. Sehingga menyebabkan celah antar butiran akan terisi secara merata seiring dengan bertambahnya kadar *binder* yang diberikan dan tingkat kekerasannya meningkat pula.

4.2.2 Hubungan Variasi Kadar *Binder* dan Porositas Duralumin

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh penambahan kadar *binder* terhadap porositas. Penambahan kadar *binder* terhadap porositas dilihat melalui gambar 4.3 menunjukkan penurunan. Masing-masing nilai rata-rata dari ke-3 pengulangan uji porositas kadar *binder* berturut-turut yakni 25,54%, 25,01%, 23,87%, 22,25%, 21,96% dan 21,70%. Untuk nilai rata-rata porositas maksimum pada kadar binder 0% sebesar 25,54%, sedangkan nilai rata-rata porositas minimum untuk kadar binder 8% sebesar 21,70%. Secara keseluruhan

porositas rata-rata dari ke-3 pengulangan menunjukkan bahwa porositas semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar Mg. Hal ini disebabkan oleh butiran-butiran serbuk duralumin saling berikatan dengan adanya pengikat magnesium yang ditambahkan. Sehingga celah-celah antar butiran dapat terisi dengan sempurna dan porositasnya akan semakin menurun.



(a) (b) (c)

Gambar 4.5. (a) Hasil Foto SEM untuk kadar *Binder* 2 %wt ,(b) 4 %wt dan (c) 6 %wt setelah proses P/M dengan perbesaran 1000x

Gambar 4.4(a) dapat dilihat bahwa porositas yang berupa *blackspot* banyak di beberapa daerah hampir merata sehingga mempengaruhi tingkat porositasnya. Berbeda lagi untuk porositas gambar 4.4(b) dengan kadar *binder* 4% Hal ini disebabkan oleh peningkatan kadar *binder* menyebabkan terjadinya peningkatan kekuatan antar butiran sehingga porositas yang terjadi semakin kecil. Porositas dengan kadar *binder* 6% seperti gambar 4.4(c) dapat dilihat porositas lebih sedikit terbentuk bila dibandingkan gambar 4.4(a) dan 4.4(b). Sehingga dapat disimpulkan bahwa porositas melalui metode piknometri terbukti sesuai dengan hasil photo SEM

Dari foto SEM diatas dapat disimpulkan saat serbuk dilakukan proses P/M maka serbuk akan mengalami proses koagulasi antara serbuk satu dengan serbuk lainnya. Sehingga semakin tinggi kadar *binder* yang diberikan maka semakin kecil pula porositas yang terjadi dan rongga-rongga porositas yang terbentuk akan semakin kecil dengan ditunjukkannya *blackspot* yang semakin sedikit. Proses *compacting* dan *sintering* yang berperan penting sehingga serbuk tersebut dapat bersatu dan menjadi satu kesatuan membentuk sebuah produk (*bushing*).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi kadar *binder* terhadap *porosity* dan *microhardness duralumin* pada proses *Hot Isostatic Pressing*, dimana peningkatan kadar *binder* akan meningkatkan kekerasan dan *porosity* spesimen akan semakin menurun. Hal ini terbukti kekerasan minimum rata-rata didapatkan pada variasi kadar *binder* 0% wt sebesar 32,403 VHN sedangkan kekerasan maksimum rata-rata didapatkan pada variasi kadar *binder* 8% wt sebesar 60,707 VHN. Sedangkan semakin tinggi variasi kadar *binder* yang diberikan maka porositasnya semakin menurun. Hal ini terbukti porositas maksimum rata-rata didapatkan pada kadar *binder* 0% wt sebesar 38,38%, sedangkan porositas minimum rata-rata didapatkan pada kadar *binder* 8% wt sebesar 35,21%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yang lain dari paduan Alumunium hasil *powder metallurgy*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan sifat mekanik terutama kekerasannya antara Alumunium dan Tembaga dan Alumunium tanpa paduan dengan perlakuan yang sama.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variabel yang tidak terkontrol dalam penelitian ini, misalnya beban penekanan dan waktu penekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standar B 311 – 93. 2002. *Tes Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two percent Porosity*. Philadelphia, PA: American Society for Testing Materials.
- ASTM Standar E252-84. 1999. *Standard Tes Method for Thickness of Thin Foil and Film by Weighing*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA.
- Gary, Indra., 2011, *Metalurgi Serbuk*, Makalah Proses Produksi , Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Rusianto, Toto., 2005, “Pembuatan Bushing dari Bahan Serbuk Komposit Al/ Al₂O₃ dengan variasi penambahan Al₂O₃” *Proseding seminar nasional ReTII di STTNas Yogyakarta*. ISBN 979-99711-0-1. Yogyakarta 11 Juni 2005
- Taylor, R. P., McClain, S. T. & Berry, J.T., *Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurement Using Archimedes Principle*. International Journal of Cast Metals research, 1999, Vol. 11, 247-257.
- [http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/\(1\)%20jurnal-pak%20pri.pdf](http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/(1)%20jurnal-pak%20pri.pdf) , diakses pada tanggal 10 Januari 2013
- Popov, K.I., Djokic, S.S., and Grgur, B.N. (2002),”*Fundamental Aspect of Electrometallurgy*”, Kluwer Academic Publishers, New York.
- German, M.R. (1994),”*Powder Metallurgy Science*”, Metal Powder Industries Federation, New Jersey.
- Groover, M.P (2007),”*Fundamental of Modern Manufacturing: Materials, processes and systems, 3rd*”, Jhon Wiley & Sons, Inc, Lehigh University

Lampiran 1.

Data *True Density* tiap unsur pada campuran serbuk.

No	Nama Unsur	Persentase kadar Binder (% berat unsur)					
		0 %wt ^(*)	1 %wt	2 %wt	4 %wt	6 %wt	8 %wt
1	Silikon (Si)	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405
2	Besi (Fe)	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442
3	Tembaga (Cu)	5,29	5,29	5,29	5,29	5,29	5,29
4	Mangan (Mn)	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
5	Magnesium (Mg)	0,159	1,159	2,159	4,159	6,159	8,159
6	Zinc (Zn)	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
7	Chromium (Cr)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
8	Nikel (Ni)	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
9	Titanium (Ti)	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
10	Timbal (Pb)	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
11	Timah (Sn)	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	Alumunium (Al)	93,525	92,518	91,518	89,518	87,518	85,518

(*) Untuk kadar Mg 0% merupakan serbuk Duralumin murni tanpa campuran yang diperoleh dari pengujian *Optical Emission Spectrometry (OES)*



Lampiran 2

Data Penimbangan Sampel dan keranjang dai udara dan air



LABORATORIUM PENGECORAN LOGAM
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Jl. MT Haryono 167 Malang Telp. (0341) 551611 – 551430 Pes.157 Malang 65145



Lampiran 2

Data penimbangan sampel dan keranjang di udara dan didalam air (gr)

Kadar Binder (% w _i)	Pengulangan	Berat (gr)		
		W _s	W _b	W _{sb}
0	1	39,56	3,153	24,42
	2			24,44
	3			24,47
1	1	39,35	3,153	24,46
	2			24,27
	3			24,3
2	1	39,26	3,153	24,45
	2			24,54
	3			24,48
4	1	39,7	3,153	24,83
	2			25,1
	3			24,94
6	1	39,12	3,153	24,4
	2			24,51
	3			24,59
8	1	39,11	3,153	24,27
	2			24,3
	3			24,56

Malang, 15 Januari 2014
Rranata Laboratorium Pendidikan

Gatot Siswanto
NIP. 19611028 199303 1 001



Lampiran 3

Foto Hasil SEM Bushing hasil Hot Isostatic Pressing

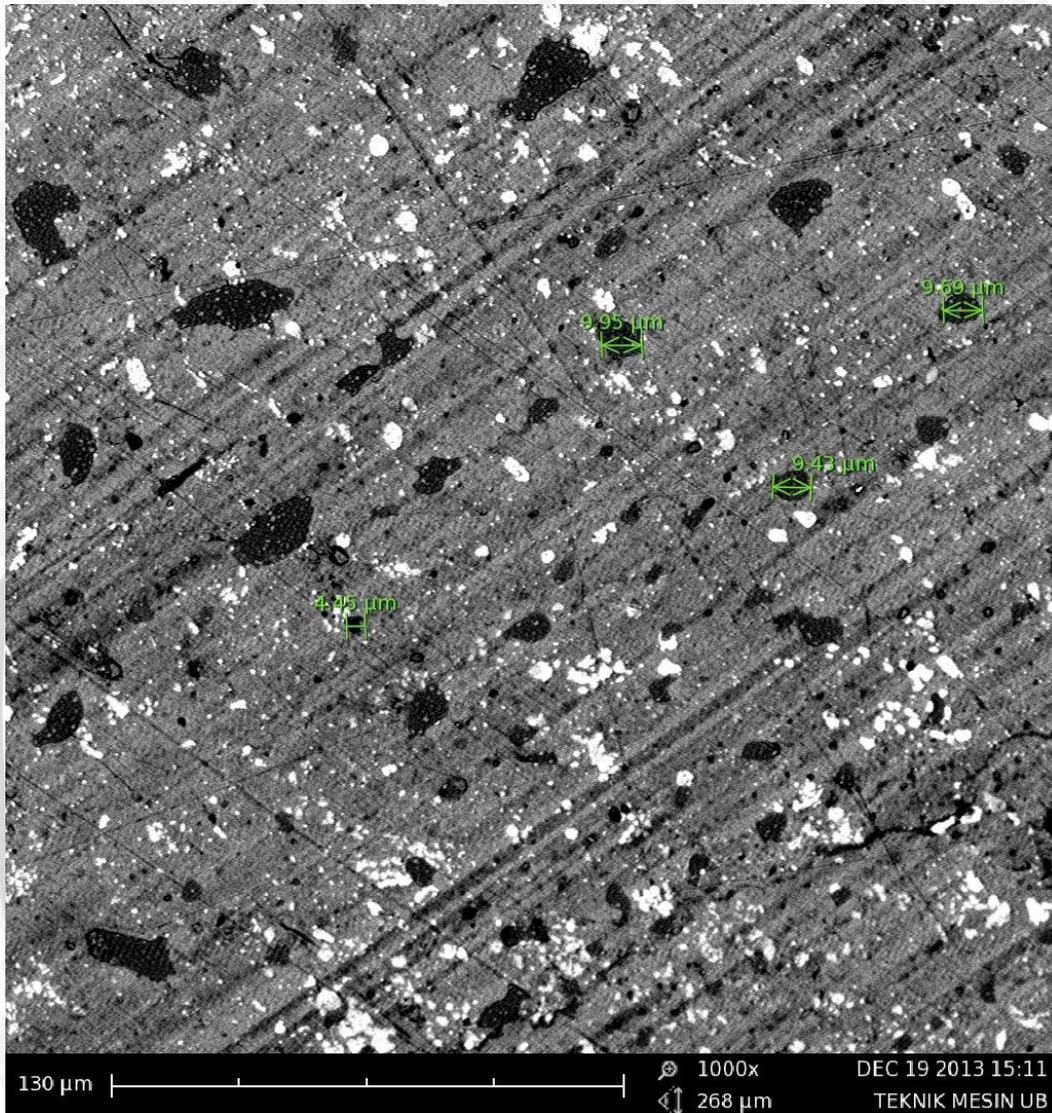


Foto hasil SEM untuk Kadar Binder 2%

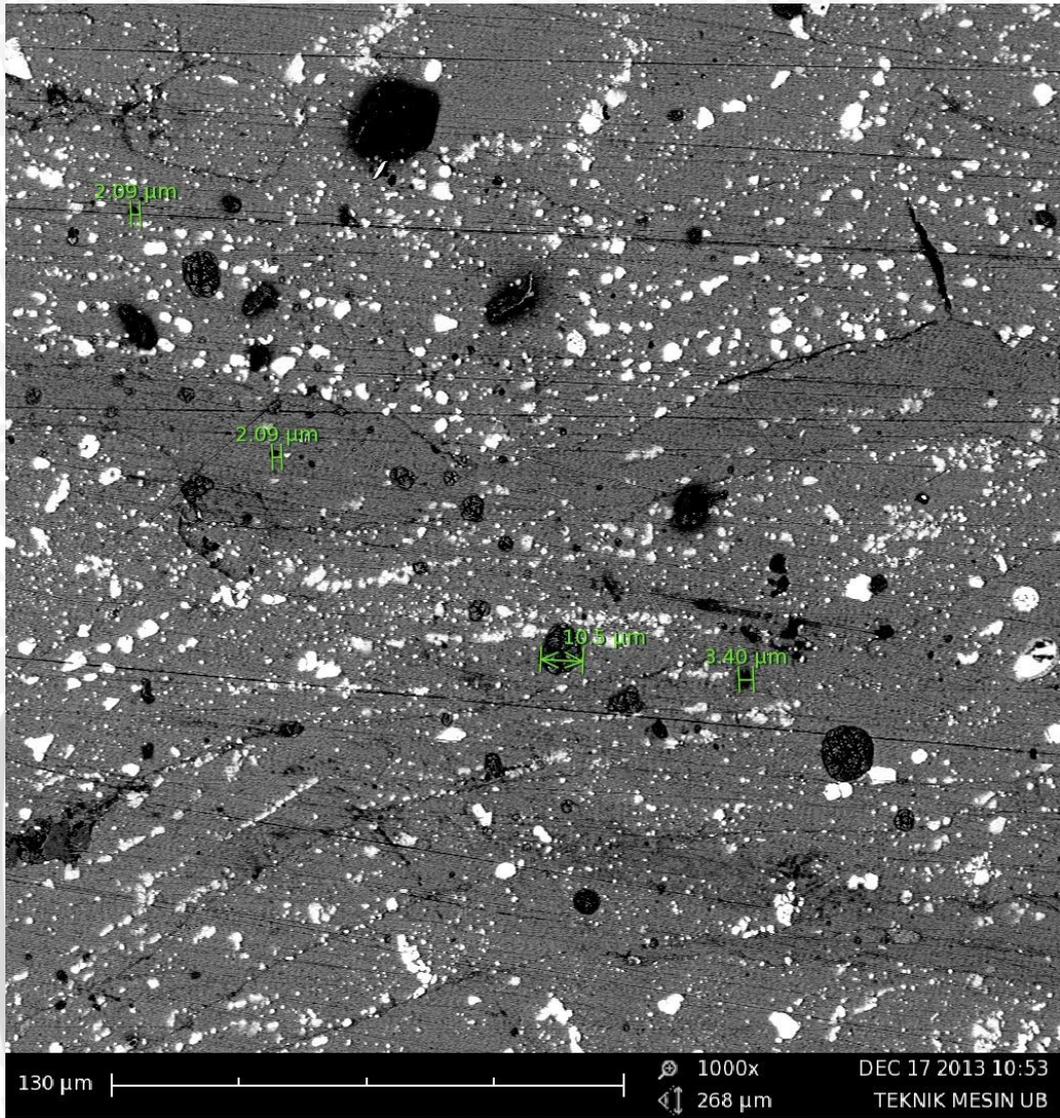


Foto hasil SEM untuk Kadar Binder 4%

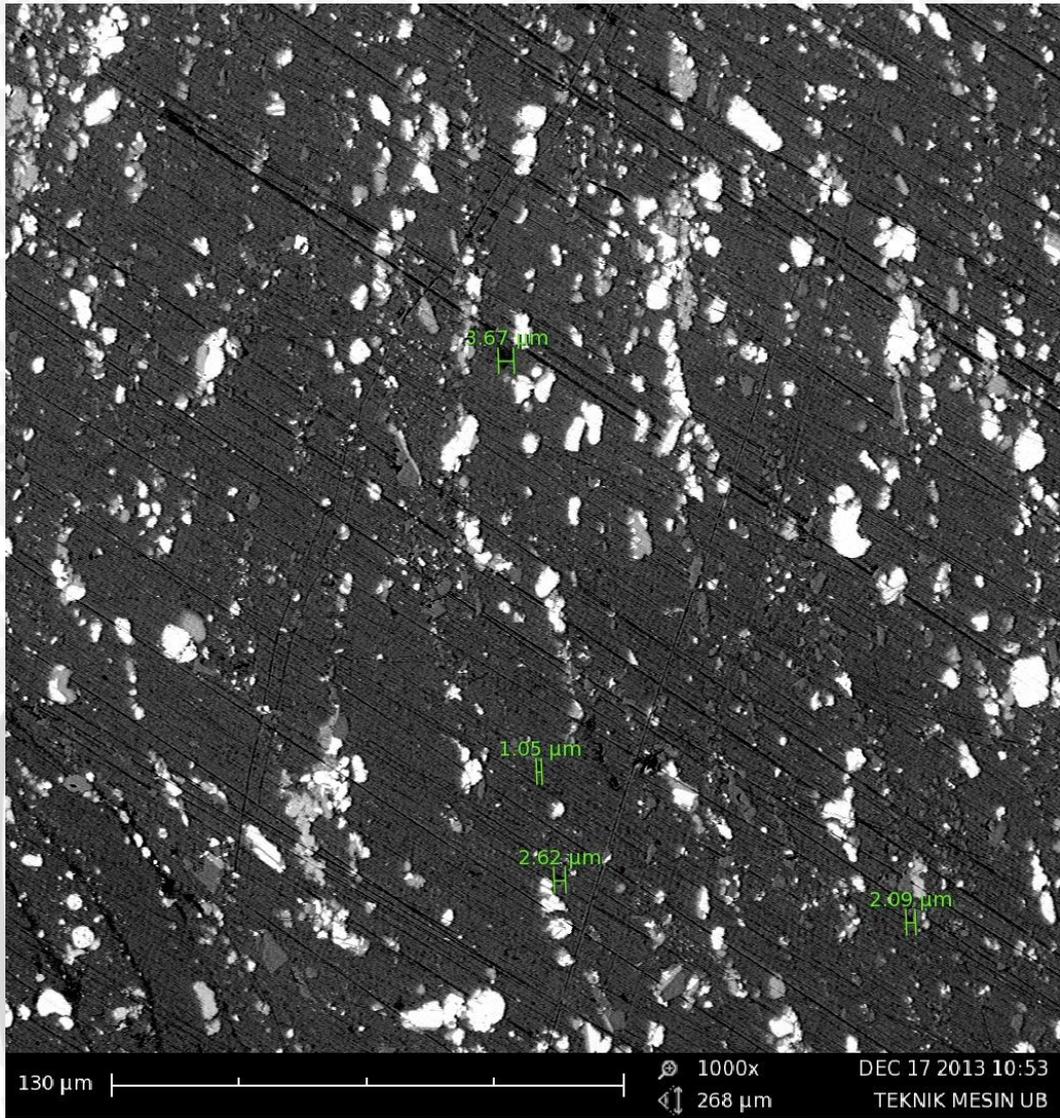


Foto hasil SEM untuk Kadar Binder 6%



Lampiran 4

Hasil Pengujian Microvickers Hardness



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 1214 Malang 65145

DATA HASIL PENGUJIAN

Jenis Pengujian : Pengujian Kekerasan Mikrohardness
Satuan : VHN
Bahan : Duralumin
Penguji : Andika Martha Dinata
Nim. : 0810620031
Instansi : Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Tanggal Pengujian : 19 Juli 2013

No	Jarak Titik (cm)	Kadar Mg (%)		
		0.3	1	1.7
1	0	37.78	37.25	22.18
2	1	49.13	37.78	31.85
3	2	51.62	46.91	42.74
4	4	56.46	55.48	48.15
5	6	68.09	56.09	49.53
6	8	73.26	58.61	50.25



Malang, 22 Juli 2013
Kas. Lab. Pengujian Bahan

Ir. Erwin Sulistyono, MT.
NIP. 19661213 198802 1 001



Lampiran 5

HASIL UJI KOMPOSISI PADUAN Al-Cu



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 5

No Laporan Report Nr	0436	Bahan Material	Aluminium
Pemakai Jasa Customer	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan Material Identity	Code : A
Alamat Address	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima Receiving Date	13 April 2012
No Kontrak Contract Nr	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar Standard	ASTM A751
Tanggal Uji Date of Test	18 April 2012	Mesin Uji Testing machine	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
A	0.405	0.442	5.29	0.043	0.159	0.108
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.011	<0.002**	<0.010**	Bal.

cattatan

* ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
Manajer Teknis
Laboratorium Uji
Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 2 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : B
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
B-75	0.408	0.443	5.55	0.062	0.214	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan:

- * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 3 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : C
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
C 5-389-2-3	0.434	0.436	5.79	0.036	0.205	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.005	<0.005**	0.010	0.002	<0.010**	Bal.

catatan

- * ketidaktelitian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metalui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 4 of 5

No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
Report Nr		Material	
Pemakai Jasa	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan	Code : D
Customer		Material Identity	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
Address		Receiving Date	
No Kontrak	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar	ASTM A751
Contract Nr		Standard	
Tanggal Uji	18 April 2012	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer*
Date of Test		Testing machine	

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
D	0.416	0.429	5.45	0.038	0.240	0.107
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Su (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.010	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan

* ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 99% dengan factor cakupan K=2

** (*) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
Manajer Teknis
Laboratorium Uji
Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 5 of 5

No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
Pemakai Jasa	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan	Code : E
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
<i>Address</i>		<i>Receiving Date</i>	
No Kontrak	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar	ASTM A751
<i>Contract Nr</i>		<i>Standard</i>	
Tanggal Uji	18 April 2012	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer*
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
E	0.446	0.459	5.46	0.034	0.235	0.090
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	0.003	<0.010**	Bal.

catatan:

* ketidaktelitian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

