

**PENGARUH VARIASI KADAR Mg TERHADAP *COMPRESSION*
RATIO DAN *MICROSTRUCTURE* Al/Cu PADA PROSES *POWDER*
*METALLURGY***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HARUN ARRASID
NIM. 0810620062- 62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KADAR Mg TERHADAP TERHADAP
COMPRESSION RATIO DAN MICROSTRUCTURE Al/Cu PADA
PROSES POWDER METALLURGY**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

HARUN ARRASID

NIM. 0810620062-62

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 Mg TERHADAP TERHADAP
COMPRESSION RATIO DAN MICROSTRUCTURE Al/Cu PADA
PROSES POWDER METALLURGY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**HARUN ARRASID
NIM. 0810620062-62**

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

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

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

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

Skripsi III

Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001 199903 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 Mg TERHADAP TERHADAP COMPRESSION RATIO DAN MICROSTRUCTURE Al/Cu PADA PROSES POWDER METALLURGY”** 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. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng. selaku Dosen Wali.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua Orang Tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Basori dan Ibunda tercinta Tatik Sukarelawati yang tak hentinya mendo'akan dan memberi semangat, sungkem selalu untuk bapak ibu , tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan'nya.
8. Kedua kakak Riduwan Effendi dan Imron Rosyadi yang ikut mendoakan saya dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi.
9. Rekan Kerja dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini Andika Martha Dinata terima kasih sudah berjuang bersama dari awal sampai akhir.
10. Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam.
11. 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 !!!*

12. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
13. 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. Amin

Malang, Januari 2014



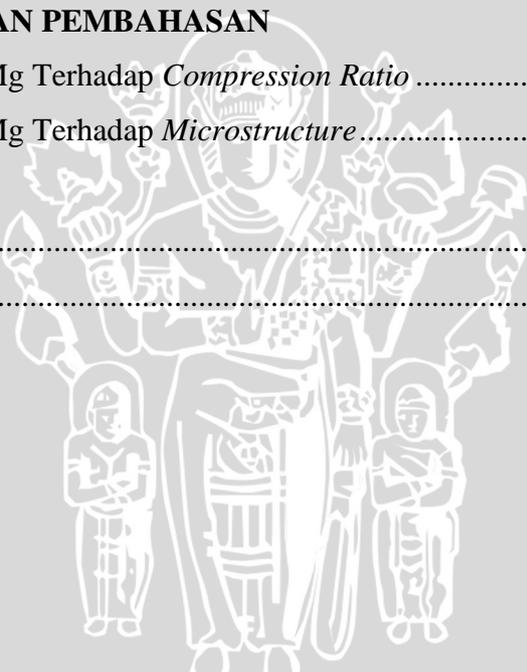
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
RINGKASAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Metalurgi Serbuk (<i>Powder Metallurgy</i>)	5
2.2.1 Pembuatan Serbuk	7
2.2.2 <i>Powder Mixing</i>	7
2.2.3 <i>Compacting</i>	8
2.2.4 <i>Sintering</i>	10
2.3. Karakteristik Serbuk Logam.....	12
2.3.1 Bentuk Serbuk	12
2.3.2 Ukuran dan Distribusi Partikel Serbuk.....	13
2.3.3 <i>Flowability</i>	14
2.3.4 Sifat Kimia.....	15
2.3.5 <i>Compressibility</i>	15
2.3.6 <i>Density</i>	15
2.3.7 Sifat Sinter	16
2.4 Aluminium.....	16
2.5 Duralumin (Al/Cu).....	19
2.6 <i>Compression Ratio</i>	19
2.7 Magnesium dan Paduannya	21



2.8 Analisa Mikrostruktur.....	21
2.9 Hipotesa	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	26
3.3.1 Peralatan yang Digunakan	26
3.3.2 Bahan yang Digunakan.....	28
3.4 Instalasi Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.6 Dimensi Spesimen	31
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	31
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengaruh Variasi Mg Terhadap <i>Compression Ratio</i>	34
4.2 Pengaruh Variasi Mg Terhadap <i>Microstructure</i>	38
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Langkah umum dalam proses metalurgi serbuk.....	6
Gambar 2.2	Macam-macam metode <i>powder mixing</i>	8
Gambar 2.3	Macam metode penekanan	9
Gambar 2.4	Tahapan <i>sintering</i>	11
Gambar 2.5	Macam-macam bentuk serbuk	13
Gambar 2.6	Distribusi ukuran partikel.....	14
Gambar 2.7	Grafik <i>compressibility</i> pada macam-macam serbuk logam	15
Gambar 2.8	Diagram fasa Al/Cu.....	18
Gambar 2.9	Ilustrasi <i>compression ratio</i>	20
Gambar 2.10	Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dan <i>electron</i>	22
Gambar 2.11	Skema <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	23
Gambar 3.1	Timbangan digital	26
Gambar 3.2	<i>Scanning Electron Microscope</i>	26
Gambar 3.3	Jangka sorong	27
Gambar 3.4	<i>Die</i> (cetakan)	27
Gambar 3.5	Mesin kompaksi	28
Gambar 3.6	Instalasi penelitian.....	29
Gambar 3.7	Bagian-bagian cetakan.	29
Gambar 3.8	Dimensi <i>bushing</i>	31
Gambar 3.9	Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 4.1	Grafik pengaruh kadar Mg terhadap <i>compression ratio</i>	35
Gambar 4.2	Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk serbuk Al/Cu+Mg yang sudah ditekan (a), serbuk Mg sebelum ditekan (b), dan Al/Cu sebelum ditekan (c).....	36
Gambar 4.3	Ketidakhomogenan densitas terhadap proses kompaksi	37
Gambar 4.4(a)	Hasil Foto SEM serbuk sebelum proses metalurgi serbuk.	38
Gambar 4.4(b)	Hasil Foto SEM serbuk setelah proses metalurgi serbuk.	38
Gambar 4.5	Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk kadar magnesium 0% a) dan kadar magnesium 1% wt b)	39
Gambar 4.6	Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk kadar magnesium:	

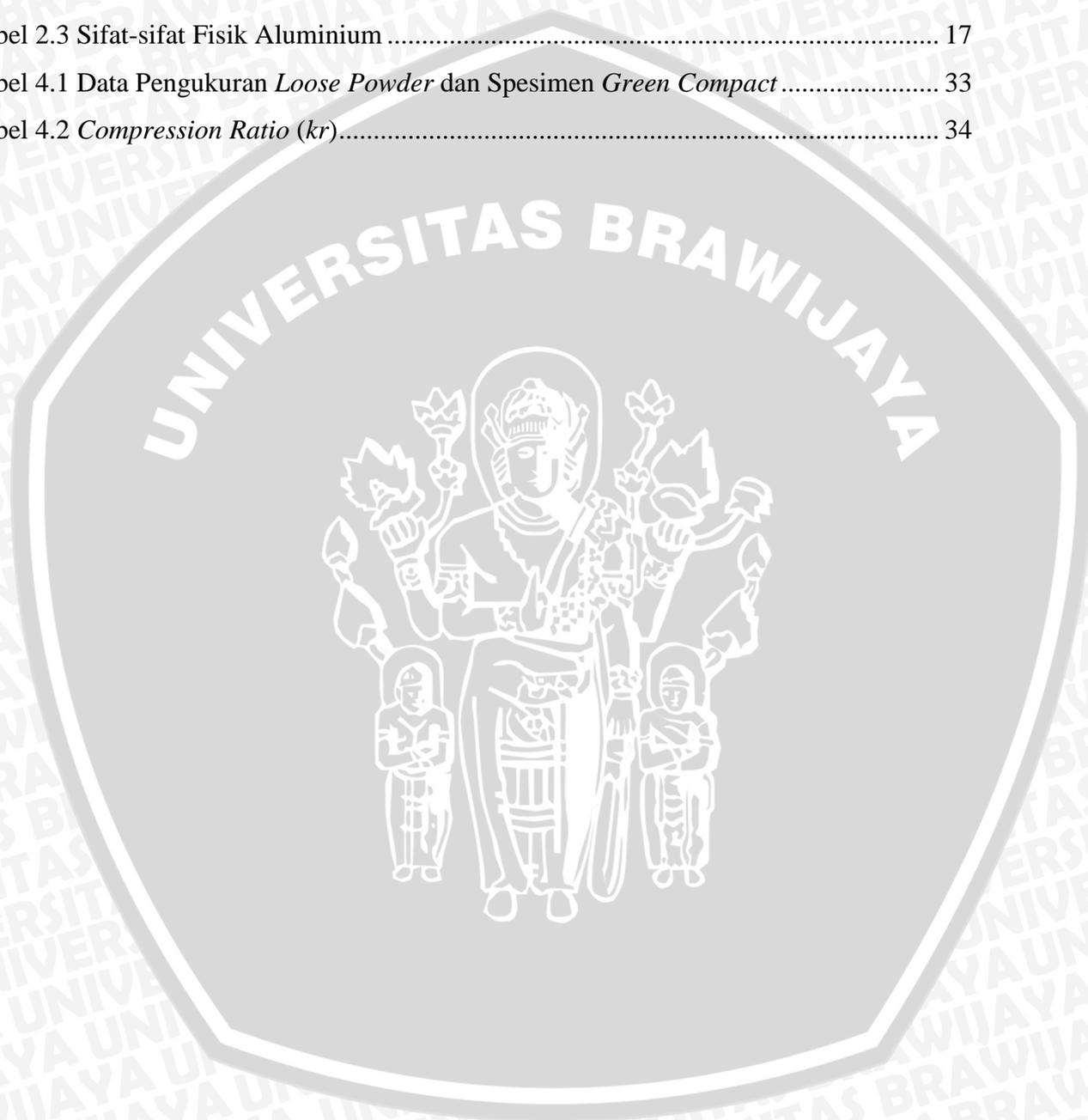


a) 2% wt, b) 4% wt, c) 6% wt, dan d) 8% wt..... 40



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tekanan Kompaksi pada berbagai macam serbuk logam.....	9
Tabel 2.2	Standar Ukuran Partikel Serbuk	13
Tabel 2.3	Sifat-sifat Fisik Aluminium	17
Tabel 4.1	Data Pengukuran <i>Loose Powder</i> dan Spesimen <i>Green Compact</i>	33
Tabel 4.2	<i>Compression Ratio (kr)</i>	34



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil Uji Komposisi Paduan Al-Cu
Lampiran 2	Hasil Foto Spesimen <i>Green Compact</i>
Lampiran 3	Hasil Foto SEM



RINGKASAN

Harun Arrasid, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, Pengaruh Variasi Kadar Mg Terhadap *Compression Ratio* dan *Microstructure Al/Cu* Pada Proses *Powder Metallurgy*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Anindito Purnowidodo.

Perkembangan teknologi yang sangat pesat belakangan ini khususnya dalam teknologi manufaktur membutuhkan suatu material dengan sifat mekanis yang sangat baik yaitu ringan dan juga kuat serta memiliki daya guna yang tinggi dan ekonomis dengan memanfaatkan logam seperti sekrup, *chip*, geram, sirip, *flash*, dan lainnya. Proses metalurgi serbuk mampu menjawab tantangan ini. Metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) 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. Dalam penelitian ini digunakan serbuk duralumin yang ditambahkan magnesium dengan variasi 1, 2, 4, 6, dan 8 dalam satuan prosentase berat total. Variabel yang nilainya dijaga tetap konstan ialah ukuran serbuk yang dipakai berkisar antara 0,4-0,49 mm, berat serbuk 20 gr, tekanan 560 bar selama 1 jam, temperature sinter 500°C selama 1 jam pula.

Penelitian ini berguna untuk mengetahui pengaruh variasi kadar magnesium terhadap *compression ratio* dan *microstructure* duralumin (Al/Cu). Hasil dari penelitian ini ialah rata-rata *compression ratio* pada penambahan 1%, 2% ,4% , 6% dan 8% , berturut-turut sebesar 1,776; 1,920; 2,127; 2,433; 2,64; 2,714. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan magnesium maka akan semakin tinggi nilai *compression ratio*. Kondisi ini dapat mengakibatkan terjadinya kontak antar serbuk yang semakin banyak dan memungkinkan terjadinya *necking* yang lebih banyak juga antar serbuknya. Akan tetapi pada kadar 6% dan 8% terjadi penambahan tinggi pada saat sintering karena adanya udara yang berikatan dengan Mg membentuk MgO.

Kata kunci: duralumin, *bushing*, magnesium, *compression ratio*, *microstructure*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat belakangan ini khususnya dalam teknologi manufaktur membutuhkan suatu material dengan sifat mekanis yang sangat baik yaitu ringan dan juga kuat serta memiliki daya guna yang tinggi dan ekonomis dengan memanfaatkan logam seperti sekrup, *chip*, geram, sirip, *flash*, dan lainnya. Material komposit dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menjawab tantangan ini. Material komposit dapat menggabungkan sifat-sifat unggul dari material untuk menghasilkan suatu material baru dengan sifat yang lebih baik. Hal tersebut telah mendorong perkembangan material baru komposit logam (MMCs/*Material Matrix Composites*) yaitu AMCs (*Aluminium Metal Matrix Composite*). AMCs adalah komposit yang matriksnya berupa logam aluminium. Salah satu proses pembuatan material komposit ialah dengan *powder metallurgy* (metalurgi serbuk). Metalurgi serbuk dapat memproduksi MMCs dengan komposisi matriks dan penguat yang bervariasi dengan efisiensi bahan baku yang sangat tinggi (Fogagnolo, 2004).

Akan tetapi, penelitian dibidang metalurgi serbuk di Indonesia relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan negara-negara maju dikawasan Asia. Seperti Jepang, Cina dan India yang merupakan pioner pengembangan teknologi metalurgi serbuk untuk aplikasi komponen otomotif. Sehingga banyak sekali logam bekas yang terbuang percuma. Berbagai aplikasi AMCs dapat ditemukan dalam bidang otomotif sebagai berikut: *cylinder lyner, brake disc/drum, engine piston* (Schumacher, 1991).

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.

Secara umum proses *powder metallurgy* ialah pembuatan serbuk, *mixing*, *compaction*, *sintering* dan *finishing* (jika diperlukan). Pada proses *mixing* biasanya diberikan *binder* yang berfungsi sebagai pengikat antara dua logam yang dicampurkan dalam proses metalurgi serbuk.

Aluminium merupakan logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium termasuk dalam unsur kimia golongan III A dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom sebesar 26,98 gram per mol. Pada udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Hartono, 1992). Untuk mendapatkan sifat tertentu aluminium banyak dipadukan dengan logam lainnya. Contohnya seperti tembaga yang sering disebut duralumin (A2017). *Duralumin* merupakan paduan aluminium dengan kandungan tembaga maksimal 5.5% serta memiliki properti dan karakteristik yang sangat baik untuk digunakan sebagai komponen otomotif maupun pesawat terbang.

Dalam penelitian ini, penulis ingin memvariasikan kadar magnesium dengan besar prosentase 1% wt, 2% wt, 4% wt, 6% wt, dan 8% wt yang akan ditambahkan pada paduan Al/Cu. Kadar magnesium yang bervariasi berpengaruh terhadap *green density* yang juga dapat mempengaruhi *compression ratio* pada *green compact* serta mikrostruktur pada produk hasil *powder metallurgy*. Produk yang nantinya akan dihasilkan dalam penelitian ini adalah sebuah *bushing*.

Bushing ini merupakan bantalan silinder yang berfungsi untuk menumpu sebuah poros agar putaran dapat dapat berlangsung secara halus dan aman. Bantalan luncur (*bushing*) mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban yang besar. Dengan konstruksi yang sederhana maka bantalan ini mudah untuk dibongkar pasang. Akibat adanya gesekan pada bantalan dengan poros maka akan memerlukan momen awal yang besar untuk memutar poros. Pada bantalan luncur terdapat pelumas yang berfungsi sebagai peredam tumbukan dan getaran sehingga akan meminimalisasi suara yang ditimbulkannya. Tingkat ketelitian yang diperlukan tidak setinggi bantalan gelinding sehingga dapat lebih murah. Aluminium memang tidak cocok digunakan untuk bantalan tetapi dalam bentuk duralumin, yang berkomposisi sedikit tembaga, magnesium, mangan, silikon dan besi, bisa digunakan untuk bantalan karena memiliki sifat ringan

dan kekuatan tinggi (Bradley, 1976:4). Diharapkan nantinya dengan adanya penelitian ini dapat dihasilkan *bushing* yang mempunyai kualitas yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah “Bagaimana pengaruh variasi penambahan Mg terhadap karakteristik Al/Cu pada proses *cold compaction*?”

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sistematis, maka akan dipersempit dengan memberikan batasan-batasan permasalahan yang meliputi :

1. Pembahasan yang difokuskan pada *compression ratio* dan *microstructure*.
2. Spesimen atau produk yang diuji adalah produk yang tidak di *finishing*.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji *microstructure*.
4. Pengujian yang dilakukan menggunakan metode *cold compaction*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan magnesium terhadap *compression ratio* dan *microstructure duralumin* pada proses *cold compaction*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bagi peneliti dapat menerapkan teori yang telah didapatkan pada saat perkuliahan terutama dalam ilmu *powder metallurgy*.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat menambah ilmu dan wawasan dalam bidang *metallurgy* pada umumnya.
3. Mengetahui permasalahan yang sering terjadi pada proses *powder metallurgy* serta dapat memecahkan permasalahan tersebut.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan bagi industry yang memiliki masalah yang sama dengan penelitian ini dan memberikan referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai *powder metallurgy*.
5. Untuk melengkapi tugas akhir sarjana dan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Widyastuti, dkk (2008) dari penelitiannya mengenai kompaktibilitas komposit isotropik Al/Al₂O₃ dengan variabel waktu tahan sinter mendapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi fraksi volume penguat, maka kompaktibilitas komposit semakin tinggi. Semakin lama waktu *sintering*, maka semakin tinggi *sintered density* yang dihasilkan. Akan tetapi, untuk HT 6 jam cenderung kearah *cracking* karena kepadatan setelah kompaksi yang tidak merata pada setiap bagian. *Cracking* dapat menurunkan modulus elastisitas. Semakin tinggi modulus elastisitas komposit, maka semakin baik kompaktibilitasnya. Waktu *sintering* komposit isotropik Al/Al₂O₃ terbaik didapatkan selama 2 jam pada fraksi volume penguat 40% dengan modulus elastisitas sebesar 173,26 GPa. Hal ini dikarenakan adanya distribusi penguat Al₂O₃ yang merata terhadap matrik Al.

Rusianto, (2009) dari penelitiannya tentang *hot pressing* metalurgi serbuk aluminium dengan variasi suhu pemanasan mendapatkan kesimpulan bahwa pada struktur mikro terlihat aluminium berwarna putih keabuan dan yang terlihat berwarna hitam pada struktur mikro merupakan porositas. Prosentase rata-rata porositas mengalami penurunan apabila suhu kompaksi meningkat. Dari hasil perhitungan berat jenis bahwa *bushing* mengalami kenaikan dengan meningkatnya suhu *hot pressing* begitu pula setelah proses *sinter*. Pada pengujian kekerasan diketahui bahwa kekerasan *bushing* semakin meningkat dan laju keausan dari hasil uji keausan semakin menurun dengan meningkatnya suhu *hot pressing*.

Khusyairi, (2011) meneliti tentang tentang pengaruh gaya kompaksi pada kuat tekan produk gelas-zeolit yang akan digunakan untuk imobilisasi limbah radioaktif. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan kompaksi memberikan pengaruh pada kekuatan mekanik (kuat tekan) spesimen gelas/zeolit, semakin besar tekanan kompaksi semakin besar hasil uji tekan.

Hafizah, dkk (2012) meneliti tentang pengaruh variasi suhu *sintering* pada komposit Al-Mg-Si terhadap kekuatan dengan teknik metalurgi serbuk. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa meningkatnya suhu sinter dapat

menyebabkan kekerasan menurun, dengan nilai kekerasan tertinggi 64,20 kgf/mm² yang diperoleh pada suhu sinter 400°C. Munculnya fasa Al₂O₃ dan MgO pada hasil XRD dapat disebabkan oleh terjadinya oksidasi dan impuritas selama sintering. Keberadaan oksida logam dan pengotor pada komposit Al-Mg-Siberakibat pada kualitas mekanik yang menurun.

Wicahya, dkk (2013) meneliti tentang pengaruh penambahan magnesium terhadap densitas, kekerasan, dan kekuatan tekan *aluminium foam* menggunakan CaCO₃ sebagai *blowing agent*. Dari penelitian tersebut menghasilkan gaya tekan untuk aluminium 4%, 6%, dan 8% Mg adalah 38,95 MPa, 45,19 MPa, 50,82 MPa. Sedangkan densitas untuk setiap komposisi adalah 2,62 gr/cm³, 1,94 gr/cm³, dan 3,44 gr/cm³. Dari produk yang dihasilkan diketahui bahwa aluminium dengan kadar 4% memiliki sel yang lebih baik apabila dibandingkan dengan aluminium dengan kadar Mg 6% dan 8%.

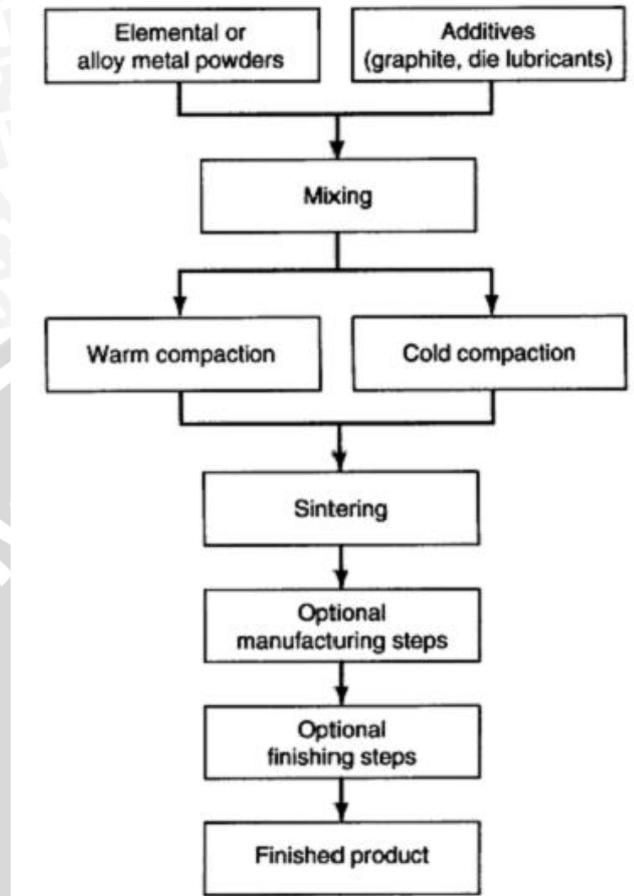
2.2 Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

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.

Dalam hal penekanan tidak diperlukan dan bisa saja ditiadakan, pada waktu penyinteran mungkin hanya sebagian serbuk yang dapat menyatu. Selanjutnya penekanan dan pemanasan dapat dilakukan simultan, proses ini dinamakan penekanan panas. Banyak macam bubuk logam dapat dibeli termasuk senyawa logam dan sekarang tersedia oksida besi, oksida aluminium, oksida uranium, demikian juga yang disebut *ferrit*, perkakas keramik, cermet, bahan bakar nuklir dan sebagainya.

Proses produksi logam secara metalurgi serbuk sudah cukup dikenal sekitar abad ke – 18. Namun pada saat itu logam yang paling banyak diproduksi dengan proses ini sebatas emas dan perak. Hal itu mungkin dikarenakan logam ini memiliki sifat komersial yang tinggi dan membutuhkan waktu yang paling lama dalam prosesnya. Dan ketika mesin pres tekan mulai dipergunakan, yakni pada sekitar tahun 1870, metalurgi serbuk berkembang kepada bahan-bahan logam lainnya. Dalam proses metalurgi serbuk

langkah-langkah yang umum yang biasa dilakukan ialah: pembuatan serbuk, *mixing*, *compaction*, *sintering*, dan *finishing* (jika diperlukan).



Gambar 2.1 Langkah umum dalam proses metalurgi serbuk.

Sumber: *ASM Handbook Vol.7*.

Metalurgi serbuk dipergunakan bagi bahan yang tidak dapat diproses dengan jalan mencairkan dan bagi bahan yang memerlukan pemrosesan yang lebih murah dengan kualitas yang lebih baik. Sedangkan kerugian metalurgi serbuk disebabkan karena dari serbuk logam itu sendiri dan juga berasal dari peralatan yang digunakan. Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian dari proses metalurgi serbuk:

1. Keuntungan

- Mampu membuat komponen dengan tingkat kerumitan yang tinggi serta toleransi dimensi yang baik dan kualitas yang tinggi.
- Penggunaan bahan baku yang efisien.
- Tidak membutuhkan energi yang tinggi.
- Lebih ekonomis dibandingkan dengan proses pengecoran.
- Proses pencampuran yang lebih mudah dibandingkan proses pengecoran.

- Meminimalisasi biaya permesinan.
- Besarnya densitas dan porositas dapat dikontrol.

2. Kerugian

- Sulit untuk menghasilkan produk secara massal.
- Desain komponen harus dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dengan mudah dikeuarkan dari cetaknya.
- Membutuhkan kebersihan proses yang sangat tinggi.
- Sulit untuk mendapatkan distribusi partikel yang merata pada produk.
- Terbentuknya inklusi dalam produk sehingga memberikan efek beracun.

2.2.1 Proses Pembuatan Serbuk

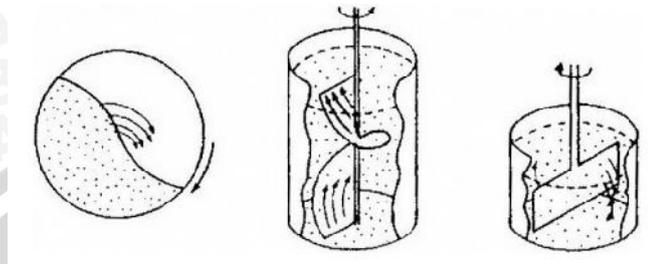
Proses pembuatan serbuk bisa di kategorikan melalui tiga macam cara yaitu : secara fisik, secara kimiawi, dan secara mekanik. Pembuatan serbuk secara fisik dapat diibaratkan sebagai proses atomisasi yaitu proses perusakan arus logam cair yang disemprot dengan bahan pendingin yang dalam hal ini dapat berupa cairan atau gas sehingga logam cair berubah menjadi tetesan padat yang berbentuk butiran. Sedangkan pembuatan serbuk dengan cara kimia melibatkan banyak reaksi dekomposisi kimia terhadap senyawa logam ini juga termasuk reaksi reduksi didalamnya. Pembuatan serbuk secara mekanik secara umum dapat dilakukan pada logam – logam yang bersifat getas sehingga mudah dihancurkan dengan diberikan gaya tekan dan dijadikan serbuk.

2.2.2 Powder Mixing

Serbuk harus dipilih secara teliti sekali untuk mendapatkan produksi yang ekonomis dan memperoleh hasil akhir yang memenuhi sifat-sifat yang dibutuhkan. Jika hanya satu macam serbuk yang digunakan dan distribusi partikel serbuk benar maka tidak diperlukan penambahan proses sebelum proses *compacting*. Apabila ukuran partikel serbuk yang bermacam-macam dicampurkan untuk merubah karakteristik seperti *flowability* atau *density* maka ukuran partikel-partikel yang berlainan harus sesuai. *Mixing* diperlukan dalam produksi ketika serbuk dipadu dengan partikel non-logam. Beberapa proses *mixing* harus dikerjakan dibawah kondisi yang cocok untuk menghindari oksidasi dan kerugian lainnya. Proses ini dilakukan untuk memperoleh hasil serbuk yang homogen.

Ada 3 mekanisme *mixing*, yaitu:

1. Difusi : terjadinya pencampuran karena gerak antar partikel serbuk yang dihasilkan oleh perputaran wadahnya.
2. Konveksi : terjadinya pencampuran karena ulir dalam wadah berputar pada porosnya.
3. Geser : terjadinya pencampuran karena menggunakan media pengaduk.



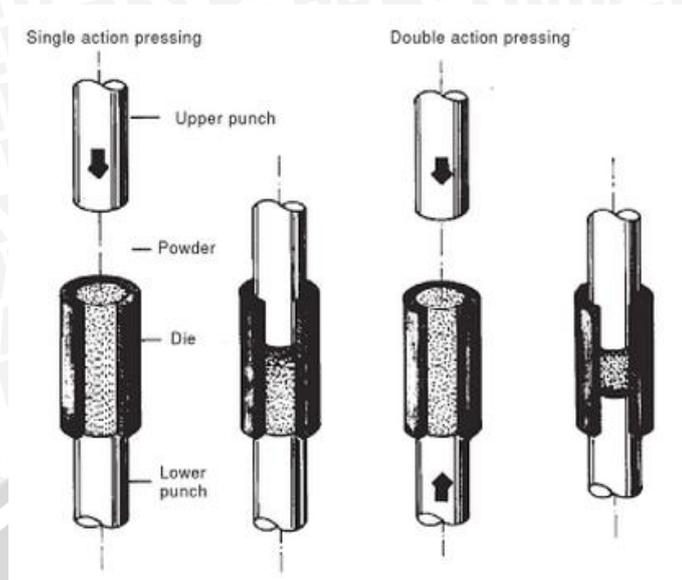
Gambar 2.2 Macam-macam metode *powder mixing*.
Sumber: German (1984).

Akan tetapi, proses *mixing* tanpa ada dampak negatif. Berikut ini adalah dampak negatif yang ditimbulkan:

1. Partikel logam akan sulit dikompaksi.
2. Kontaminasi terhadap serbuk memungkinkan terjadi selama proses.
3. Desain alat yang buruk dapat mengakibatkan segregasi partikel.

2.2.3 Compacting

Compacting adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheksi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (*difusi*) dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. Berat jenis dan kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan yang diberikan, akan tetapi selalu ada tekanan optimum. Diatas tekanan optimum ini terjadi peningkatan sifat-sifat yang sebenarnya tidak berarti lagi. Untuk tekanan yang lebih tinggi diperlukan *die* yang kuat dan mesin pres berkapasitas tinggi, sehingga dengan sendirinya biaya produksi naik karena meningkatnya tekanan yang diperlukan.



Gambar 2.3 Macam metode penekanan.
 Sumber: Upadhyaya (1997: 43).

Bagian yang dikeluarkan dikenal sebagai *green compact* adalah hasil benda kerja, tetapi hanya mempunyai sedikit kekuatan struktur yang diperoleh dari ikatan-ikatan antara partikel *powder* yang dihasilkan dari *compacting*. Kekuatan akhir diperoleh dari proses *sintering*. Proses *sintering* pada *powder* logam menambah *strength* dan memperbaiki struktur dari kristal.

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 (1984)

Pada proses *compacting* ini terdapat juga proses ekstra seperti *isostatic pressing*, *rolling*, dan *forging*. Karena tingkat kepadatan yang dihasilkan akan berbeda. Misalnya *isostatic pressure*, yang dimaksudkan untuk memperoleh *density* yang seragam dari serbuk logam selama proses kompaksi. Teori dari proses ini berdasarkan pada fakta bahwa suatu tekanan yang diaplikasikan pada suatu fluida yang statis akan



menyebabkan gaya-gaya yang bereaksi pada semua arah dan sama besar. Serbuk logam ditekan dengan fluida bertekanan tinggi dengan tujuan untuk memperoleh produk yang kepadatannya merata. Serbuk yang dapat diceetak dengan menggunakan cara ini adalah aluminium, magnesium, beryllium, iron, tungsten, dan baja stainless. Keuntungan dari proses *isostatic pressing* adalah meningkatkan tingkat kepadatan dan mampu menangani benda produk berukuran besar. Sedangkan kerugian dari proses *isostatic pressing* adalah toleransi yang besar pada bentuk yang besar, lebih banyak biaya dan waktu, serta hanya untuk produksi benda dalam jumlah yang sedikit (< 10.000 per tahunnya).

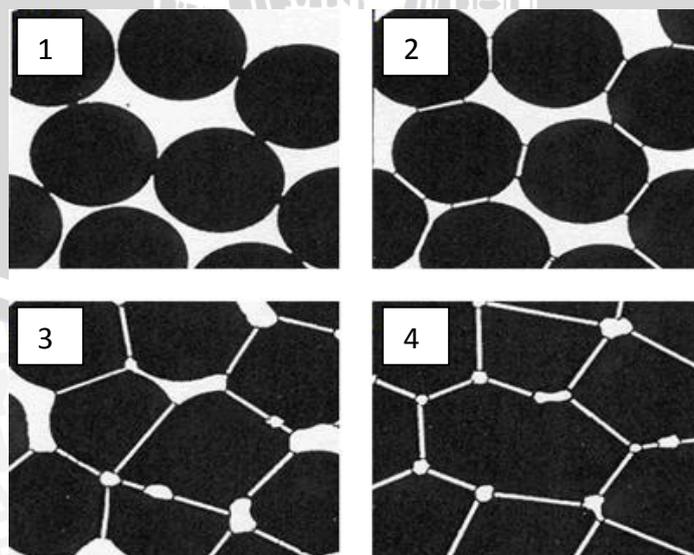
Isostatic pressing sendiri terbagi atas dua yaitu: *Hot Isostatic Pressing* (HIP) dan *Cold Isostatic Pressing* (CIP). HIP dilakukan pada temperatur dan tekanan yang tinggi, menggunakan gas seperti argon atau helium sebagai media kompaksi. Cetakan atau *die* terbuat dari lembaran logam yang tahan terhadap suhu sinter. Proses HIP merupakan gabungan antara proses kompaksi dan *sintering*.

Dalam proses CIP serbuk dituangkan ke dalam cetakan yang biasanya terbuat dari bahan yang elastic seperti *polyurethane* dan kemudian diletakkan dalam cairan (biasanya menggunakan air) sebagai media penekannya. Hal ini mengindikasikan tekanan diterapkan sama ke segala arah, dan tidak ada yang perlu dipertanyakan lagi masalah gesekan dinding cetakan, pelumas yang dibutuhkan sehingga teori densitas dapat diperoleh. Karena rasio kompresi yang tinggi diantara serbuk dan hasil kompaksi jauh lebih kecil dari cetakan, kemudian tekanan dihilangkan, produk hasil kompaksi dapat dilepaskan tanpa mengalami kesulitan. Lalu produk hasil kompaksi dapat disinter dengan cara normal, karena mengingat tidak adanya pelumas yang diberikan serta lilin tidak menjadikan sebuah masalah yang besar. Berbeda dengan *injection moulding*, proses CIP biasanya tidak menghasilkan benda yang mempunyai akurasi tinggi.

2.2.4 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan produk hasil kompaksi sampai temperatur tinggi dibawah titik lebur serbuk hasil kompaksi. Pada umumnya temperature sinter yang digunakan berkisar pada 70% sampai 90% dari titik lebur serbuk yang digunakan. Proses ini mengakibatkan bersatunya partikel-partikel, sehingga menyebabkan kepadatannya bertambah. Selama proses ini terdapat beberapa tahapan yang terjadi, yakni:

1. *Point contact*, pada tahap ini terjadi perpindahan atom melalui titik kontak antar serbuk yang bersentuhan dan kekuatan ikatannya pun masih terhitung lemah. Semakin tinggi berat jenis *green compact* maka luas daerah kontak pun semakin besar sehingga ikatan antar serbuk akan semakin meningkat pula.
2. *Initial stage*, merupakan tahap dimana leher (daerah kontak antar serbuk) akan tumbuh hingga mencapai rasio X/D sebesar 0,3. Pada tahap ini pula pori mulai terpisah karena titik kontak membentuk batas butir. Selain itu, terjadi pula penyusutan, pengurangan luas permukaan, dan pepadatan.
3. *Intermediate stage*, tahap dimana penutupan dan pembulatan pori terjadi. Pertumbuhan butir dan penghalusan pori juga terjadi pada tahap ini. Akan tetapi hal ini bergantung pada lamanya waktu dan tinggi rendahnya temperatur yang digunakan pada proses sinter. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan sinter serta semakin kecil partikel serbuk, maka ikatan dan densifikasi yang terjadi akan semakin tinggi.
4. *Final stage*, pada tahapan ini proses berjalan lambat. Pori-pori yang bulat menyusut dengan adanya mekanisme difusi ruah (*bulk diffusion*). Proses ini berhubungan dengan pepadatan yang terjadi. Tahap ini akan mengakibatkan penurunan volume dari bakalan hasil sinter yang menyebabkan menjadi lebih padat. Dengan waktu pemanasan yang berlangsung lama, pengkasaran pori akan menyebabkan ukuran pori rata-rata akan meningkat, sedangkan jumlah pori akan berkurang. Apabila pori memiliki gas yang terperangkap maka kelarutan gas dalam matriks akan mempengaruhi laju pengurangan pori.



Gambar 2.4 Tahapan *sintering*.
Sumber: German (1984).

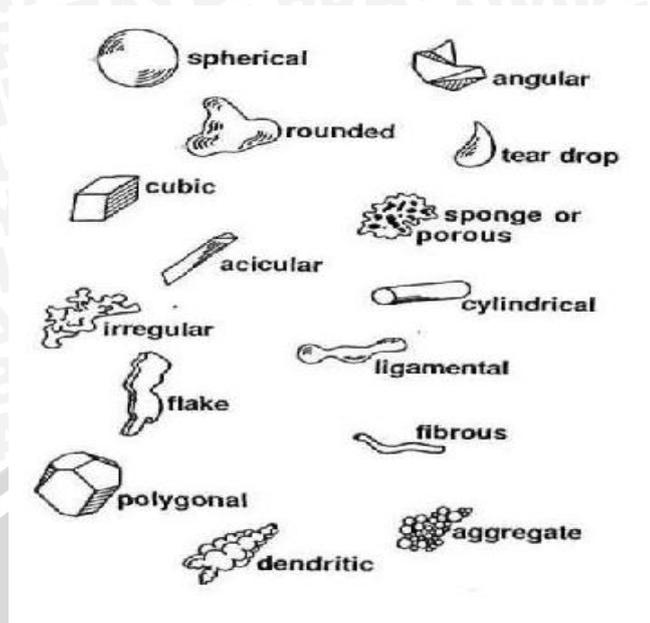
2.3 Karakteristik Serbuk Logam

Ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam, mempengaruhi karakter dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat menurut spesifikasi antara lain bentuk, ukuran dan distribusi ukuran partikel, mampu alir (*flowability*), sifat kimia, mampu tekan (*compressibility*), berat jenis (*density*) dan sifat sinter.

2.3.1 Bentuk Serbuk

Bentuk partikel serbuk merupakan faktor penting terhadap sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan, mampu alir, dan mampu tekan. Bentuk partikel yang besar mempengaruhi besarnya kontak antar partikel sehingga besarnya gaya gesekan antar partikel dihubungkan dengan luas permukaan partikel serbuk. Bentuk serbuk aluminium yang dihasilkan tergantung pada bagaimana serbuk itu dihasilkan. Berdasarkan standar ISO bentuk serbuk dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Spherical* : berbentuk bulat
2. *Angular* : berbentuk polyhedral kasar dengan tepi tajam
3. *Acicular* : berbentuk jarum
4. *Irregular* : berbentuk tidak beraturan atau tidak mempunyai simetri
5. *Flake* : berbentuk serpihan
6. *Fibrous* : berbentuk serabut yang beraturan atau tidak beraturan
7. *Dendritic* : berbentuk kristalin dan bercabang
8. *Granular* : berbentuk serbuk tidak beraturan dan hampir bulat
9. *Nodular* : berbentuk bulat dan tidak beraturan



Gambar 2.5 Macam-macam bentuk serbuk.
Sumber: German (1984).

2.3.2 Ukuran dan Distribusi Partikel Serbuk

Ukuran partikel dapat didefinisikan sebagai ukuran linear partikel oleh analisa ayak. Ukuran disini akan menentukan besar-kecilnya porositas dan densitas, serta sifat mekanik dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*). Semakin kecil (halus) ukuran partikel serbuk, maka densitas *green compact* akan semakin besar. Serbuk logam yang sesuai untuk proses metalurgi serbuk umumnya memiliki ukuran dengan kisaran antara 0,1-1000 μm .

Tabel 2.2 Standar Ukuran Partikel Serbuk

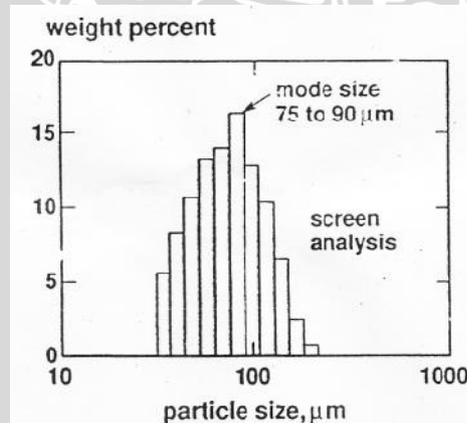
Sieve designation, mesh	Sieve openings	
	μm	in.
30	600	0.0232
40	425	0.0164
50	300	0.0116
60	250	0.0097
80	180	0.0069
100	150	0.0058
140	106	0.0041
200	75	0.0029
230	63	0.0024
325	45	0.0017

Sumber : ASTM E 11

Beberapa pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakteristik serbuk, antara lain:

- Ukuran partikel yang halus sangat diperlukan untuk kompaksi serbuk yang keras atau getas seperti tungsten dan alumina karena semakin tinggi gesekan partikel akan membantu meningkatkan kekuatan adhesi *green compact* untuk memudahkan dalam proses selanjutnya.
- Serbuk-serbuk yang halus mempunyai luas kontak antar partikel yang lebih banyak sehingga akan meningkatkan mekanisme ikatan antar partikel secara difusi pada saat proses sinter, tetapi sangat sulit memperoleh densitas kompaksi yang seragam dengan luas bagian yang besar.
- Serbuk-serbuk yang kasar memiliki kepadatan yang seragam saat dilakukan kompaksi, akan tetapi luas permukaan kontak antar partikel menjadi kecil yang mengakibatkan difusi pada saat proses *sintering* kurang baik sehingga menyebabkan terjadinya banyak pori dan menurunkan sifat mekanik produk.

Distribusi partikel serbuk adalah pengelompokan besar partikel serbuk dalam berbagai ukuran yang bertujuan untuk menampilkan hasil pengukuran kerapatan maksimal suatu partikel serbuk. Distribusi partikel ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan saling isi serbuk untuk mendapatkan volume terpadat.



Gambar 2.6 Distribusi ukuran partikel.

Sumber: German (1984).

2.3.3 Flowability

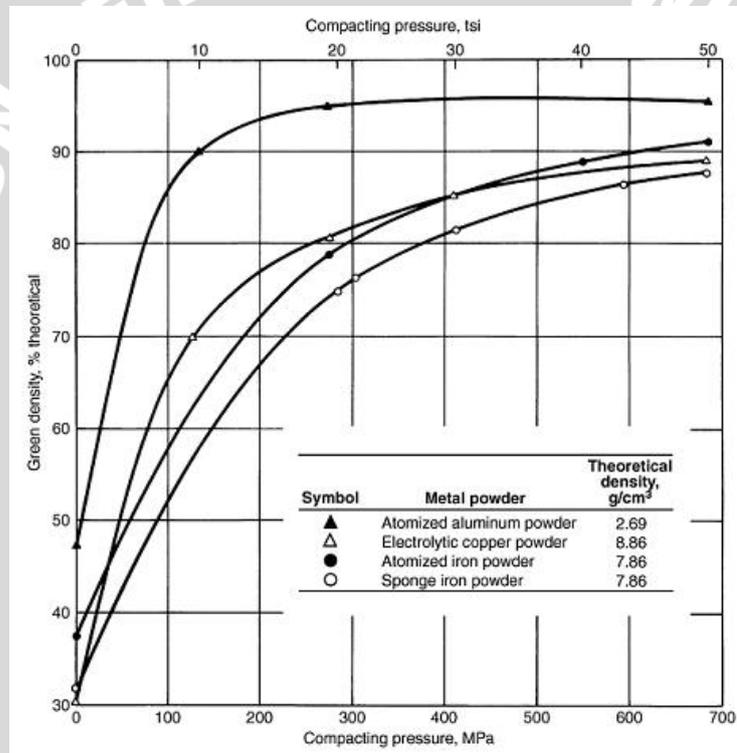
Flowability merupakan salah satu dari karakteristik serbuk yang menggambarkan kemampuan serbuk tersebut memenuhi ruang cetakan dan beberapa faktor yang mempengaruhi adalah bentuk, densitas, distribusi ukuran dan kelembapan serbuk.

2.3.4 Sifat Kimia

Sifat kimia merupakan sebuah spesifikasi yang ada hubungannya dengan kemurnian suatu serbuk logam. Hal ini berkaitan dengan jumlah oksida yang diijinkan dan prosentase elemen lain yang diijinkan.

2.3.5 Compressibility

Compressibility (mampu tekan) merupakan perbandingan antara volume serbuk mula-mula dengan volume serbuk setelah dikompaksi dan nilainya pun berbeda-beda tergantung distribusi ukuran dan bentuk serbuknya. Serbuk yang halus akan memiliki mampu tekan yang lebih tinggi daripada serbuk yang kasar.



Gambar 2.7 Grafik *compressibility* pada macam-macam serbuk logam.
Sumber: *ASM Handbook Vol.7*.

2.3.6 Density

Densitas merupakan tingkat kerapatan dari serbuk. Dalam proses *powder metallurgy* (metalurgi serbuk) terdapat istilah mengenai densitas, diantaranya:

- Apparent density* atau *bulk density* didefinisikan sebagai berat per satuan volume dari serbuk dalam keadaan (relatif) tanpa agitasi.

- b. *Tap density* didefinisikan sebagai berat jenis tertinggi yang dicapai dengan vibrasi tanpa aplikasi tekanan luar.
- c. *Green density* didefinisikan sebagai berat jenis setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk *sintering*.
- d. *Theoretical density* didefinisikan sebagai berat jenis sesungguhnya dari material serbuk ketika tersebut ditekan hingga menghasilkan serbuk tanpa pori.

2.3.7 Sifat Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya. Waktu pemanasan yang dibutuhkan sesuai dengan jenis logam.

2.4 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsure, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Secara industri tahun 1886. Paul Heroult di Perancis dan C. M Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara logam non fero. Produksi aluminium tahunan di dunia mencapai 15 juta ton per tahun pada tahun 1981. 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.

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah, dsb. Material ini dipergunakan dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi, dsb.

Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Aluminium

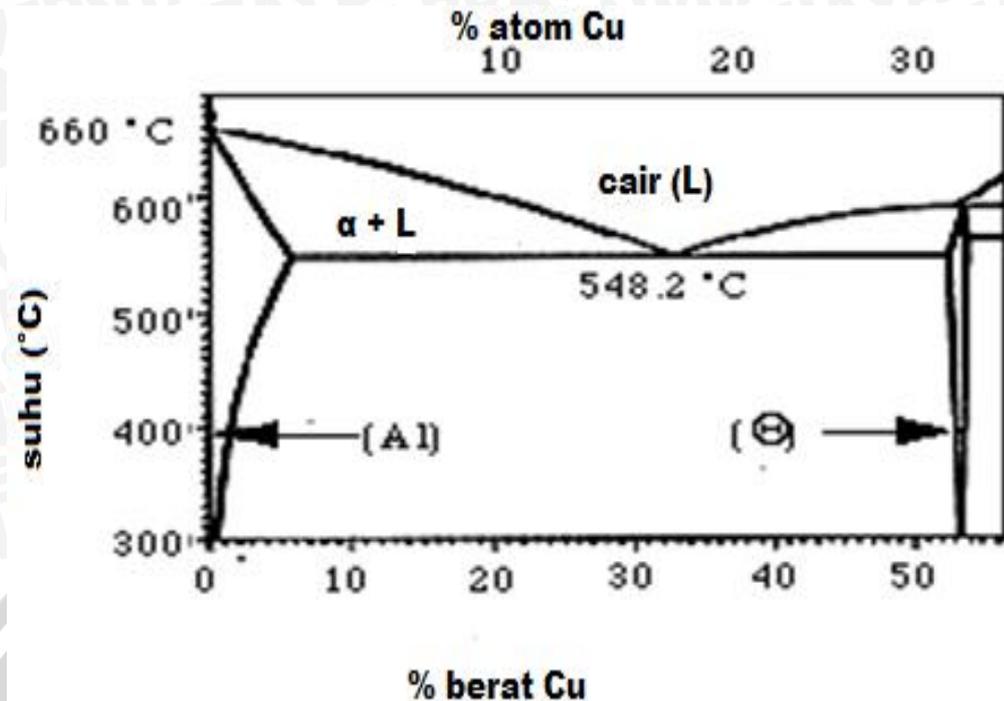
Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm ³) (20 ⁰ C)	2,6989	2,71
Titik cair (⁰ C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g. ⁰ C) (100 ⁰ C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ ⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M / ⁰ C) (20-100 ⁰ C)	23,86 × 10 ⁶	23,5 × 10 ⁶
Jenis kristal, Konstanta kisi	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber: Surdia dan Saito (1999:134)

Unsur-unsur pepadu aluminium antara lain:

a. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya (Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550⁰C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1 %.



Gambar 2.8 Diagram fasa Al/Cu.
Sumber: Callister (1997: 337).

b. Paduan AL-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung Aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476-657 °C.

c. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang meperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia, 1986 :136).

d. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

e. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat

berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut.

f. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan dalam system ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

2.5 Duralumin (Al/Cu)

Duralumin merupakan paduan praktis yang sangat terkenal disebut paduan 2017, komposisi standarnya adalah Al - 4% Cu - 0,5% Mg - 0,5 % Mn. Paduan dimana Mg ditingkatkan pada komposisi standar dari Al-4,5%Cu-1,5%Mg-0,5%Mn dinamakan paduan 2024, nama lamanya disebut duralumin super. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi disebut pelat alklad.

Material juga memiliki sifat ringan, keuletan yang tinggi. 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).

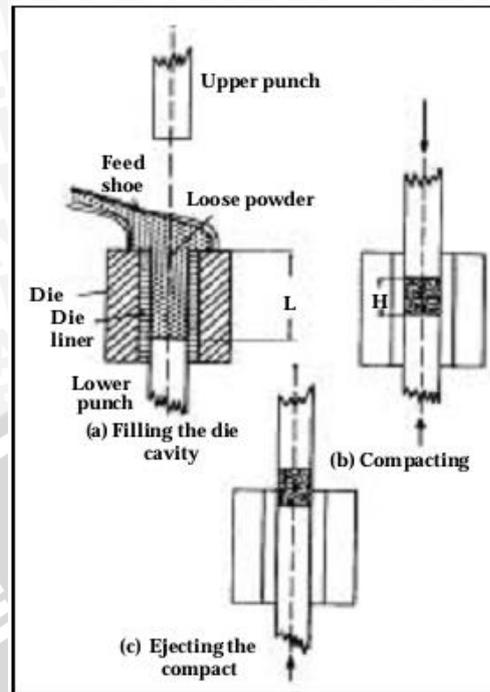
2.6 Compression Ratio

Compression ratio (kr) didefinisikan sebagai perbandingan dari volume serbuk lepas dengan volume dari *green compact*. *Compression ratio* dapat dianggap juga sebagai *compressibility* dari suatu serbuk. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung *kr*:

$$kr = L/H \quad (2-1)$$

dengan:

- L = *height of the loose powder* [cm]
- H = *height of green compact* [cm]
- kr = *compression ratio*



Gambar 2.9 Ilustrasi *compression ratio*.
Sumber: Pease (2005).

Compression ratio ini digunakan sebagai parameter cukup penting dalam sebuah perancangan alat kompaksi. Disamping itu, *kr* juga dapat digunakan untuk menjadikan parameter dalam pembuatan produk hasil kompaksi (*green compact*). Ukuran volume awal serbuk sebelum kompaksi dengan volume akhir serbuk dengan besar tekanan, ukuran serbuk, berat serbuk, dan prosentase berat total dari serbuk yang dipadukan (jika memakai jenis serbuk lebih dari satu) yang sudah ditentukan diawal sebelum proses kompaksi dilangsungkan, inilah yang nantinya menjadi parameter yang digunakan dalam menghasilkan *green compact* yang mempunyai volume akhir yang sama. Dalam sebuah produksi massal hal ini sangatlah penting. *Compression ratio* ini berbeda-beda tiap material, untuk besi dan tembaga berkisar antara 2,5-1. Ruang *die* diisi sampai 3 kali dari tinggi *green compact*.

Compression ratio yang rendah lebih sering dipakai karena beberapa alasan yaitu:

- Ukuran dari cetakan dan peralatan dapat dikurangi
- Kerusakan dan keausan alat dapat dikurangi
- Gerakan dalam kompaksi dapat dikurangi
- Pengisian serbuk dalam cetakan dapat berlangsung dengan cepat, dengan demikian rata-rata produksi yang dicapai semakin besar.

2.7 Magnesium dan Paduannya

Magnesium merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Mg, nomor atom 12 dan massa atom 24,31. Pada table periodik magnesium termasuk dalam golongan alkali tanah. Magnesium murni mempunyai ciri-ciri fisik berwarna putih keperakan, termasuk logam dengan berat 2/3 dari berat logam aluminium. Magnesium mempunyai densitas sebesar $1,738 \text{ gr.cm}^{-3}$, titik lebur sekitar $923 \text{ }^\circ\text{K}$ ($650 \text{ }^\circ\text{C}$, $1202 \text{ }^\circ\text{F}$), titik didih $1363 \text{ }^\circ\text{K}$ ($1090 \text{ }^\circ\text{C}$, $1994 \text{ }^\circ\text{F}$).

Magnesium akan terkorosi jika ditempatkan pada udara terbuka. Meskipun tidak seperti golongan logam alkali, penyimpanan logam magnesium pada wadah bebas oksigen tidak diperlukan. Logam magnesium akan membentuk lapisan magnesium oksida pada permukaannya yang akan mencegah oksidasi lapisan dibawahnya. Lapisan oksida ini cukup *impermeable* dan sulit dihilangkan. Magnesium bereaksi dengan air pada suhu ruang, meskipun bereaksi sangat lambat apabila dibandingkan dengan kalsium. Magnesium bereaksi dengan asam hidroklorida menghasilkan gas hidrogen yang disertai dengan pelepasan panas.

Logam magnesium merupakan logam ketiga yang banyak digunakan setelah besi dan aluminium. Pencampuran magnesium sebagai alloy dapat meningkatkan *strength to weight ratio*. Sehingga campuran Mg-Al banyak digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan komponen dengan massa yang ringan tetapi memiliki kekuatan yang bagus. Pencampuran mangan, thorium, seng atau zirkon juga meningkatkan *strength to weight ratio* (Kulekci, 2007).

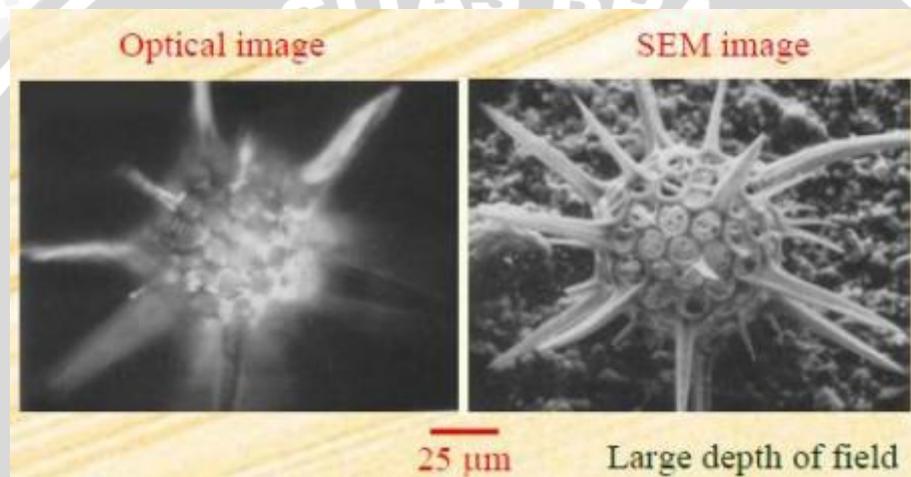
2.8 Analisa Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur dari duralumin yang telah ditambahkan magnesium dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. *Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan mikroskop elekteron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah pemindaian menggunakan mikroskop elektron yang digunakan untuk studi detail obyek secara tiga dimensi. Mikroskop elektron adalah sebuah mikroskop yang mampu untuk melakukan

pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya.

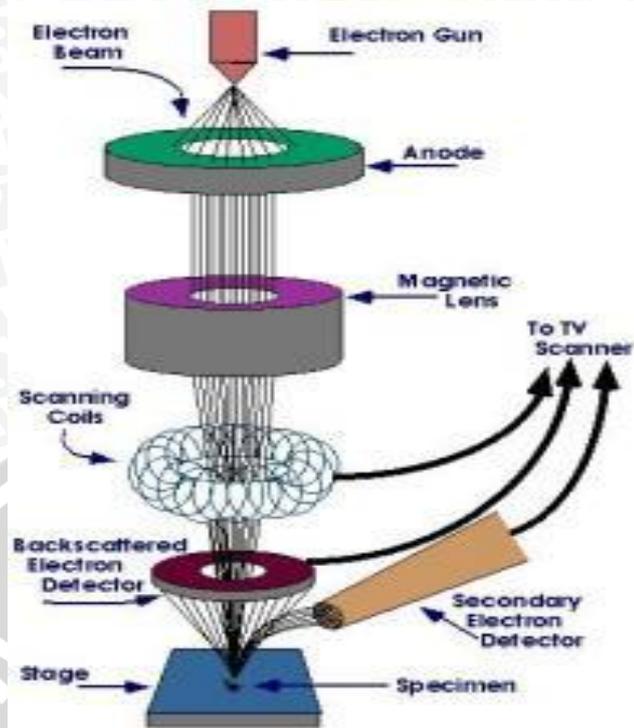
Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Pada gambar 2.9 menunjukkan perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron.



Gambar 2.10 Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dan *electron*.
Sumber: <http://materialcerdas.files.wordpress.com/2009/06/semjp2.jpg?w=199&h=300>

Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat berbagai macam komponen dan beberapa peralatan utama, antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.



Gambar 2.11 Skema *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Sumber: <http://materialcerdas.files.wordpress.com/2009/06/semjp2.jpg?w=199&h=300>

Skema dari SEM di tunjukkan pada gambar 2.9, dimana prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optik 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.

2.9 Hipotesa

Semakin tinggi prosentase kadar magnesium maka akan semakin tinggi pula nilai *green density*-nya dan akan berpengaruh pada nilai dari *compression ratio* dari *green compact*. Fenomena ini pun juga berdampak pada mikrostruktur produk yang akan dihasilkan.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan magnesium terhadap *compression ratio* dan *microstructure* Al/Cu pada proses *powder metallurgy*. Dengan asumsi variabel yang lain 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 ini dilaksanakan pada 14 September 2013 s/d 9 Nopember 2013. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu Laboratorium *Alpha Beta Gamma* () Landungsari Malang, Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya Malang, dan Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian dan dapat mempengaruhi nilai dari variabel terikat.

Variabel bebas yang digunakan adalah variasi kadar Mg sebesar: 0%, 1%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat total serbuk.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah mikrostruktur dan *compression ratio*.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Dalam hal ini yang merupakan variabel kontrol adalah:

- a. Berat serbuk: 20 gr.

- b. Lama waktu kompaksi dan *sintering*: 60 menit
- c. Ukuran serbuk: 0,4-0,49 mm
- d. Tekanan: 560 bar
- e. Suhu *sintering*: 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. Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat dari serbuk.



Gambar 3.1 Timbangan digital.
Sumber: Laboratorium *Alpha Beta Gamma*.

2. SEM digunakan untuk melihat mikrostruktur produk hasil P/M.



Gambar 3.2 *Scanning Electron Microscope*.

Sumber: <http://roibilad.files.wordpress.com/2010/10/sem.jpg>

3. Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi produk.



Gambar 3.4 Jangka sorong.

Sumber: Laboratorium *Alpha Beta Gamma*.

4. Cetakan logam (*die*) digunakan untuk membentuk produk *bushing*.



Gambar 3.4 *Die* (cetakan).

Sumber: Laboratorium *Alpha Beta Gamma*.

5. Mesin kompaksi digunakan untuk proses kompaksi pada serbuk.



Gambar 3.5 Mesin kompaksi.
Sumber: Laboratorium Alpha Beta Gamma.

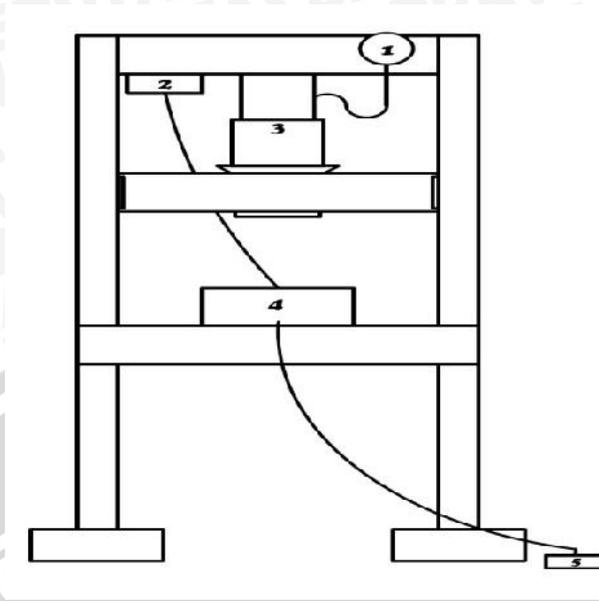
6. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur lamanya waktu penahanan dan waktu sinter.
7. Kuas digunakan untuk mengoleskan oli pada cetakan.
8. Dan alat bantu lain yang digunakan untuk proses pengeluaran cetakan dari mesin pemanas dan spesimen dari cetakan. Seperti kayu, tang penjepit dan sarung tangan.

3.3.2 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Serbuk paduan Al/Cu
2. Serbuk magnesium
3. Oli

3.4 Instalasi Penelitian

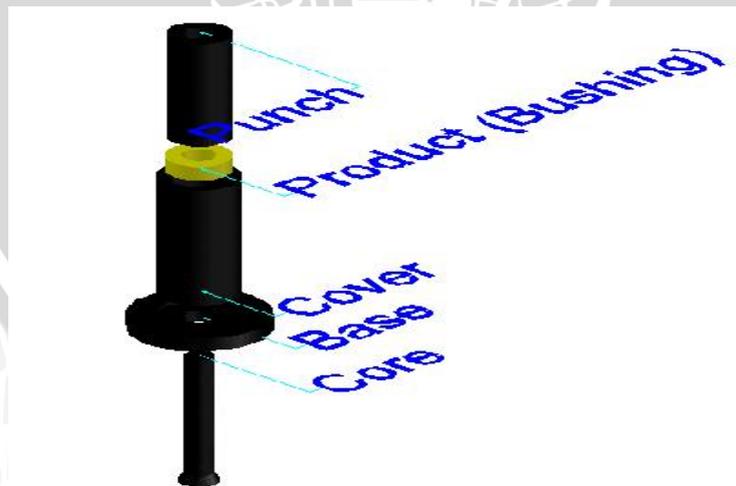


Gambar 3.6 Instalasi penelitian.

Keterangan:

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

3.5 Prosedur Penelitian



Gambar 3.7 Bagian-bagian cetakan

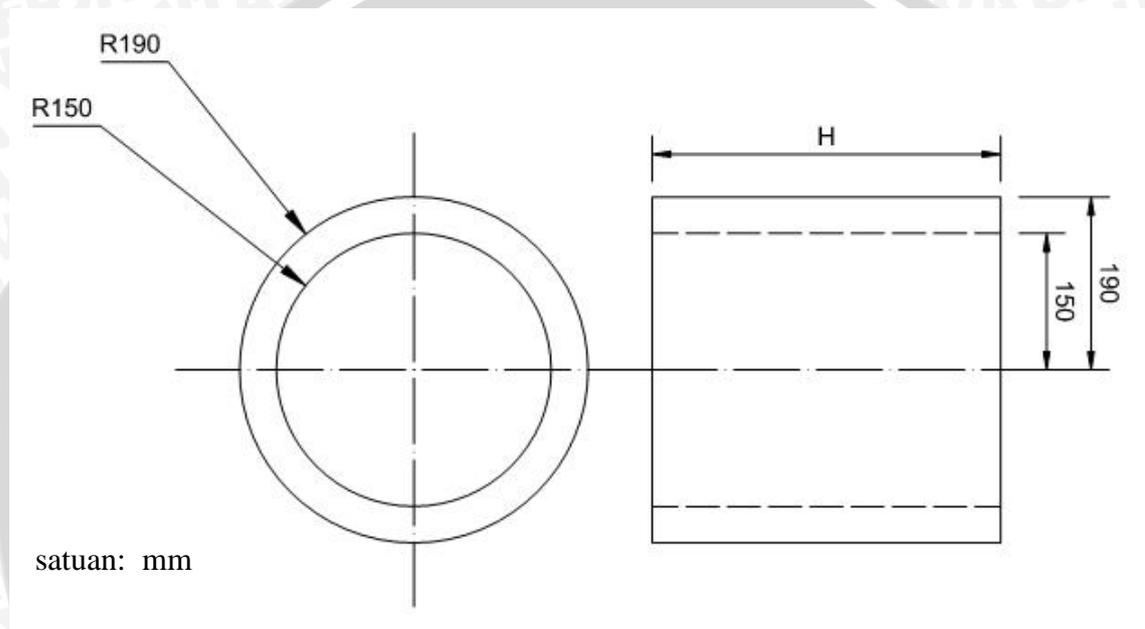
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin dalam kondisi baik.

2. Timbang serbuk paduan Al/Cu seberat 20 gr.
3. Letakkan *core* dan *base* menjadi satu susunan.
4. Letakkan susunan *core* dan *base* ke dalam mesin kompaksi.
5. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga *core*, *base* dan *cover* menjadi satu susunan.
6. Masukkan serbuk logam ke celah antara *cover* dan *core* sampai merata.
7. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover* sehingga *core*, *base*, *cover* dan *punch* menjadi satu susunan.
8. Ukur tinggi L dengan melihat selisih *cover* dan *punch* menggunakan jangka sorong.
9. Berikan tekanan hingga 560 bar pada cetakan dengan menaik-turunkan tuas hidrolik pada mesin kompaksi kemudian tahan selama 60 menit.
10. Jaga tekanan agar tetap konstan dengan menambahkan tekanan jika tekanan berkurang.
11. Setelah waktu habis, lepaskan penekan hidrolik dari cetakan.
12. Ukur tinggi H dengan melihat selisih *cover* dan *punch* menggunakan jangka sorong.
13. Angkat cetakan dari tungku mesin kompaksi.
14. Lepaskan *cover* dari susunan *core* dan *base*.
15. Dorong spesimen dengan *punch* hingga spesimen keluar.
16. Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 14 dengan variasi kadar magnesium yaitu:
1% wt, 2% wt, 4% wt, 6% wt, dan 8% wt
 - Spesimen kedua dilakukan penambahan kadar magnesium sebesar 1% wt.
 - Spesimen ketiga dilakukan penambahan kadar magnesium sebesar 2% wt
 - Spesimen keempat dilakukan penambahan kadar magnesium sebesar 4% wt.
 - Spesimen kelima dilakukan penambahan kadar magnesium sebesar 6% wt.
 - Spesimen keenam dilakukan penambahan kadar magnesium sebesar 8% wt.
17. Masukkan semua spesimen ke dalam dapur pemanas.

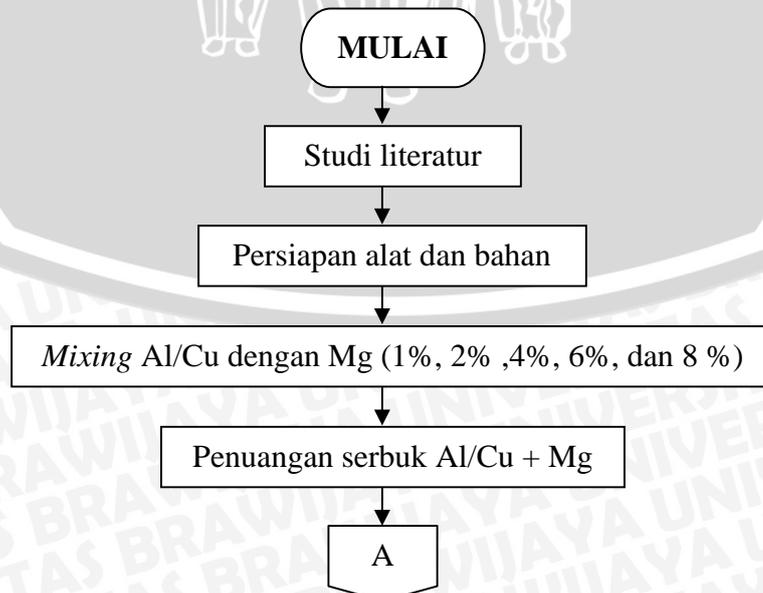
18. Nyalakan dan tutup dapur pemanas, kemudian tunggu hingga temperatur mencapai 500°C , kemudian mulai *timer* dengan waktu 60 menit.
19. Jaga temperatur selama *holding time* dengan memutus/menyambung aliran listrik.
20. Setelah waktu habis, buka penutup dapur dan keluarkan spesimen dari dalam dapur pemanas.

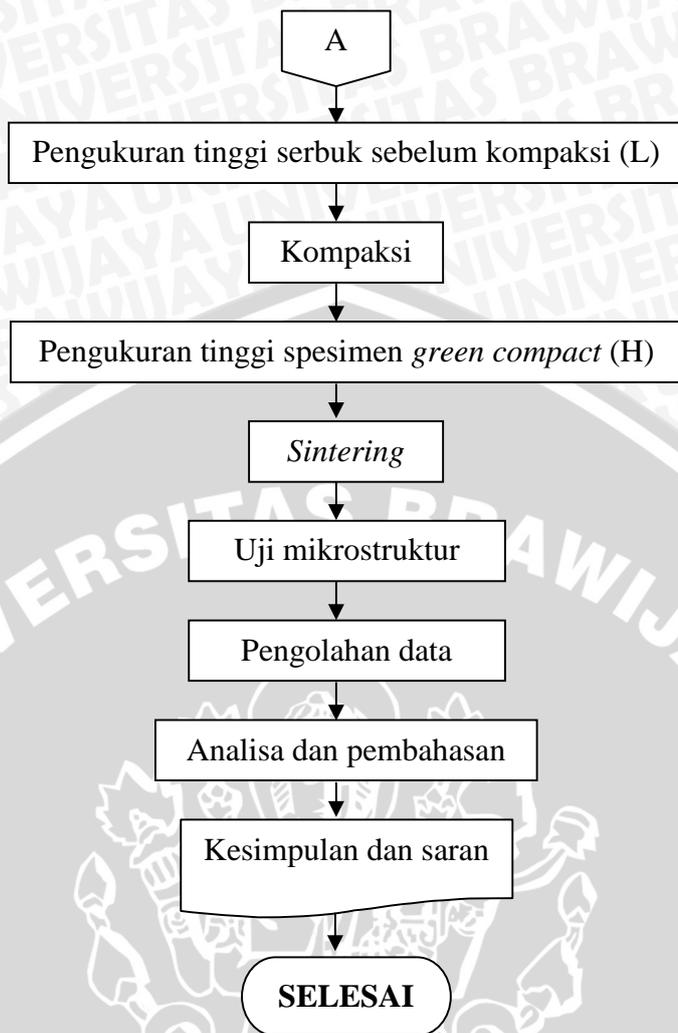
3.6 Dimensi Spesimen



Gambar 3.8 Dimensi *bushing*

3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.9 Diagram alir penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Mg Terhadap *Compression Ratio*

Dari hasil pengukuran tinggi *loose powder* (L) dan tinggi spesimen *green compact* (H) yang telah dilakukan didapat nilai *compression ratio* (*kr*) seperti pada tabel 4.1 dan 4.2. Pengukuran tinggi masing-masing variasi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada titik yang berbeda. Nilai *kr* yang didapat, diperoleh dengan mencari rata-rata nilai *kr* pada tiap-tiap spesimen.

Tabel 4.1 Data Pengukuran *Loose Powder* dan Spesimen *Green Compact*

Kadar Mg (% wt)	Ulangan	L [cm]	H [cm]
0	1	4.51	2.55
	2	4.67	2.57
	3	4.41	2.53
Jumlah		13.59	7.65
Rata-rata		4.53	2.55
1	1	4.5	2.39
	2	4.6	2.35
	3	4.55	2.37
Jumlah		13.65	7.11
Rata-rata		4.55	2.37
2	1	4.57	2.14
	2	4.61	2.14
	3	4.41	2.11
Jumlah		13.59	6.39
Rata-rata		4.53	2.13
4	1	4.29	1.75
	2	4.37	1.78
	3	4.33	1.81
Jumlah		12.99	5.34
Rata-rata		4.33	1.78

6	1	4.54	1.63
	2	4.53	1.72
	3	4.55	1.81
Jumlah		13.62	5.16
Rata-rata		4.54	1.72
8	1	4.75	1.73
	2	4.75	1.76
	3	4.75	1.76
Jumlah		14.25	5.25
Rata-rata		4.75	1.75

Data yang dihasilkan dari pengukuran L dan H akan dihitung dengan menggunakan rumus (2-1) sebagai berikut:

$$kr = L/H$$

dengan:

L = height of the loose powder [cm]

H = height of green compact [cm]

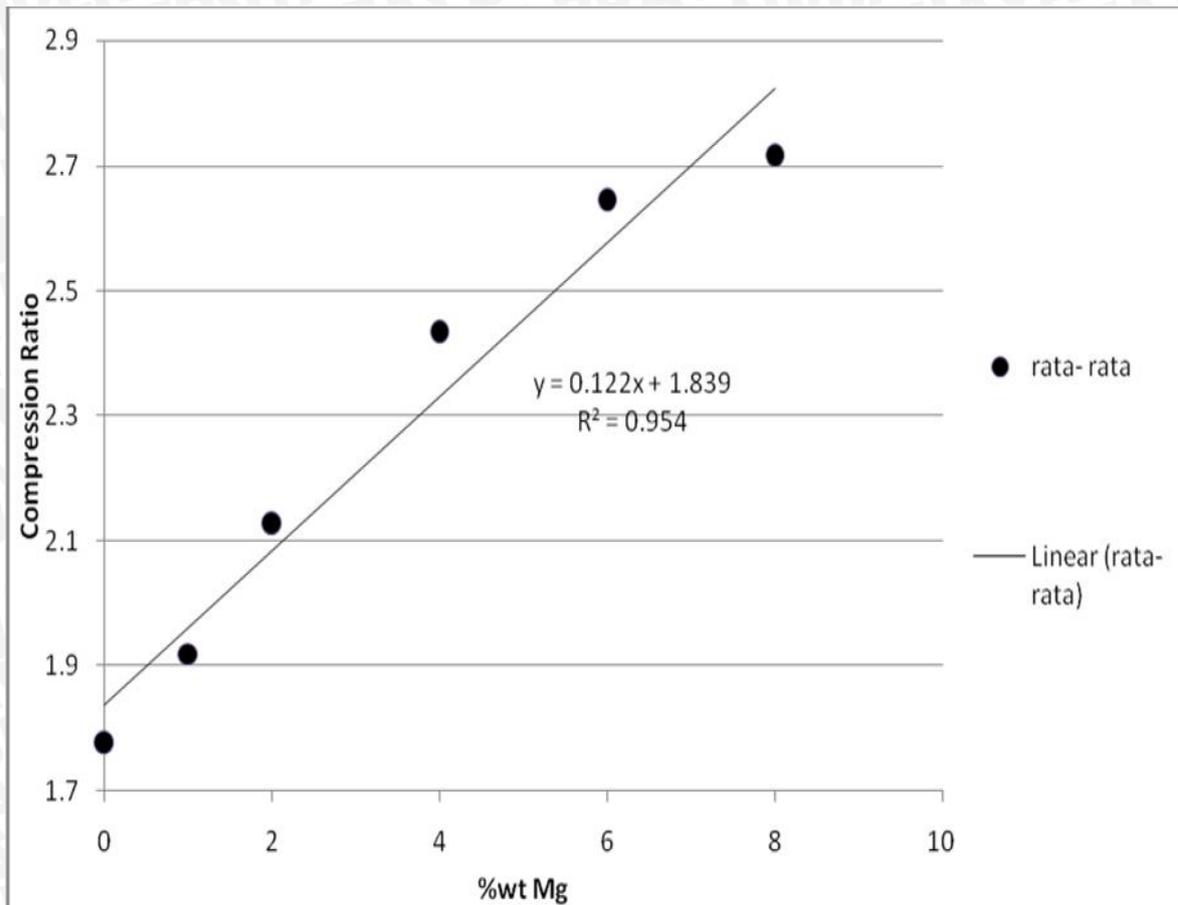
kr = compression ratio

Tabel 4.2 Compression Ratio (kr)

Pengulangan	Mg (%wt)					
	0	1	2	4	6	8
1	1.769	1.883	2.136	2.451	2.785	2.746
2	1.817	1.957	2.154	2.455	2.634	2.699
3	1.743	1.920	2.090	2.392	2.514	2.699
Rata-rata	1.776	1.920	2.127	2.433	2.644	2.714

Perhitungan *compression ratio* menggunakan data pengulangan pertama dengan prosentase berat kadar Mg 1% wt, menggunakan rumus (2-1):

$$= \frac{4,50 \text{ cm}}{2,39 \text{ cm}} = 1,883$$

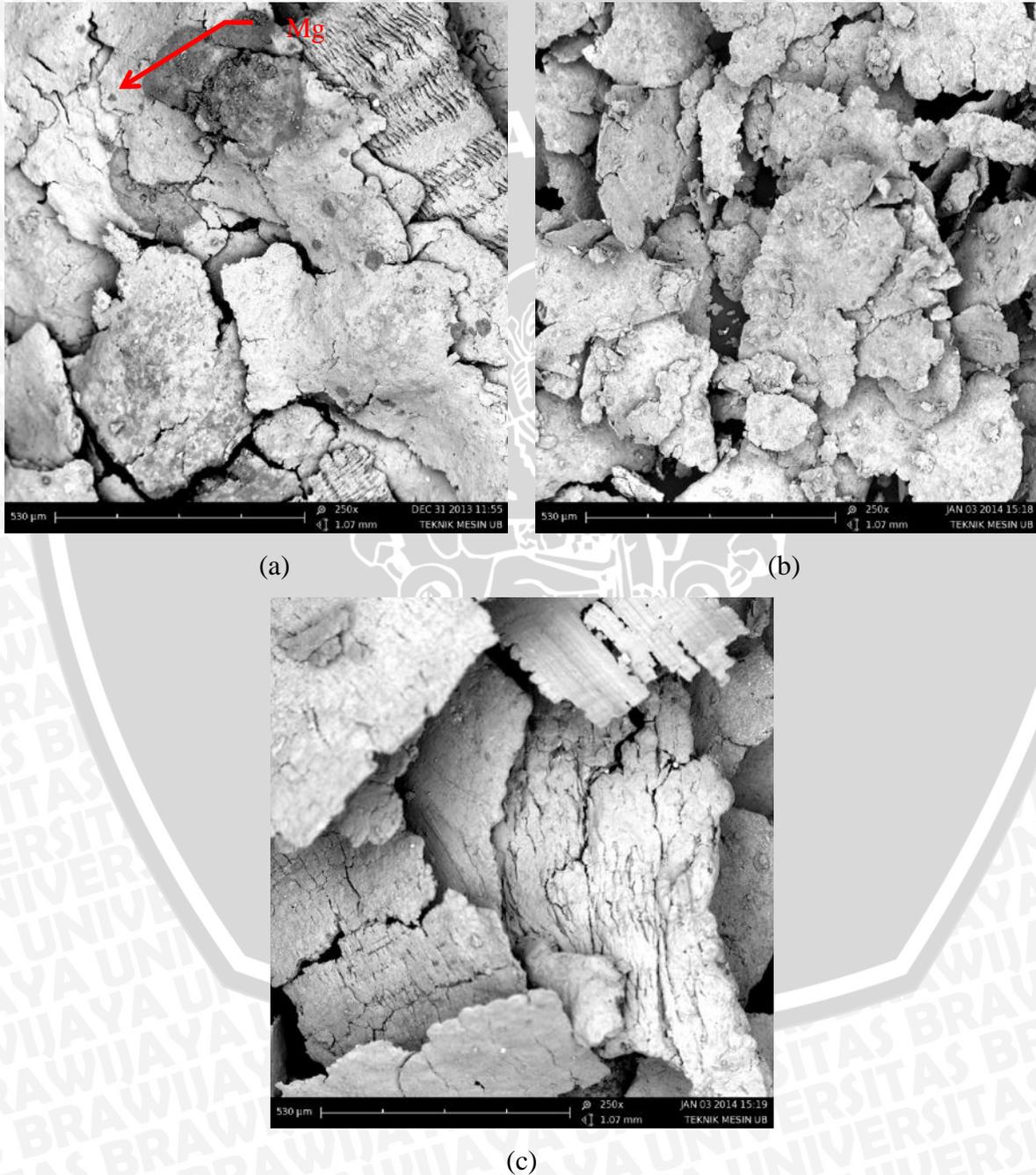


Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Kadar Mg Terhadap *Compression Ratio*.

Dapat dilihat pada grafik bahwa terdapat pengaruh penambahan kadar magnesium pada Al/Cu terhadap nilai *compression ratio*. Pada tabel 4.2 terlihat bahwa nilai *compression ratio* (*kr*) yang paling rendah, yakni 1,743 dan yang paling tinggi ialah 2,785. Dapat diketahui bahwa penambahan kadar magnesium 1%wt sampai dengan 8%wt menunjukkan peningkatan nilai *kr*. Pada penambahan 1%wt mempunyai nilai *kr* 1,883-1,957. Nilai *kr* semakin meningkat pada penambahan 2%wt yakni sebesar 2,090-2,154. Begitu pula yang terjadi pada penambahan magnesium sebesar 4%wt, 6%wt, 8%wt pun semakin meningkat hingga 2,785, hal ini terlihat pada kadar 6%wt pengulangan 1.

Akan tetapi, peningkatan ini rata-rata tidak terlalu drastis mengingat selisih penambahan magnesium juga tidak terlalu besar. Namun, peningkatan *compression ratio* ini dapat terlihat cukup jelas dan berkisar antara angka 0,1-0,4. *Compression ratio* rata-rata dari variasi penambahan 0%, 1%, 2%, 4%, 6% dan 8%wt yang dihasilkan berturut-turut sebesar 1,776; 1,920; 2,127; 2,433; 2,644; dan 2,714. Fenomena seperti ini dapat terjadi karena densitas yang dimiliki duralumin dan magnesium pada saat sebelum dan setelah ditekan akan berbeda. Magnesium memiliki densitas yang lebih rendah daripada

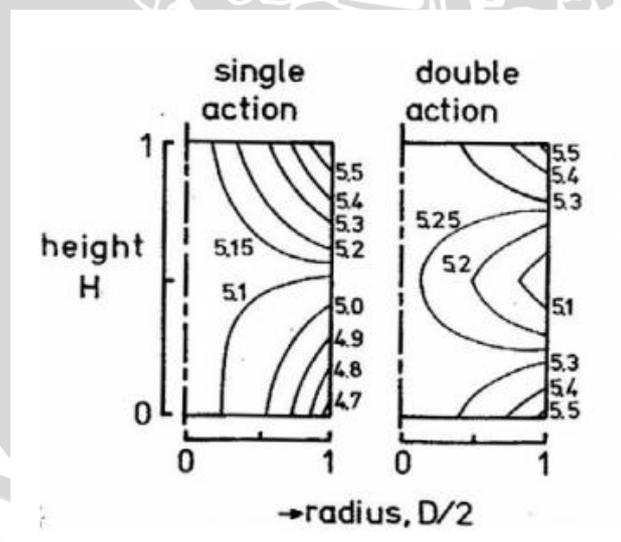
aluminium, yaitu sebesar $1,738 \text{ gr/cm}^3$ dibandingkan dengan $2,700 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini menyebabkan serbuk Al/ Cu yang diberi tambahan magnesium akan menambah densitas dari *green compact* dan ini dibuktikan pada tabel data diatas tinggi dari H (*green compact*) semakin berkurang, ketika kadar magnesium yang dicampurkan semakin bertambah. Sehingga, nilai *compression ratio* (L/H) yang dimiliki oleh *green compact*-pun semakin tinggi pula. Hal ini ditunjukkan oleh penambahan 8%wt magnesium, nilai *compression ratio* yang dihasilkan rata-rata sebesar 2,714.



Gambar 4.2 Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk serbuk Al/Cu+Mg yang sudah ditekan (a), serbuk Mg sebelum ditekan (b), dan Al/Cu sebelum ditekan (c).

Kekuatan dari magnesium juga dapat mempengaruhi nilai *compression ratio* (*kr*). Karena, pada saat proses kompaksi terjadi penataan ulang serbuk, deformasi elastis dan plastis, penghancuran serta pemadatan serbuk yang diikuti dengan peningkatan densitas dan penurunan porositas karena rongga yang terbentuk akan semakin berkurang. Nilai kekuatan tarik dari duralumin sekitar 507 MPa sedangkan magnesium memiliki nilai kekuatan tarik sekitar 186,33 MPa. Maka dari itu serbuk magnesium mempunyai kecenderungan lebih untuk hancur terlebih dahulu daripada Al/Cu (*duralumin*). Hal ini dapat dibuktikan pada gambar 4.2 (a) terlihat banyaknya serpihan serbuk magnesium yang telah dikompaksi dan pada gambar 4.2 (b) dan (c) digunakan sebagai pembanding. Pada gambar 4.2 juga terlihat bahwa ukuran serbuk magnesium lebih kecil dibandingkan dengan serbuk Al/Cu. Fenomena seperti inilah yang menyebabkan tinggi dari H ataupun *green compact* semakin berkurang saat serbuk magnesium prosentase campurannya semakin besar. Dan tentunya *compression ratio* yang dihasilkan pun akan semakin besar pula.

Terdapat studi kasus ketika proses pengeluaran spesimen setelah kompaksi, yaitu rusaknya spesimen pada bagian bawah yang bersentuhan dengan dinding *base*. Hal ini dapat terjadi karena pada bagian tersebut serbuk Al/Cu+Mg mengalami pendistribusian densitas yang kurang merata. Pendistribusian yang kurang merata ini disebabkan karena menggunakan metode *single punch*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3.

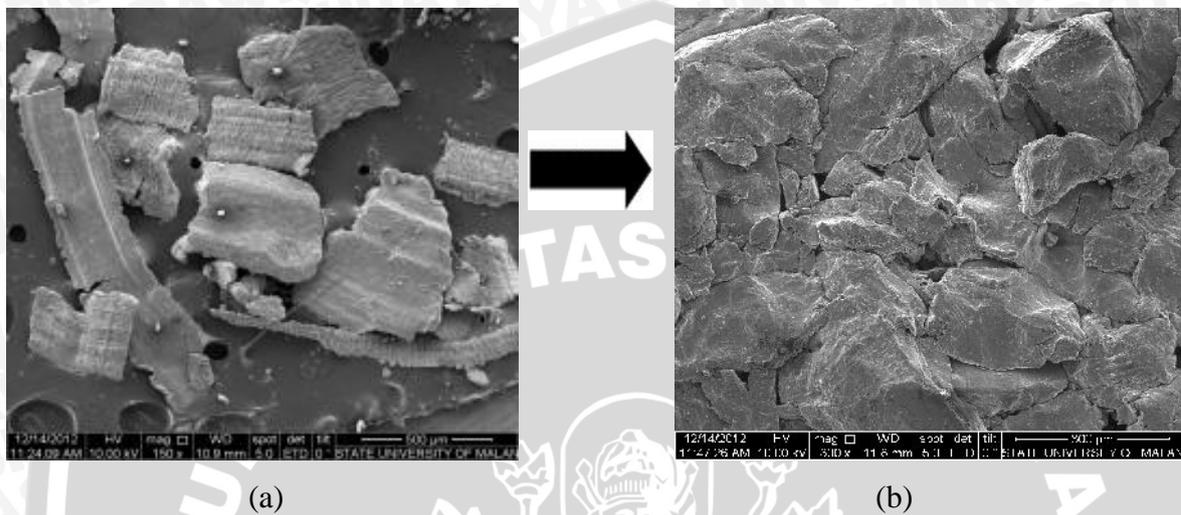


Gambar 4.3 Ketidakhomogenan densitas terhadap proses kompaksi.
Sumber: German (1984).

4.2 Pengaruh Variasi Kadar Mg Terhadap *Microstructure*

Pada saat setelah dilakukannya proses kompaksi, serbuk yang telah padat (*green compact*) akan dilanjutkan melalui proses *sintering*. Pada proses *sintering* serbuk akan

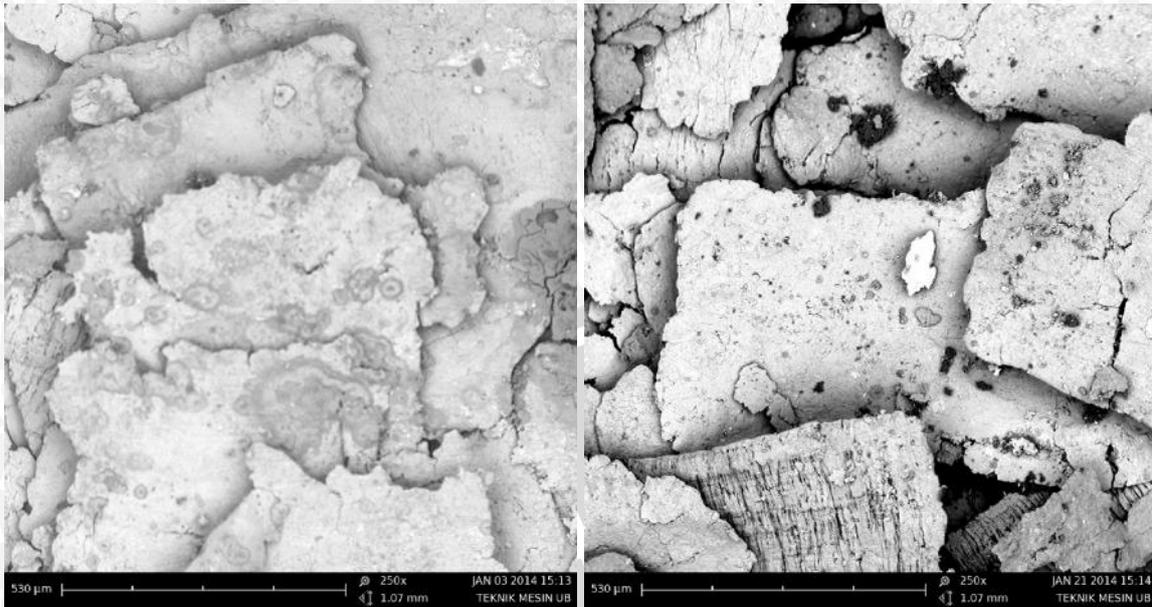
mengalami proses penyatuan antara serbuk yang satu dengan serbuk yang lainnya. Untuk melihat penyatuan serbuk yang telah terjadi maka perlu dilakukan pengamatan struktur secara mikro, seperti pada gambar 4.4. Pengamatan struktur mikro ini dilakukan pada spesimen yang sudah divariasikan prosentase berat serbuk magnesium dari berat total serbuk campuran.



Gambar 4.4 (a) Hasil Foto SEM serbuk sebelum proses metalurgi serbuk. (b) Hasil Foto SEM serbuk setelah proses metalurgi serbuk.

Sumber: Listiawati (2013).

Pada hasil perhitungan *compression ratio* (kr) akibat adanya variasi kadar magnesium menunjukkan bahwa semakin besar prosentase kadar magnesium hingga 8% wt yang ditambahkan maka semakin besar kerapatan (densitas) yang dimiliki oleh spesimen. Dan hal ini ditunjukkan dari tinggi serbuk sebelum kompaksi lebih kecil dari tinggi serbuk setelah adanya kompaksi. Selanjutnya setelah proses sintering maka dapat dipastikan kemungkinan ikatan yang terjadi antar serbuk akan semakin banyak dan kuat. Hal ini akan berpengaruh terhadap densitas dan kekerasan pada spesimen karena timbulnya *necking* antar serbuk, dan menjadikan spesimen ini akan mempunyai porositas yang semakin sedikit dan kekerasannya semakin meningkat.



a)

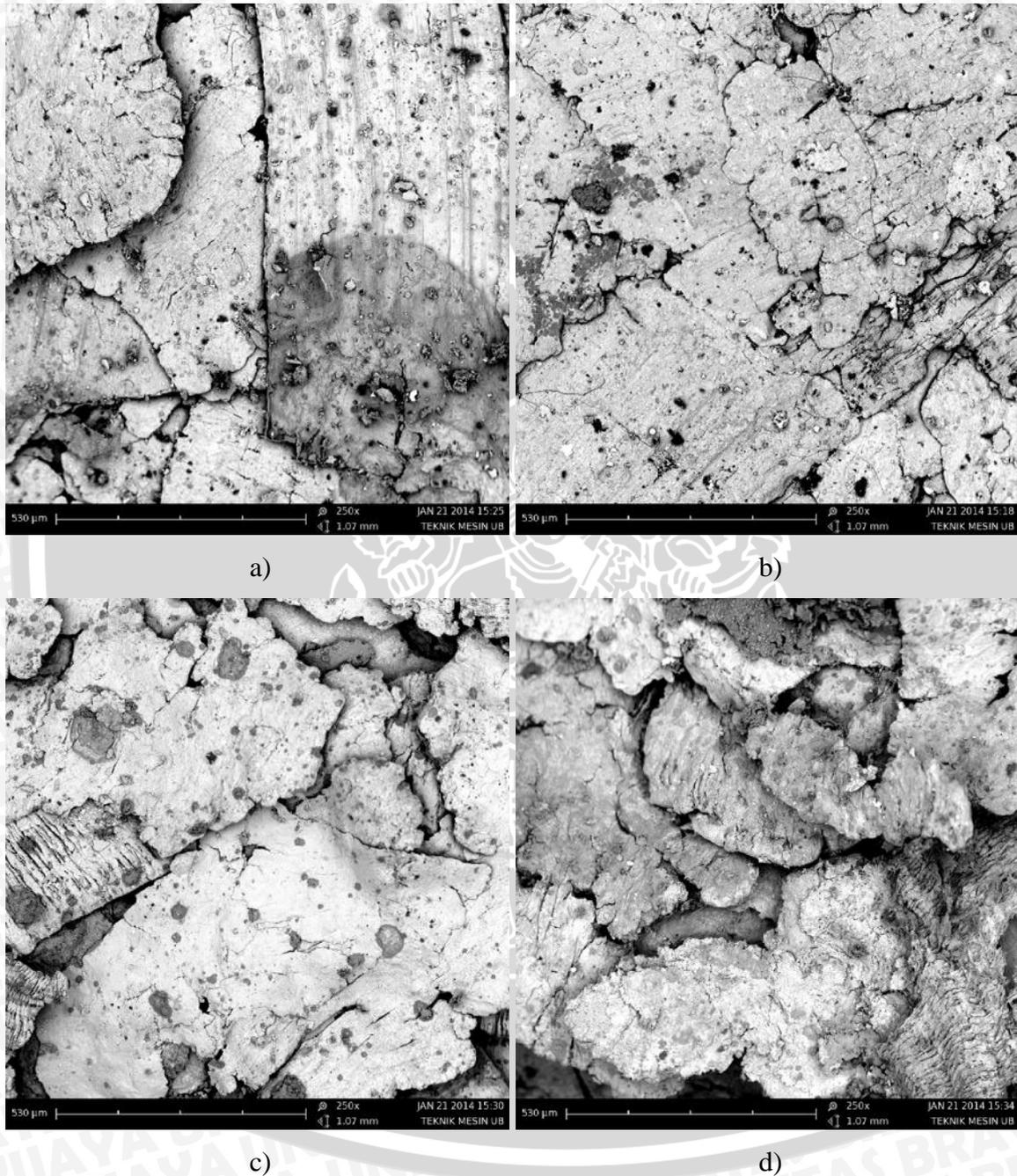
b)

Gambar 4.5 Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk kadar magnesium 0% a) dan kadar magnesium 1% wt b).

Pembuatan *bushing* ini dibuat dengan metode *cold compaction* dengan tekanan 560 bar yang kemudian dilanjutkan proses sintering dengan menggunakan suhu 500°C dan diholding selama 1jam dirasa sudah mampu membentuk *neck* pada tiap serbuk. Pada penambahan magnesium sebesar 1%wt menghasilkan ikatan antar serbuk yang lebih sedikit daripada 2%wt. Hal ini dapat dilihat dari ukuran tinggi serbuk hasil kompaksi kadar 2%wt lebih kecil daripada ukuran tinggi serbuk hasil kompaksi kadar 1%wt yang menunjukkan hasil lebih besar, dengan angka rata-rata 2,37 cm. Hal ini juga dapat dilihat pada gambar 4.5 b) dan gambar 4.6 a) yang menunjukkan adanya beberapa permukaan singgung kadar 1% lebih sedikit dibandingkan dengan kadar 2%.

Pada kadar 4%wt memiliki tinggi serbuk rata-rata hasil kompaksi yang lebih kecil dibandingkan dengan 1%wt dan 2%wt, yaitu sebesar 1,78 cm. Hal ini juga didukung dengan hasil foto SEM dengan perbesaran 250x pada gambar 4.6 b) yang menunjukkan adanya kontak antar serbuk yang lebih banyak daripada kadar 1% dan 2%. Sampel ini dirasa cukup untuk membuktikan bahwa densitas hasil kompaksi akan naik seiring dengan penambahan kadar magnesium. Hal inilah yang nantinya mempengaruhi banyak tidaknya ikatan yang dihasilkan antar serbuk pada saat proses *sintering*. Karena densitas yang semakin besar menunjukkan bahwa kontak antar permukaan serbuk semakin besar pula dan memungkinkan membentuk ikatan yang semakin banyak antar serbuknya. Akan tetapi,

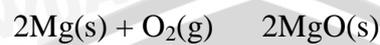
hasil produk setelah sintering dari semua variasi kadar Mg sangatlah rapuh dan sangat mungkin ikatan yang dihasilkan belum begitu sempurna. Hal ini dimungkinkan pada suhu 500°C belum cukup untuk membuat antar serbuk tersebut membentuk ikatan dan menghasilkan spesimen yang kuat.



Gambar 4.6 Hasil foto SEM perbesaran 250x untuk kadar magnesium: a) 2% wt, b) 4% wt, c) 6% wt, dan d) 8% wt.

Terlihat bahwa ikatan antar butiran yang terbentuk pada kadar 2% masih sedikit pada gambar 4.6 a). Kondisi ini berbanding terbalik dengan kadar 4% yang diduga

memiliki ikatan yang lebih banyak dari kadar 2% yang diindikasikan melalui kerapatan antar serbuk pada spesimen pada saat proses kompaksi. Dan seharusnya ikatan antar serbuk yang lebih banyak dapat ditunjukkan berturut-turut oleh kadar 6% dan 8% dibandingkan dengan kadar 4%, 2% serta 1%. Akan tetapi, pada kadar 6% dan 8% memungkinkan adanya Mg yang berikatan dengan (O₂) membentuk MgO setelah dilakukannya proses *sintering*, seperti pada rumus kimia ini:



Adanya MgO menunjukkan telah hadir oksigen pada dalam tungku pemanas ataupun MgO ini sudah ada pada saat serbuk belum diberikan tekanan atau mungkin sebelum proses *sintering* atau bisa juga terdapat pengotor dalam tungku pemanas. MgO ini mengakibatkan berkurangnya kekuatan dari spesimen, dimana secara fisik ditunjukkan dengan kondisi spesimen yang semakin tinggi setelah proses *sintering*. (Hafizah dan Faisal, 2012)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pengaruh variasi kadar Mg terhadap *compression ratio* dan *microstructure* duralumin pada proses *powder metallurgy*, semakin tinggi kadar yang ditambahkan pada duralumin sampai 8%wt akan dapat meningkatkan *compression ratio* (*kr*). Hal ini dapat dibuktikan dari nilai *compression ratio* rata-rata yang dihasilkan oleh penambahan kadar 1%, 2%, 4%, 6%, dan 8%wt berturut-turut adalah 1,920; 2,127; 2,433; 2,644; dan 2,714. Kondisi ini dapat mengakibatkan terjadinya kontak antar serbuk yang semakin banyak dan memungkinkan terjadinya *necking* yang lebih banyak juga antar serbuknya. Akan tetapi pada kadar 6% dan 8% terjadi penambahan tinggi pada produk saat sintering karena adanya udara yang berikatan dengan Mg membentuk MgO.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti menyarankan penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut proses *powder metallurgy* dengan menggunakan metode *hot pressing* pada aluminium paduan dengan penambahan magnesium.
2. Perlu dilakukan kontrol yang teliti terhadap tungku pemanas agar lebih akurat dalam proses pemanasannya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan ukuran serbuk yang lebih kecil untuk paduan aluminium dengan penambahan magnesium.

DAFTAR PUSTAKA

- Alatas, Abdurahman. 2011. *Porositas Gas Paduan Duralumin Pada Pengecoran Sistem Vakum*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Depok Departemen Teknik Metalurgi dan Material FT UI.
- Anonymous, <http://materialcerdas.files.wordpress.com/2009/06/semjp2.jpg?w=199&h=300>
(diakses pada tanggal 14 Februari 2013 pukul 23.45 WIB)
- ASM Handbook. 1998. *Powder Metal Technologies And Application*. ASM International Volume 7. USA.
- C. Schumacher. 1991. *SAE Technology*. Paper No. 892495.
- Chandrawan, David dan Myrna Ariati. 1999. *Metalurgi Serbuk, Teori dan Aplikasi Jilid I*. Depok.
- Erhard Klar. 1983. *Powder Metallurgy Applications, Advantages and Limitation*. Ohio: ASM
- German, R. M. 1984. *Powder Metallurgy Science*. USA: MPIF.
- German, R. M. 1996. *Sintering Theory And Practice*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Hartono, Anton J. 1992. *Mengenal Keramik Canggih Cerdas dan Biokeramik*. Indonesia
- J.B Fogagnolo, F. Velasco, M.H Robert., J.M. Torralbam. 2004. *Aluminium Matrix Composites Reinforced with Si₃N₄, AlN and ZrB₂, Produced by Conventional Powder Metallurgy And Mechanical Alloying*. Avenide De La Universid.
- Khusyairi, Ahmad. 2011. *Pengaruh Gaya Kompaksi Pada Kuat Tekan Produk Gelas-Zeolit yang akan digunakan Untuk Imobilisasi Limbah Radioaktif*. ISSN 1410-6086.
- Kulekci, Mustafa Kemal. 2008. *Magnesium and Its Alloy In Automotive Industry*. Int. J. Adv. Manuf. Technol.
- P, Beiss. *et al*. 2002. *International Atlas Of Powder Metallurgical Microstructures*. New Jersey: Princenton
- R, Cook. *et al*. *Aluminium And Aluminium Alloy powder For P/M Applications*. University of Birmingham
- Pease, Leander F. III. 2005. *A Quick Tour of Powder Metallurgy*. Powder-Tech Associates.
- Rusianto, Toto. 2009. *Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium dengan Variasi Suhu Pemanasan*. Jurnal Teknologi Vol. 2 No.1.
- Surdia, T. & Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Upadhyaya, G.S. 1997. *Powder Metallurgy Technology*. England: Cambridge Int. Science Publishing.

Widyastuti, Siradj, Eddy S. Priadi, Dedi. Zulfia, Anne. 2008. *Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*. Makara Sains Vol. 12 No.2.



LAMPIRAN 1

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 <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 : A
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 (%)
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.

cutitan
 * 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@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 Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
B	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 Report Nr	0436	Bahan Material	Aluminium
Pemakai Jasa Customer	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan Material Identity	Code : C
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 (%)
C	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:

* 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 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 (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.010	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan

- * ketidaktepatan 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 5 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 : E
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 (%)
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

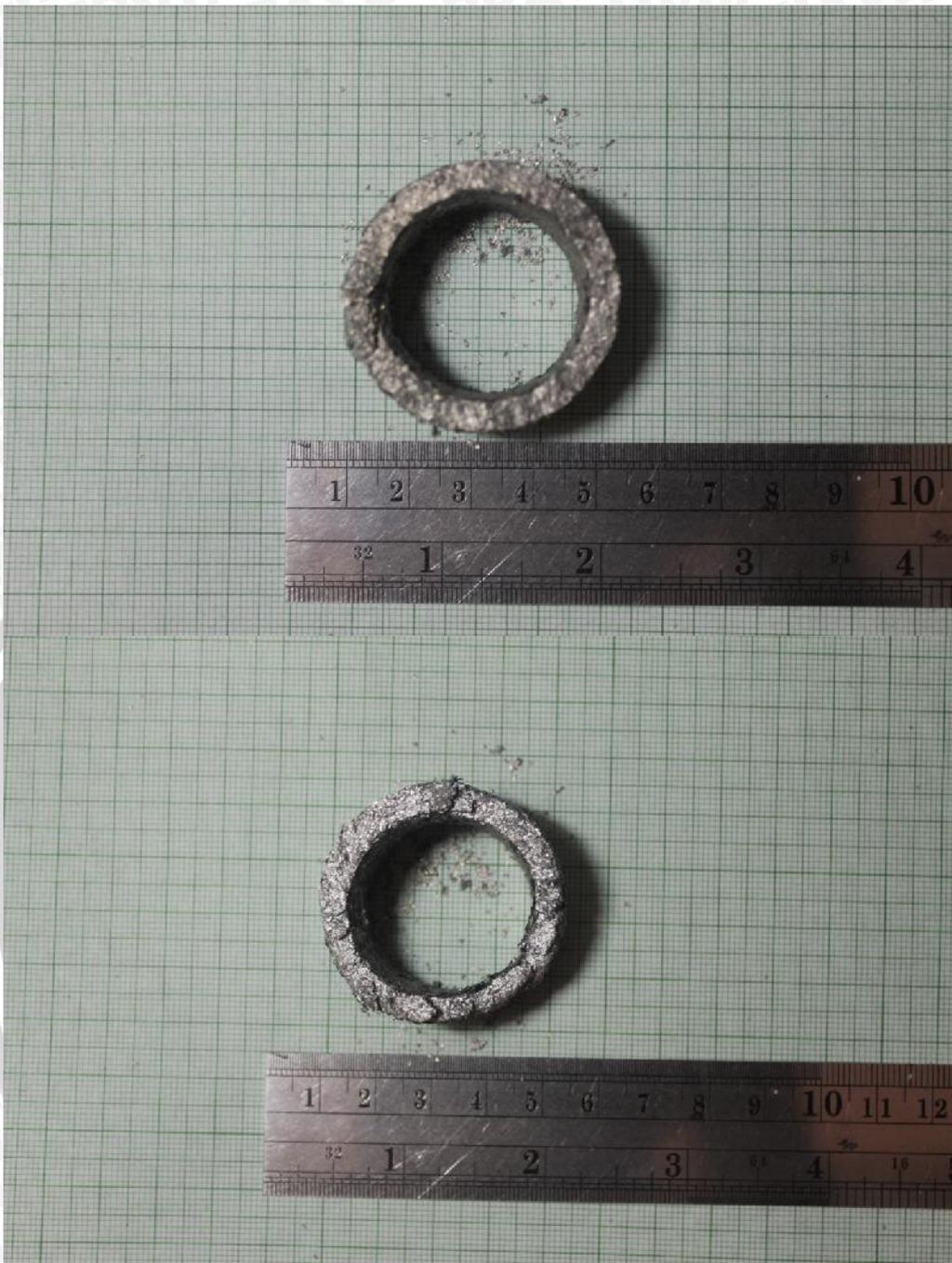
Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



LAMPIRAN 2

HASIL FOTO SPESIMEN *GREEN COMPACT*





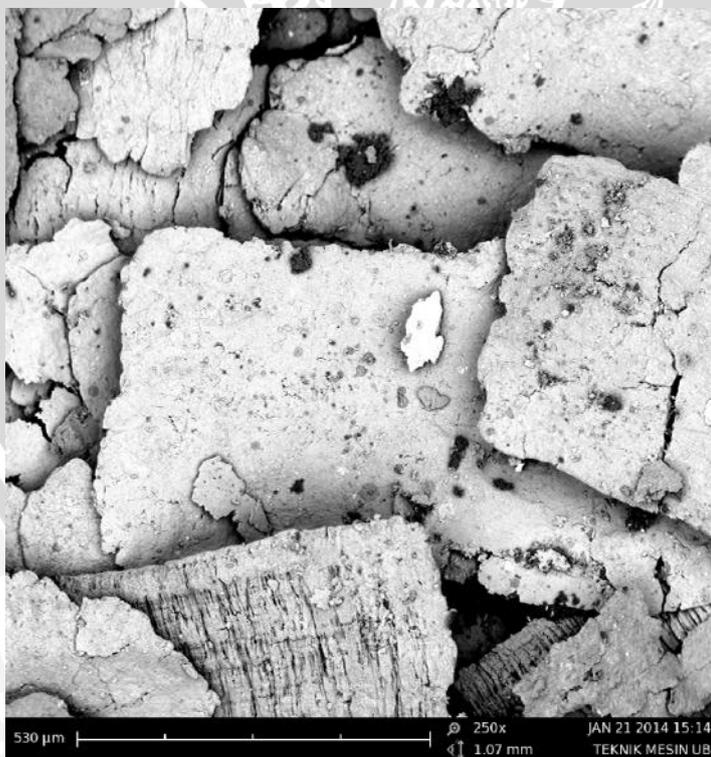


LAMPIRAN 3

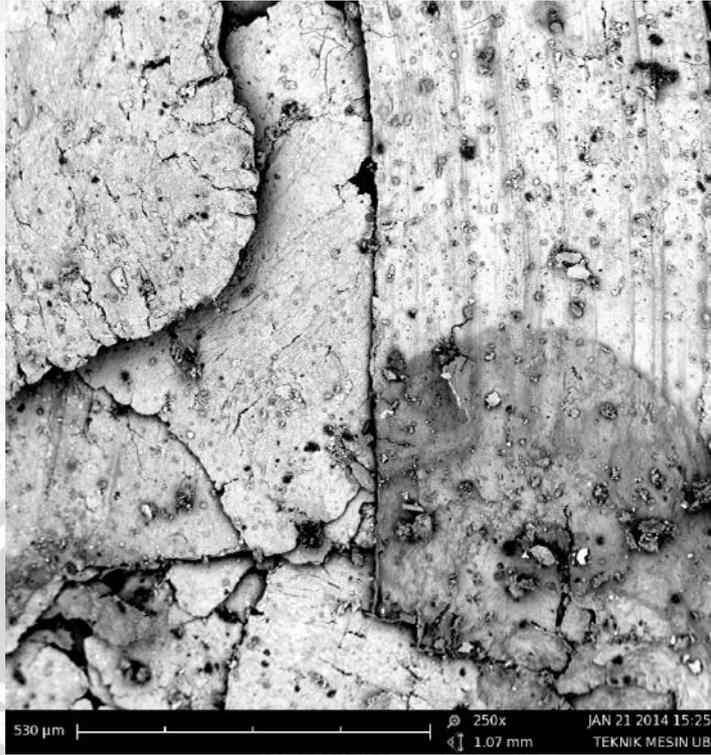
HASIL FOTO SEM



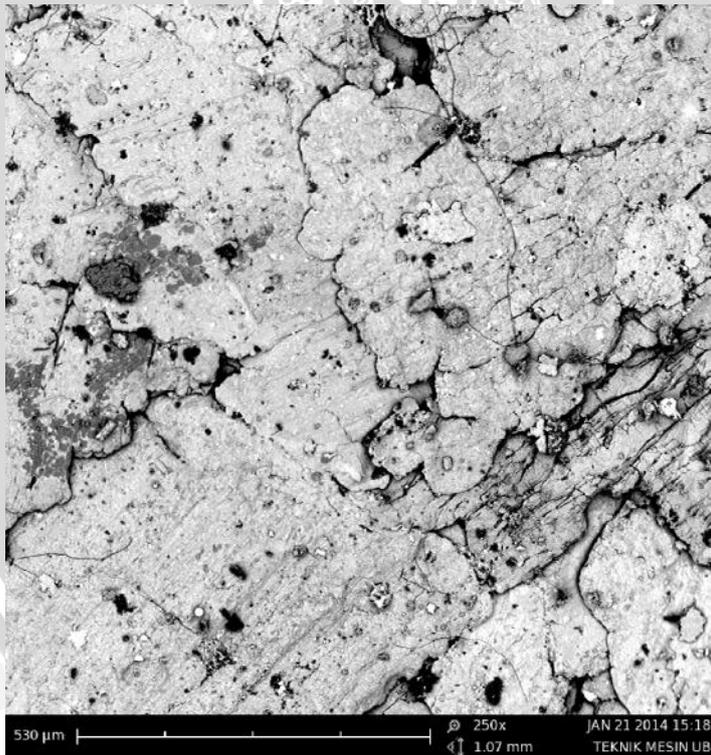
Tanpa penambahan Mg



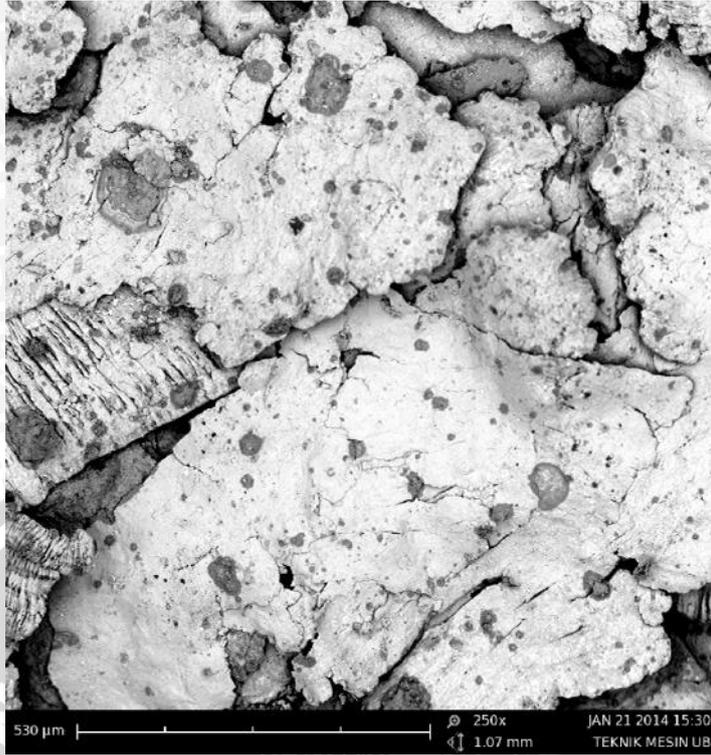
Kadar Mg 1%



Kadar Mg 2%



Kadar Mg 4%



Kadar Mg 6%



Kadar Mg 8%

