

**PENGARUH TEKANAN *HOT COMPACTING* TERHADAP LAJU  
KOROSI DAN DISTRIBUSI KEKERASAN *BUSHING POWDER*  
DURALUMIN**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**MARTHA ZAINUDDIN ZUHRI MARSUS  
NIM. 0910620072-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH TEKANAN *HOT COMPACTING* TERHADAP LAJU KOROSI  
DAN DISTRIBUSI KEKERASAN *BUSHING POWDER DURALUMIN***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**MARTHA ZAINUDDIN ZUHRI MARSUS  
NIM. 0910620072-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEKANAN *HOT COMPACTING* TERHADAP LAJU KOROSI  
DAN DISTRIBUSI KEKERASAN *BUSHING POWDER DURALUMIN***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**MARTHA ZAINUDDIN ZUHRI MARSUS  
NIM. 0910620072-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 23 Juli 2013

**MAJELIS PENGUJI**

Skripsi I

Skripsi II

**Khairul Anam, ST., MSc.  
NIK. 861127 06 3 1 0032**

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001**

Skripsi III

**Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.  
NIP. 19750702 200003 2 001**

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring doa dan terima kasih yang mendalam kepada:*

*Ayahanda H. Zainal Marsus, S.Ag., MM,*

*Ibunda Hj. Shofiyah Mardiani,*

*dan*

*Keluarga tercinta*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia yang telah diberikan, juga sholawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr. Eng Anindito P, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT, Met. selaku dosen pembimbing yang telah memberi masukan dan pengetahuan selama penyusunan skripsi.
5. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT. selaku dosen wali yang memberikan arahan dan nasihat akademis selama kuliah.
6. Seluruh Dosen pengajar dan Staf Recording Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Rekan-rekan Mesin angkatan 2009 (Black Mamba) atas segala dukungan yang telah diberikan.
8. Teman-teman kontrakan Ibadurrahman dan FA atas bantuannya selama ini.
9. Semua pihak yang terkait yang telah membantu penulis selama ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin, namun sebagai manusia yang tak lepas dari salah dan lupa, penulis tetap mengharap kritik dan saran yang membangun guna penyusunan karya ilmiah yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Juli 2013

Penulis

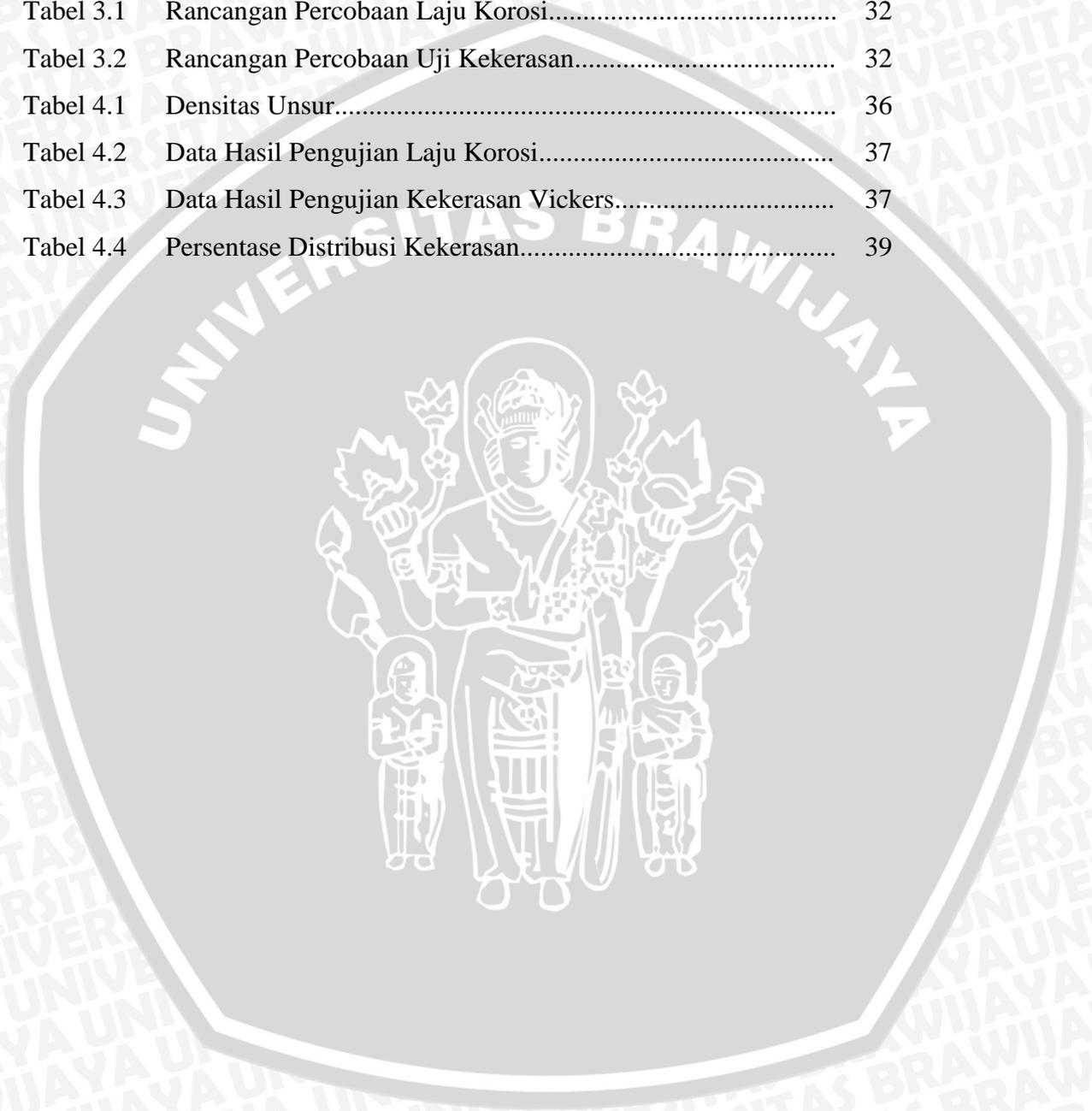
## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Teori Dasar <i>Powder Metallurgy</i> .....	5
2.2.1 Pengertian <i>Powder Metallurgy</i> .....	5
2.2.2 Sifat Dasar Serbuk Logam.....	6
2.2.3 Proses <i>Powder Metallurgy</i> .....	7
2.2.3.1 Proses Pencampuran Serbuk .....	7
2.2.3.2 <i>Compacting</i> .....	8
2.2.3.3 Sintering .....	10
2.3 Duralumin.....	13
2.3.1 Aluminium.....	14
2.3.2 Tembaga .....	14
2.4 Korosi.....	15
2.4.1 Korosi Basah .....	15
2.4.2 Korosi Kering .....	17
2.4.3 Bentuk-Bentuk Korosi.....	18
2.4.4 Pengujian Korosi .....	19
2.5 Kekerasan .....	20
2.6 <i>Bushing</i> .....	22
2.7 Hipotesa.....	23

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	24
3.2 Variabel Penelitian .....	24
3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	25
3.3.1 Peralatan yang digunakan.....	25
3.3.2 Bahan yang digunakan .....	27
3.4 Instalasi Penelitian.....	28
3.5 Dimensi Hasil <i>Powder Metallurgy</i> .....	29
3.6 Prosedur Penelitian.....	29
3.6.1 Prosedur Percobaan .....	29
3.6.2 Prosedur Pengambilan Data dan Pengolahan Data .....	31
3.7 Rancangan Penelitian .....	31
3.8 Sumber Data .....	34
3.8.1 Data Primer.....	34
3.8.2 Data Sekunder .....	34
3.9 Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian.....	36
4.1.1 Data dan Perhitungan Laju Korosi .....	36
4.1.2 Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan .....	37
4.2 Pembahasan.....	40
4.2.1 Pembahasan Grafik Laju Korosi .....	40
4.2.2 Pembahasan Grafik Pengujian Distribusi Kekerasan.....	41
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>46</b>

**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kelebihan Dan Kekurangan Pengujian Kekerasan Dengan Metode Penekanan.....	21
Tabel 3.1	Rancangan Percobaan Laju Korosi.....	32
Tabel 3.2	Rancangan Percobaan Uji Kekerasan.....	32
Tabel 4.1	Densitas Unsur.....	36
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Laju Korosi.....	37
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers.....	37
Tabel 4.4	Persentase Distribusi Kekerasan.....	39



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Partikel yang dibentuk.....	8
Gambar 2.2	Proses Difusi <i>Sintering</i> .....	10
Gambar 2.3	Tiga Butir Serbuk Besar Seragam yang Saling Bersinggungan.....	11
Gambar 2.4	Susunan Gambar Butir untuk Menghitung Celah Antar Butir.	12
Gambar 2.5	Serbuk Kecil yang Disisipkan Diantara Serbuk Besar dan Serbuk Sedang.....	13
Gambar 2.6	Jenis-Jenis Korosi Basah.....	16
Gambar 2.7	Skematis Prinsip Indetasi dengan Metode Vickers.....	22
Gambar 2.8	<i>Bushing</i> .....	22
Gambar 3.1	Mesin <i>Hot Pressing</i> .....	25
Gambar 3.2	Timbangan Elektrik.....	25
Gambar 3.3	Cetakan.....	26
Gambar 3.4	Sarung Tangan.....	26
Gambar 3.5	Penjepit Baja.....	26
Gambar 3.6	<i>Micro Vickers Hardness Tester</i> .....	27
Gambar 3.7	Elektrolisis <i>Cell</i> .....	27
Gambar 3.8	Serbuk paduan Al-Cu.....	28
Gambar 3.9	Instalasi Mesin <i>Hot Pressing</i> .....	28
Gambar 3.10	Rancangan Benda Kerja.....	29
Gambar 3.11	Susunan Cetakan.....	29
Gambar 3.12	Bagian <i>Bushing</i> yang Diuji Kekerasannya.....	34
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Tekanan Kompaksi dengan Laju Korosi....	40
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Tekanan Kompaksi dengan Kekerasan.....	41

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Uji Komposisi Paduan Al-Cu.....	46
Lampiran 2	Surat Bukti Pengujian Kekerasan.....	51
Lampiran 3	Foto <i>Bushing</i> Hasil <i>Powder Metallurgy</i> .....	52
Lampiran 4	Foto Kegiatan Penelitian.....	53



## RINGKASAN

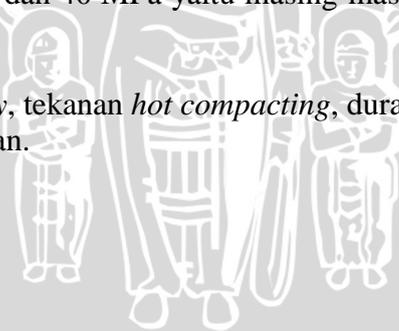
Martha Zainuddin Zuhri Marsus, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Tekanan Hot Compacting terhadap Laju Korosi dan Distribusi Kekerasan Bushing Powder Duralumin*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto.

Dalam industri manufaktur, masalah yang timbul berupa limbah padat logam, masih kurang dimanfaatkan secara maksimal sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah tersebut adalah dengan menjadikannya *bushing* melalui proses *powder metallurgy*. *Powder metallurgy* adalah proses pengolahan logam untuk menghasilkan produk, baik yang jadi atau masih setengah jadi, dari serbuk logam melalui penekanan dan disertai *sintering* untuk mendapatkan material dengan bentuk dan sifat mekanik yang diinginkan.

Pada penelitian ini digunakan tekanan kompaksi 30 MPa, 32,5 MPa, 35 MPa, 37,5 MPa, dan 40 MPa. Serbuk duralumin (aluminium dan tembaga) dengan berat 40 gram, kemudian cetakan (*base* dan *cover*) disusun dan selanjutnya diletakkan ke dalam mesin *hot pressing*. Setelah cetakan menepati tempatnya maka serbuk duralumin dimasukkan ke dalam cetakan tersebut. Setelah itu lakukan proses *compacting* dan *sintering* secara bersamaan selama 30 menit serta temperatur sintering 450°C sehingga didapatkan produk berupa *bushing*. *Bushing* berfungsi untuk menahan beban yang diterima, khususnya beban yang diberikan oleh poros.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan maka nilai laju korosinya semakin rendah dan distribusi kekerasannya semakin tinggi. Secara spesifik hasilnya dinyatakan sebagai berikut; nilai laju korosi pada tekanan 30 MPa, 32.5 MPa, 35 MPa, 37.5 MPa, dan 40 MPa yaitu masing-masing 0.096 mmpy, 0.078 mmpy, 0.070 mpy, 0.043 mmpy, dan 0.035 mmpy. Untuk nilai kekerasannya pada tekanan 30 MPa, 32.5 MPa, 35 MPa, 37.5 MPa, dan 40 MPa yaitu masing-masing 54 VHN, 61 VHN, 77 VHN, 95 VHN dan 119 VHN.

Kata kunci: *Powder Metallurgy*, tekanan *hot compacting*, duralumin, *bushing*, laju korosi dan kekerasan.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu masalah yang timbul pada industri manufaktur baik di Indonesia maupun di negara lain adalah limbah berupa air sisa produksi, gas, abu aluminium dan logam bekas. Di Indonesia, limbah berupa logam bekas kurang dimanfaatkan secara maksimal karena pengetahuan tentang cara pengolahannya masih sangat kurang (Toto, 2009). Pada industri pengecoran logam dan industri proses *machining*, semuanya menghasilkan limbah berupa logam bekas yang biasa disebut limbah padat logam (skrap, chip, geram). Industri otomotif misalnya, pada kegiatan produksinya melakukan proses pengecoran yang menghasilkan limbah padat logam berupa aluminium dan besi. Pada industri proses *machining* juga menghasilkan limbah padat logam dari geram hasil pembubutan, proses *milling*, penggerindaan dan proses *machining* lainnya. Limbah padat logam ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Di Bandung contohnya, dari hasil peninjauan Program Studi Potensi dan Permasalahan Industri di wilayah Jawa Barat tahun 1996/1997 oleh Tim Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (Ditbinlitabmas) Ditjen Dikti Depdiknas terhadap industri kecil logam dan elektronika di sentra industri elektronika Cicadas Bandung, diperoleh data adanya kendala dalam menangani limbah produksi berupa potongan-potongan logam, besi, plat, kawat bekas dan lain-lain, dengan jumlah  $\pm 200 - 300$  buah setiap minggu (Iwa Kuntadi, dkk., 2010). Padahal jika limbah ini diolah secara baik dapat menghasilkan manfaat yang besar. Limbah tersebut masih bisa dibuat barang jadi atau bahan baku suatu komponen mesin dan barang lainnya yang berbahan logam. Salah satu cara memanfaatkan limbah padat logam tersebut adalah dengan menjadikannya serbuk logam yang diolah melalui proses yang disebut *powder metallurgy* (metalurgi serbuk).

*Powder metallurgy* merupakan proses pembuatan serbuk hingga benda jadi dari serbuk logam atau paduan logam melalui proses penekanan dan disertai proses *sintering* tetapi suhu *sintering* harus berada di bawah titik cair serbuk. Dari berbagai jenis logam, yang sering digunakan adalah aluminium (Al). Dalam keadaan murni aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi dan *machinability* yang baik. Namun untuk meningkatkan sifat mekaniknya umumnya aluminium dipadukan dengan logam lain sehingga membentuk logam paduan (Djaprie, 1990:63).

Dari berbagai paduan, yang sering digunakan pada aluminium untuk meningkatkan sifat mekaniknya adalah tembaga (Cu). Nama lain dari aluminium paduan tembaga adalah duralumin. Material duralumin mempunyai beberapa kelebihan antara lain, mempunyai ketahanan korosi yang baik, sifat ketangguhan patah dan ketahanan lelah yang sangat tinggi dan dapat diberi perlakuan panas. Pada dunia industri, duralumin dapat diaplikasikan pada produk seperti roda gigi, *leading gear* pada industri pesawat dan *casing* laptop pada industri elektronik.

*Powder metallurgy* merupakan suatu pengembangan teknologi yang cepat pada pengolahan logam dan paduan logam di bidang *metal forming*. *Powder metallurgy* dapat menjadi salah satu metode proses produksi yang memiliki beberapa keunggulan antara lain adalah efisiensi pemakaian bahan sangat tinggi sehingga biaya yang dibutuhkan dapat ditekan, energi yang dibutuhkan dalam proses ini relatif rendah dan produk hasil produksi dapat langsung disesuaikan dengan dimensi yang diinginkan yang berarti akan mengurangi biaya permesinan dan bahan baku yang terbuang serta biaya untuk produksi massal relatif rendah. Akan tetapi, penelitian di bidang *powder metallurgy* di Indonesia relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan negara maju dikawasan Asia, misalnya Jepang, Cina, dan India, yang merupakan pioner pengembangan teknologi *powder metallurgy* untuk aplikasi komponen otomotif (Widyastuti, dkk., 2008).

Produk jadi suatu komponen mesin yang dapat dibuat dengan proses *powder metallurgy* salah satunya adalah *bushing*. *Bushing* adalah bantalan jenis silinder bercelah yang berfungsi untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. Produk yang akan dibuat pada penelitian ini adalah *bushing* berbentuk silinder bercelah dan mempunyai bentuk yang cukup rumit. Pemilihan ini mengacu pada dunia industri yang umumnya lebih mengutamakan bentuk daripada sifat produk karena sifat dari suatu produk dapat diperbaiki dengan perlakuan tambahan pada produk tersebut. Dipilihnya *bushing* sebagai produk dari penelitian ini dikarenakan *bushing* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bantalan gelinding antara lain *bushing* dapat digunakan pada poros yang ukuran diameternya tidak berkelipatan 5, misal 22, 24 dan 26, dapat disesuaikan dengan beban dan putaran yang diterima, serta mudah dalam penggantian.

Sebuah *bushing* harus memiliki sifat mekanik yang baik antara lain kekerasannya tinggi, laju korosinya rendah, dan porositasnya rendah. Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat pada *bushing powder metallurgy* adalah tekanan kompaksi.

Semakin besar tekanan kompaksi akan memberikan pemampatan yang lebih besar pula pada butiran-butiran serbuk logam sehingga menjadikan kekerasan *bushing* lebih tinggi dan laju korosinya semakin rendah karena dengan lebih termampatkannya butiran serbuk logam maka material akan lebih sulit terurai karena korosi.

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan di atas, maka perlu diadakan penelitian tentang pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan *bushing powder duralumin* untuk mendapatkan hasil produk berupa *bushing* yang memiliki sifat mekanik yang unggul serta sebagai salah satu upaya memanfaatkan limbah padat logam yang kurang termanfaatkan secara maksimal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah “Bagaimana pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan *bushing powder duralumin*?”

### 1.3 Batasan Masalah

Agar menjadikan penelitian ini lebih terarah maka diperlukan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal di bawah ini:

1. Pembahasan difokuskan pada sifat mekanik logam yaitu laju korosi dan distribusi kekerasan.
2. Pengujian laju korosi dilakukan dengan menghitung selisih berat spesimen sebelum korosi dan sesudah korosi.
3. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan luar, permukaan dalam dan permukaan datar spesimen, diambil tiga titik pada setiap permukaan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan *bushing powder duralumin*.
2. Untuk mendapatkan *bushing* dengan laju korosi dan distribusi kekerasan yang baik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai sarana memaksimalkan pemanfaatan limbah padat logam dengan mengolahnya menjadi barang jadi yang bernilai jual seperti *bushing*.
2. *Powder metallurgy* sebagai metode proses produksi alternatif yang memiliki beberapa keunggulan yang telah disebutkan pada latar belakang.
3. Menghasilkan produk (*bushing*) yang memiliki sifat mekanik yang unggul.
4. Menerapkan teori yang di dapat di bangku perkuliahan terutama berkenaan dengan metalurgi serbuk.
5. Menambah pengetahuan tentang pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan *bushing powder duralumin*.
6. Sebagai referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut tentang *powder metallurgy*.
7. Memberikan referensi tambahan bagi industri manufaktur yang memiliki masalah sama dengan penelitian ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Ejiofor dan Reddy (1997) meneliti komposit paduan Al (*hyper-eutectoid* Al)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode tuang. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan 3% berat alumina, kekerasan meningkat dari 27 BHN menjadi 37 BHN dan UTSnya dari 75 MPa menjadi 93 MPa.

Toto, (2009) melakukan penelitian tentang *hot pressing* metalurgi serbuk aluminium dengan variasi suhu *pressing* (suhu ruang) 100 °C, 200 °C dan 300 °C, pemanasan dan pengepresan menggunakan alat cetakan *hot pressing* metalurgi serbuk. Beban pengepresan adalah 5400 kg. Disinter dalam *oven* dengan temperatur 450 °C selama 60 menit. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya suhu *hot pressing* maka kekerasan *bushing* juga meningkat sedangkan laju keausannya menurun.

Widyastuti, dkk., (2008) melakukan penelitian tentang kompaktibilitas komposit isotropik Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variabel waktu tahan sinter. Pada penelitian ini komposit isotropik Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dibuat dari aluminium sebagai matrik dan Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai penguat. Volume fraksi penguat yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40%. Temperatur *sintering* 600 °C dan gaya tekan kompaksi 15 kN. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan dan pengamatan metalografi. Hasil yang diperoleh adalah kompaktibilitas komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mencapai nilai optimum saat waktu tahan *sintering* 2 jam. Fraksi volume penguat terbaik adalah 40% dan waktu tahan *sintering* optimum adalah 2 jam.

Fitria dan Waziz, (2004) meneliti serbuk paduan Al-9% Si hasil pengikisan. Pembuatan spesimen dengan variasi tekanan kompaksi 300, 400 dan 500 MPa dan variasi suhu sinter 450 °C, 500 °C dan 550 °C selama 2 jam dalam lingkungan gas argon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya tekanan kompaksi dan suhu sinter akan meningkatkan kekerasan dan densitas dari spesimen.

#### 2.2 Teori Dasar Powder Metallurgy

##### 2.2.1 Pengertian Powder Metallurgy

*Powder metallurgy* adalah proses pengolahan logam untuk menghasilkan produk, baik yang jadi atau masih setengah jadi, dari serbuk logam melalui penekanan dan disertai *sintering*, tetapi suhu *sintering* harus berada di bawah titik cair serbuk.

Produk hasil *powder metallurgy* dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan mutu benda jadi.

Proses *powder metallurgy* merupakan salah satu dari metode pembentukan selain *machining*, *casting*, *forging*, *welding*. Proses *powder metallurgy* memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan lainnya. Kelebihannya antara lain:

1. Efisiensi pemakaian bahan sangat tinggi sehingga biaya yang dibutuhkan dapat ditekan.
2. Energi yang dibutuhkan dalam proses ini relatif rendah.
3. Produk hasil produksi dapat langsung disesuaikan dengan dimensi dan bentuk yang diinginkan yang berarti akan mengurangi biaya permesinan dan bahan baku yang terbuang.
4. Biaya produksi untuk produksi massal relatif rendah.

### 2.2.2 Sifat Dasar Serbuk Logam

Sifat-sifat partikel serbuk yang menjadi pertimbangan dalam proses penekanan (*compacting*) dan *sintering* meliputi:

#### 1. Ukuran Partikel dan Distribusinya

Ukuran partikel merupakan suatu karakteristik penting dari serbuk logam. Salah satu cara untuk mengukur besarnya partikel adalah dengan melewati serbuk melalui saringan dengan ukuran tertentu. Ukuran partikel dinyatakan dalam diameter, meskipun kenyataannya ada beberapa partikel yang tidak memiliki diameter, sehingga dalam memberikan ukuran partikel selalu dinyatakan dengan ukuran rata-rata.

#### 2. Sifat Fisik

Pada saat serbuk logam dipadatkan, maka terjadi pengurangan volume. Perbandingan volume serbuk sesudah dan sebelum dipadatkan adalah 2 : 1 sampai 3 : 1. Terjadinya perbedaan volume ini dipengaruhi oleh distribusi dan bentuk butir.

#### 3. Komposisi Kimia

Komposisi kimia dari serbuk logam akan mempengaruhi proses pembentukan produk dan juga mempengaruhi sifat dari hasil produk.

#### 4. Karakteristik Aliran

Kemampuan partikel serbuk untuk memenuhi cetakan disebut sifat mampu alir (*flowability*). Semakin baik mampu alirnya maka semakin merata serbuk mengisi cetakan, begitu juga sebaliknya.

#### 5. Bentuk partikel

Bentuk partikel tergantung dari jenis serbuk dan pemrosesan produk tersebut. Bentuk partikel ini mempengaruhi ukuran pori-pori yang terjadi pada permukaan. Beberapa macam bentuk partikel dapat dilihat dibawah ini:

- a) *Fibrous* yaitu partikel yang berbentuk benang.
- b) *Irregular* yaitu partikel yang bentuknya tidak teratur.
- c) *Acicular* yaitu partikel yang mempunyai bentuk yang kasar.
- d) *Angular* yaitu partikel yang mempunyai sisi tajam dan agak kasar.
- e) *Flaky* yaitu partikel yang berbentuk pipih.
- f) *Granular* yaitu partikel yang berukuran sama tetapi bentuknya tidak teratur.
- g) *Dendritic* yaitu partikel yang mempunyai bentuk bercabang.

#### 6. Kemampuan Sinter

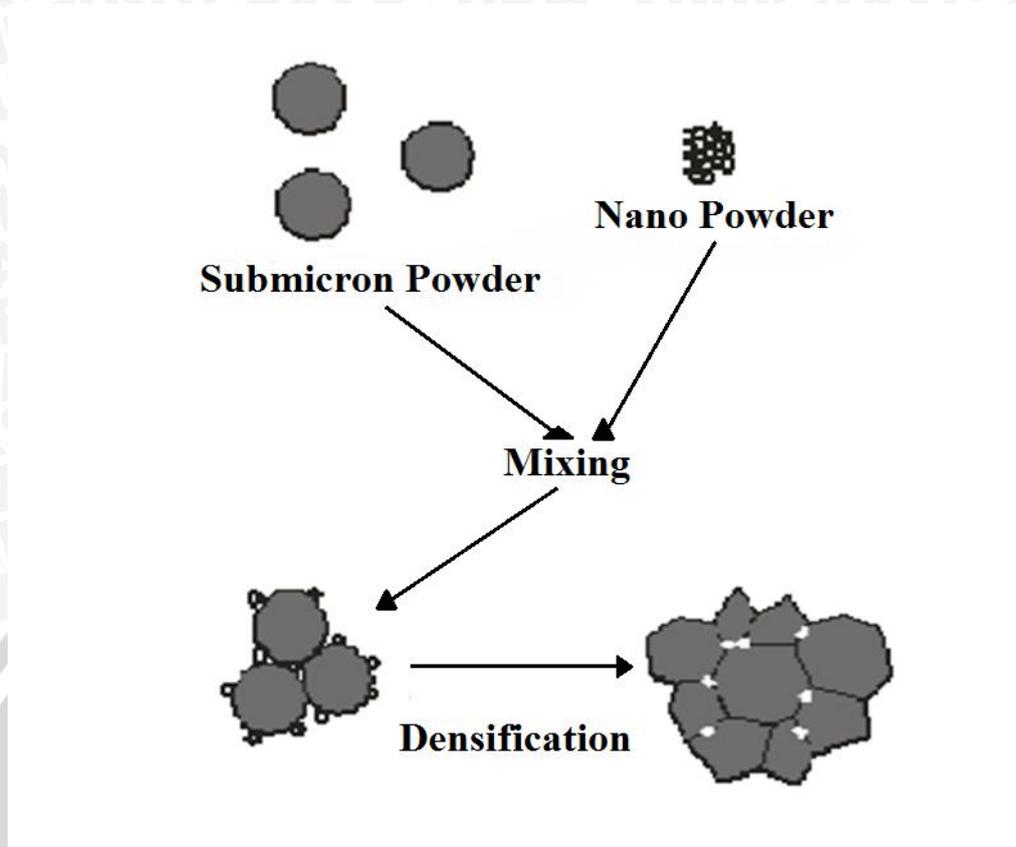
Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya. Tekanan tergantung pada kompresibilitas.

### 2.2.3 Proses Powder Metallurgy

#### 2.2.3.1 Proses Pencampuran Serbuk

Apabila dua serbuk yang berbeda unsur dicampur untuk menghasilkan paduan, maka pencampuran serbuk tersebut harus homogen untuk menghasilkan pencampuran yang sebaik-baiknya. Komposisi paduan tersebut dicampur dengan perbandingan jumlah yang sama agar didapatkan pencampuran yang terbaik.

Sebagai contoh bahan pelumas parafin, lilin atau grafit biasa digunakan untuk membantu pencampuran yang homogen dan akhirnya padat selama pengepresan. Karbon tetraklorida (gas beracun) digunakan dalam pencampuran serbuk karbit dan kobalt secara basah dalam memproduksi perkakas-perkakas potong.



Gambar 2.1. Partikel yang Dibentuk

### 2.2.3.2 Compacting

*Compacting* adalah suatu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compacting*) dan penekanan panas (*hot compacting*). *Cold compacting* yaitu memadatkan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 MPa untuk menghasilkan *green body*. Proses *cold pressing* terdapat beberapa macam antara lain:

1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk.
2. *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperatur kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.
3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai *rolling mill*.

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*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari *pressing* disebut bahan kompak mentah,

telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses *sintering*.

- **Tegangan Geser Maksimum pada *Compacting Powder Metallurgy***

Dalam pengertiannya, partikel serbuk ditekan sampai sedemikian sehingga menyatukan antar partikel dan membuat pori diantara partikel semakin mengecil, dan tegangan terdistribusi pada masing-masing partikel. Tegangan yang terdistribusi pada lubang silinder di bawah tekanan luar hidrostatik ( $P$ ). Dengan melambangkan *yield point* dengan  $\sigma_o$ , jari-jari luar  $R$  dan jari-jari dalam  $r$ .

Dalam teori elastisitas, deformasi plastis akan terjadi saat tegangan geser  $\tau_m$  pada permukaan luar silinder berlubang lebih besar dari tegangan geser *yield*  $\tau_o = \sigma_o/2$  saat  $\tau_m(R) \geq \sigma_o/2$ . Sehingga di dapat persamaan umum  $\tau_m = (\sigma_r - \sigma_t)/2$ . Dengan demikian persamaan aliran plastis pada silinder berlubang adalah:

$$\sigma_r(R) - \sigma_t(R) \geq \sigma_o \dots \dots \dots (2-1)$$

Dengan :  $\sigma_r =$  Tegangan Radial [ $N/m^2$ ]  
 $\sigma_t =$  Tegangan Tangensial [ $N/m^2$ ]  
 $\sigma_o =$  *Yield Point* [ $N/m^2$ ]  
 $R =$  Jari-Jari Luar [m]

Tegangan radial  $\sigma_r(R)$  dan tegangan tangensial  $\sigma_t(R)$  pada permukaan luar silinder berlubang persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\sigma_r(R) = -P \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan :  $\sigma_r =$  Tegangan Radial [ $N/m^2$ ]  
 $P =$  tekanan luar hidrostatik [ $N/m^2$ ]  
 $R =$  Jari-Jari Luar [m]

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

Dengan :  $\sigma_t =$  Tegangan Tangensial [ $N/m^2$ ]  
 $P =$  tekanan luar hidrostatik [ $N/m^2$ ]  
 $R =$  Jari-jari luar [m]  
 $r =$  Jari-jari dalam [m]

Dari persamaan (2-2) dan (2-3) disubstitusikan ke persamaan (2-1) maka di dapat:

$$\sigma_o \leq P \frac{3r^3}{2(R^3 - r^3)} \dots \dots \dots (2-4)$$

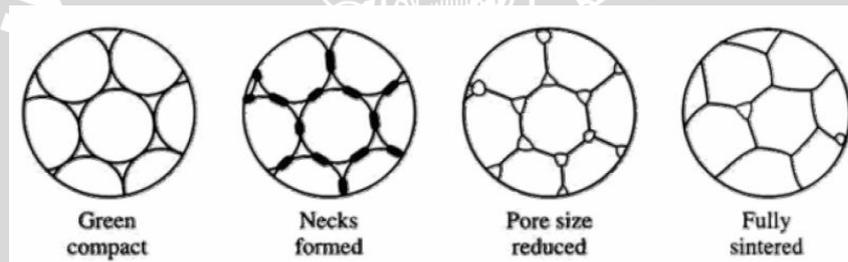
Dengan :  $\sigma_o =$  *Yield Point* [ $N/m^2$ ]  
 $P =$  tekanan luar hidrostatik [ $N/m^2$ ]

$R$  = Jari-jari luar [m]

$r$  = Jari-jari dalam [m]

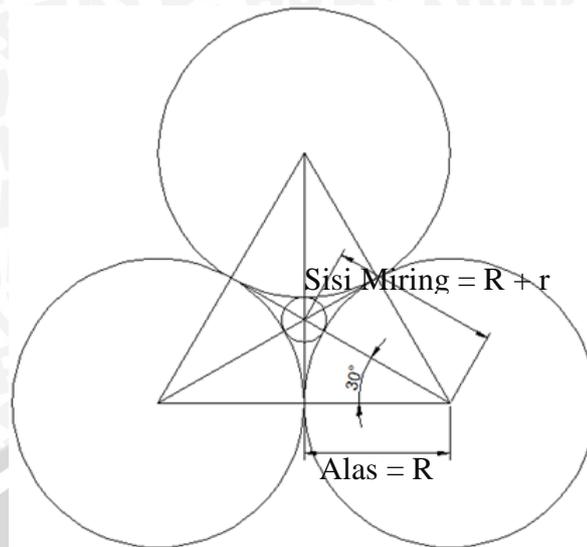
### 2.2.3.3 Sintering

*Sintering* adalah proses pemanasan sampai temperatur tinggi yang menyebabkan bersatunya partikel dan meningkatnya efektivitas reaksi tegangan permukaan. Selama proses ini terbentuk batas-batas butir yang merupakan tahap rekristalisasi dan gas-gas yang ada menguap. Temperatur sinter umumnya berada pada 0.7-0.9 dari temperatur cair serbuk utama. Untuk waktu pemanasan tergantung dari jenis logam dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan. Untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses sinter maka lingkungan harus terdiri dari gas nitrogen, karena lingkungan sangat berpengaruh pada bahan mentah yang terdiri dari partikel kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas.



Gambar 2.2. Proses Difusi *Sintering*  
Sumber: Murjito, 2009:8

Dari gambar 2.2, dapat diketahui jari-jari serbuk (serbuk sedang) yang bisa disisipkan pada celah segitiga yang dibentuk antara butir-butir serbuk (serbuk besar). Jika dianggap butir-butir serbuk besar seragam, maka dapat ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tiga Butir Serbuk Besar Seragam yang Saling Bersinggungan

Dari gambar 2.3, maka  $r$  dapat dicari dengan persamaan

$$\frac{\text{Alas}}{\text{Sisi Miring}} = \cos 30^\circ$$

$$\frac{R}{R + r} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$R = \frac{\sqrt{3}}{2} (R + r)$$

$$\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) R = \frac{\sqrt{3}}{2} r$$

$$\left(\frac{1 - \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}\right) R = r$$

$$\left(\frac{2 - \sqrt{3}}{\sqrt{3}}\right) R = r$$

$$r = \left(\frac{1}{2 + \sqrt{3}}\right) R$$

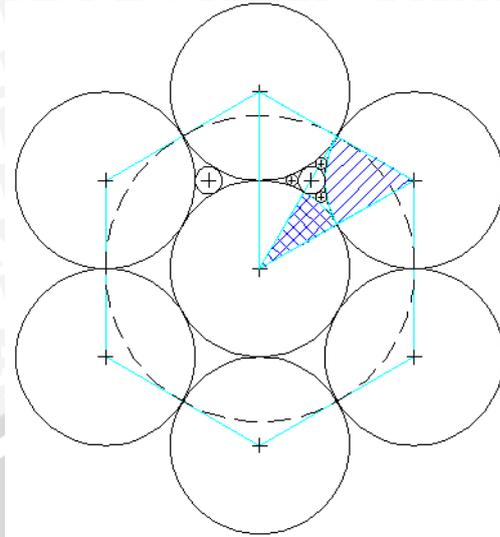
$$r = 0.26 R$$

Dengan:  $R$  = jari-jari serbuk besar

$r$  = jari-jari serbuk sedang

Sedangkan celah segitiga (celah besar) yang dibentuk antara butir-butir serbuk besar itu sendiri luasnya dapat dihitung dengan menggambarinya seperti gambar 2.4 berikut:





Gambar 2.4. Susunan Gambar Butir untuk Menghitung Celah Antar Butir

Luas celah besar =  $2 \times (\text{Luas } \frac{1}{2} \text{ segitiga biru} - \text{Luas juring besar} - \text{Luas juring kecil})$

Luas  $\frac{1}{2}$  segitiga biru =  $\frac{1}{2} a \times t$

$$= \frac{1}{2} R \times \sqrt{(2R)^2 - R^2}$$

$$= 1.73 R^2$$

Luas juring besar =

$$= \frac{\pi R^2}{6}$$

$$= \frac{3.14 R^2}{6}$$

$$= 0.523 R^2$$

Luas juring kecil =

$$= \frac{\text{Luas juring besar}}{2}$$

$$= \frac{0.523 R^2}{2}$$

$$= 0.2616 R^2$$

Luas celah besar =  $2 \times (\text{Luas } \frac{1}{2} \text{ segitiga biru} - \text{Luas juring besar} - \text{Luas juring kecil})$

Luas celah besar =  $2 \times (1.73 R^2 - 0.523 R^2 - 0.2616 R^2)$

Luas celah besar =  $1.8908 R^2$

Serbuk yang lebih kecil lagi (serbuk kecil) dapat disisipkan diantara celah serbuk besar dengan serbuk sedang. Untuk mengetahui jari-jari serbuk kecil, dicari luas celah yang dibentuk serbuk besar dengan serbuk kecil terlebih dulu (celah kecil), dengan cara sebagai berikut:

Luas celah kecil =  $\frac{\text{luas celah besar} - \text{luas serbuk sedang}}{3}$

$$= \frac{1.8908 R^2 - \pi r^2}{3}$$

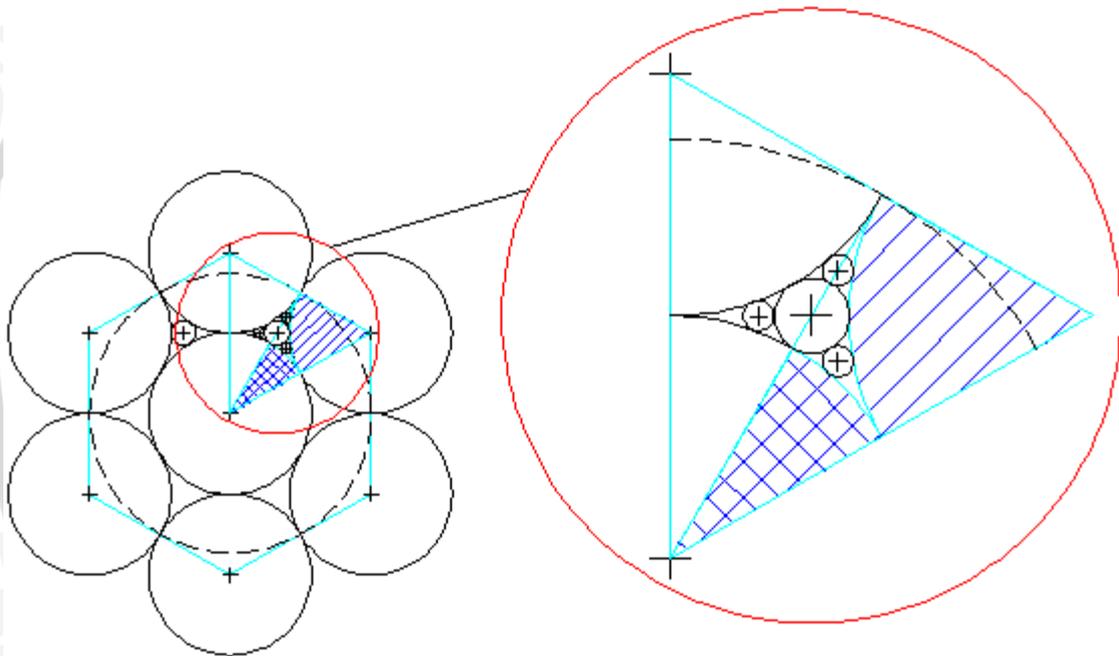
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1.8908 R^2 - 3.14 \times (0.26 R)^2}{3} \\
 &= \frac{1.04944 R^2}{3} \\
 &= 0.3498 R^2
 \end{aligned}$$

Untuk mencari jari-jari serbuk kecil, digunakan perbandingan luas celah besar dengan luas celah kecil.

$$\frac{\text{luas celah besar}}{\text{jari-jari serbuk sedang}} = \frac{\text{luas celah kecil}}{\text{jari-jari serbuk kecil}}$$

$$\frac{1.8908 R^2}{0.26 R} = \frac{0.3498 R^2}{r'}$$

$$r' = 0.048R$$



Gambar 2.5. Serbuk Kecil yang Disisipkan Diantara Serbuk Besar dan Serbuk Sedang

### 2.3 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 memiliki sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Untuk proses penempaan, duralumin tidak boleh memiliki presentase tembaga lebih dari 5,6 % karena akan membentuk senyawa  $\text{CuAl}_2$  dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293).

### 2.3.1 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.

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi logam oleh HC. Oersted tahun 1825. Pada tahun yang sama, yaitu 1886, Paul Heroult di Perancis dan C.M.Hall di Amerika Serikat telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara non ferro (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 ditambahkan paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka akan meningkatkan kekuatan mekaniknya dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus dan sebagainya.

### 2.3.2 Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis  $889 \text{ g/cm}^3$  dan mempunyai titik lebur  $1070 - 1193^\circ\text{C}$ . Tembaga sering digunakan dalam industri manufaktur dikarenakan memiliki sifat-sifat yang menguntungkan antara lain adalah mempunyai sifat 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 mekaniknya.

## 2. Perunggu

Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah, dan perunggu yang biasa dipakai mengandung kurang dari 15% timah (Surdia, 1996:5). Paduan ini mempunyai sifat ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik pula.

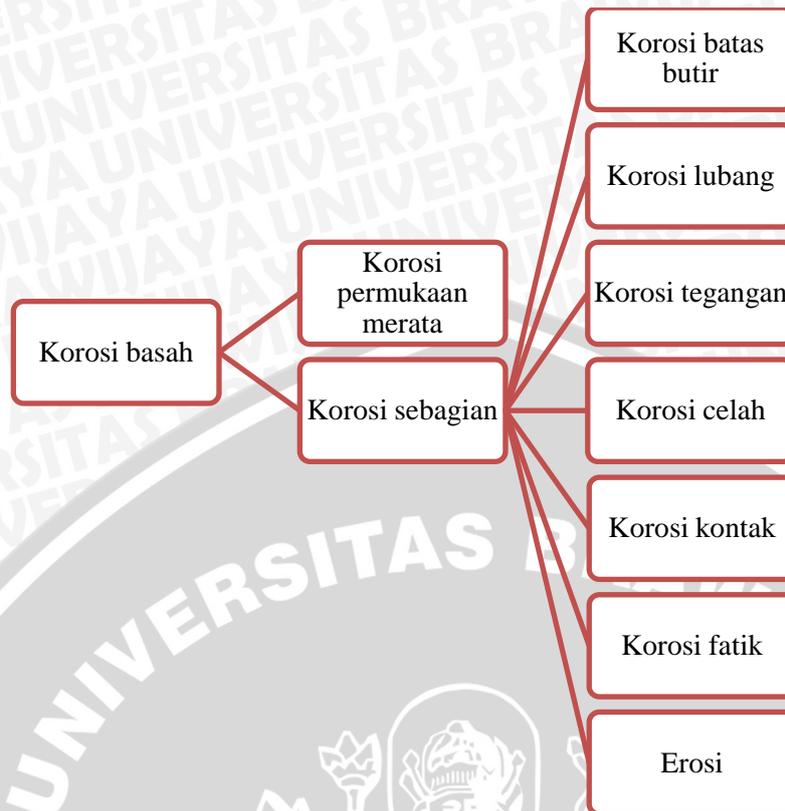
### 2.4 Korosi

Dalam beberapa buku, pengertian korosi adalah sebagai berikut, korosi adalah kerusakan logam akibat reaksi dengan lingkungan (Samuel, 1992:1), korosi didefinisikan sebagai penghancuran atau kerusakan materi karena reaksi dengan lingkungannya (Fontana, 1991:3), proses pembusukan suatu bahan atau proses perubahan sifat suatu bahan akibat pengaruh atau reaksinya dengan lingkungan sekitarnya (Widarto, 2001). Dari beberapa definisi korosi ini dapat disimpulkan bahwa korosi merupakan sebuah penurunan mutu logam atau material akibat reaksi dengan lingkungannya. Secara umum perubahan itu sangat merugikan sehingga korosi perlu dikontrol untuk menghindari terjadinya kerusakan yang lebih parah, karena korosi tidak dapat dicegah, yang dapat dilakukan hanyalah mengendalikannya. Laju korosi diakibatkan oleh adanya pengurangan berat atau tebal yang disebabkan oleh adanya korosi, laju korosi bisa terjadi cepat ataupun lambat hal ini tergantung dari lingkungan yang ada disekelilingnya. Kehilangan berat pada logam merupakan parameter korosi yang sering dipakai dalam menganalisa suatu umur komponen atau suatu konstruksi logam.

Menurut peristiwanya, reaksi korosi ada dua macam yaitu reaksi penggantian atau disebut juga reaksi basah adalah pelarutan logam (biasanya di lingkungan berair) lalu bergabung dengan bukan logam membentuk korosi dan yang kedua adalah reaksi langsung atau disebut juga korosi kering yaitu penggabungan langsung logam atau ion logam dengan unsur-unsur bukan logam.

#### 2.4.1 Korosi Basah

Korosi basah dapat terjadi pada lingkungan yang terdapat cairan. Korosi ini melibatkan larutan atau cairan, contohnya korosi baja oleh air. Daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi merupakan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda sedang berlangsung dan daerah-daerah ini disebut anoda dan katoda. Pembagian korosi basah dapat dilihat pada gambar 2.6 dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2.6. Jenis-Jenis Korosi Basah

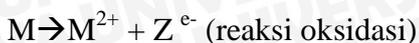
- a. Korosi batas butir terjadi karena adanya karbida chrom yang mengendap pada butir austenite di daerah HAZ.
- b. Korosi lubang terjadi bila ada ion halogen atau zat lain yang melekat di permukaan.
- c. Korosi tegangan terjadi bila ada tegangan beban atau tegangan sisa yang bekerja dan lingkungan yang bersifat korosi.
- d. Korosi celah terjadi bila ada celah seperti takik atau lipatan.
- e. Korosi kontak terjadi bila ada listrik yang terhubung dengan logam yang berlainan.
- f. Korosi fatik terjadi bila ada beban berulang dan lingkungan yang terjadi dan lingkungan yang bersifat korosi
- g. Erosi terjadi bila ada gesekan dengan cairan yang mengalir diantaranya.

Ada empat komponen penting dalam korosi basah antara lain:

1. Anoda (kutub positif)

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Hal ini biasanya disebut reaksi anoda. Reaksi ini bisa saja menghalangi pelarutan logam lebih lanjut sehingga korosi terhenti. Bila demikian permukaan logam

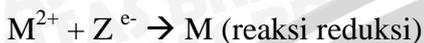
disebut mengalami pemasifan (*passivated*). Reaksi anoda pada logam M dapat dilihat sebagai berikut:



2. Katoda (kutub negatif)

Reaksi katoda adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron. Reaksi katoda menyebabkan reaksi reduksi dan pada umumnya tidak mengalami korosi.

Reaksinya adalah



3. Elektrolit

Larutan penghantar ion

4. *Electrical connection*

Antara anoda dan katoda terdapat kontak listrik (selisih energi bebas), sehingga elektron (arus) dapat mengalir.

#### 2.4.2 Korosi Kering

Korosi kering atau korosi temperatur tinggi adalah proses korosi yang terjadi melalui reaksi kimia secara murni, tanpa adanya elektrolit atau bisa dikatakan tidak melibatkan air dengan segala bentuknya. Korosi kering biasanya terjadi pada kondisi temperatur tinggi atau dalam keadaan kering yang melibatkan logam (M) dengan oksigen, nitrogen, dan sulfida.

Penyebab korosi temperatur tinggi adalah :

1. Oksidasi

Reaksi oksidasi pada korosi temperatur tinggi, membentuk lapisan oksida yang dapat menahan serangan dari peristiwa korosi yang lain bila jumlah oksigen dilingkungannya cukup, tetapi oksidasinya harus terkontrol.

2. Karburasi dan metal dusting

Terjadi dalam lingkungan yang mengandung CO, CH<sub>4</sub> dan gas hidrokarbon lainnya. Penguraian C ke permukaan logam mengakibatkan penggetasan dan degradasi sifat mekanik lainnya.

3. Nitridasi

Terjadi pada lingkungan yang mengandung amonia, terutama pada potensial oksigen yang rendah. Penyerapan nitrogen yang berlebihan akan membentuk presipitat nitrida di batas butir dan menyebabkan penggetasan.

4. Korosi oleh Halogen

Senyawa halida akibat penyerapan halogen oleh logam dapat bersifat mudah menguap atau mencair pada temperatur rendah. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan yang parah.

5. Sulfidasi

Terjadi dalam lingkungan yang mengandung bahan bakar atau hasil pembakaran yang mengandung sulfur. Dengan oksigen membentuk  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  yang bersifat pengoksidasi yang kurang agresif dibandingkan  $\text{H}_2\text{S}$  yang bersifat pereduksi, tetapi dapat terjadi efek penguatan dengan adanya Na dan K yang akan membentuk uap yang kemudian akan mengendap ke permukaan logam pada temperatur yang lebih rendah dan merusak permukaan.

6. Korosi deposit abu dan garam

Deposit dapat mengakibatkan turunnya aktifitas oksigen dan menaikkan aktifitas sulfur, sehingga merusak lapisan pasif dan mempersulit pembentukannya kembali. Deposit biasanya mengandung S, Cl, Zn, Pb dan K

7. Korosi karena logam cair

Terjadi pada proses yang mempergunakan logam cair, misalnya *heat treatment* dan *refining process*. Korosi terjadi dalam bentuk pelarutan logam dan oksidanya akan semakin hebat dengan adanya uap air dan oksigen

### 2.4.3 Bentuk-Bentuk Korosi

Bentuk-bentuk korosi dibagi menjadi 8 kelompok besar dimana penggolongannya berdasarkan bentuk tampilan dari logam.

1. *Uniform/General Attack*

*Uniform/General Attack* adalah korosi yang terjadi pada seluruh permukaan benda/logam yang kontak dengan elektrolit dengan intensitas sama.

2. *Galvanic Corrosion*

*Galvanic Corrosion* adalah korosi yang terjadi bila dua logam berbeda berada pada lingkungan korosif dan saling kontak, akibatnya terjadi perbedaan beda potensial yang menghasilkan aliran elektron antar dua logam tersebut. Logam dengan potensial lebih negatif (ketahanan korosi rendah) akan bertindak sebagai anoda kemudian logam kedua sebagai katoda.

3. *Crevice Corrosion* (Korosi Sela)

Korosi sela adalah korosi yang terjadi pada sela-sela sambungan dua permukaan logam yang sejenis atau pada daerah-daerah yang tertutup di permukaan logam.

4. *Pitting Corrosion* (Korosi Lubang)

Korosi yang terjadi pada permukaan logam pada daerah yang bersifat anodik dan katodik karena perbedaan struktur logam dengan lingkungan yang korosif.

5. *Intergranular Corrosion* (Korosi Batas Butir)

Korosi yang terjadi pada sepanjang batas butir. Hal ini terjadi karena pengayaan dan pengurangan unsur-unsur paduan tertentu pada batas butir yang menyebabkan batas butir bersifat anodik.

6. *Selective Leaching/Parting*

Korosi yang terjadi pada logam yang memiliki lebih dari satu fase.

7. *Erosion Corrosion*

Serangan korosi jenis ini tergantung pada gerakan relatif antara permukaan logam dengan larutan korosif.

8. *Stress Corrosion*

Terjadi karena hasil gabungan dari tegangan dan tarik yang berhubungan dengan lingkungan dan faktor metalurgi.

#### 2.4.4 Pengujian Korosi

Pengujian korosi ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi atau ketahanan korosi dari suatu material. Pengujian korosi dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

1. Pengujian Laboratorium

Pengujian ini dilakukan dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat terkorosi, dengan kondisi dan bentuk spesimen yang dibuat mendekati keadaan sebenarnya atau spesimen tiruan. Pada pengujian di laboratorium ini biasanya digunakan larutan-larutan yang bersifat korosif dan menggunakan larutan yang dialiri arus listrik (*electrochemical*), misalnya *galvanic cells* dan *electrolytic cells* sehingga waktu relatif lebih singkat.

2. Pengujian lapangan

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan spesimen sebenarnya langsung pada kondisi lingkungan atau kondisi aplikasi yang dialami langsung oleh material tanpa adanya kondisi-kondisi yang dibuat-buat untuk mempercepat terjadinya korosi. Lingkungan-lingkungan yang alamiah itu antara lain:

- Kondisi atmosfer, misal: industri, udara pantai, pegunungan.
- Lingkungan air, misal: air mengalir (sungai) dan diam (payau), air garam, air destilasi, air panas dan bertekanan.
- Lingkungan tanah, misal: berpasir, kering, lempung, berdebu.

Laju korosi dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{87,6 \times W}{A \times t \times D} \dots\dots\dots(2-5)$$

Keterangan: Laju Korosi [mmpy]

W = berat yang hilang [gram]

A = luas spesimen [cm<sup>2</sup>]

t = waktu pengujian [jam]

D = densitas massa spesimen [g/cm<sup>3</sup>]

## 2.5 Kekerasan

Dalam *engineer* yang menyangkut logam, kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi permukaan, yang disebabkan oleh penekanan benda tekan berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Pengujian kekerasan sangat berguna sekali untuk mengetahui kualitas suatu bahan yang akan dipergunakan pada produk – produk logam seperti komponen mesin. Beberapa metode pengujian kekerasan, yaitu:

### 1. Metode pengujian dengan pantulan

Metode pengujian ini biasa disebut dengan *schleroscope test*. Pengujian kekerasan pantulan menggunakan palu intan yang dapat dinaikkan pada ketinggian tertentu lalu dijatuhkan bebas pada permukaan logam yang halus. Ketinggian pemantulan setelah menyentuh permukaan itulah yang diukur. Semakin tinggi pantulan maka benda yang diuji memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula. Keuntungan dari metode ini adalah peralatan kecil dan penetrasi kecil sehingga tidak merusak bahan uji.

### 2. Metode pengujian dengan Goresan

Metode pengujian ini dengan cara Moh's, yaitu meggoreskan beberapa mineral standar yang diketahui kekerasannya pada material yang akan diuji. Beberapa mineral standar yang digunakan adalah gips, kalsit, apatite, fluorite, intan, kwarsa, dan titanium.

Metode ini kurang diminati dikarenakan interval skalanya terlalu tinggi sehingga hasilnya kurang tepat. Logam pada umumnya mempunyai skala Moh's 4-8.

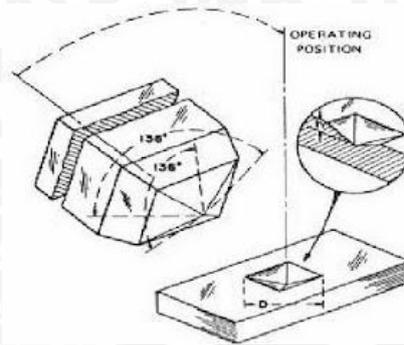
### 3. Metode pengujian dengan penekanan

Metode pengujian ini dibedakan menjadi empat berdasarkan bentuk indentornya yaitu kekerasan Brinell, Vickers, Rockwell, dan kekerasan mikro. Berikut ini akan diuraikan kelebihan dan kekurangan dari metode pengujian dengan penekanan.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pengujian Kekerasan dengan Metode Penekanan.

Pengujian Kekerasan	Kelebihan	Kekurangan
Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cepat dan akurat</li> <li>▪ Data digunakan untuk material yang cepat geser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lebih mahal</li> <li>▪ Nilai kekerasannya ditentukan oleh manusia</li> </ul>
Brinell	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tidak dipengaruhi kekasaran permukaan</li> <li>▪ Digunakan untuk material yang keras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perhitungan kurang akurat</li> <li>▪ Penekanan tidak terpusat</li> <li>▪ Tidak bisa menguji benda yang sangat tipis</li> </ul>
Kekerasan Mikro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kekerasan terpusat dikarenakan indenter berbentuk piramida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digunakan pada benda yang sangat tipis</li> </ul>
Vickers	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umum untuk segala pengujian bahan</li> <li>▪ Dapat digunakan dalam segala material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengujian relatif lama</li> <li>▪ Persiapan yang hati-hati karena permukaan harus rata</li> </ul>

Sumber: Avner, 1995



Gambar 2.7. Skematis Prinsip Indentasi dengan Metode Vickers  
Sumber: Suherman, 1987: 27

Pada metode pengujian Vickers digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar  $136^\circ$  seperti diperlihatkan pada gambar 2.4. 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.

## 2.6 Bushing

*Bushing* atau yang dikenal sebagai bantalan luncur 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. Di bawah ini menunjukkan bentuk sebuah *bushing* (bantalan poros).



Gambar 2.8. *Bushing*  
Sumber: Martin, 2009: 207

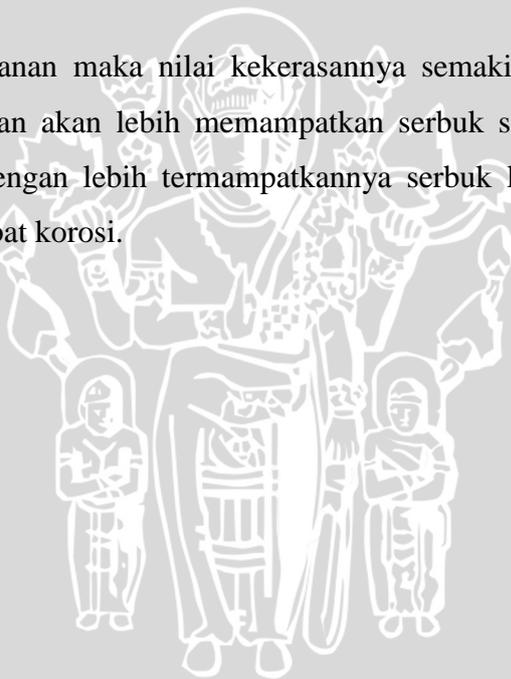
Dalam memilih bahan *bushing* yang perlu diperhatikan adalah :

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
5. Koefisien muai kecil
6. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik

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

## 2.7 Hipotesa

Semakin besar tekanan maka nilai kekerasannya semakin tinggi dikarenakan pada saat proses pemadatan akan lebih memampatkan serbuk serta laju korosi akan semakin rendah karena dengan lebih termampatkannya serbuk logam maka material akan lebih sulit terurai akibat korosi.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Selain itu, kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium  $\alpha\beta\gamma$  Landung Sari, Laboratorium Proses Produksi 1 dan Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya. Waktu penelitian dimulai pada bulan Juni 2012 sampai November 2012.

#### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi tekanan yaitu 30 MPa, 32,5 MPa, 35 MPa, 37,5 MPa, 40 MPa.

##### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu:

- a. Distribusi Kekerasan
- b. Laju Korosi

##### 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

- a. Berat serbuk sebesar 40 gram
- b. Waktu penekanan 30 menit
- c. Temperatur penekanan 450 °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 *Hot Pressing* digunakan untuk menekan serbuk sehingga terbentuk spesimen yang diinginkan. Tekanan pada mesin ini antara 1-600 bar. Mesin ini juga berfungsi sebagai pemanas untuk memanaskan serbuk logam.



Gambar 3.1. Mesin *Hot Pressing*

2. Timbangan elektrik digunakan untuk menimbang berat serbuk yang akan digunakan.

Spesifikasi alat:

Merk : JIND 200M

Ketelitian : 0,01 gram



Gambar 3.2. Timbangan Elektrik

- Cetakan berfungsi membentuk spesimen.



Gambar 3.3. Cetakan

- Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan dari panasnya cetakan.



Gambar 3.4. Sarung Tangan

- Penjepit baja digunakan untuk memasukkan dan mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.



Gambar 3.5. Penjepit Baja

6. *Micro Vickers Hardness Tester* digunakan untuk uji kekerasan

Spesifikasi alat:

Type : TH712

Test Force : (0.098, 0.246, 0.49, 0.98, 1.96, 2.94, 4.90, 9.80)N

Amplification of The Test Force : 100x-400x

Dwell Time of The Test Force : (5-60)s

Testing Field : 1HV-2967HV



Gambar 3.6. *Micro Vickers Hardness Tester*

7. Elektrolisis *cell* digunakan untuk uji laju korosi.

Spesifikasi alat:

AC in : 220V

DC out : 6V – 12V

Arus : 5A



Gambar 3.7. Elektrolisis *Cell*

### 3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

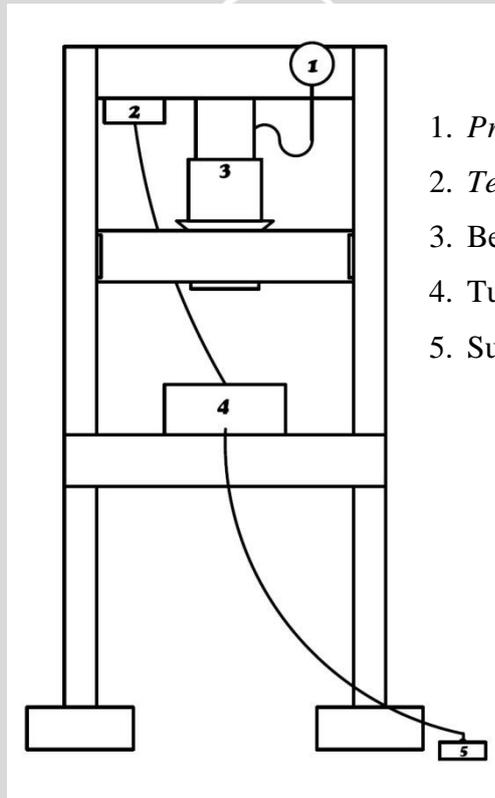
1. Serbuk paduan Al-Cu



Gambar 3.8. Serbuk paduan Al-Cu

2. Grafit

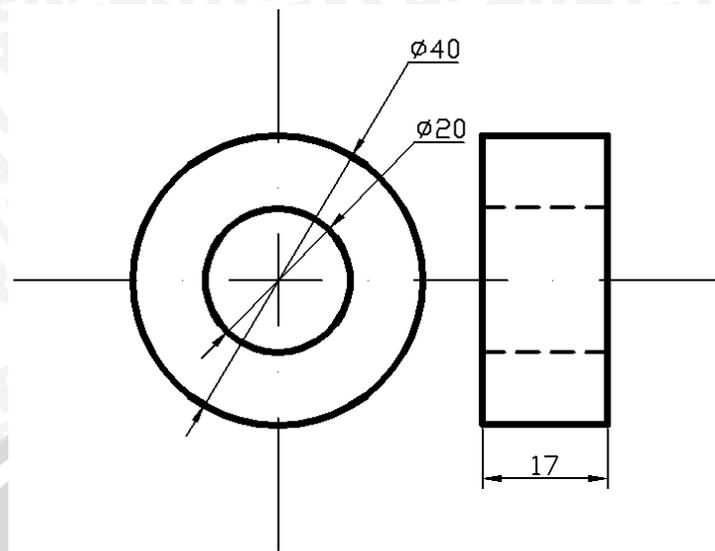
3.4 Instalasi Penelitian



- 1. *Pressure Gauge*
- 2. *Temperature Display*
- 3. *Beban Penekan*
- 4. *Tungku*
- 5. *Sumber Listrik*

Gambar 3.9. Instalasi Mesin *Hot Pressing*

### 3.5 Dimensi Hasil Powder Metallurgy



Gambar 3.10. Rancangan Benda Kerja (Satuan dalam mm)

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Prosedur Percobaan



Gambar 3.11. Susunan Cetakan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.
2. Timbang serbuk logam seberat 40 gr.
3. Susun *core* dan *base* menjadi satu susunan.

4. Letakkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *Hot Pressing*.
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*.
7. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover* sehingga *core*, *base*, *cover* dan *punch* menjadi satu susunan.
8. Berikan tekanan hingga 10 MPa pada cetakan dengan menaikturunkan tuas hidrolik pada mesin *Hot Pressing*.
9. Tunggu hingga temperatur mencapai 450 °C, kemudian naikkan tekanan hingga 30 MPa.
10. Mulai *timer* dengan waktu 15 menit.
11. Jaga temperatur selama *holding time* dengan memutus/menyambung aliran listrik.
12. Setelah waktu habis, lepaskan penekan hidrolik dari cetakan.
13. Angkat cetakan dari tungku mesin *Hot Pressing* kemudian letakkan di papan untuk membalik spesimen
14. Lepaskan *cover* dari susunan *core* dan *base* kemudian lepaskan *punch* dari *cover*.
15. Balik *cover* kemudian pukul spesimen dengan kayu dan palu hingga spesimen agak turun.
16. Masukkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *Hot Pressing*.
17. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga menjadi susunan *core*, *base* dan *cover*.
18. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover*.
19. Ulangi prosedur poin 8 sampai poin 12
20. Pukul *punch* dengan kayu dan palu sampai spesimen keluar dari dalam *cover*.
21. Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 20 dengan variasi tekanan 32,5, 35, 37,5 dan 40 MPa.
  - Spesimen kedua dilakukan dengan memberikan tekanan pada cetakan sebesar 32,5 MPa.
  - Spesimen ketiga dilakukan dengan memberikan tekanan pada cetakan sebesar 35 MPa.
  - Spesimen keempat dilakukan dengan memberikan tekanan pada cetakan sebesar 37,5 MPa.

- Spesimen kelima dilakukan dengan memberikan tekanan pada cetakan sebesar 40 MPa.

### 3.6.2 Prosedur Pengambilan Data dan Pengolahan Data

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

- a) Pengujian untuk mengetahui nilai laju korosi
  1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan (larutan HCl dengan kandungan HCl 5 %).
  2. Spesimen dengan tekanan kompaksi 40 MPa ditimbang beratnya kemudian dipasang ke alat uji korosi.
  3. Atur tegangan alat uji korosi sebesar 6 volt.
  4. Spesimen diuji selama 1 jam.
  5. Spesimen dengan tekanan kompaksi 40 MPa ditimbang beratnya.
  6. Menghitung laju korosi dengan menggunakan persamaan 2.5.
  7. Mengulang langkah 2 sampai 6 pada spesimen dengan tekanan kompaksi 37,5 MPa, 35 MPa, 32,5 MPa, 30 MPa.
- b) Pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan
  1. Memotong semua spesimen hingga mendapatkan permukaan yang rata.
  2. Melakukan pengamplasan pada masing-masing permukaan yang akan diuji kekerasannya dengan menggunakan kertas gosok sampai didapatkan permukaan yang halus.
  3. Melakukan pengujian kekerasan di masing-masing permukaan pada spesimen tekanan kompaksi 40 MPa.
  4. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 3 pada spesimen tekanan kompaksi 37,5 MPa, 35 MPa, 32,5 MPa dan 30 MPa.
  5. Melakukan pengambilan data seperti tabel 3.2.

### 3.7 Rancangan Penelitian

- a. Rancangan penelitian dari pengaruh tekanan kompaksi terhadap laju korosi dapat dilihat dari tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Rancangan Percobaan Laju Korosi

Tekanan (MPa)	Berat Sebelum Terkorosi (gr)	Berat Sesudah Terkorosi (gr)	Laju Korosi
30	AW <sub>Sb</sub>	AW <sub>Sd</sub>	LkA
32,5	BW <sub>Sb</sub>	BW <sub>Sd</sub>	LkB
35	CW <sub>Sb</sub>	CW <sub>Sd</sub>	LkC
37,5	DW <sub>Sb</sub>	DW <sub>Sd</sub>	LkD
40	EW <sub>Sb</sub>	EW <sub>Sd</sub>	LkE

## Keterangan

A : spesimen dengan tekanan 30 MPa

B : spesimen dengan tekanan 32,5 MPa

C : spesimen dengan tekanan 35 MPa

D : spesimen dengan tekanan 37,5 MPa

E : spesimen dengan tekanan 40 MPa

W<sub>Sb</sub> : berat sebelum terkorosiW<sub>Sd</sub> : berat sesudah terkorosi

L : luas

Lk : laju korosi

- b. Rancangan penelitian dari pengaruh tekanan terhadap distribusi kekerasan dapat dilihat dari tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Rancangan Percobaan Uji Kekerasan

Tekanan (MPa)	Bagian	Nilai kekerasan (VHN)	Rata-rata	
30	Luar	1	AL1	AL
		2	AL2	
		3	AL3	
	Dalam	1	ADa1	ADa
		2	ADa2	
		3	ADa3	
	Atas	1	AAt1	AAt
		2	AAt2	
		3	AAt3	
32,5	Luar	1	BL1	BL
		2	BL2	
		3	BL3	

35	Dalam	1	BDa1	BDa	
		2	BDa2		
		3	BDa3		
	Atas	1	BAt1	BAt	
		2	BAt2		
		3	BAt3		
	37,5	Luar	1	CL1	CL
			2	CL2	
			3	CL3	
Dalam		1	CDa1	CDa	
		2	CDa2		
		3	CDa3		
Atas		1	CAt1	CAt	
		2	CAt2		
		3	CAt3		
40	Luar	1	DL1	DL	
		2	DL2		
		3	DL3		
	Dalam	1	DDa1	DDa	
		2	DDa2		
		3	DDa3		
	Atas	1	DAt1	DAt	
		2	DAt2		
		3	DAt3		
40	Luar	1	EL1	EL	
		2	EL2		
		3	EL3		
	Dalam	1	EDa1	ED	
		2	EDa2		
		3	EDa3		
	Atas	1	EAt1	EAt	
		2	EAt2		
		3	EAt3		

Keterangan:

A = spesimen dengan tekanan 30 MPa

B = spesimen dengan tekanan 32,5 MPa

C = spesimen dengan tekanan 35 MPa

D = spesimen dengan tekanan 37,5 MPa

E = spesimen dengan tekanan 40 MPa

L = tepi luar

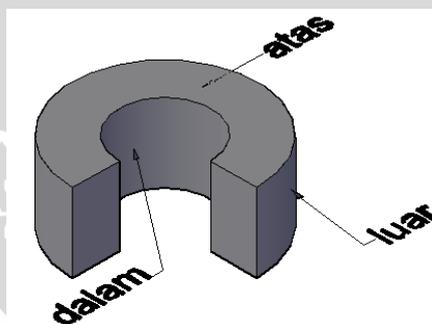
Da = tepi dalam

At = tepi atas

1 = Titik pertama

2 = Titik kedua

3 = Titik ketiga



Gambar 3.12. Bagian *Bushing* yang Diuji Kekerasannya

### 3.8 Sumber Data

Sumber data penelitian adalah sumber data primer dan data sekunder.

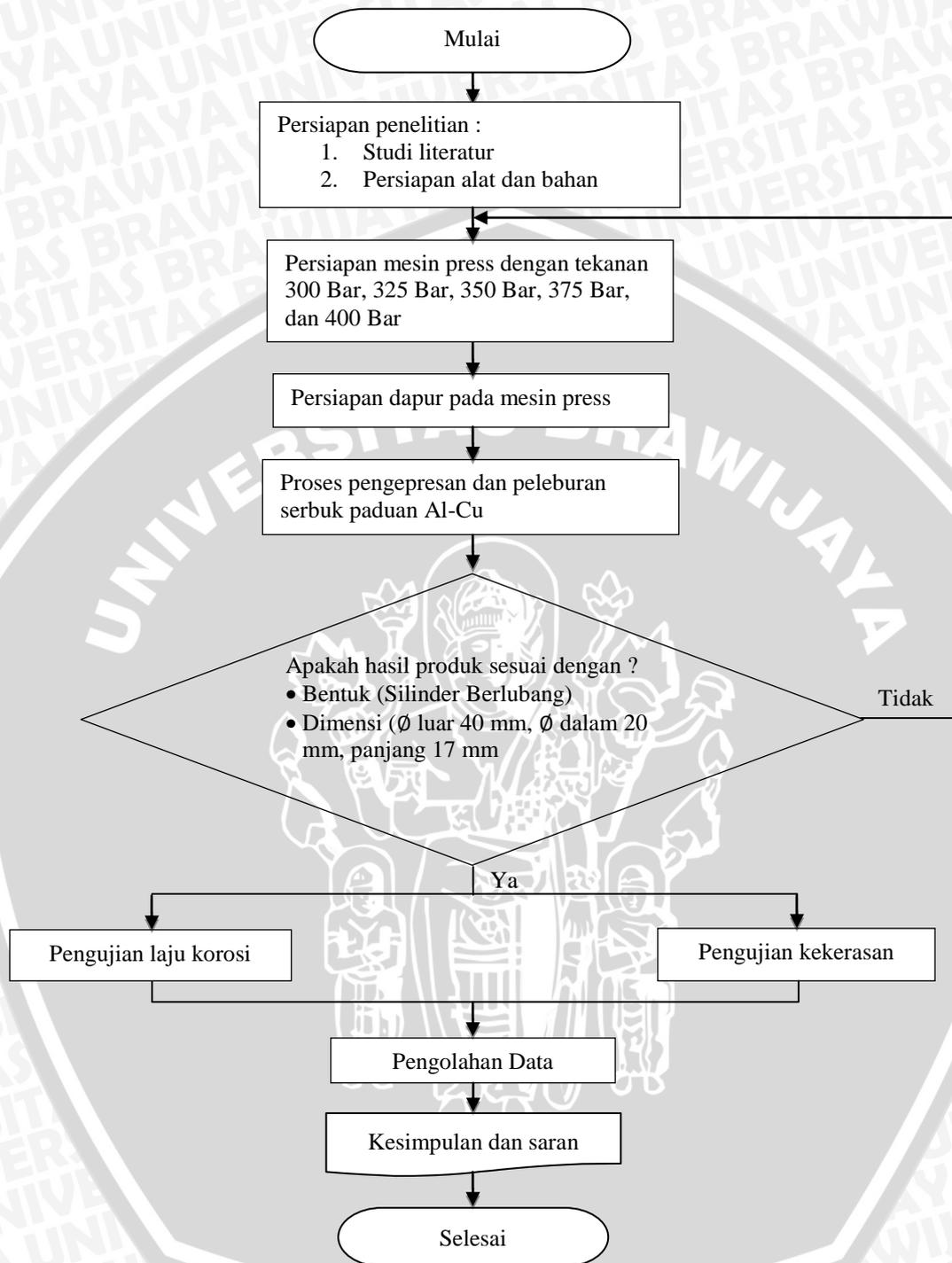
#### 3.8.1 Data Primer

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.

#### 3.8.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data primer 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.

### 3.9 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

##### 4.1.1 Data dan Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi menggunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{87,6 \times W}{A \times t \times D}$$

Keterangan: Laju Korosi [mmpy]

W = berat yang hilang [gram]

A = luas spesimen [cm<sup>2</sup>]

t = waktu pengujian [jam]

D = densitas massa spesimen [g/cm<sup>3</sup>]

- Data densitas massa unsur diperoleh dari tabel unsur.
- Data prosentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectrometer*.

Tabel 4.1 Densitas Unsur [g/cm<sup>3</sup>]

Densitas	Unsur											
	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

Densitas massa spesimen dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \rho_{th} &= \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \\ &= \frac{100}{35.5159} \\ &= 2.815 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian korosi yang telah dilakukan terhadap *bushing powder duralumin* dengan variasi tekanan kompaksi, didapatkan data seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Laju Korosi

Tekanan [MPa]	Berat Sebelum Terkorosi [gr]	Berat Sesudah Terkorosi [gr]	Laju Korosi [mmpy]
30	5,31	3,35	0,096
32,5	12,40	9,51	0,078
35	19,00	16,30	0,070
37,5	20,26	18,32	0,043
40	22,14	20,29	0,035

#### 4.1.2 Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kekerasan Vickers (VHN) seperti pada tabel 4.3. Bagian sampel yang diuji pada setiap variasi tekanan adalah bagian atas, bagian dalam dan bagian luar. Masing-masing bagian diuji di tiga titik berbeda.

Nilai kekerasan diperoleh dengan mencari rata-rata nilai kekerasan pada tiap sampel.

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Tekanan [MPa]	Bagian		Nilai kekerasan [VHN]	Rata-rata bagian [VHN]	Rata-rata tiga bagian [VHN]
30	Luar	1	51,73	43,69	54,14
		2	37,65		
		3	41,70		
	Dalam	1	31,64	39,33	
		2	41,00		
		3	45,36		
	Atas	1	88,36	79,39	
		2	64,04		
		3	85,76		
32,5	Luar	1	68,91	51,12	61,75
		2	41,54		
		3	42,90		
	Dalam	1	39,24	45,42	
		2	41,54		
		3	55,48		
	Atas	1	88,36	88,70	
		2	76,85		
		3	100,90		

35	Luar	1	53,28	56,13	77,02
		2	61,03		
		3	54,07		
	Dalam	1	53,28	51,26	
		2	45,01		
		3	55,48		
	Atas	1	136,00	123,67	
		2	135,00		
		3	100,00		
37,5	Luar	1	74,37	76,46	95,86
		2	80,00		
		3	75,00		
	Dalam	1	54,54	51,88	
		2	48,93		
		3	52,16		
	Atas	1	96,88	159,26	
		2	195,4		
		3	185,5		
40	Luar	1	77,63	80,26	119,47
		2	83,28		
		3	79,86		
	Dalam	1	55,37	52,34	
		2	51,51		
		3	50,15		
	Atas	1	187,7	225,8	
		2	260,4		
		3	229,3		

Tabel 4.4. Persentase Distribusi Kekerasan

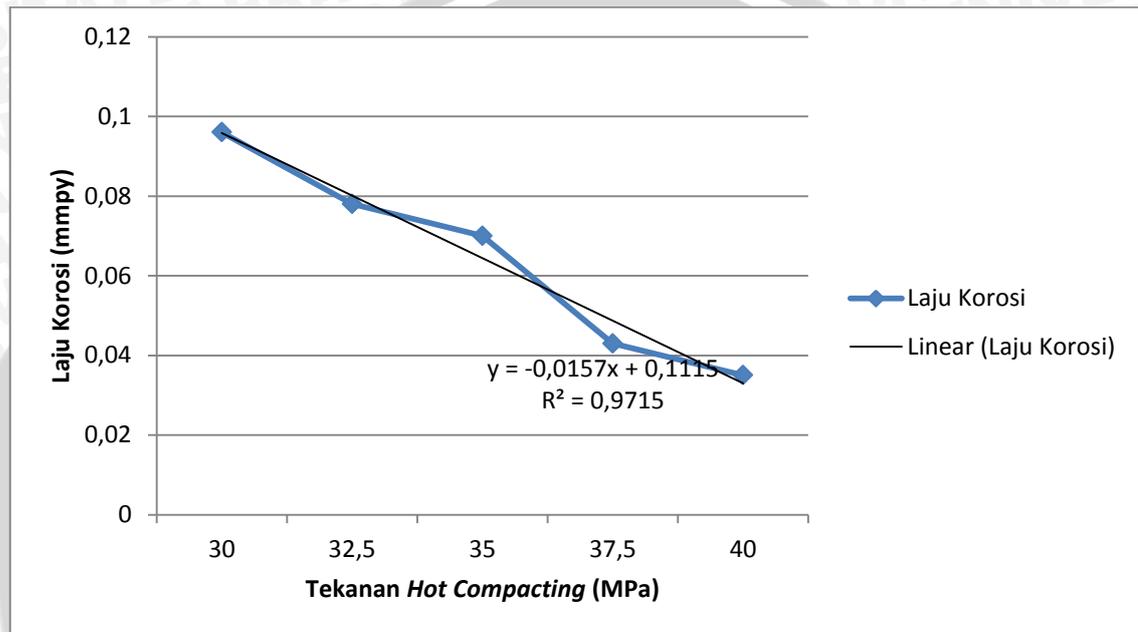
Tekanan [MPa]	Bagian	Nilai kekerasan [VHN]	Rata-rata bagian [VHN]	Persentase per bagian [%]	Rata-rata tiga bagian [VHN]
30	luar	51,73	43,69	19,29	54,14
		37,65			
		41,70			
	dalam	31,64	39,33	27,35	
		41,00			
		45,36			
	atas	88,36	79,39	46,64	
		64,04			
		85,76			
32,5	luar	68,91	51,12	17,22	61,75
		41,54			
		42,90			
	dalam	39,24	45,42	26,44	
		41,54			
		55,48			
	atas	88,36	88,70	43,66	
		76,85			
		100,90			
35	luar	53,28	56,13	27,12	77,02
		61,03			
		54,07			
	dalam	53,28	51,26	33,45	
		45,01			
		55,48			
	atas	136,00	123,67	60,57	
		135,00			
		100,00			
37,5	luar	74,37	76,46	20,25	95,86
		80,00			
		75,00			
	dalam	54,54	51,88	45,89	
		48,93			
		52,16			
	atas	96,88	159,26	66,13	
		195,4			
		185,5			
40	luar	77,63	80,26	32,82	119,47
		83,28			
		79,86			
	dalam	55,37	52,34	56,19	
		51,51			
		50,15			
	atas	187,7	225,8	89,00	
		260,4			
		229,3			

Persentase per bagian diperoleh dari selisih antara rata-rata bagian dengan rata-rata tiga bagian dibagi rata-rata tiga bagian dikali 100% atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\% \text{ per bagian} = \frac{\Delta \text{rata} - \text{rata bagian dengan rata} - \text{rata tiga bagian}}{\text{rata} - \text{rata tiga bagian}} \times 100\%$$

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pembahasan Grafik Laju Korosi



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Tekanan *Hot Compacting* dengan Laju Korosi

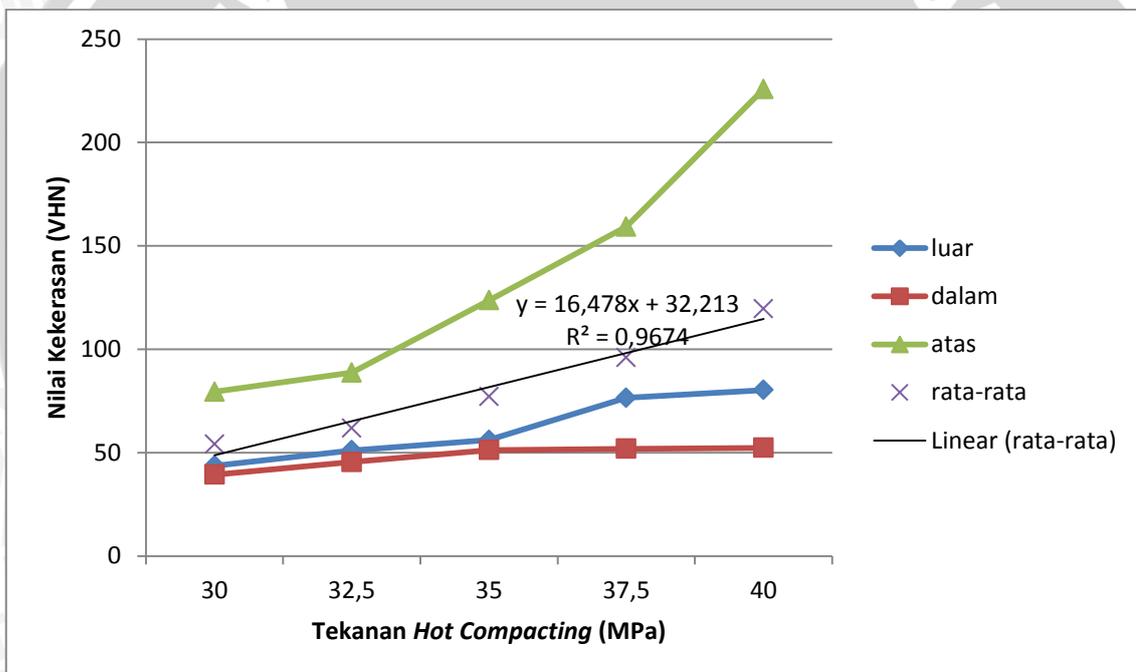
Salah satu faktor yang mempengaruhi laju korosi pada *bushing powder metallurgy* adalah tekanan *hot compacting*. Semakin besar tekanan *hot compacting* akan memberikan pemampatan yang lebih besar pula pada butiran-butiran serbuk logam sehingga menjadikan laju korosinya semakin rendah karena dengan lebih termampatkannya butiran serbuk logam maka material akan lebih sulit terurai karena korosi.

Korosi merupakan sebuah penurunan mutu logam atau material akibat reaksi dengan lingkungannya. Korosi biasanya berlangsung sangat lambat tetapi secara terus menerus.

Dari gambar 4.1 ditunjukkan bahwa tingkat laju korosi yang paling rendah terjadi pada titik dengan tekanan kompaksi 40 MPa yaitu sebesar 0,035 mmpy sedangkan tingkat laju korosi tertinggi terjadi pada titik dengan tekanan kompaksi 30 MPa yaitu sebesar 0,096 mmpy. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar

tekanan kompaksi pada proses *powder metallurgy* maka tingkat laju korosi yang terjadi semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan, partikel-partikel semakin terdesak sehingga membuat luas kontak antar partikel semakin besar dan rongga-rongga antar partikel menjadi lebih kecil sehingga menjadikan partikel lebih mampat. Dengan lebih termampatkannya partikel, maka material akan lebih sulit terurai karena korosi. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil tekanan kompaksi pada proses *powder metallurgy* maka tingkat laju korosi yang terjadi tinggi. Hal ini terjadi karena semakin kecil tekanan maka partikel-partikel kurang terdesak dan termampatkan yang menyebabkan berkurangnya luas kontak antar partikel sehingga material akan lebih mudah terurai karena korosi.

#### 4.2.2 Pembahasan Grafik Pengujian Distribusi Kekerasan



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Tekanan *Hot Compacting* dengan Kekerasan

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan *hot compacting* terhadap kekerasan. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa rata-rata nilai kekerasan yang paling rendah terjadi pada titik dengan tekanan *hot compacting* 30 MPa yaitu sebesar 54,14 VHN sedangkan rata-rata nilai kekerasan tertinggi terjadi pada titik dengan tekanan kompaksi 40 MPa yaitu sebesar 119,47 VHN. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil tekanan *hot compacting* maka kekerasan semakin menurun sedangkan semakin besar tekanan *hot compacting* maka kekerasan semakin meningkat.

Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan menyebabkan partikel partikel lebih saling bersinggungan sehingga membentuk luas kontak antar butir yang semakin luas. Dengan semakin luasnya kontak antar butir maka rongga antar butir semakin kecil sehingga kekerasannya meningkat.

Pada bagian atas memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibanding bagian luar dan bagian dalam yaitu pada tekanan 30 MPa sebesar 79,39 VHN, 32,5 MPa sebesar 88,70 VHN, 35 MPa sebesar 123,67 VHN, 37,5 MPa sebesar 159,26 VHN dan 40 MPa sebesar 225,8 VHN. Hal ini disebabkan karena pada bagian atas adalah bagian yang menerima beban penekanan secara langsung yang arahnya dari atas ke bawah. Tekanan menyebabkan rongga-rongga di sekitar partikel menjadi berkurang karena partikel-partikel saling bersinggungan sehingga terbentuk kontak antar butir yang semakin luas. Pada tekanan rendah kerapatan yang dihasilkan belum terlalu besar, namun dengan seiring meningkatnya tekanan mengakibatkan kerapatan menjadi semakin meningkat sehingga dihasilkan luas kontak antar partikel yang semakin besar. Selain itu partikel juga menjadi lebih mampat akibat terdesaknya partikel satu dengan yang lain.

Sedangkan pada bagian luar memiliki rata-rata nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan bagian atas yaitu pada tekanan 30 MPa sebesar 43.69 VHN, 32.5 MPa sebesar 51.12 VHN, 35 MPa sebesar 56.13 VHN, 37.5 MPa sebesar 76.46 VHN dan 40 MPa sebesar 80.26 VHN. Begitu pula pada bagian dalam, memiliki rata-rata nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan bagian atas yaitu pada tekanan 30 MPa sebesar 39.33 VHN, 32.5 MPa sebesar 45.42 VHN, 35 MPa sebesar 51.26 VHN, 37.5 MPa sebesar 51.88 VHN dan 40 MPa sebesar 52.34 VHN. Hal ini disebabkan karena bagian luar dan bagian dalam tidak secara langsung menerima beban penekanan sehingga partikel pada bagian luar dan bagian dalam mengalami desakan yang lebih kecil daripada bagian atas. Hal ini mengakibatkan kemampuan partikel menjadi lebih rendah sehingga nilai kekerasannya menurun.

Untuk persentase distribusi kekerasan per bagian terhadap rata-rata tiga bagian adalah sebagai berikut: tekanan 30 MPa bagian luar sebesar 19,29%, bagian dalam sebesar 27,35%, bagian atas sebesar 46,64%, tekanan 32,5 MPa bagian luar sebesar 17,22%, bagian dalam sebesar 26,44%, bagian atas sebesar 43,66%, tekanan 35 MPa bagian luar sebesar 27,12%, bagian dalam sebesar 33,45%, bagian atas sebesar 60,57%, tekanan 37,5 MPa bagian luar sebesar 20,25%, bagian dalam sebesar 45,89%, bagian atas sebesar 66,13%, dan untuk tekanan 40 MPa bagian luar sebesar 32,82%, bagian dalam sebesar 56,19%, bagian atas sebesar 89,00%.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh tekanan *hot compacting* terhadap laju korosi dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi akan meningkatkan kekerasan spesimen. Hal ini terbukti dengan rata-rata nilai kekerasan minimum terjadi pada spesimen tekanan kompaksi 30 MPa yaitu sebesar 54,14 VHN. Begitu juga sebaliknya, penurunan tekanan kompaksi akan menurunkan kekerasan spesimen, terbukti dengan rata-rata nilai kekerasan maksimum terjadi pada spesimen tekanan kompaksi 40 MPa yaitu sebesar 119,47 VHN.

Peningkatan tekanan kompaksi akan menurunkan laju korosi. Hal ini terbukti dengan laju korosi minimum terjadi pada spesimen tekanan 40 MPa yaitu sebesar 0,035 mmpy. Sedangkan laju korosi maksimum terjadi pada spesimen tekanan 30 MPa yaitu sebesar 0,096 mmpy.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan nilai kekerasan tertinggi pada bagian dalam *bushing* karena bagian itu adalah bagian yang menerima beban langsung dari poros sehingga pada bagian dalamlah yang seharusnya mempunyai kekerasan tertinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variabel yang tidak terkontrol dalam penelitian ini, misalnya waktu penekanan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variabel bebas yang lain, yaitu variasi ukuran butir.

## DAFTAR PUSTAKA

- aktiebolag, H.-B. (1997). *Production of Sintered Components*.  
<http://hoganas.com/Documents/Handbooks/Handbook%20No.2.pdf>. Dipetik  
September 19, 2012
- Avner. (1997). *Introduction of Physical Metallurgy*. India: McGraw Hill.
- Bradford, S. A. (1993). *Corrosion Control*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Callister, W. D. (1985). *Materials Science And Engineering*. Singapore: John Wiley and  
Sons.
- DeGarmo, E. P., & Black, J. T. (1997). *Materials and Processes in Manufacturing*.  
California: Prentice Hall.
- Diyannisa, T., & Sukandar. (2010). *Potensi Pemanfaatan Limbah Abu Aluminium  
Sebagai Koagulan*. [http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/air\\_waste/wp-  
content/uploads/2010/10/PI-SW15-Tresty-Diyannisa-15305048.pdf](http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/air_waste/wp-content/uploads/2010/10/PI-SW15-Tresty-Diyannisa-15305048.pdf). Dipetik  
September 15, 2012
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*. Singapore: McGraw Hill.
- German, R. M. (1994). *Powder Metallurgy Science*. New Jersey: Priceton.
- Hartomo, A. J., & Kaneko, T. (1992). *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*.  
Yogyakarta: Andi Offset.
- Heine, R. W. (1990). *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- Kalpakistan, S. (1992). *Manufacturing engineering and technology*. USA: Addison-  
Wesley Pub. Co.
- Kuntadi, I., & dkk. (2010). *Pemanfaatan Limbah Padat Logam (Skrup) Sebagai  
Tambahan Penghasilan Bagi Industri Kecil Logam dan Elektronika*.  
[http://jurnal.upi.edu/file/Iwa\\_Kuntadi.pdf](http://jurnal.upi.edu/file/Iwa_Kuntadi.pdf). Dipetik September 15, 2012
- Pravikananta, Y. (2006). *Pengaruh Sintering Temperatur Terhadap Kekerasan  
Aluminium Matrix Composite dengan Penguat AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*. Skripsi Tidak  
*Diterbitkan*. Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw.
- Rusianto, T. (2009). *Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu  
Pemanasan*. [http://jurtek.akprind.ac.id/sites/default/files/89\\_95\\_toto.pdf](http://jurtek.akprind.ac.id/sites/default/files/89_95_toto.pdf).  
Dipetik September 19, 2012
- Surdia, T., & Chijiwa, K. (1996). *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT Pradnya  
Paramita.

Surdia, T., & Saito, S. (2000). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

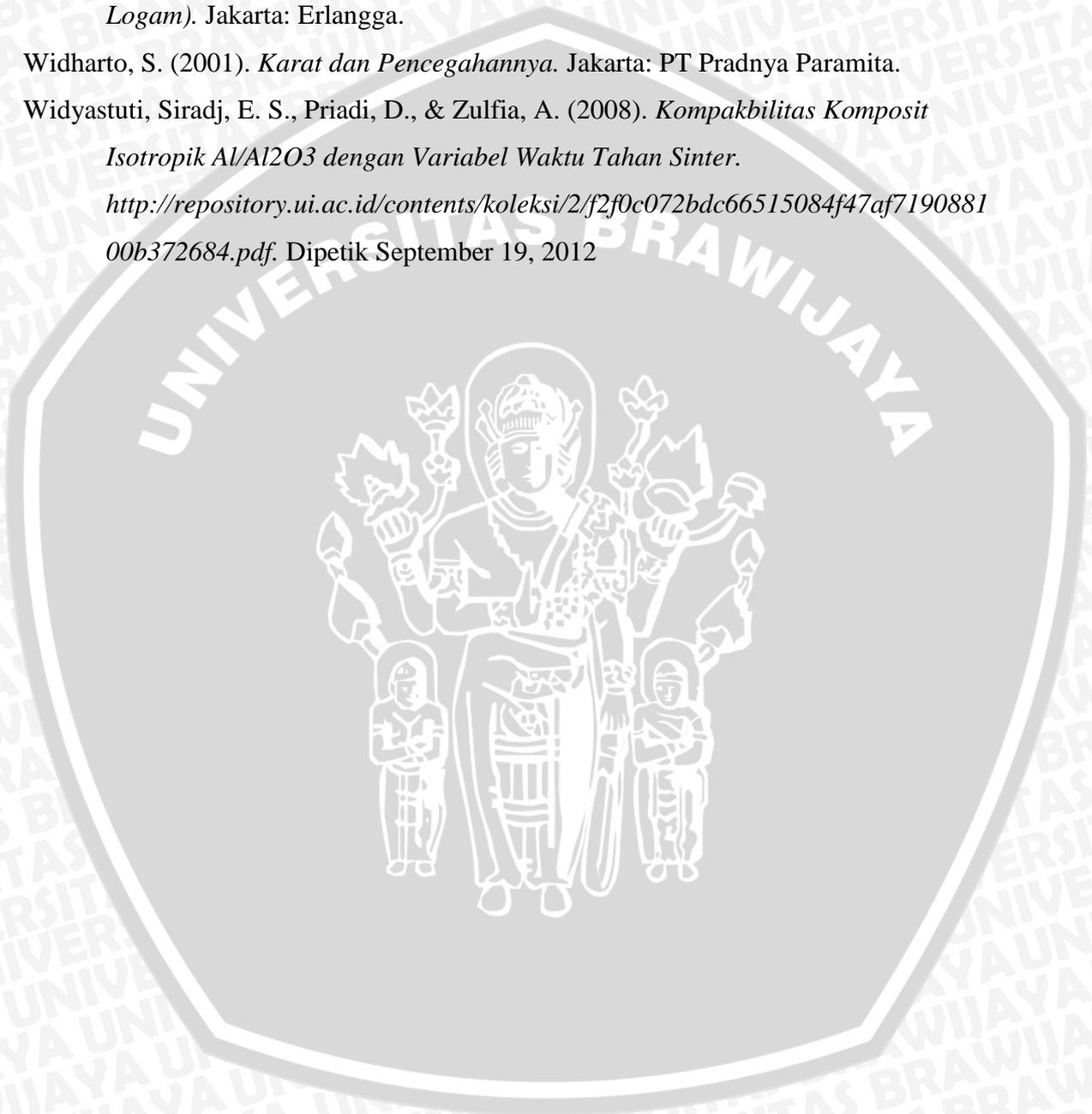
Trethwey, K., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Vlack, V., & Djaprie, S. (1990). *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Jakarta: Erlangga.

Widharto, S. (2001). *Karat dan Pencegahannya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Widyastuti, Siradj, E. S., Priadi, D., & Zulfia, A. (2008). *Kompabilitas Komposit Isotropik Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*.

<http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/2/f2f0c072bdc66515084f47af719088100b372684.pdf>. Dipetik September 19, 2012



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.

catatan :  
 \* ketidakpastian hentangan 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**

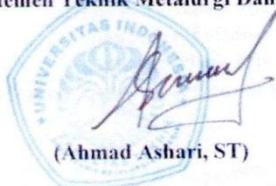
Page 2 of 5

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.

\* ketidapastran 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 <i>Sample Code</i>	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

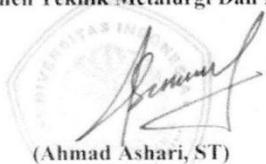
No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
Report Nr		Material	
Pemakai Jasa	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan	Code : D
Customer		Material Identity	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
Address		Receiving Date	
No Kontrak	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar	ASTM A751
Contract Nr.		Standard	
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.

\* 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 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

\* 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



## Lampiran 2. Surat Bukti Pengujian Kekerasan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

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

Nomor :036/PT.13.FT.6.M/X/2012

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa:

Nama : **Martha Zainuddin Z.M.**  
Nim. : 0910620072-62  
Instansi : Universitas Brawijaya Malang  
Program Studi : Teknik Mesin

Benar-benar telah melaksanakan penelitian / pengambilan data Pengujian Kekerasan Mikrovikers di Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang guna keperluan penyusunan skripsi dengan judul:

"Pengaruh Tekanan Terhadap Laju Korosi dan Distribusi Kekerasan Pada Bushing Powder Metallurgy Duralumin ."

Demikian agar surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Malang 24 Oktober 2012

Ka. Lab. Pengujian Bahan

**Edu Hadi Setyarini, ST. MT.**  
NIP. 19770806 200312 2 001

Lampiran 3. Foto *Bushing* Hasil *Powder Metallurgy*



Lampiran 4. Foto Kegiatan Penelitian



Proses Penimbangan Serbuk



Proses Pemasukan Serbuk pada Cetakan dalam Dapur Pemanas



Proses Pengeluaran Produk (*Bushing*) dari Cetakan



Proses Pemotongan Produk (*Bushing*) untuk Uji Kekerasan