

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DRUM DAN VARIASI BOLA  
PENUMBUK PADA *BALLMILL* TERHADAP DISTRIBUSI UKURAN  
SERBUK DURALUMIN**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI PRODUKSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:  
**SLAMET SUPRIANTO**  
NIM. 0910620092 - 62

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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DRUM DAN VARIASI BOLA PENUMBUK  
PADA BALLMILL TERHADAP DISTRIBUSI UKURAN SERBUK  
DURALUMIN**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI PRODUKSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:  
**SLAMET SUPRIANTO**  
NIM. 0910620092 - 62

**Telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Dosen Pembimbing**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DRUM DAN VARIASI BOLA  
PENUMBUK PADA *BALLMILL* TERHADAP DISTRIBUSI  
UKURAN SERBUK DURALUMIN**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**SLAMET SUPRIANTO  
NIM. 0910620092 - 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 30 Januari 2014

**DOSEN PENGUJI**

**Skripsi I**

**Skripsi II**

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

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

**Skripsi III**

**Ir. Agustinus Ariseno, MT.  
NIP. 19510822 198701 1 001**

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

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

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul **"Pengaruh Kecepatan Putar Drum Dan Variasi Bola Penumbuk Pada *Ballmill* Terhadap Distribusi Ukuran Serbuk Duralumin"** ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Produksi.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, serta ilmunya yang sangat membantu dalam terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Dosen Wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi dalam seluruh akademik dan juga selaku Penguji skripsi I, Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Penguji skripsi II, dan Bapak Ir. Agustinus Ariseno, MT., selaku Penguji komprehensif.
6. Segenap staff pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Sugianto dan Ibu Sri Mujiati Munawaroh beserta keluarga besar atas doa restu, bimbingan dan dukungannya yang luar biasa.
8. Wanita spesial bagi penulis, Ratna Kurniasari, S.Farm., atas kesetiiaannya yang luar biasa dalam mendukung dan memberikan semangat untuk penulis menjadi lebih baik.
9. Saudara-saudara ku Mesin 2009 (BLACK MAMBA) atas seluruh bantuan dalam bentuk motivasi dan solidaritasnya yang tidak pernah berkurang.

10. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya atas semangat solidaritasnya.

11. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih kurang dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Malang, Januari 2014

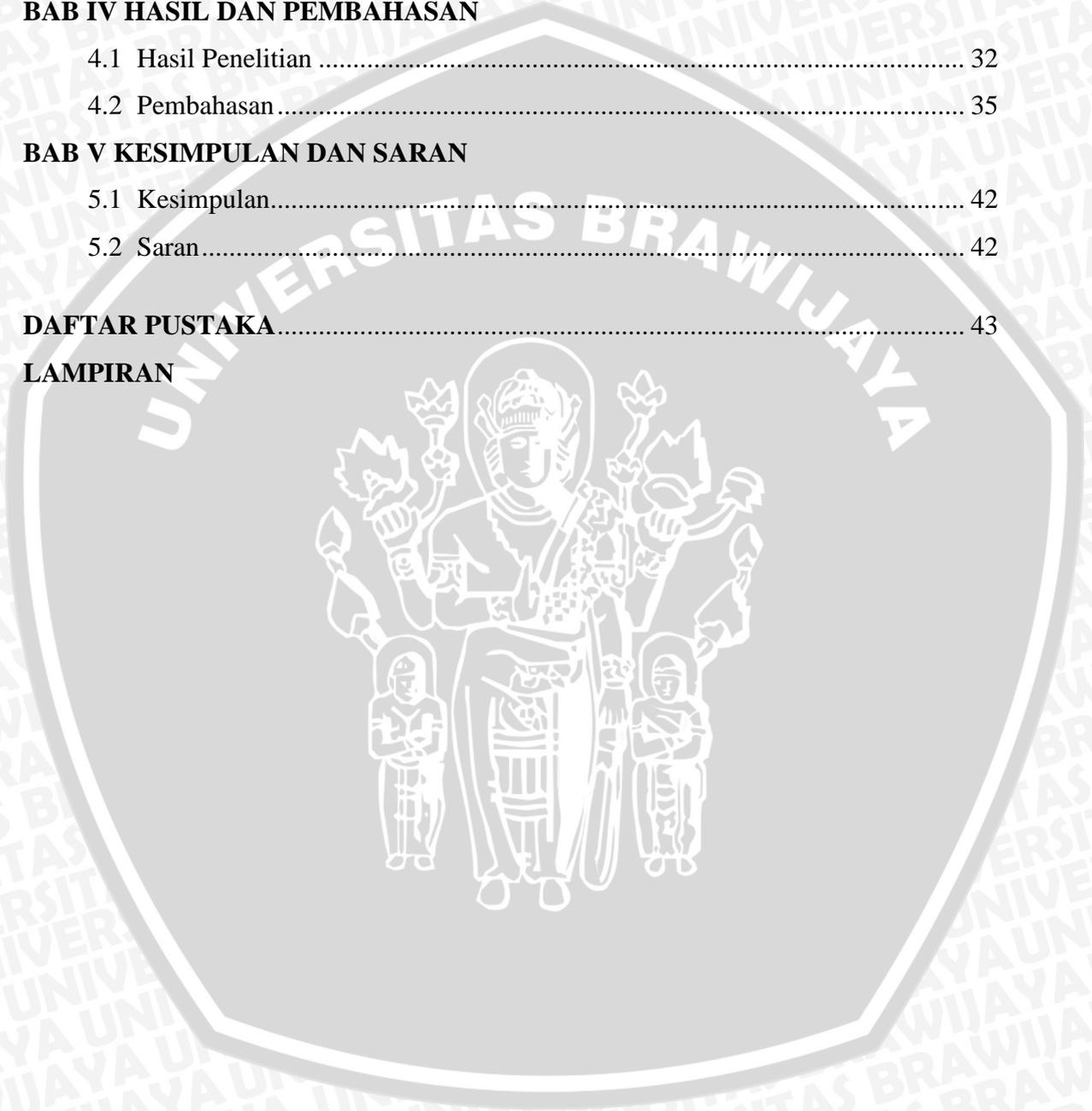
Penulis



## DAFTAR ISI

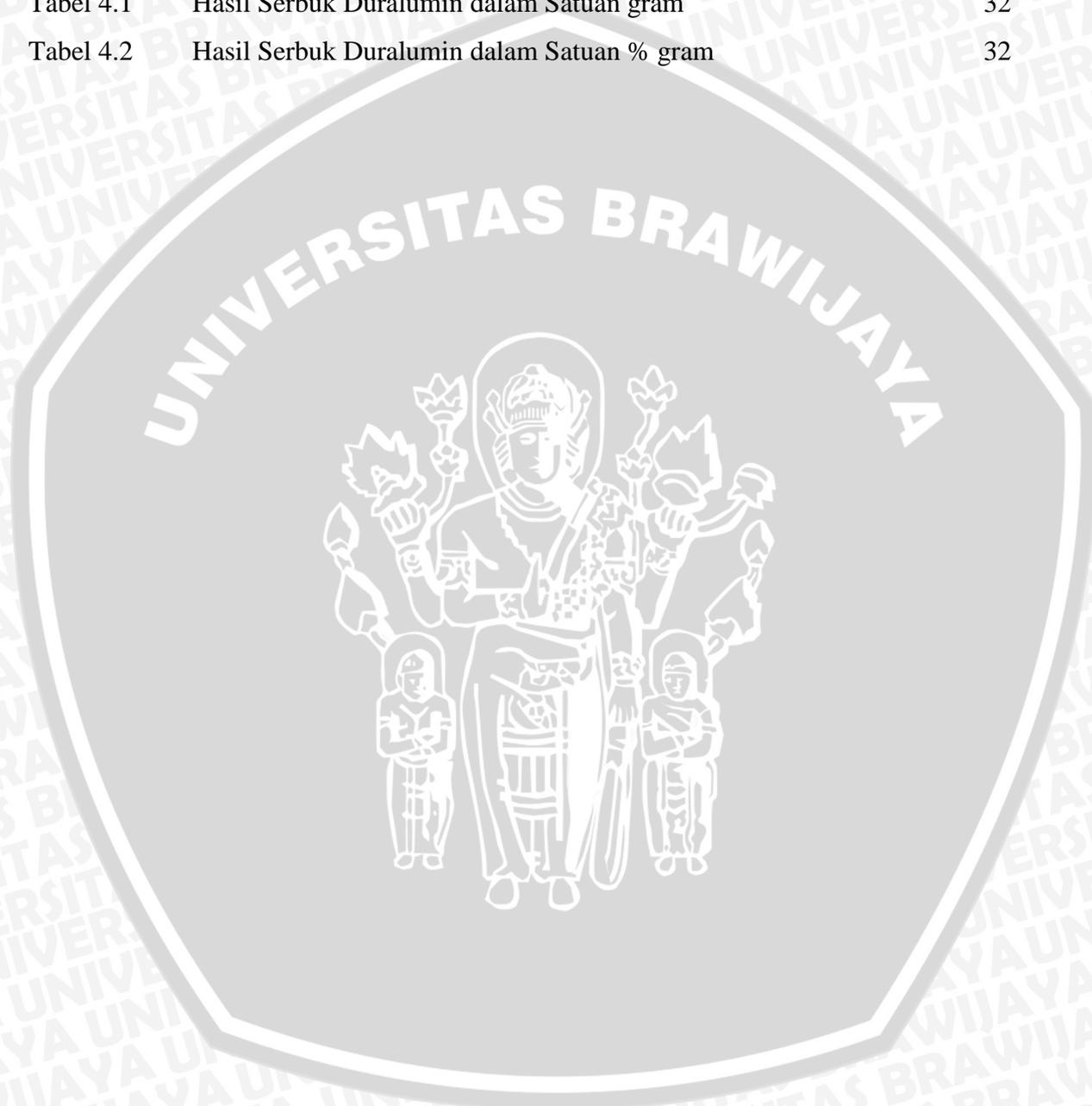
	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Metode Pembuatan Serbuk.....	5
2.2.1 Mekanik ( <i>Mechanical</i> ).....	6
2.2.2 Atomisasi ( <i>Atomization</i> ) .....	12
2.2.3 Pengendapan Elektrolisis ( <i>Elektro-Deposition</i> ) .....	12
2.2.4 Reduksi Oksida ( <i>Oxide Reduction</i> ).....	13
2.3 Aplikasi Serbuk Logam.....	15
2.3.1 <i>Powder Metallurgy</i> (P/M).....	15
2.3.2 <i>Thermit Welding</i> .....	16
2.3.3 <i>Thermal Spry Coating</i> .....	17
2.4 Paduan Aluminium dan Tembaga (Duralumin).....	17
2.5 Karakteristik Serbuk Logam .....	18
2.6 Hipotesa.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.2 Variabel Penelitian .....	23
3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	24

3.3.1 Peralatan yang Digunakan .....	24
3.3.2 Bahan yang Digunakan .....	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	27
3.5 Rancangan Tabel Penelitian .....	29
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian .....	32
4.2 Pembahasan .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Metode Pembuatan Serbuk	14
Tabel 3.1	Rancangan Tabel Hasil Serbuk Duralumin	29
Tabel 4.1	Hasil Serbuk Duralumin dalam Satuan gram	32
Tabel 4.2	Hasil Serbuk Duralumin dalam Satuan % gram	32



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Serbuk Logam	6
Gambar 2.2	<i>Ballmill</i> yang Digunakan Dilaboratorium dan Dipabrik	8
Gambar 2.3	<i>Rodmill</i>	8
Gambar 2.4	<i>SAGmill</i>	9
Gambar 2.5	Proses Atomisasi	12
Gambar 2.6	Pengendapan Elektrolisis	13
Gambar 2.7	Proses Reduksi Oksida	13
Gambar 2.8	<i>Thermit Welding</i>	16
Gambar 2.9	<i>Thermal Spray Coating</i>	17
Gambar 2.10	Bentuk dan Karakteristik Permukaan Serbuk	19
Gambar 2.11	Mesin Pengguncang Rotap	20
Gambar 3.1	Skema Mesin <i>Ballmill</i>	24
Gambar 3.2	(a) Bola Penumbuk Kecil, (b) Bola Penumbuk Besar	24
Gambar 3.3	Mesin Pengguncang Rotap	25
Gambar 3.4	Timbangan Elektrik	26
Gambar 3.5	Mesin Foto SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> )	26
Gambar 3.6	Geram Duralumin	27
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik hubungan ukuran [ <i>Mesh</i> ] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 9 bola	33
Gambar 4.2	Grafik hubungan ukuran [ <i>Mesh</i> ] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 12 bola	33
Gambar 4.3	Grafik hubungan ukuran [ <i>Mesh</i> ] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 42 mm sejumlah 9 bola	34
Gambar 4.4	Grafik hubungan ukuran [ <i>Mesh</i> ] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 42 mm sejumlah 12 bola	34
Gambar 4.5	Grafik hubungan kecepatan putar drum [rpm] terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 9 bola	35
Gambar 4.6	Grafik hubungan ukuran diameter bola penumbuk [mm] terhadap presentase hasil serbuk pada kecepatan putar drum 500 rpm sejumlah 9 bola	37

Gambar 4.7	Grafik hubungan jumlah bola penumbuk terhadap presentase hasil serbuk pada kecepatan putar drum 500 rpm dengan diameter bola penumbuk 27 mm	38
Gambar 4.8	Foto SEM Hasil Serbuk Duralumin	40



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Nilai Standar <i>Mesh</i> dalam Satuan Inchi, Milimeter, dan Micrometer
Lampiran 2	Gambar Dokumentasi Penelitian



## RINGKASAN

**Slamet Suprianto**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Kecepatan Putar Drum Dan Variasi Bola Penumbuk Pada Ballmill Terhadap Distribusi Ukuran Serbuk Duralumin*, Dosen Pembimbing Wahyono Suprpto.

Serbuk adalah kumpulan dari partikel-partikel kecil yang berukuran nano atau  $\mu\text{m}$  dan bersifat kering. Berdasarkan kemampuan serbuk untuk melewati lubang-lubang ayakan, kehalusan partikel serbuk menghasilkan kategori serbuk kasar ( $\text{mesh } 20 \geq x > \text{mesh } 40$ ), serbuk cukup kasar ( $\text{mesh } 40 \geq x > \text{mesh } 80$ ), serbuk halus ( $\text{mesh } 80 \geq x > \text{mesh } 120$ ), dan serbuk sangat halus ( $x \geq \text{mesh } 120$ ). Seiring berkembangnya zaman, serbuk telah banyak dikenal sebagai bahan baku utama pada proses *powder metallurgy*, *thermit welding*, dan *thermal spray coating*.

Banyak metode yang digunakan untuk membuat serbuk, antara lain dengan proses mekanik, atomisasi, pengendapan elektrolisis, dan reduksi oksida. Karena geram telah memiliki banyak kandungan oksida, maka geram tidak dapat direduksi dan dilebur, sehingga proses pengolahannya menggunakan proses mekanik dengan alat *ballmill*. Dan dalam penelitian ini digunakan variabel kecepatan putar drum atau tabung *mill* [rpm] yaitu 450, 500, dan 700, dan besar ukuran diameter bola penumbuk pada *ballmill* [mm] yaitu 27 dan 42 sebanyak masing-masing 9 dan 12 bola.

Hasilnya adalah semakin bertambahnya kecepatan putar drum atau tabung *mill* dan semakin bertambahnya variasi bola penumbuk yaitu ukuran diameter dan jumlah bola penumbuk maka distribusi ukuran serbuk duralumin akan semakin meningkat. Bentuk serbuk yang dihasilkan tidak seragam atau heterogen, yaitu terdapat bentuk serpihan (*flake*), bentuk bulat atau hampir bulat, dan bentuk tidak beraturan (*angular*). Dan distribusi ukuran serbuk duralumin yang paling baik didapat pada variasi kecepatan putar drum 500 rpm dengan ukuran diameter bola penumbuk 42 mm sebanyak 9 bola.

Kata kunci: distribusi ukuran serbuk, *ballmill*, duralumin

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri manufaktur di Indonesia mulai dari skala kecil, menengah, sampai dengan skala besar semakin bersaing. Industri manufaktur tersebut tentunya menginginkan bahan baku yang mudah didapatkan, sesuai dengan produk yang akan dibuat, tidak merusak lingkungan, dan juga terus berlomba untuk mengembangkan teknologi dalam menciptakan produk dengan biaya produksi yang kecil namun memiliki daya jual dan daya guna yang tinggi, serta ramah lingkungan. Penggunaan bahan baku seefisien mungkin juga diharapkan dapat terwujud, namun fakta dilapangan menunjukkan bahwa masih banyak bahan yang terbuang setelah proses produksi berlangsung, seperti tembaga, aluminium, dan lain-lain.

Bahan yang terbuang percuma tersebut ada yang masih berupa bahan baku utama dan ada yang sudah berupa limbah dari proses industri manufaktur. Apabila bahan yang terbuang tersebut merupakan bahan baku utama, maka biasanya akan diolah kembali dengan proses pengecoran dimana logam tersebut dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai titik leburnya kemudian dicetak kembali agar dapat dimanfaatkan kembali. Proses ini terdapat beberapa kekurangan diantaranya adalah terdapat cacat hasil coran yang akan mengurangi kualitas dari produk yang dihasilkan. Dan juga memerlukan proses lanjut berupa *finishing* terhadap hasil coran dengan proses pembubutan, dan dari proses itu juga akan menimbulkan limbah yang terbuang.

Limbah logam yang terbuang dari industri manufaktur itulah yang akan menyebabkan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan pemanfaatan dan pengetahuan tentang cara-cara pengolahan limbah logam tersebut. Limbah logam hasil dari industri manufaktur yang paling besar menyebabkan pencemaran lingkungan adalah limbah logam berupa geram. Oleh karena itu, untuk menghindari pencemaran lingkungan serta terbuangnya geram secara percuma tersebut, maka dilakukan pemrosesan kembali terhadap geram untuk diolah menjadi serbuk dengan teknologi *powder metallurgy*.

*Powder Metallurgy* (P/M) memiliki beberapa kelebihan, yaitu efisiensi pemakaian bahan yang tinggi sehingga bahan tidak ada yang terbuang, dapat menghasilkan produk dengan porositas yang terkendali, serbuk yang murni

menghasilkan produk yang murni pula, dan juga dapat menghasilkan bagian yang kecil dengan toleransi yang tinggi dengan permukaan yang halus. Produk dari P/M itu biasanya berupa komponen mesin dan otomotif, seperti *bushing*, *fuel injector core*, *micro gears*, dan bentuk *near net* yang rumit. Namun, P/M juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah serbuk logam yang cukup mahal apabila diproduksi pada skala kecil, tidak dapat digunakan untuk bentuk produk yang rumit, logam dengan titik lebur rendah sulit disinter dan oksida logam tidak dapat direduksi, serta sulit mendapatkan kepadatan yang merata.

Selain digunakan sebagai P/M, serbuk juga dapat digunakan sebagai *thermit welding* dan *thermal spray coating*. *Thermit welding* adalah proses pengelasan atau penggabungan logam dengan cara memanaskan logam secara berlebihan sampai mencair dengan menggunakan reaksi *aluminothermis* antara oksida logam dengan serbuk aluminium, Dwi Purwanto (2011). Proses *thermit welding* ini biasanya digunakan untuk penyambungan pada dua batang rel kereta api. Dan menurut Budi Prawara (2006), *thermal spray coating* adalah suatu proses dimana bahan dalam bentuk serbuk logam dicairkan terlebih dahulu dan kemudian dideposisikan dalam kondisi cair atau setengah cair pada suatu permukaan yang telah disiapkan sebelumnya untuk membentuk suatu lapisan *spray*. Dengan kata lain, proses *thermal spray coating* ini digunakan sebagai pelapisan pada suatu permukaan logam.

Dalam teknologi P/M di kenal berbagai macam metode pembuatan serbuk, seperti *mechanical*, *atomization*, *electro-deposition*, *oxide reduction*. Pemilihan metode pembuatan serbuk P/M tentunya didasarkan pada sifat bahan baku tersebut, seperti sifat fisik (berat jenis, titik cair, kelekatan), sifat mekanik (kekerasan, keuletan, abrasif), sifat kimia (oksidasi, kontaminasi, *potensial electric*), dan lain-lain. Untuk pembuatan serbuk dengan metode *mechanical*, bahan yang digunakan biasanya aluminium, tembaga, magnesium, dan mangan. Sedangkan untuk metode *atomization* biasanya menggunakan bahan baku *stainless steel*, kuningan, perunggu, dan seng. Dan untuk metode *electro-deposition* biasanya menggunakan bahan baku timah putih, timah hitam, besi, perak, dan tantalum.

Pemilihan metode pembuatan serbuk dengan menggunakan metode *mechanical* disebabkan sifat geram yang telah banyak mengandung oksida. Jika geram atau logam banyak mengandung oksida, geram atau logam tersebut tidak akan bisa dilebur atau direduksi, sehingga logam yang banyak mengandung oksida tidak akan bisa diproses dengan metode pengecoran logam. Oleh karena itu, pemilihan pembuatan serbuk

dengan metode *mechanical* disebabkan perlu adanya proses penumbukan dan penggerusan terhadap bahan baku yang digunakan, dalam hal ini adalah geram agar bisa mendapatkan serbuk yang diinginkan.

Salah satu mesin yang digunakan didalam pengolahan geram dengan proses *mechanical* adalah dengan mesin *ballmill*, yaitu mesin yang dapat menghasilkan serbuk dengan memanfaatkan putaran motor yang memutar drum atau tabung *mill* yang telah berisi bola-bola penumbuk. Karena adanya putaran motor yang memutar drum, geram yang telah berada didalam tabung *mill* akan ditumbuk oleh bola-bola penumbuk selama beberapa waktu yang kemudian akan menghasilkan serbuk. Hasil dari serbuk itulah yang akan banyak digunakan sebagai bahan baku dari industri manufaktur pengerjaan logam, seperti contoh untuk pembuatan komponen mesin dan otomotif yaitu *bushing*, *fuel injector core*, *micro gears*, dan bentuk *near net* yang rumit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran serbuk duralumin?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pembahasan difokuskan pada hasil serbuk duralumin dari setiap variasi kecepatan putar drum dan setiap variasi bola penumbuk.
2. Menentukan distribusi ukuran serbuk duralumin dari setiap variasi kecepatan putar drum dan setiap variasi bola penumbuk.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran mesh serbuk duralumin.
2. Untuk mendapatkan ukuran *mesh* serbuk duralumin yang baik.
3. Untuk mengetahui pemanfaatan limbah logam dengan pembuatan serbuk duralumin.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai sarana mengurangi limbah logam dengan mengolahnya menjadi bahan baku industri manufaktur, yaitu serbuk duralumin.
2. Menghasilkan serbuk duralumin dengan sifat mekanik yang baik.
3. Untuk memberikan informasi pada perusahaan yang memiliki masalah dalam hal logam bekas, agar dapat mendayagukannya dengan baik.
4. Sebagai referensi tambahan bagi penulis tentang *Powder Metallurgy*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Seong (2009), melakukan penelitian pembuatan serbuk aluminium dari *scrap aluminium foil* dengan menggunakan proses *ballmill*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pembuatan serbuk sangat dipengaruhi oleh besar ukuran bola penumbuk, jumlah bola penumbuk, dan lama waktu penggilingan dan penumbukan. Dan semakin besar ukuran bola penumbuk akan meningkatkan kualitas serbuk aluminium karena memberikan dampak energi yang lebih besar saat proses *grinding*.

Septiyan (2010), melakukan penelitian pembuatan serbuk menggunakan pasir besi dengan menggunakan proses *ballmill*. Hasil penelitian menunjukkan proses *milling* pasir besi dapat memperkecil ukuran pasir menjadi serbuk besi tanpa harus terjadi perubahan fasa. Dan dengan menggunakan campuran karbon dapat mempercepat penghancuran butiran serbuk besi yang sebagian besar mengandung  $Fe_3O_4$ . Hal ini disebabkan karena karbon memiliki sifat yang getas.

Riles (2011), melakukan penelitian pembuatan serbuk logam tembaga dengan proses deposisi elektrolisis metode elektrorefining. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi ukuran serbuk tembaga yang maksimum diperoleh pada nomer *mesh* 200 sebesar 15 %, *mesh* 230 sebesar 20 %, dan *mesh* 325 sebesar 47 %. Dan semakin kecil ukuran partikel maka sifat kohesif serbuk akan semakin meningkat, sehingga mampu alirnya akan semakin menurun. Namun disisi lain, semakin meningkatnya ukuran partikel serbuk maka akan menurunkan jumlah serbuk yang keluar secara bersama melalui lubang efektif nosel.

Wahyono (2013), melakukan penelitian pembuatan serbuk duralumin dari limbah pembubutan menggunakan metode *crushing* dan *milling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penumbukkan geram duralumin dengan diameter bola penumbuk 25 mm menghasilkan nomer *mesh* yang lebih besar dibanding bola dengan diameter bola penumbuk 35 mm, dan kecenderungan bentuk partikel serbuk *mesh* 35 menyerupai kripik (*flaky*), sedangkan *mesh* 100 dan *mesh* 270 berbentuk bulat (*spherical*).

### 2.2 Metode Pembuatan Serbuk

Serbuk adalah kumpulan dari partikel-partikel kecil berukuran nano atau  $\mu m$  yang bersifat kering. Sesuai dengan *British Standard* 2955 (1958), serbuk adalah

partikel-partikel kering dengan dimensi maksimum lebih kecil dari 1000  $\mu\text{m}$ , Sing (1976). Sedangkan menurut kamus besar bahasa Indonesia, serbuk adalah barang yang lumat atau berbutir-butir halus seperti tepung, abu, dan bubuk. Dan menurut Ansel (1989), serbuk adalah suatu partikel yang mungkin berbentuk sangat kasar dengan ukuran 10 milimeter  $\mu\text{m}$ , atau mungkin juga sangat halus dengan ukuran 1  $\mu\text{m}$ , atau juga mungkin lebih kecil. Sehingga ukuran partikel serbuk mempunyai standar dengan istilah “*Very Coarse, Coarse, Moderately Coarse, Fine, dan Very Fine*” (sangat kasar, kasar, cukup kasar, halus, dan sangat halus), yang dihubungkan dengan partikel serbuk yang mampu melewati lubang-lubang ayakan yang telah distandarisasi dengan ukuran yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 Serbuk Logam  
Sumber: German (1994)

Pemilihan metode pembuatan serbuk tentunya didasarkan pada sifat bahan baku tersebut, seperti sifat fisik (berat jenis, titik cair, kelekatan), sifat mekanik (kekerasan, keuletan, abrasif), sifat kimia (oksidasi, kontaminasi, *potensial electric*), dan lain-lain. Dan untuk mendapatkan serbuk yang sesuai dengan pengertian di atas, maka dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut:

### 2.2.1 Mekanik (*Mechanical*)

Pembuatan serbuk secara mekanik merupakan proses pembuatan serbuk dengan penumbukan, penggerusan, gesekan, serta penekanan yang biasanya dilakukan untuk logam atau paduan yang rapuh, dan kemudian dilanjutkan dengan penggilingan dan pengayakan. Salah satu alat yang digunakan pada proses mekanik adalah *ballmill*, yaitu mesin yang berfungsi untuk menghancurkan geram menjadi serbuk dengan cara menumbuk dan menggerus karena adanya kombinasi gaya sentrifugal dengan impak bola-bola penumbuk didalam selubung putar mesin. Prinsip kerja alat tersebut adalah menghasilkan serbuk dengan memanfaatkan putaran motor yang memutar drum atau

tabung *mill* yang telah berisi bola-bola penumbuk. Karena adanya putaran motor, geram yang telah berada didalam drum akan ditumbuk oleh bola-bola penumbuk selama beberapa waktu yang kemudian akan menghasilkan serbuk. Hasil dari serbuk itulah yang akan banyak digunakan sebagai bahan baku dari industri manufaktur pengerjaan logam, seperti contoh untuk pembuatan komponen mesin dan otomotif yaitu *bushing*, *fuel injector core*, *micro gears*, dan bentuk *near net* yang rumit.

Pemilihan metode pembuatan serbuk dengan menggunakan metode mekanik ini disebabkan sifat geram yang telah banyak mengandung oksida. Jika geram atau logam banyak mengandung oksida, geram atau logam tersebut tidak akan bisa dilebur atau direduksi, sehingga logam yang banyak mengandung oksida tidak akan bisa diproses dengan metode pengecoran logam. Oleh karena itu, pemilihan pembuatan serbuk dengan metode mekanik disebabkan perlu adanya proses penumbukan dan penggerusan terhadap bahan baku yang digunakan, dalam hal ini bahan baku tersebut adalah geram agar bisa mendapatkan serbuk yang diinginkan.

Menurut Badger dan Banchemo (1985), ada empat faktor yang mempengaruhi titik atau sudut pecah butir pada proses *ballmill*, yaitu kecepatan putar drum atau tabung *mill*, jumlah media *grinding* (bola-bola penumbuk), jumlah bahan (geram), dan konsistensi atau viskositas (untuk penggilingan basah). Namun faktor-faktor lain yang berpengaruh didalam proses mekanik adalah:

#### 1. Jenis *Ballmill* yang Digunakan

Terdapat beberapa jenis *ballmill* yang digunakan dalam pembuatan serbuk terutama serbuk logam, antara lain:

##### a. *Ballmill*

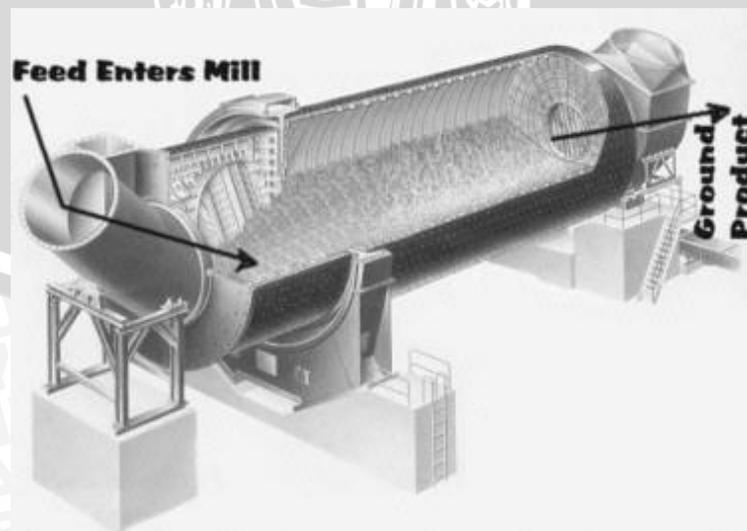
*Ballmill* merupakan suatu mesin yang berbentuk tabung silinder dan berputar secara horizontal dengan diisi bola-bola penumbuk berbentuk bulat yang digunakan untuk menumbuk dan menggerus bahan baku sampai menjadi serbuk. Pada pabrik atau industri manufaktur yang besar, *ballmill* yang digunakan memiliki ukuran yang besar dan biasanya digunakan untuk mengolah semen, besi maupun logam seperti aluminium dan titanium. Namun kini juga banyak *ballmill* yang dibuat dengan ukuran lebih kecil yang digunakan untuk produksi skala kecil dan dilaboratorium untuk menguji material.



Gambar 2.2 *Ballmill* yang Digunakan Dilaboratorium dan Dipabrik  
Sumber: Clermont dan Haas (2010)

b. *Rodmill*

*Rodmill* merupakan salah satu jenis *ballmill* yang digunakan untuk penggerusan basah dan kering, dan juga digunakan pada *primary grinding* sebelum dilanjutkan dengan *ballmill*. Selain itu, *rodmill* juga digunakan untuk preparasi bijih untuk proses konsentrasi gravitasi dengan produk yang memiliki nomer *mesh* 4-100, serta juga dapat digunakan untuk umpan pembuatan *klinker* semen. Ciri-ciri khusus dari *rodmill* adalah panjang *cylindrical shell* antara 1,5 dan 2,5 kali diameternya. Jenis *rodmill* yang paling banyak digunakan dalam industri pertambangan adalah *trunnion overflow*, yaitu umpan dimasukkan melalui sebuah *trunnion* dan dikeluarkan melalui yang lainnya. Jenis *rodmill trunnion overflow* ini hanya digunakan untuk penghalusan basah yang fungsi dasarnya adalah untuk mengkonversi produk *crushing plant* menjadi *ballmill feed*.



Gambar 2.3 *Rodmill*  
Sumber: Rasib (2011)

### c. SAGmill

SAG adalah singkatan dari *Semi-Autogenous Grinding*. SAGmill menggunakan bola sebesar 8 sampai 21%. Gesekan antara bola penumbuk dan partikel bijih menyebabkan *grinding* dan membuat partikel halus. SAGmill berukuran lebih besar dan panjang dibandingkan dengan ballmill. SAGmill banyak digunakan di tambang emas, tembaga, dan platinum dengan aplikasi juga di industri timah, seng, perak, alumina, dan nikel.



Gambar 2.4 SAGmill  
Sumber: Rasib (2011)

### 2. Bahan Ballmill

Bahan pada tabung *ballmill* juga harus diperhatikan karena efek dari tumbukan yang terjadi dari bola penumbuk dapat menyebabkan material lepas dan tercampur pada serbuk sehingga dapat mempengaruhi hasil serbuk. Di sisi lain, jika kedua bahan sama, kemudian kandungan kimia pada serbuk dapat diubah kecuali dilakukan tindakan pencegahan yaitu penambahan elemen yang tepat untuk mengkompensasi elemen yang masuk ke dalam bubuk.

### 3. Kecepatan Putar Drum

Semakin tinggi kecepatan putar drum maka hasil serbuk halus yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Namun apabila kecepatan semakin ditambah tinggi dan melebihi kecepatan kritis, maka bola dan bahan akan

terpisah dan terjadi *pinned* pada dinding bagian dalam drum, sehingga bola-bola penumbuk tidak jatuh dan tidak menghasilkan gaya *impact*. Dan bola-bola penumbuk biasanya beroperasi pada skala 65% sampai 75% dari kecepatan kritis yang terjadi pada jenis *ballmill* yang digunakan.

#### 4. Waktu Penggilingan

Waktu penggilingan dalam proses mekanik dengan *ballmill* biasanya ditentukan untuk mencapai kesetimbangan antara patahan dan pengelasan dingin dari partikel serbuk. Lama waktu yang dibutuhkan bervariasi dan tergantung pada jenis *ballmill* yang digunakan, intensitas penggilingan, dan juga tergantung pada rasio *ball to powder*.

Waktu yang digunakan untuk penggilingan serbuk sebaiknya dilakukan sesuai kebutuhan. Umumnya waktu penggilingan ditentukan berdasarkan kondisi yang tertentu, yaitu apabila energi yang digunakan tinggi maka dibutuhkan waktu yang singkat, sedangkan apabila energi yang digunakan rendah maka waktu yang dibutuhkan akan lebih lama. Sedangkan waktu yang dibutuhkan akan lebih singkat apabila rasio *ball to powder* tinggi, dan waktu yang dibutuhkan akan lebih lama apabila rasio *ball to powder* rendah, Suryanarayana (2003).

#### 5. Bola Penumbuk yang Digunakan

Bola penumbuk yang digunakan dalam proses mekanik dengan *ballmill* mencakup diameter bola penumbuk, jumlah bola penumbuk, dan material bola penumbuk. Hal tersebut disesuaikan dengan besarnya ukuran *drum* dari *ballmill* yang digunakan dan material bahan yang akan diproses. Menurut Wahyono (2013), hasil serbuk duralumin pada bola penumbuk besar (35mm) menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah bola penumbuk didalam tabung dari 9 sampai 15 menghasilkan jumlah butir halus yang semakin meningkat karena gaya sentrifugal lebih kecil daripada gaya berat bola, sehingga mengakibatkan gaya impak secara optimal. Tetapi dengan penambahan jumlah bola penumbuk dari 18 sampai 21 menghasilkan jumlah butir halus yang semakin menurun karena terjadi kesetimbangan antara gaya sentrifugal dan gaya berat bola, sehingga mengakibatkan gaya impak kurang optimal. Dan hasil serbuk duralumin pada bola penumbuk kecil (25mm) menunjukkan

bahwa jumlah butir halus yang lebih rendah daripada bola penumbuk besar karena gaya sentrifugal lebih rendah daripada gaya berat bola, sehingga bola penumbuk tidak mencapai tinggi maksimum (puncak lintasan) dan mengakibatkan gaya impaknya rendah.

Semakin besar ukuran bola penumbuk maka kualitas serbuk hasil *grinding* akan semakin meningkat dikarenakan daerah kontak bola penumbuk dengan serbuk akan semakin besar. Namun apabila menggunakan bola yang berukuran besar juga akan mempercepat kenaikan temperatur yang akan berpengaruh ke serbuk tersebut. Dan apabila menggunakan bola berukuran kecil maka energi yang dihasilkan juga kecil, tapi proses terjadinya *alloying* bisa lebih maksimal, sehingga untuk memaksimalkan proses *milling* ini salah satunya adalah dengan menggunakan ukuran bola yang berbeda, Kaloshkin (2000). Tetapi ada batasan dalam mengkombinasi bola tersebut, jika perbedaan (bola besar dan bola yang kecil) terlalu besar maka di khawatirkan bola yang besar akan menghancurkan bola yang kecil.

#### 6. Bahan Bola Penumbuk

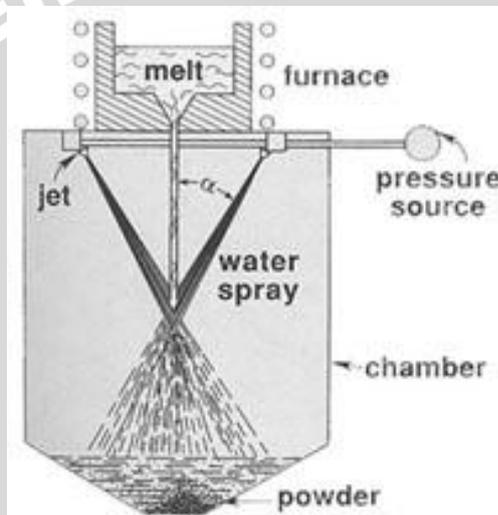
Bahan bola penumbuk yang digunakan dalam proses mekanik dengan *ballmill* biasanya adalah *hardened steel*, *tool steel*, *hardened chromium steel*, *tempered steel*, dan *stainless steel*. Densitas pada bola penumbuk harus cukup tinggi agar dapat menciptakan tumbukan yang maksimal pada bahan serbuk yang ditumbuk, dan biasanya bola penumbuk disesuaikan dengan bahan serbuk yang akan ditumbuk agar tidak terjadi kontaminasi silang.

#### 7. Rasio *ball to powder*

Rasio *ball to powder* adalah perbandingan antara berat bola penumbuk dan berat bahan serbuk yang akan diproses. Semakin banyak jumlah bola penumbuk yang digunakan didalam proses *grinding* akan menyebabkan berat bola semakin besar sehingga energi yang di transfer ke bahan serbuk juga semakin besar dan waktu yang diperlukan akan semakin cepat. Karena bagian yang kosong pada *ballmill* akan semakin berkurang maka jumlah tumbukan akan semakin meningkat, sehingga energi yang diberikan kepada bahan serbuk akan semakin meningkatkan kehalusan serbuk.

### 2.2.2 Atomisasi (*Atomization*)

Secara sederhana, proses atomisasi dapat didefinisikan sebagai proses memecah cairan logam yang jatuh atau mengalir ke bawah sampai membentuk butiran-butiran atau serbuk logam. Prinsip kerja dari metode ini adalah memecah atau mengatomisasi logam cair sampai menjadi serbuk dengan cara menembakkan atau menyemprotkan fluida dengan tekanan yang tinggi menggunakan nosel. Logam yang sudah dilebur sampai cair akan dialirkan ke suatu tempat yang miring sehingga logam akan mengalir ke bawah. Aliran logam cair tersebut dibuat setipis mungkin dan kemudian disemprotkan air atau udara atau gas monoksida yang bertekanan tinggi, sehingga logam akan berhamburan dan membentuk butiran-butiran atau serbuk logam. Untuk logam tembaga dan paduannya, biasanya menggunakan fluida air dan fluida gas.

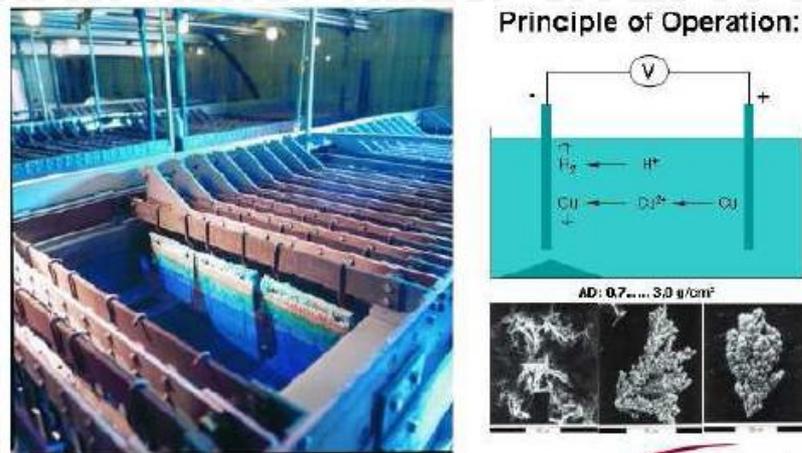


Gambar 2.5 Proses Atomisasi  
Sumber: Kalpakjian, 1989

### 2.2.3 Pengendapan Elektrolisis (*Electro-Deposition*)

Pengendapan elektrolisis merupakan proses dengan memanfaatkan kesesuaian antara material kimia dengan kondisi fisik selama elektrodposisi. Hal ini akan memungkinkan terjadinya kelonggaran endapan yang menempel pada katoda, sehingga mudah untuk diserut menjadi serbuk. Metode ini menggunakan media cairan elektrolit, arus listrik searah (arus DC), dan plat logam elektroda yang berfungsi sebagai anoda dan katoda. Prinsip kerja dalam pembuatan serbuk adalah menggunakan elektroda plat baja yang berfungsi sebagai anoda dan plat baja anti karat yang berfungsi sebagai katoda diletakkan secara bersama didalam tangki yang berisi cairan elektrolit. Kemudian dialirkan arus listrik searah (arus DC) selama 48 jam, lalu akan diperoleh

endapan logam setebal 2 mm. Setelah itu, plat elektroda dikeluarkan dan endapan dikikiskan. Hasil kikisan tersebut yang akan menjadi serbuk logam setelah dicuci, disaring, dan dianneling.



Gambar 2.6 Pengendapan Elektrolisis  
Sumber: Hartono, 2011

#### 2.2.4 Reduksi Oksida (*Oxide Reduction*)

Metode reduksi oksida merupakan proses mereduksi kandungan oksida logam pada saat logam dipanaskan sesuai titik leburnya dengan mengalirkan gas reduktor (H, CO, dll), Daryus (2011). Proses ini biasanya menggunakan hidrogen, dan serbuk yang dihasilkan relatif kasar. Metode ini sangat jarang dilakukan karena prosesnya yang cukup sulit dengan biaya yang cukup mahal dan hasilnya yang kurang maksimal.



Gambar 2.7 Proses Reduksi Oksida  
Sumber: Hartono, 2011

Dari beberapa pengertian proses pembuatan serbuk diatas, dapat dibandingkan antara kelebihan dan kekurangan dari setiap proses pada tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Metode Pembuatan Serbuk

Proses	Pengertian Umum	Bahan
<b>Mekanik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses pembuatan serbuk dengan penumbukan, penggerusan, gesekan, penekanan dan dilanjutkan dengan pengayakan pada hasil serbuk</li> <li>• Biaya instalasi murah dan proses pengerjaannya mudah dilakukan dalam skala yang kecil</li> <li>• Digunakan untuk paduan logam yang rapuh dan keras</li> <li>• Sangat cocok untuk operasi berkelanjutan dalam skala besar</li> <li>• Dapat dilakukan untuk proses penggilingan basah dan kering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminium</li> <li>• Tembaga</li> <li>• Magnesium</li> <li>• Mangan</li> <li>• Berilium</li> <li>• Antimon</li> <li>• Besi karbon tinggi</li> <li>• Nikel dengan sulfur tinggi</li> </ul>
<b>Atomisasi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses memecah cairan logam yang jatuh atau mengalir ke bawah sampai membentuk butiran-butiran logam atau serbuk logam</li> <li>• Biaya instalasi mahal</li> <li>• Proses pengerjaannya rumit dan lama</li> <li>• Memerlukan 2 kali pengerjaan, yaitu mencairkan logam terlebih dahulu dan kemudian dilakukan atomisasi</li> <li>• Hasil serbuk tergantung pada besar nosel dan besarnya tekanan fluida yang digunakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stainless Steel</li> <li>• Kuningan</li> <li>• Perunggu</li> <li>• Seng</li> </ul>
<b>Pengendapan Elektrolisis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses dengan memanfaatkan kesesuaian antara material kimia dengan kondisi fisik selama elektrodeposisi</li> <li>• Biaya instalasi mahal</li> <li>• Proses pengerjaannya lama, yaitu 1 kali proses membutuhkan waktu selama 48 jam</li> <li>• Proses pengerjaannya rumit dan hasilnya tidak langsung dalam bentuk serbuk</li> <li>• Memerlukan proses lanjut agar menjadi serbuk, yaitu pencucian, penyaringan, dan annealing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Timah Putih</li> <li>• Timah Hitam</li> <li>• Besi</li> <li>• Perak</li> <li>• Tantalum</li> </ul>

<p><b>Reduksi Oksida</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses mereduksi kandungan oksida logam pada saat logam dipanaskan sesuai titik leburnya dengan mengalirkan gas reduktor (H, CO, dll),</li> <li>• Biaya instalasi mahal</li> <li>• Proses pengerjaannya rumit</li> <li>• Hasil serbuk yang dihasilkan kurang maksimal dan relatif kasar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobalt</li> <li>• Tungsten</li> <li>• Molibdenum</li> <li>• Bismut</li> </ul>
------------------------------	---	--

### 2.3 Aplikasi Serbuk Logam

Serbuk logam mulai banyak digunakan dalam industri manufaktur, dan yang paling banyak dikenal adalah penggunaan serbuk logam dalam proses manufaktur *Powder Metallurgy* (P/M). Namun telah banyak pengembangan yang dilakukan, sehingga serbuk logam juga telah digunakan untuk proses lain, yaitu *Thermit Welding* dan *Thermal Spray Coating*.

#### 2.3.1 Powder Metallurgy (P/M)

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi (*green compact*), dari serbuk logam melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan, namun suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah *sinter* akan menghasilkan pengikatan partikel halus. Dengan demikian, kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya akan meningkat, Chan (2010). Sedangkan menurut John Wiley & Sons (2002), metalurgi serbuk adalah teknik pengolahan logam untuk menghasilkan produk dengan menggunakan serbuk logam melalui proses penekanan menjadi bentuk yang diinginkan, kemudian dilakukan pemanasan (*sinter*).

Menurut Rusianto (2009), metalurgi serbuk merupakan proses pembuatan serbuk dan benda jadi dari serbuk logam atau paduan logam dengan ukuran serbuk tertentu tanpa melalui proses peleburan. Energi yang digunakan dalam proses ini relatif rendah, dan hasil akhirnya dapat langsung disesuaikan dengan dimensi yang diinginkan yang berarti akan mengurangi biaya permesinan dan bahan baku yang terbuang.

Dan menurut Murjito (2010), metalurgi serbuk adalah proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu sampai berupa tepung, kemudian tepung tersebut ditekan di dalam cetakan ( *mold*) dan dipanaskan di

bawah titik lebur serbuk. Partikel-partikel logam akan 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.

Dari beberapa definisi di atas dapat disimpulkan bahwa metalurgi serbuk atau *Powder Metallurgy* adalah suatu proses pembuatan produk yang menggunakan serbuk sebagai bahan baku dengan cara penekanan dan pemanasan. Proses pembentukan logam menggunakan metalurgi serbuk dilakukan dengan mencampurkan unsur-unsur serbuk logam yang dipadukan, kemudian dilakukan pemadatan dengan menggunakan *dies*. Sedangkan proses pemanasan dapat dilakukan secara bersamaan dengan proses penekanan atau dilakukan setelah proses penekanan.

### 2.3.2 Thermit Welding

Las termit adalah proses pengelasan atau penggabungan logam dengan cara memanaskan logam secara berlebihan sampai mencair dengan menggunakan reaksi *aluminothermis* antara oksida logam dengan serbuk aluminium. Las termit ini biasanya digunakan untuk penyambungan atau pengelasan antara dua batang rel kereta api. Metode ini dilaksanakan dengan bahan yang sederhana dan menghasilkan sambungan yang baik. Reaksinya sebagai berikut:



Hasil reaksi tersebut berupa besi ditambah dengan kerak  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan panas yang terjadi akan mencairkan besi yang berada disekitar rel, dan kemudian akan memadukan besi hasil reaksi tersebut dengan rel.



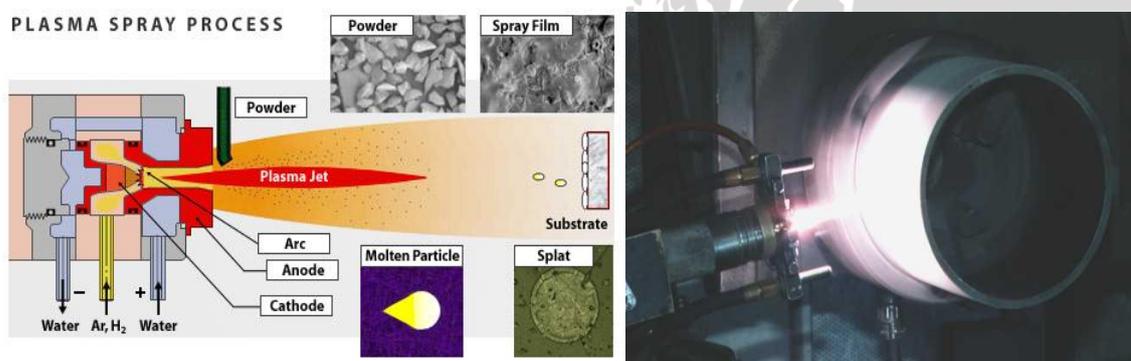
Gambar 2.8 *Thermit Welding*  
Sumber: Dwi Purwanto, 2011

### 2.3.3 Thermal Spray Coating

*Thermal Spray Coating* adalah suatu proses dimana bahan dalam bentuk serbuk logam dicairkan terlebih dahulu dan kemudian dideposisikan dalam kondisi cair atau setengah cair pada suatu permukaan yang telah disiapkan sebelumnya untuk membentuk suatu lapisan *spray*. Dengan kata lain adalah teknik pelapisan permukaan logam yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan logam dasarnya. Permukaan logam yang telah dilapisi dengan *Thermal Spray Coating* akan mempunyai ketahanan terhadap keausan dan perlindungan terhadap korosi *thermal*.

Prinsip kerjanya adalah dengan memanaskan material berbentuk *powder* atau *wire* sampai menjadi semi cair, kemudian diatomisasi menggunakan semburan gas sampai membentuk deposit dan menghasilkan lapisan dengan tebal beberapa micron sampai beberapa milimeter. Lapisan material yang dihasilkan akan mempunyai sifat mekanis melebihi material logam dasarnya.

*Thermal Spray Coating* biasa digunakan untuk merepair komponen mesin agar tahan terhadap *abrasive wear*, *fretting* dan *galing*, *sliding wear* serta *particle erosion*. Bisa digunakan pada mesin-mesin *compressor*, pompa, *steel roller*, *bearing bore*, *engine*, *drive shaft*, *dies* dan lain-lain. *Thermal Spray Coating* adalah pilihan terbaik untuk menghemat biaya perawatan mesin karena memperpanjang usia komponen.



Gambar 2.9 *Thermal Spray Coating*  
Sumber: Budi Prawara, 2006

## 2.4 Paduan Aluminium dan Tembaga (Duralumin)

Duralumin (juga disebut duraluminium atau dural) adalah nama dagang dari salah satu jenis *hardenable-aluminium alloy*. Duralumin merupakan logam paduan aluminium - tembaga yang diperkaya dengan silikon, magnesium dan bersifat *heat treatable* khususnya akibat *naturally and artificially aging*, Wahyono (2012). Duralimin memiliki sifat ringan, keuletan tinggi, dan juga tahan korosi. Paduan ini dinamakan

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

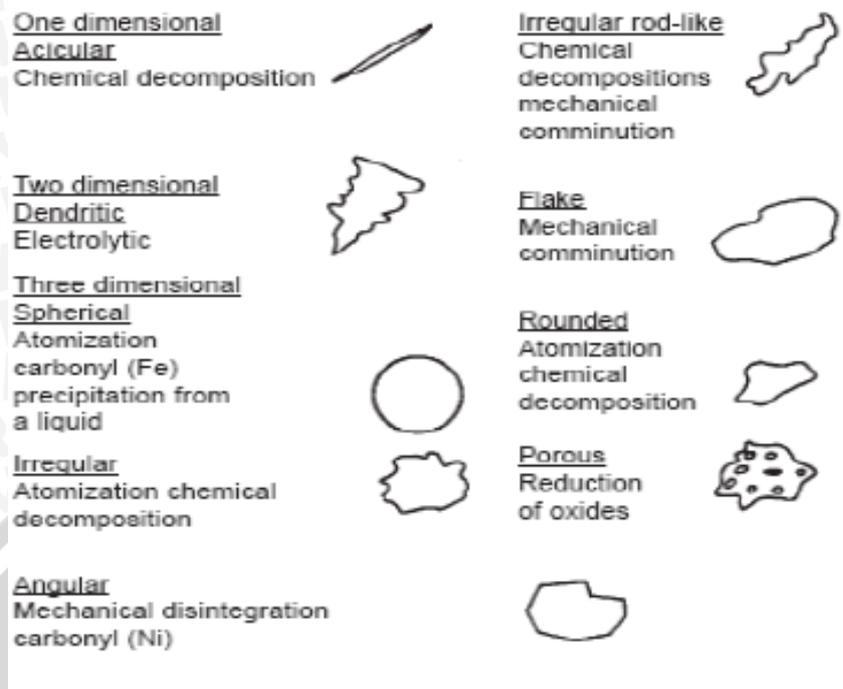
Duralumin dikembangkan oleh ahli metalurgi asal Jerman yaitu Alfred Wilm di Durener Metallwerke Aktien Gesellschaft. Pada tahun 1903, Wilm menemukan bahwa setelah proses *quenching*, paduan aluminium yang mengandung tembaga 4% perlahan akan mengeras bila dibiarkan pada suhu kamar selama beberapa hari. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang buruk, jadi apabila diinginkan ketahanan korosi yang tinggi, maka permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan aluminium yang tahan korosi yang disebut plat alklad. Umumnya paduan Al-Cu digunakan dalam industri-industri *aircraft*, *automotive*, dan militer, seperti struktur pesawat, *aircraft landing*, penutup isolator, *gear box*, *cylinder head* dan piston, *turbine* dan *supercharger impellers*, *connecting rods*, *missile fins*, Wahyono (2012).

## 2.5 Karakteristik Serbuk Logam

Karakteristik serbuk logam merupakan hal penting yang perlu diperhatikan didalam pembuatan serbuk, karena hal ini sangat mempengaruhi didalam sifat-sifat fisis serbuk pada saat proses *Powder Metallurgy*. Karakteristik tersebut meliputi:

### a. Bentuk dan Karakteristik Permukaan

Bentuk dan karakteristik permukaan serbuk dipengaruhi dari cara pembuatan serbuk tersebut, ada yang berbentuk bulat, tidak teratur, dendritik, pipih, dan bersudut tajam. Partikel serbuk yang berbentuk bulat biasanya memiliki permukaan yang halus, dan akan mudah dicampur daripada yang berbentuk tidak beraturan dengan permukaan yang kasar. Namun perbedaan bentuk dan karakteristik permukaan serbuk kurang begitu mempengaruhi kualitas campuran pada saat proses *Powder Metallurgy* dibandingkan dengan perbedaan ukuran partikel serbuk.



Gambar 2.10 Bentuk dan Karakteristik Permukaan Serbuk  
 Sumber: Popov dkk, 2002

#### b. Kehalusan Partikel Serbuk

Kehalusan partikel serbuk berhubungan erat dengan kekuatan. Semakin halus partikel serbuk maka kerapatan dalam membentuk suatu produk akan semakin rapat dan tidak berongga, sehingga kekuatannya akan semakin meningkat. Hal tersebut ditentukan dari cara mengayak dengan ayakan standar atau dengan pengukuran mikroskop. Ayakan standar biasanya memiliki ukuran *mesh* 36 - 850  $\mu\text{m}$ , sehingga dapat digunakan untuk menentukan ukuran dan distribusi ukuran serbuk. Kemampuan partikel serbuk untuk melewati lubang-lubang ayakan memiliki kategori yang berbeda-beda, yaitu:

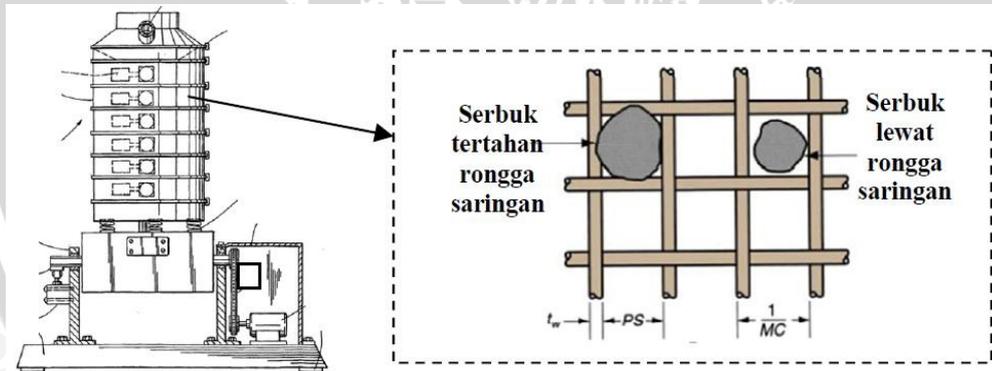
- Serbuk kasar ( $\text{mesh } 20 \geq x > \text{mesh } 40$ )
- Serbuk cukup kasar ( $\text{mesh } 40 \geq x > \text{mesh } 80$ )
- Serbuk halus ( $\text{mesh } 80 \geq x > \text{mesh } 120$ )
- Serbuk sangat halus ( $x \geq \text{mesh } 120$ )

Selain itu, untuk menentukan kehalusan partikel serbuk juga dapat dilakukan dengan pengukuran mikroskop, namun biasanya hanya mencapai ukuran partikel serbuk 1  $\mu\text{m}$  (0,001 mm). Karena secara umum mikroskop terbagi menjadi tiga, yaitu mikroskop cahaya, mikroskop elektron, dan mikroskop stereo. Mikroskop cahaya mempunyai perbesaran maksimum

sampai 1000 kali dari benda yang diamati, dan untuk mikroskop elektrik mempunyai perbesaran maksimum sampai 100.000 kali dari benda yang diamati. Sedangkan mikroskop stereo biasanya digunakan untuk melihat benda yang relatif besar dengan perbesaran 7 sampai 30 kali dari benda yang diamati. Namun benda yang diamati dengan mikroskop stereo ini dapat terlihat secara tiga dimensi.

### c. Distribusi Ukuran Serbuk

Distribusi ukuran serbuk merupakan faktor utama didalam proses *Powder Metallurgy*. Distribusi ukuran serbuk ini dapat ditentukan dengan cara analisa ayakan, cara sedimentasi, cara sentrifugasi, dan cara elutrisi. Analisa ayakan merupakan analisa hasil pengayakan serbuk dengan memisahkan setiap perbedaan ukuran partikel serbuk yang telah diayak atau disaring dengan ayakan atau saringan. Ayakan atau saringan tersebut memiliki ukuran pori atau lubang tertentu, dan ukuran pori itulah yang dinyatakan dalam satuan *mesh*, yaitu jumlah lubang dalam 1 inci linier. Misalkan ayakan dengan ukuran 10 *mesh*, maksudnya adalah setiap 1 inci terdapat 10 lubang pada kawat ayakan.



Gambar 2.11 Mesin Pengguncang Rotap  
Sumber: Wahyono, 2013

Selain ditentukan dengan cara analisa ayakan, distribusi ukuran serbuk juga dapat ditentukan dengan cara sedimentasi, yaitu dengan cara mengendapkan zat padat (serbuk) kedalam fluida (cair) yang sedang diam dengan memanfaatkan gaya gravitasi yang bekerja pada serbuk tersebut. Teori gerak partikel dalam fluida mengatakan bahwa partikel berukuran kecil yang jatuh dalam fluida pada suatu kecepatan tertentu adalah setara dengan ukuran partikelnya. Cara sedimentasi ini sama dengan cara sentrifugasi, namun

bedanya hanya gaya yang bekerja pada saat serbuk diendapkan. Sesuai dengan namanya, gaya yang bekerja adalah gaya sentrifugal, yaitu dengan cara memutarakan serbuk pada saat diendapkan. Sedangkan cara elutriasi adalah dengan cara melirirkan fluida (gas) keatas, kearah melewati suatu penampang serbuk dengan kecepatan tertentu. Hal ini mengakibatkan butiran serbuk dengan ukuran tertentu akan terbawa oleh fluida keatas, sedangkan ukuran yang lebih besar akan tetap tinggal berada dibawah.

d. Densitas

Densitas merupakan karakteristik partikel serbuk yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Partikel serbuk dengan densitas lebih besar akan menumpuk dibagian bawah mixer, sedangkan partikel serbuk dengan densitas lebih kecil akan berada dibagian atas mixer. Hal tersebut dapat menyebabkan segregasi, dan untuk mencegah segregasi karena perbedaan densitas, maka perbandingan serbuk dengan densitas terbesar dan terkecil harus kurang dari 1 : 3.

e. Laju Alir Partikel Serbuk

Laju alir partikel serbuk merupakan kemampuan serbuk untuk mengalir dan memenuhi ruang cetakan pada proses *Powder Metallurgy*, dan juga dapat digambarkan sebagai kemampuan untuk mengalir dalam melewati celah tertentu. Partikel serbuk yang berbentuk bulat dan memiliki permukaan yang halus akan meningkatkan laju alir partikel serbuk. Dan berdasarkan laju alir partikel serbuk tersebut, menurut Upadhyaya (2002), serbuk memiliki kategori campuran non interaktif dan campuran interaktif. Serbuk campuran non interaktif merupakan serbuk yang mudah mengalir. Hal ini disebabkan karena segregasi partikel mudah terjadi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas dan ukuran partikel. Serta memiliki kemampuan untuk saling memisah yang tinggi, yang disebabkan tingkat gerak antar partikelnya yang tinggi. Sedangkan serbuk campuran interaktif merupakan serbuk yang tidak mudah mengalir. Hal ini disebabkan serbuk tersebut membentuk suatu komponen kohesif yang mengakibatkan adanya gaya kohesif - adesif antar partikel sehingga terjadi kecenderungan pengelompokan partikel (agglomerasi).

## 2.6 Hipotesa

Efek tumbukan bola penumbuk didalam drum atau tabung *mill* akan semakin besar sesuai dengan penambahan kecepatan putar pada poros *ballmill* sampai pada batas tertentu, dan jika kecepatan ditambah lagi, maka bola penumbuk tidak akan memberikan efek tumbukan lagi, melainkan hanya ikut berputar didalam drum dan hanya memberikan efek gerusan saja. Hal ini akan mempengaruhi distribusi ukuran *mesh* serbuk, tingkat kehalusan serbuk, dan bentuk partikel serbuk. Distribusi ukuran *mesh* serbuk akan semakin rendah dan tingkat kehalusan serbuk akan semakin menurun.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) pada mesin *ballmill* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar drum atau tabung *mill* dan variabel bola penumbuk terhadap distribusi ukuran serbuk duralumin, dengan 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

- Pembuatan spesimen serbuk dilakukan di Laboratorium  $\alpha\beta\gamma$  Landung Sari - Malang.
- Pengujian analisa ayakan dengan mesin pengguncang rotap dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya.
- Pengujian dimensi dan bentuk serbuk dilakukan di Laboratorium Pengujian Fatik Universitas Brawijaya.
- Penelitian dilakukan mulai 18 Nopember sampai 6 Desember 2013.

#### 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 didalam penelitian ini adalah kecepatan putar drum atau tabung *mill* [rpm] yaitu 450, 500, dan 700, dan besar ukuran diameter bola penumbuk pada *ballmill* [mm] yaitu 27 dan 42 sebanyak masing-masing 9 dan 12 bola.

##### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat didalam penelitian ini adalah distribusi ukuran serbuk duralumin dan bentuk serbuk duralumin.

### 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Variabel terkontrol didalam penelitian ini adalah berat geram sebesar 100 gram dan lama waktu penggilingan selama 60 menit.

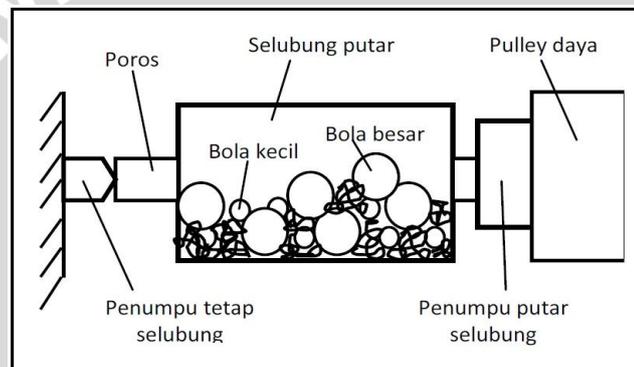
## 3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

### 3.3.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### (a) Mesin *Ballmill*

Mesin *ballmill* digunakan untuk menumbuk dan menghancurkan geram sampai menjadi serbuk.



Gambar 3.1 Skema Mesin *Ballmill*

#### (b) Bola Penumbuk

Bola penumbuk digunakan untuk menumbuk geram sampai menjadi serbuk. Bola penumbuk dalam penelitian ini menggunakan dua macam, yaitu bola penumbuk kecil dengan diameter 27 mm dan bola penumbuk besar dengan diameter 42 mm.



Gambar 3.2 (a) Bola Penumbuk Kecil, (b) Bola Penumbuk Besar

## (c) Mesin Pengguncang Rotap

Mesin pengguncang rotap digunakan untuk mengukur hasil serbuk dalam satuan *mesh*.



Gambar 3.3 Mesin Pengguncang Rotap

## Spesifikasi alat:

- Jenis : Rotap
- Tipe : VS 1
- Merk : Retsch
- Voltase : 220 V
- Daya : 430 Watt
- Buatan : Jerman Barat
- Artikel : 30 40 0010
- No. Seri : 01849038
- Frekuensi : 50 Hz

## (d) Timbangan Elektrik

Timbangan elektrik digunakan untuk mengukur geram yang akan dimasukkan kedalam *ballmill* dan mengukur hasil serbuk setelah diayak menggunakan mesin pengguncang rotap.



Gambar 3.4 Timbangan Elektrik

(e) Mesin Foto SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Mesin foto SEM digunakan untuk mendapatkan foto hasil serbuk dari penelitian untuk dilihat besar ukurannya dan bentuk serbuknya.



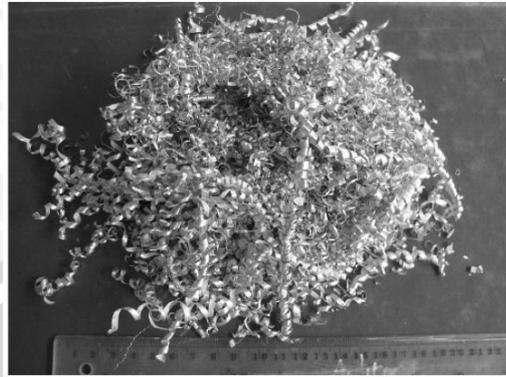
Gambar 3.5 Mesin Foto SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Spesifikasi alat:

- Merk Phenom Pro Dekstom SEM
- Nilai perbesaran mulai 20 - 100000 kali
- *Long-lifetime high-brightness source (CeB6)*
- *5 kV and 10 kV acceleration voltages for outstanding high-resolution SEM images*
- Waktu pemuatan sampel kurang dari 30 detik
- *Full color navigation camera 20 - 120 kali magnification*
- *Ready to run all Pro Suite software applications*

### 3.3.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah geram duralumin.



Gambar 3.6 Geram Duralumin

### 3.4 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin *ballmill* dalam kondisi baik.
2. Timbang geram seberat 100 gram.
3. Siapkan drum atau tabung *mill* yang telah berisi bola penumbuk sesuai variasi yang telah
4. Masukkan geram kedalam drum dan tutup kembali sampai rapat.
5. Susun kembali drum dalam rangkaian mesin *ballmill*.
6. Nyalakan mesin sesuai variasi yang telah ditentukan dan mulai *timer* dengan waktu 60 menit.
7. Setelah waktu habis, matikan mesin dan lepaskan drum dari rangkaian mesin *ballmill*.
8. Lepaskan penutup drum dan ambil bola penumbuk yang berada didalamnya.
9. Ambil seluruh serbuk yang berada didalam drum sampai drum bersih.
10. Timbang serbuk dan catat beratnya.
11. Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 10 sesuai dengan variasi kecepatan putar drum atau tabung *mill* [rpm] yaitu 450, 500, dan 700, dan besar ukuran diameter bola penumbuk pada *ballmill* [mm] yaitu 42 dan 27 sebanyak masing-masing 9 dan 12 bola.

12. Setelah didapatkan hasil serbuk dari setiap variasi kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk yang dipakai, siapkan peralatan dan pengecekan mesin pengguncang rotap dalam kondisi baik.
13. Masukkan serbuk kedalam mesin pengguncang rotap.
14. Nyalakan mesin pengguncang rotap dan tunggu selama 15 menit sampai serbuk keluar dari bagian sisa.
15. Timbang dan catat berat serbuk dari setiap *mesh* pada mesin pengguncang rotap.
16. Ulangi prosedur poin 13 sampai poin 15 sesuai dengan hasil serbuk dari setiap variasi kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk yang dipakai.
17. Setelah mendapatkan hasil serbuk dengan nilai *mesh* masing-masing dari setiap variasi yang dipakai, lakukan pengujian foto SEM pada mesin foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) terhadap setiap hasil serbuk tersebut.



### 3.5 Rancangan Tabel Penelitian

Rancangan tabel penelitian dari pengaruh kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran serbuk duralumin, dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.1 Rancangan Tabel Hasil Serbuk Duralumin

Kecepatan [rpm]	Besarnya Bola [mm]	Banyaknya Bola	Ukuran <i>Mesh</i> Serbuk [gram]								
			125	140	160	180	200	250	280	315	350
450	27	9	WXA1	WXB1	WXC1	WXD1	WXE1	WXF1	WXG1	WXH1	WXI1
		12	WXA2	WXB2	WXC2	WXD2	WXE2	WXF2	WXG2	WXH2	WXI2
	42	9	WXA3	WXB3	WXC3	WXD3	WXE3	WXF3	WXG3	WXH3	WXI3
		12	WXA4	WXB4	WXC4	WXD4	WXE4	WXF4	WXG4	WXH4	WXI4
500	27	9	WYA1	WYB1	WYC1	WYD1	WYE1	WYF1	WYG1	WYH1	WYI1
		12	WYA2	WYB2	WYC2	WYD2	WYE2	WYF2	WYG2	WYH2	WYI2
	42	9	WYA3	WYB3	WYC3	WYD3	WYE3	WYF3	WYG3	WYH3	WYI3
		12	WYA4	WYB4	WYC4	WYD4	WYE4	WYF4	WYG4	WYH4	WYI4
700	27	9	WZA1	WZB1	WZC1	WZD1	WZE1	WZF1	WZG1	WZH1	WZI1
		12	WZA2	WZB2	WZC2	WZD2	WZE2	WZF2	WZG2	WZH2	WZI2
	42	9	WZA3	WZB3	WZC3	WZD3	WZE3	WZF3	WZG3	WZH3	WZI3
		12	WZA4	WZB4	WZC4	WZD4	WZE4	WZF4	WZG4	WZH4	WZI4

Keterangan :

W = berat serbuk [gram]

X = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan kecepatan putar 450 rpm

Y = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan kecepatan putar 500 rpm

Z = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan kecepatan putar 700 rpm

A = serbuk yang berada pada *mesh* 125

B = serbuk yang berada pada *mesh* 140

C = serbuk yang berada pada *mesh* 160

D = serbuk yang berada pada *mesh* 180

E = serbuk yang berada pada *mesh* 200

F = serbuk yang berada pada *mesh* 250

G = serbuk yang berada pada *mesh* 280

H = serbuk yang berada pada *mesh* 315

I = serbuk yang berada pada *mesh* 350

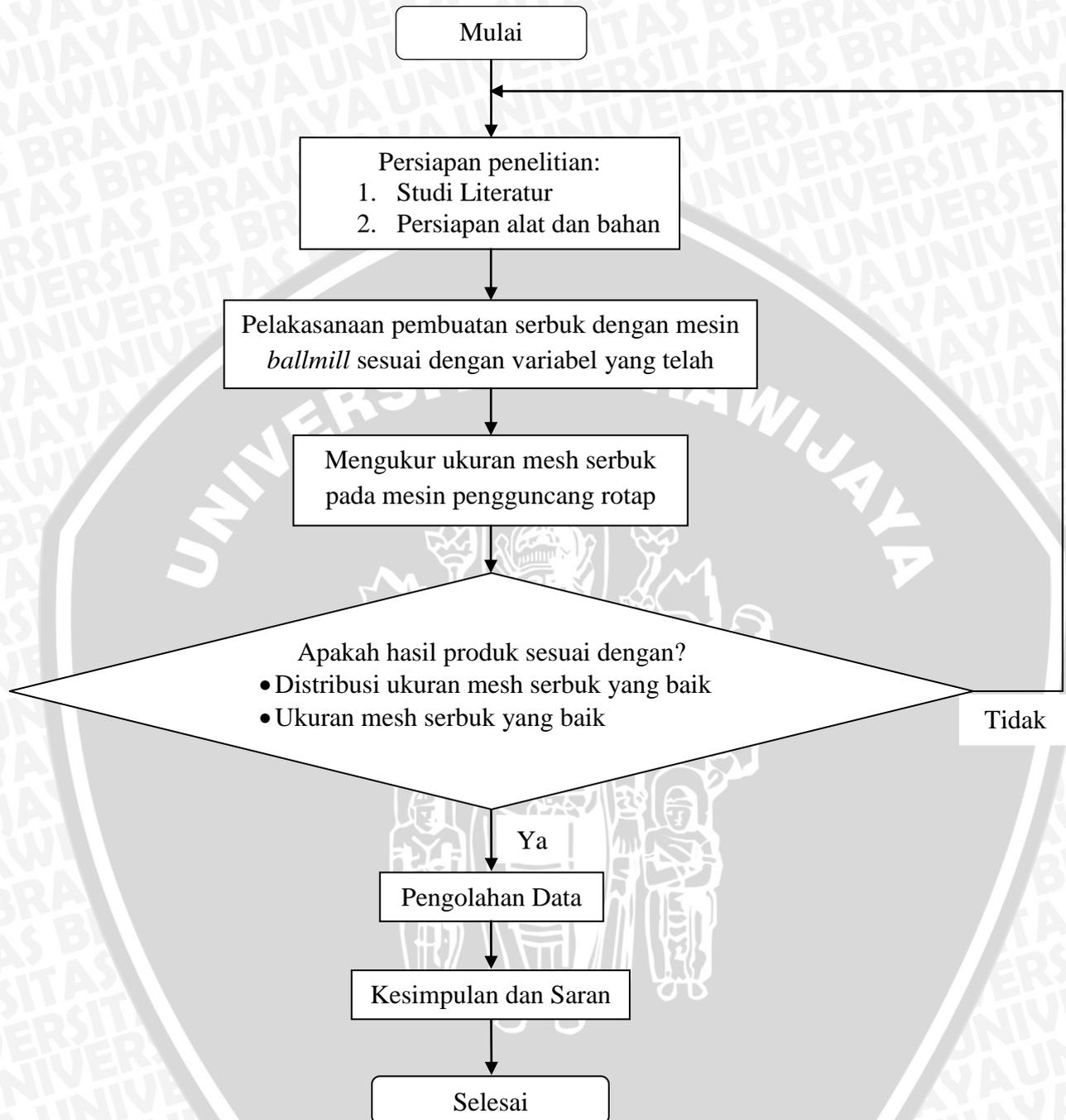
1 = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan diameter bola penumbuk 27 mm dan jumlah bola sebanyak 9

2 = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan diameter bola penumbuk 27 mm dan jumlah bola sebanyak 12

3 = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan diameter bola penumbuk 42 mm dan jumlah bola sebanyak 9

4 = serbuk yang diproses pada *ballmill* dengan diameter bola penumbuk 42 mm dan jumlah bola sebanyak 12

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Penelitian

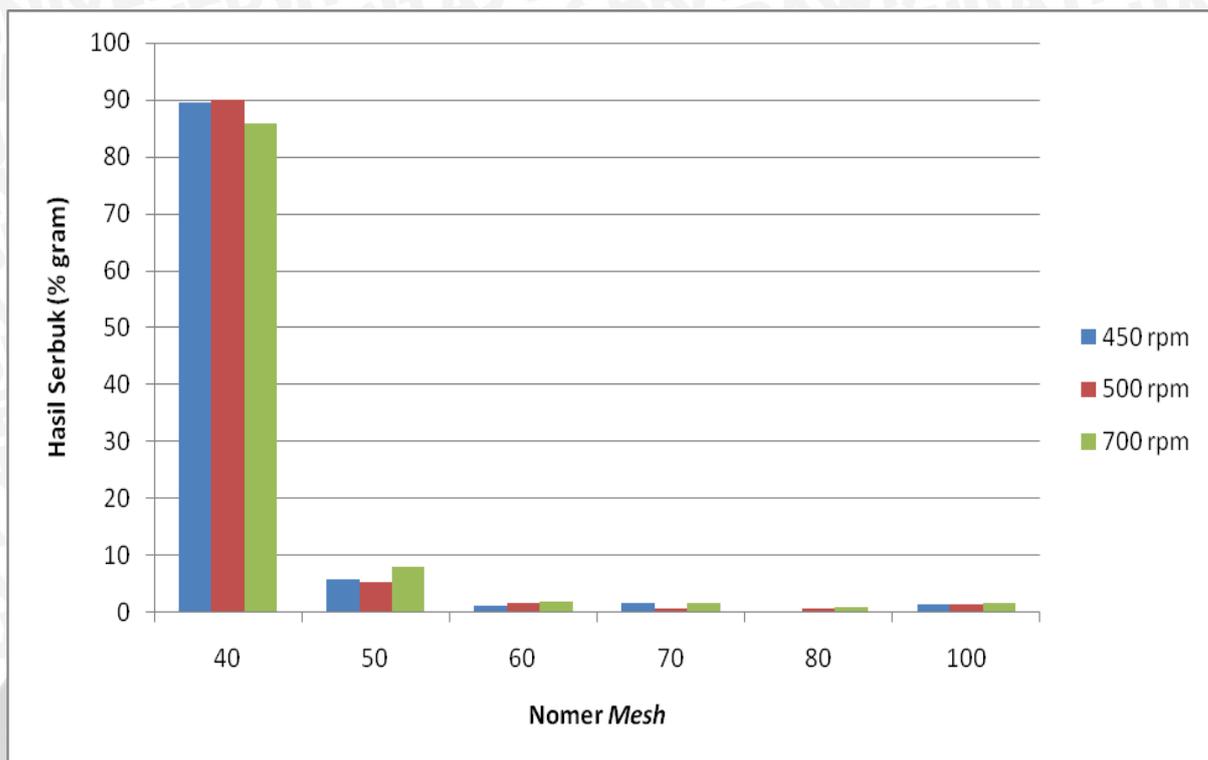
Hasil penelitian pembuatan serbuk dengan proses mekanik, yaitu menggunakan alat *ballmill* dengan variasi kecepatan 450, 500, dan 700 rpm, dan variasi besar diameter bola penumbuk yaitu 27 dan 42 mm dengan jumlah masing-masing sebanyak 9 dan 12 bola penumbuk, didapatkan hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Hasil Serbuk Duralumin dalam Satuan gram

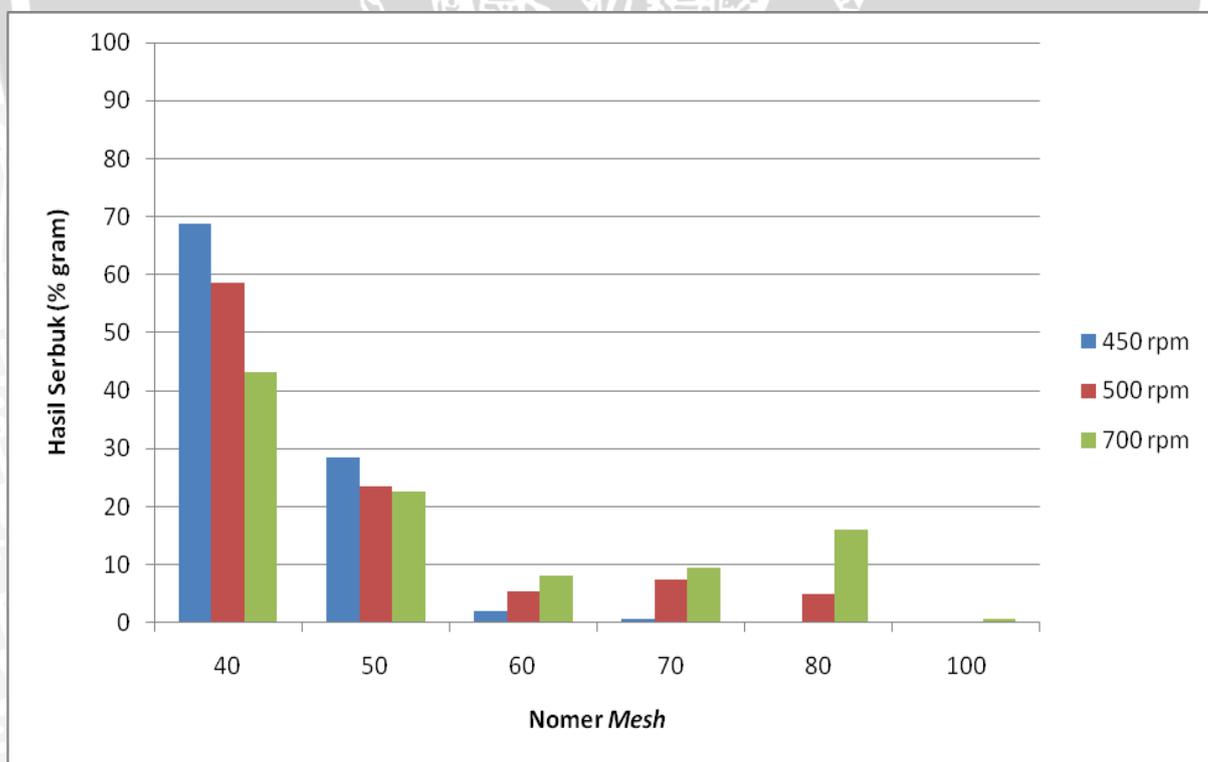
Kecepatan [rpm]	Besar Bola [mm]	Jumlah Bola	Ukuran Mesh Serbuk [gram]						Jumlah [gram]
			40 Mesh >400 $\mu\text{m}$	50 Mesh 281-400 $\mu\text{m}$	60 Mesh 251-280 $\mu\text{m}$	70 Mesh 201-250 $\mu\text{m}$	80 Mesh 141-200 $\mu\text{m}$	100 Mesh <140 $\mu\text{m}$	
450	27	9	86.62	5.57	1.27	1.61	0.22	1.51	96.8
		12	66.5	27.53	1.9	0.64	0.06	0	96.63
	42	9	78.9	10.27	2.27	2.53	1.68	1.18	96.83
		12	71.77	15.55	3.79	3.69	1.37	0.98	97.15
500	27	9	86.34	5.26	1.52	0.67	0.62	1.44	95.85
		12	56.34	22.56	5.17	7.24	4.82	0.2	96.33
	42	9	71.62	14.61	2.44	3.27	1.5	3.23	96.67
		12	71.84	14.33	2.51	2.86	1.36	2.8	95.7
700	27	9	82.17	7.69	1.84	1.61	0.98	1.52	95.81
		12	41.65	21.75	7.85	9.11	15.48	0.69	96.53
	42	9	84.24	6.25	1.33	1.23	1.08	1.43	95.56
		12	82.36	6.67	1.51	1.98	1.24	2.33	96.09

Tabel 4.2 Hasil Serbuk Duralumin dalam Satuan % gram

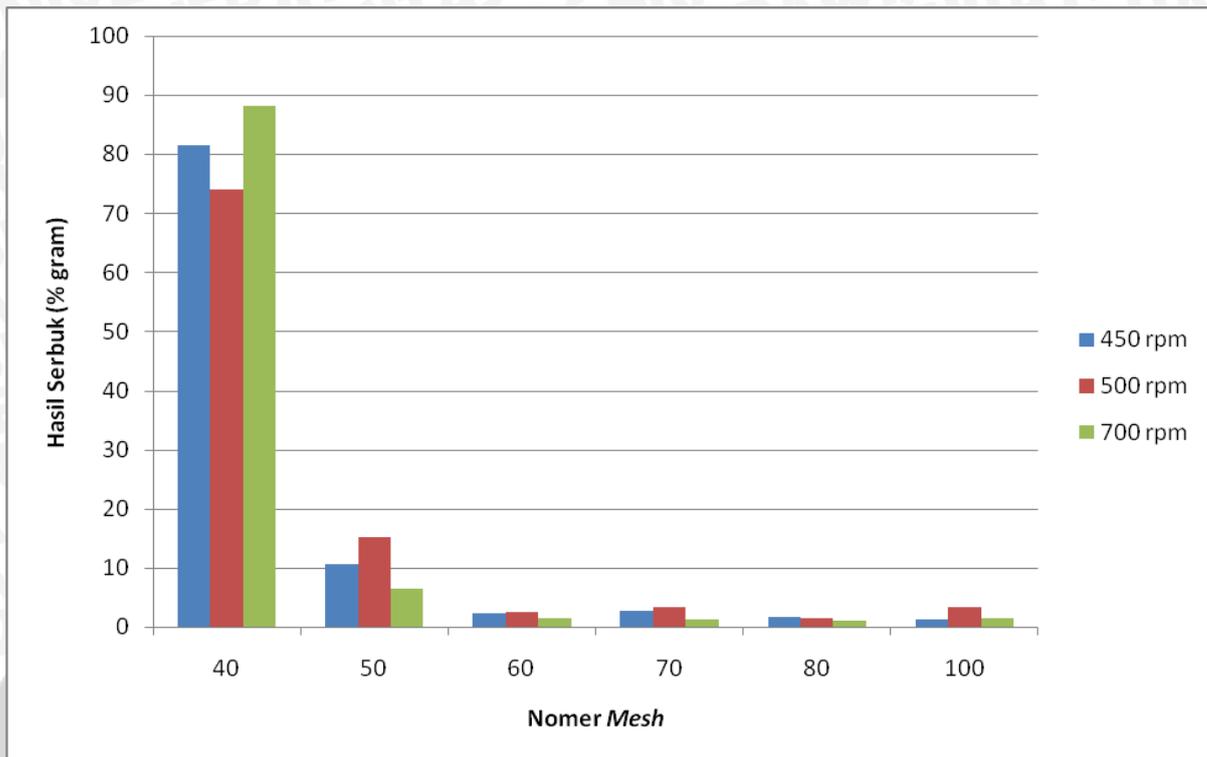
Kecepatan [rpm]	Besar Bola [mm]	Jumlah Bola	Ukuran Mesh Serbuk (%)					
			40 Mesh >400 $\mu\text{m}$	50 Mesh 281-400 $\mu\text{m}$	60 Mesh 251-280 $\mu\text{m}$	70 Mesh 201-250 $\mu\text{m}$	80 Mesh 141-200 $\mu\text{m}$	100 Mesh <140 $\mu\text{m}$
450	27	9	89.48	5.75	1.31	1.66	0.22	1.56
		12	68.81	28.49	1.96	0.66	0.06	0
	42	9	81.48	10.61	2.34	2.61	1.73	1.21
		12	73.87	16.01	3.91	3.79	1.41	1.01
500	27	9	90.07	5.48	1.58	0.69	0.64	1.51
		12	58.48	23.41	5.36	7.51	5.01	0.21
	42	9	74.08	15.11	2.52	3.38	1.55	3.34
		12	75.06	14.97	2.62	2.98	1.42	2.92
700	27	9	85.76	8.02	1.92	1.68	1.02	1.58
		12	43.14	22.53	8.13	9.43	16.03	0.71
	42	9	88.15	6.54	1.39	1.28	1.13	1.49
		12	85.71	6.94	1.571	2.06	1.29	2.42



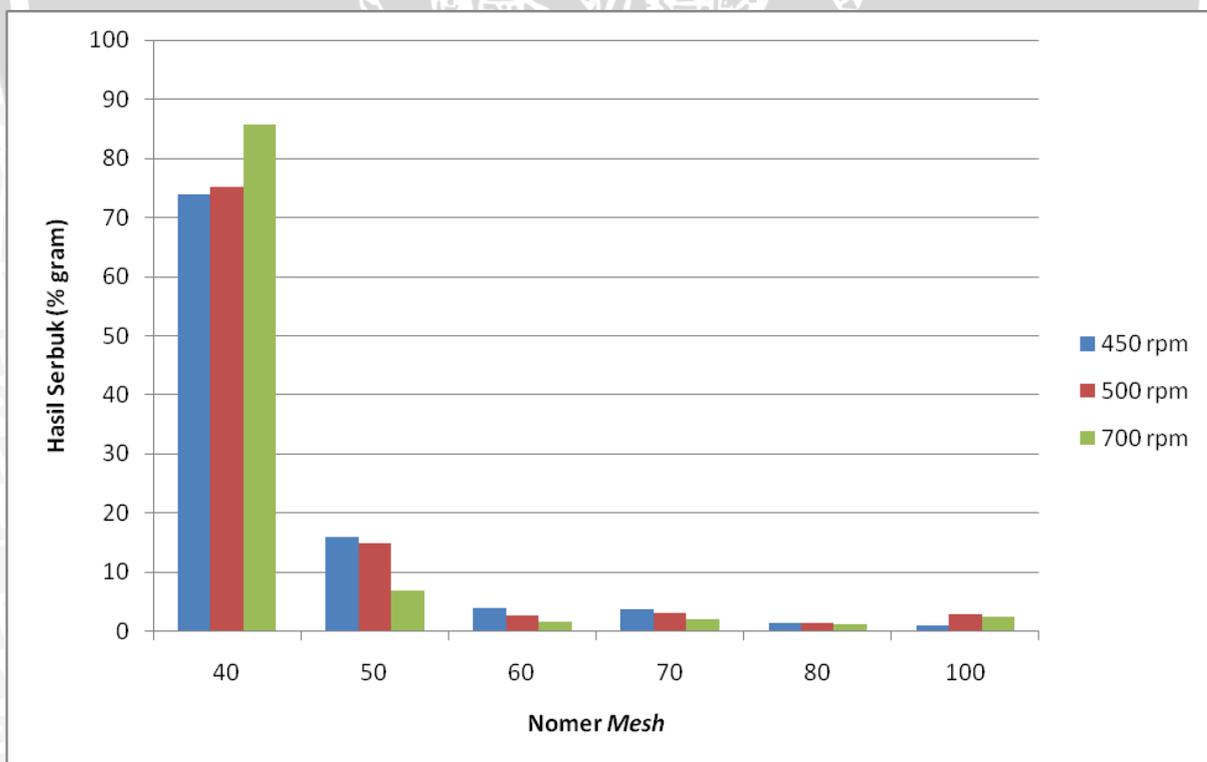
Gambar 4.1 Grafik hubungan ukuran [*Mesh*] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 9 bola



Gambar 4.2 Grafik hubungan ukuran [*Mesh*] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 12 bola



Gambar 4.3 Grafik hubungan ukuran [Mesh] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 42 mm sejumlah 9 bola

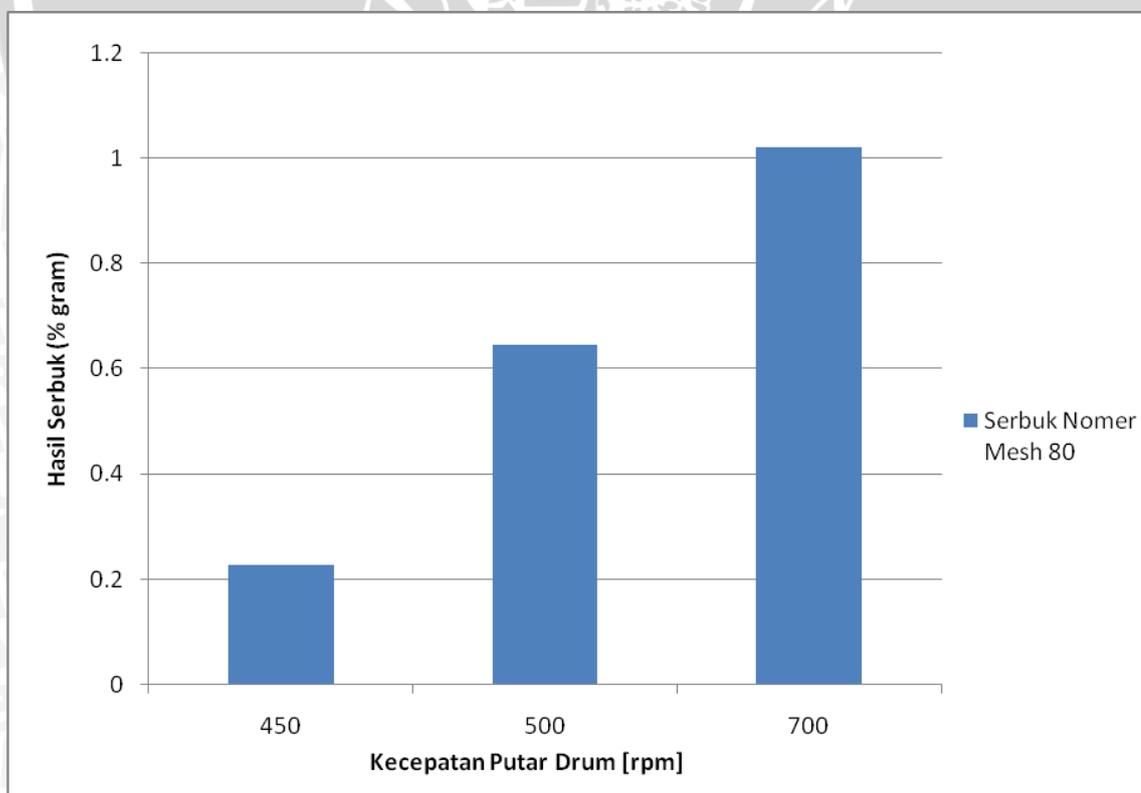


Gambar 4.4 Grafik hubungan ukuran [Mesh] serbuk terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 42 mm sejumlah 12 bola

## 4.2. Pembahasan

Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil serbuk dalam satuan gram dan dalam satuan persen [%] pada nomer *mesh* 40, 50, 60, 70, 80, dan 100 dari variasi kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dengan diameter bola penumbuk sebesar 27 dan 42 mm dan masing-masing sejumlah 9 dan 12 bola. Dan gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan grafik hasil serbuk pada kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dari setiap variasi bola penumbuk.

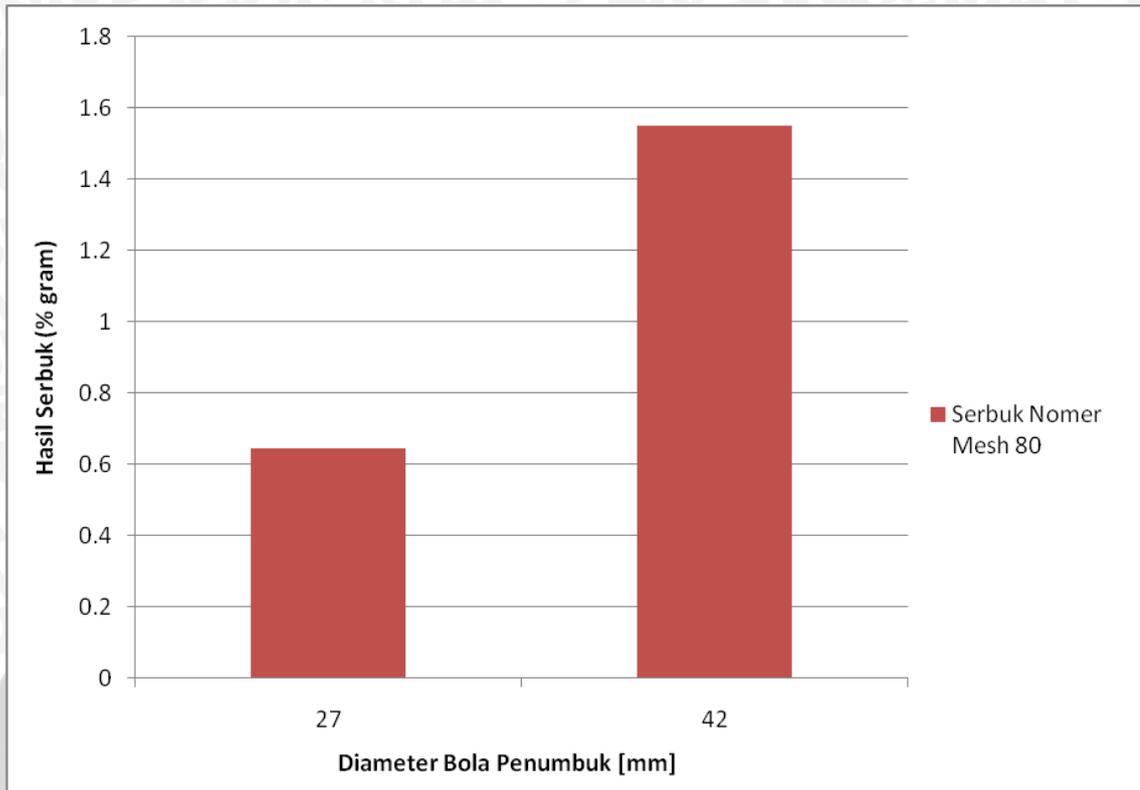
Secara umum, dari gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya kecepatan maka hasil serbuk yang dihasilkan akan semakin meningkat. Hal ini terlihat pada kecepatan 700 rpm dapat menghasilkan serbuk halus (nomer *mesh* 80 dan 100) yang lebih banyak daripada kecepatan 450 dan 500 rpm, begitu juga dengan kecepatan 500 rpm dapat menghasilkan serbuk halus yang lebih banyak daripada kecepatan 450 rpm. Sama halnya dengan hasil serbuk kasar (nomer *mesh* 40, 50, 60, dan 70) juga terlihat bahwa kecepatan 700 rpm dapat menghasilkan serbuk yang lebih banyak daripada kecepatan 450 dan 50 rpm, dan kecepatan 500 rpm juga dapat menghasilkan serbuk yang lebih banyak daripada kecepatan 450 rpm. Hal ini sesuai dengan gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4.5 Grafik hubungan kecepatan putar drum [rpm] terhadap presentase hasil serbuk pada diameter bola penumbuk 27 mm sejumlah 9 bola

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh kecepatan putar drum [rpm] terhadap presentase hasil serbuk duralumin pada nomer *mesh* 80 dengan variasi bola penumbuk diameter 27 mm sejumlah 9 bola. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa semakin besar kecepatan putar drum maka hasil serbuk duralumin akan semakin meningkat, terlihat bahwa pada kecepatan putar drum 700 rpm menghasilkan serbuk duralumin yang lebih besar daripada kecepatan putar drum 500 rpm, dan kecepatan putar drum 500 rpm juga menghasilkan serbuk duralumin yang lebih besar daripada kecepatan putar drum 450 rpm. Namun pada gambar 4.2, terlihat pada kecepatan 700 rpm menghasilkan serbuk kasar (nomer *mesh* 40 dan 50) yang lebih sedikit daripada kecepatan 450 dan 500 rpm. Hal ini dikarenakan jumlah serbuk lainnya telah menjadi serbuk halus yang lebih banyak, dan terbukti pada gambar 4.2 nomer *mesh* 80, serbuk halus hasil kecepatan 700 rpm memiliki jumlah yang lebih banyak daripada yang terlihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.4.

Gambar 4.1 dan 4.3 menunjukkan hasil serbuk pada kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dengan jumlah bola penumbuk yang sama yaitu sebanyak 9 bola, namun besar diameternya berbeda yaitu 27 dan 42 mm. Begitu juga gambar 4.2 dan 4.4 menunjukkan hasil serbuk pada kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dengan jumlah bola penumbuk yang sama yaitu sebanyak 12 bola, namun besar diameternya juga berbeda yaitu 27 dan 42 mm. Dari gambar 4.1 dan 4.3 menunjukkan bahwa variasi diameter bola penumbuk 42 mm menghasilkan serbuk halus yang lebih banyak daripada diameter 27 mm, begitu juga dari gambar 4.2 dan 4.4. Hal ini dikarenakan semakin besar diameter bola penumbuk akan mengakibatkan volumenya juga semakin besar, ruang kosong didalam drum akan semakin kecil, dan mengakibatkan kontak langsung atau efek gerusan yang ditimbulkan pada geram akan semakin besar, sehingga serbuk halus yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Hal ini juga sesuai dengan gambar 4.6 dibawah ini:

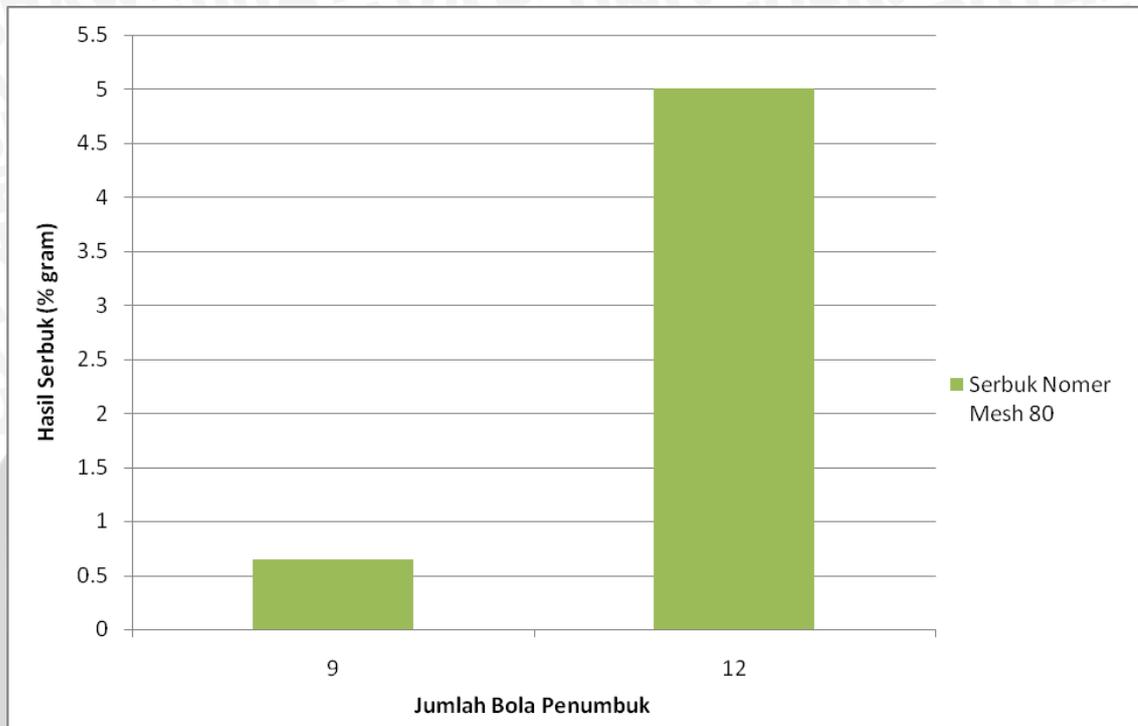


Gambar 4.6 Grafik hubungan ukuran diameter bola penumbuk [mm] terhadap presentase hasil serbuk pada kecepatan putar drum 500 rpm sejumlah 9 bola

Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh diameter bola penumbuk [mm] terhadap presentase hasil serbuk duralumin pada nomer *mesh* 80 dengan variasi kecepatan putar drum 500 rpm sejumlah 9 bola. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa semakin besar diameter bola penumbuk maka hasil serbuk duralumin akan semakin meningkat, yaitu diameter bola penumbuk 42 mm menghasilkan serbuk duralumin yang lebih besar daripada diameter bola penumbuk 27 mm. Hal ini dikarenakan semakin besar diameter bola penumbuk maka kontak langsung atau efek gerusan yang ditimbulkan pada geram akan semakin besar, sehingga serbuk yang dihasilkan juga akan semakin banyak.

Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil serbuk pada kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dengan diameter bola penumbuk yang sama yaitu 27 mm, namun jumlahnya berbeda yaitu 9 dan 12 bola. Begitu juga gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan hasil serbuk pada kecepatan 450, 500, dan 700 rpm dengan diameter bola penumbuk yang sama yaitu 42 mm, namun jumlahnya berbeda yaitu 9 dan 12 bola. Dari gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa variasi jumlah bola penumbuk 12 menghasilkan serbuk halus yang lebih banyak daripada jumlah bola penumbuk 9, begitu juga dari gambar 4.3 dan 4.4. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah bola penumbuk akan mengakibatkan massa

bola penumbuk semakin besar, gaya berat bola penumbuk semakin naik, sehingga kontak tumbukan atau efek tumbukan yang ditimbulkan pada geram didalam drum juga akan semakin besar, dan akhirnya serbuk halus yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Hal ini juga sesuai dengan gambar 4.7 dibawah ini:



Gambar 4.7 Grafik hubungan jumlah bola penumbuk terhadap presentase hasil serbuk pada kecepatan putar drum 500 rpm dengan diameter bola penumbuk 27 mm

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh jumlah bola penumbuk terhadap presentase hasil serbuk duralumin pada nomer *mesh* 80 dengan variasi kecepatan putar drum 500 rpm dan variasi diameter bola penumbuk 27 mm. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa semakin besar jumlah bola penumbuk maka hasil serbuk duralumin akan semakin meningkat, yaitu jumlah bola penumbuk 12 menghasilkan serbuk duralumin yang lebih besar daripada jumlah bola penumbuk 9. Hal ini dikarenakan semakin besar jumlah bola penumbuk maka massanya akan semakin meningkat, sehingga gaya berat bola penumbuk akan semakin naik dan serbuk yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Sesuai dengan rumus dibawah ini:

$$F_c = \frac{mV^2}{R}$$

dengan

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

Keterangan :

- Fc : gaya sentrifugal [N]
- m : massa bola penumbuk [kg]
- V : kecepatan [m/s]
- R : jari-jari drum [m]
- $\pi$  : 3,14
- D : diameter drum [m]
- n : kecepatan putar drum [rpm]

Gaya sentrifugal dipengaruhi oleh massa dan kecepatan, ketika massa dan kecepatan semakin naik maka gaya sentrifugal akan semakin naik. Hal ini sesuai dengan semakin bertambahnya variasi bola penumbuk dan variasi kecepatan putar drum yang dipakai, maka gaya sentrifugal yang ditimbulkan akan semakin naik juga, sehingga menyebabkan serbuk halus yang dihasilkan akan semakin bertambah. Meningkatnya hasil serbuk halus ini disebabkan karena meningkatnya efek tumbukan yang terjadi didalam drum, jadi dapat disimpulkan bahwa meningkatnya gaya sentrifugal akan menyebabkan semakin bertambahnya efek tumbukan yang terjadi. Namun jika nilai gaya sentrifugal ditambah lagi, maka efek tumbukan yang terjadi akan semakin menurun karena bola penumbuk akan melekat didinding drum dan ikut berputar sehingga tidak memberikan efek tumbukan lagi. Jadi, semakin bertambahnya gaya sentrifugal akan menyebabkan efek tumbukan semakin besar sampai titik tertentu, dan ketika gaya sentrifugal ditambah lagi maka efek tumbukan akan semakin menurun.

Penambahan jumlah bola penumbuk yang menyebabkan massa bola penumbuk didalam drum semakin meningkat akan menyebabkan konsumsi energi yang dibutuhkan juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan rumus dibawah ini:

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

$$Ek_1 = Ep_2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Keterangan :

$E_{k1}$  : energi kinetik [Joule]

$E_{p2}$  : energi potensial [Joule]

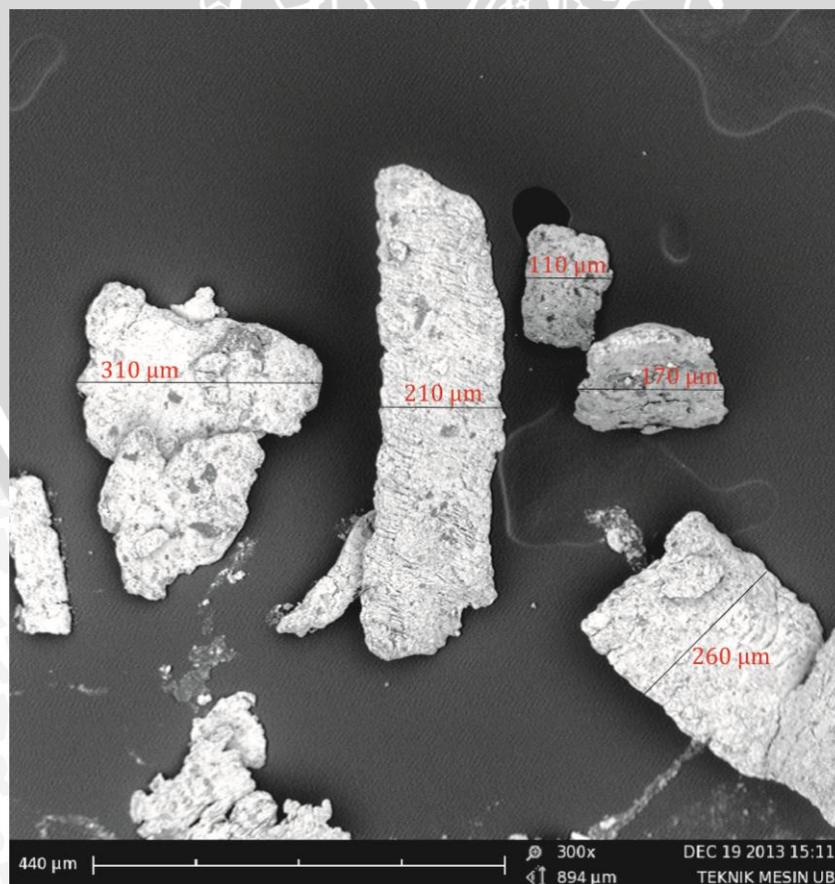
$m$  : massa [kg]

$g$  : gaya gravitasi [ $m/s^2$ ]

$h$  : ketinggian [m]

$V$  : kecepatan [m/s]

Ketika bola penumbuk berada dibawah (pada posisi 1), maka energi yang digunakan hanya energi kinetik saja dan energi potensialnya adalah nol. Namun pada saat bola penumbuk mulai terangkat dan berada pada posisi disamping atau diatas (pada posisi 2), maka energi yang digunakan adalah energi potensial, karena massa bola penumbuk ditambah dengan gaya gravitasi yang berlaku, dan energi kinetiknya adalah nol. Sehingga dari rumus yang berlaku diatas, ketika massa bola penumbuk bertambah besar maka akan membutuhkan energi yang bertambah besar juga untuk menggerakkan bola penumbuk tersebut.



Gambar 4.8 Foto SEM Hasil Serbuk Duralumin

Gambar 4.8 foto SEM hasil serbuk duralumin dari setiap variasi kecepatan putar drum dan setiap variasi bola penumbuk yang dipakai dengan perbesaran 300 kali dari hasil serbuk sebenarnya. Terlihat pada gambar telah mewakili nomer *mesh* 50 yaitu 310  $\mu\text{m}$ , nomer *mesh* 60 yaitu 260  $\mu\text{m}$ , nomer *mesh* 70 yaitu 210  $\mu\text{m}$ , nomer *mesh* 80 yaitu 170  $\mu\text{m}$ , dan nomer *mesh* 100 yaitu 110  $\mu\text{m}$ . Bentuk serbuk untuk nomer *mesh* 50 (310  $\mu\text{m}$ ) yaitu berbentuk tidak beraturan (*angular*) dan presentase terbanyak untuk nomer *mesh* 50 (310  $\mu\text{m}$ ) terletak pada variasi kecepatan putar drum 450 rpm dengan besar diameter bola penumbuk 27 mm sebanyak 12 bola. Hal ini terbukti bahwa pada variasi tersebut telah memberikan efek tumbukan yang lebih besar daripada efek gerusan, karena variasi kecepatan putar drum yang dipakai rendah.

Bentuk serbuk untuk nomer *mesh* 60 (260  $\mu\text{m}$ ) dan nomer *mesh* 70 (210  $\mu\text{m}$ ) yaitu berbentuk serpihan (*flake*) dan presentase terbanyak untuk nomer *mesh* tersebut terletak pada variasi kecepatan putar drum 700 rpm dengan besar diameter bola penumbuk 27 mm sebanyak 12 bola. Hal ini terbukti bahwa pada variasi tersebut telah memberikan efek gerusan yang lebih besar daripada efek tumbukan, karena variasi kecepatan putar drum yang dipakai tinggi. Dan bentuk serbuk untuk nomer *mesh* 80 (170  $\mu\text{m}$ ), dan nomer *mesh* 100 (110  $\mu\text{m}$ ) yaitu berbentuk hampir bulat. Presentase terbanyak untuk nomer *mesh* 80 (170  $\mu\text{m}$ ) terletak pada variasi kecepatan putar drum 700 rpm dengan besar diameter bola penumbuk 27 mm sebanyak 12 bola. Hal ini terbukti bahwa pada variasi tersebut juga memberikan efek gerusan dan tumbukan yang seimbang walaupun variasi kecepatan putar drum yang dipakai tinggi. Dan presentase terbanyak untuk nomer *mesh* 100 (110  $\mu\text{m}$ ) terletak pada variasi kecepatan putar drum 500 rpm dengan besar diameter bola penumbuk 42 mm sebanyak 9 bola. Hal ini terbukti bahwa pada variasi tersebut juga memberikan efek gerusan dan tumbukan yang seimbang, karena variasi kecepatan putar drum yang dipakai sedang, sehingga bola penumbuk bisa memberikan efek tumbukan dan efek gerusan yang merata.

Dari gambar 4.8 foto SEM hasil serbuk duralumin beserta penjelasannya, dapat disimpulkan bahwa proses pembuatan serbuk duralumin dengan metode mekanik menggunakan alat *ballmill* pada setiap variasi kecepatan putar drum dan setiap variasi bola penumbuk yang dipakai, menghasilkan serbuk dengan bentuk tidak seragam atau heterogen, yaitu terdapat bentuk serpihan (*flake*), bentuk bulat atau hampir bulat, dan bentuk tidak beraturan (*angular*).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin bertambahnya kecepatan putar drum atau tabung *mill* maka distribusi ukuran serbuk duralumin akan semakin meningkat, serta semakin bertambahnya variasi bola penumbuk yaitu ukuran diameter dan jumlah bola penumbuk, maka distribusi ukuran serbuk duralumin juga akan semakin meningkat. Namun dengan bertambahnya variasi kecepatan putar drum dan variasi bola penumbuk tersebut, maka konsumsi energi yang dibutuhkan juga akan semakin meningkat.

Serbuk duralumin yang dihasilkan dari penelitian berbentuk tidak seragam atau heterogen, yaitu terdapat bentuk serpihan (*flake*), bentuk bulat atau hampir bulat, dan bentuk tidak beraturan (*angular*). Dan distribusi ukuran serbuk duralumin yang paling baik didapatkan pada variasi kecepatan putar drum 500 rpm dengan ukuran diameter bola penumbuk 42 mm sebanyak 9 bola.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan maka sebaiknya disarankan untuk:

1. Mengayak geram sebelum diproses atau digilang dalam mesin *ballmill* agar geram tidak menggumpal.
2. Menambahkan waktu penggilingan saat proses penggilingan dalam *ballmill* agar serbuk halus yang dihasilkan lebih banyak.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ansel. 1989. *"Ukuran Partikel Serbuk"*. Universitas Sumatera Utara. <http://id.scribd.com/pdf/Ukuran-Partikel-Kehalusan-Butir-Pada-Serbuk/Chapter-II.pdf> (Diakses 23 September 2013)
- B. Clermont dan B. de Hass. 2010. *"Optimization of Mill Performance by Using Online Ball and Pulp Measurement"*, The Journal of The Southern Africa Institute of Mining and Metallurgy. 133-140 (2010)
- Chan, Yefri. 2010. *"Metalurgi Serbuk"* Universitas Darma Persada. <http://Yefrichan.Files.Wordpress.Com/2010/05/03/Metalurgi-Serbuk-1-02-Pdf> (Diakses 19 Februari 2013)
- Daryus, Asyari. 2011. *"Metalurgi Serbuk"*, Universitas Darma Persada. <http://Wordpress.Asyaridaryus.Files.Com/2011/06/Metalurgi-Serbuk2.Pdf> (Diakses 7 Agustus 2013)
- German, M. R. 1994. *"Powder Metallurgy Science"*, Metal Powder Industries Federation, New Jersey.
- Heine, Richard W. 1990. *"Principle of Metal Casting"*, New Delhi: Publishing Company.
- John Wiley & Sons. 2002. *"Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e"*, Inc. M. P. Groover.
- Kaloshkin SD, Tomilin IA. 2010. *Physic Met Metallogr* 95:334
- Kalpakjian, S., 1989, *"Manufacturing Engineering and Technology"*, Addison-Wesley company, New York.
- Murjito. 2010. *"Penerapan teknologi powder metallurgy untuk pembuatan komponen mesin berbasis pasir besi local"*, [http://researchreport.umm.ac.id/index.php/researchreport/article/viewfile/230/331\\_umm\\_research\\_report\\_fulltext.pdf](http://researchreport.umm.ac.id/index.php/researchreport/article/viewfile/230/331_umm_research_report_fulltext.pdf) (Diakses 20 Februari 2013)
- Popov, K.I., Djokic, S.S., and Gurgur, B.N. (2002), *"Fundamental Aspect of Electrometallurgy"*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Prawara, Budi. 2006. *"Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem High Velocity Oxygen Fuel"*, Jurnal Perencanaan Peralatan. Tahun 2006.
- Purwanto, Dwi. 2011. *"Kekuatan Sambungan Las Thermit Rel R54 Untuk Jalur Lintas Angkutan Batubara"* Tangerang Selatan: Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur - BPP Teknologi, Tahun 2011 : 81 - 89.

- Rasib, S. Z. 2011. *“Effect of Milling Speed on Properties of Fe-NbC composite prepared by mechanical alloying”*, Key Engineering Materials 471-472 (2011)
- Riles. 2011. *“Analisa Hasil Pengayakan Serbuk Tembaga Proses Electrorefining”*. <http://www.polines.ac.id/orbith/files/7-3-2011%20Hal%20332-336.pdf> (Diakses 23 September 2013)
- Rusianto, Toto. 2009. *“Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu Pemanasan”*, Jurnal Teknologi, Volume 2 Nomor 1, Juni 2009, 89 - 95.
- Sing. 1976. *“Metalurgi Serbuk”*, Institut Pertanian Bogor. <http://id.scribd.com/pdf/005/Metalurgi-Serbuk/BAB-III-Tinjauan-Pustaka.pdf> (Diakses 17 Juli 2013)
- Seong, Hyeon Hong. 2011. *“Manufacturing of Aluminum Flake Powder from Foil Scrap by Dry Ball Milling Process”*. Department of Materials Engineering, Korea Institute of Machinery and Materials, 66 Sangnam, South Korea.
- Septiyan, Irfan. 2010. *“Pengaruh Milling Terhadap Peningkatan Kualitas Pasir Besi Sebagai Bahan Baku Industri Logam”*. Program Studi Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi UIN syarif Hidayatullah Jakarta.
- Suprpto, Wahyono. 2012. *“The Fluidity Characteristics Of Liquid Duralumin By Piece Test Methode On Permanent Mold In Low Pressure”*, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 1 Tahun 2012 : 268 - 275.
- ..... 2013. *“Distribusi Mesh Serbuk Duralumin pada Penggilingan Bola Selubung Putar D200 Putaran Cepat”*, Jurnal Bahan Teknik - Mekanika Bahan, dalam Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 19, Tahun 2013 : 95 - 101.
- Suryanarayana, C. 2003. *Mechanical Alloying and Milling*. Newyork: Colorado School of Mines Golden, Colorado.
- Upadhyaya, G. S. (2002), *“Powder Metallurgy Technology”*, Cambridge International Science Plubhising, Kanfur.
- W. L. Badger and J. T. Banchemo, *“Introduction to Chemical Engineering”*, (28<sup>th</sup> Printing) McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1985, p-677.

Lampiran 1. Nilai Standar *Mesh* dalam Satuan Inchi, Milimeter, dan Micrometer

<b>U.S. MESH</b>	<b>INCHES</b>	<b>MICRONS</b>	<b>MILLIMETERS</b>
3	0.2650	6730	6.730
4	0.1870	4760	4.760
5	0.1570	4000	4.000
6	0.1320	3360	3.360
7	0.1110	2830	2.830
8	0.0937	2380	2.380
10	0.0787	2000	2.000
12	0.0661	1680	1.680
14	0.0555	1410	1.410
16	0.0469	1190	1.190
18	0.0394	1000	1.000
20	0.0331	841	0.841
25	0.0280	707	0.707
30	0.0232	595	0.595
35	0.0197	500	0.500
40	0.0165	400	0.400
45	0.0138	354	0.354
50	0.0117	297	0.297
60	0.0098	250	0.250
70	0.0083	210	0.210
80	0.0070	177	0.177
100	0.0059	149	0.149
120	0.0049	125	0.125
140	0.0041	105	0.105
170	0.0035	88	0.088
200	0.0029	74	0.074
230	0.0024	63	0.063
270	0.0021	53	0.053
325	0.0017	44	0.044
400	0.0015	37	0.037

Lampiran 2. Gambar Dokumentasi Penelitian

