

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

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
TASHA OKSARIA
NIM. 0910620094 – 62

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

LEMBAR PERSETUJUAN

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

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
TASHA OKSARIA
NIM. 0910620094 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

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

LEMBAR PENGESAHAN

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

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**TASHA OKSARIA
NIM. 0910620004-62**

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

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

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

**MAKALAH
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
TASHA OKSARIA
NIM. 0910620094 – 62

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

LEMBAR PERSETUJUAN

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

**MAKALAH
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
TASHA OKSARIA
NIM. 0910620094 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Kecepatan Putar Drum dan Jumlah Bola Penumbuk pada Ballmill Terhadap Distribusi Ukuran Serbuk Duralumin” ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

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

1. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Purnami ST.,MT selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Tjuk Oerbandono, Ir.,MSc.CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Wahyono Suprpto, Ir., MT. Met., Dr. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi masukan, bimbingan, pengetahuan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Erwin Sulisty, Ir., MT selaku dosen wali.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Moch. Satrio Adib Pancoro dan Ibunda Peni Perwita Sari yang tak hentinya mendo'akan dan memberi semangat saya, sungkem selalu buat bapak ibu, tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan-Nya.
8. Keluarga Besar dari ibu dan ayahku, terima kasih atas kasih sayang, do'a serta dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
9. Adikku tercinta Tania Paramita terima kasih atas semangatnya dan doanya.
10. Keluarga Besar Laboratorium Metrologi Industri, Ibu Femiana Gapsari M F, ST., MT selaku Kepala Laboratorium yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya menjadi asisten. Tak lupa ucapan banyak terima kasih kepada saudara – saudaraku asisten : Vicky, Arfian, Irvan, Prabu, Priyo, Gigih, Faris terima kasih atas semua kebersamaan dan dukungannya selama penyelesaian skripsi ini.

11. Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya, Bapak Agustinus Ariseno, Ir., MT. selaku Kepala Laboratorium dan rekan – rekan asisten terima kasih atas fasilitas dan dukungannya.
12. Saudaraku “BLACK MAMBA” M’09 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat, semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever!!!*
13. “MAMES” M’09 Girls (Fitri, Tita, Maha, Risma, Nurlia, Ika, Feni), terima kasih kakak atas do’a yang selalu menyertai saya dan selalu memberikan semangat, peluk sayang selalu.
14. Sahabat RANGER, Sartika, Niken, Flo, Novia, Devita dan Ryan yang selalu memotivasi saya agar segera lulus. terima kasih atas dukungan, do’a dan motivasinya.
15. M. Kharis Irvan yang selalu memberikan motivasi, semangat dan doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

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

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

Malang, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Definisi Serbuk Logam	5
2.3 Aplikasi Serbuk Logam	6
2.3.1 <i>Powder Metallurgy (P/M)</i>	6
2.3.2 <i>Thermit Welding</i>	8
2.3.3 <i>Thermal Spray Coating</i>	9
2.4 Metode Pembuatan Serbuk Logam.....	9
2.5 Paduan Alumunium dan Tembaga (<i>Duralumin</i>).....	18
2.6 Karakteristik Serbuk Logam	18
2.7 Hipotesa	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode yang digunakan	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.3 Variabel Penelitian	21
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	22
3.4.1 Peralatan yang Digunakan.....	22



3.4.2 Bahan yang Digunakan.....	25
3.5 Prosedur Penelitian	25
3.6 Rancangan Penelitian.....	27
3.7 Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian.....	30
4.1.1 Data Hasil Uji Distribusi Ukuran Partikel Serbuk.....	30
4.2 Analisa Data dan pembahasan.....	31

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

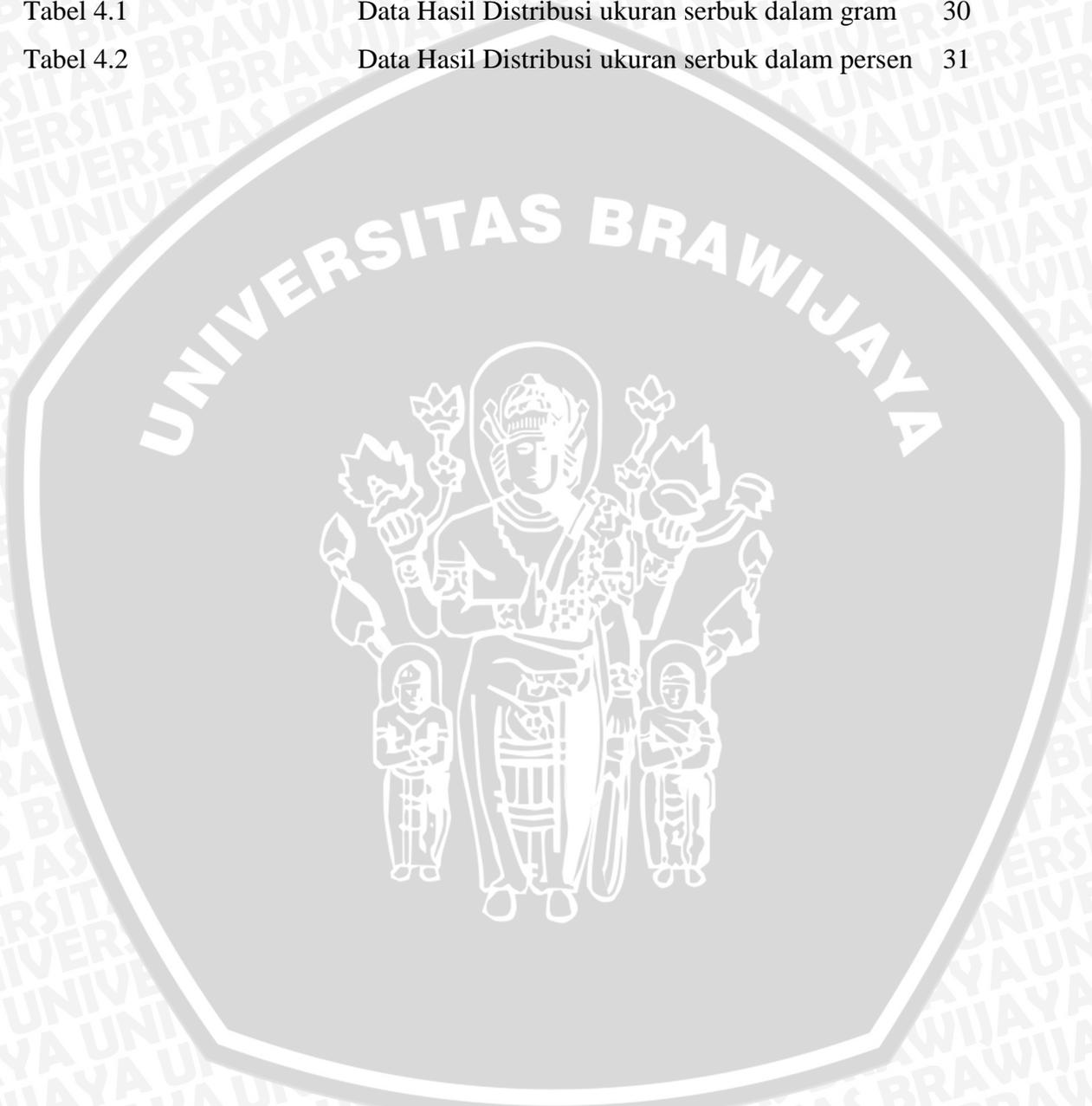
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Serbuk logam	6
Gambar 2.2	Proses <i>Powder Metallurgy</i>	7
Gambar 2.3	Proses <i>Thermit Welding</i>	8
Gambar 2.4	Proses <i>Thermal Spray Coating</i>	9
Gambar 2.5	Proses Atomisasi	10
Gambar 2.6	Proses dengan reaksi kimia	11
Gambar 2.7	Proses Pengendapan Elektrolisis	12
Gambar 2.8	<i>Ballmill</i> pada laboratorium dan pabrik	13
Gambar 2.9	<i>Rodmill</i>	14
Gambar 2.10	Proses Penghancuran mekanik dengan <i>Ballmill</i>	16
Gambar 2.11	Bentuk - bentuk partikel serbuk	19
Gambar 2.12	Peralatan Uji Ayakan	20
Gambar 3.1	Peralatan untuk pembuatan serbuk.	22
Gambar 3.2	Mesin Pengguncang Rotap	23
Gambar 3.3	<i>Scanning Electron Microscope</i>	24
Gambar 3.4	Bahan yang Digunakan.	25
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 450 rpm	32
Gambar 4.2	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 450 rpm dengan mesh 120 dan 140	32
Gambar 4.3	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 500 rpm	35
Gambar 4.4	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 700 rpm	37
Gambar 4.5	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada 3 variasi kecepatan putar drum 450,500 dan 700 rpm	39
Gambar 4.6	Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk <i>duralumin</i> pada klasifikasi serbuk halus dengan 3 variasi kecepatan putar <i>drum</i> dan 3 variasi bola penumbuk.	42

Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM pada serbuk *duralumin* hasil *grinding* pada variasi kecepatan putar a. 400 rpm b. 500 rpm c.700 rpm



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Metode Pembuatan Serbuk	17
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	27
Tabel 4.1	Data Hasil Distribusi ukuran serbuk dalam gram	30
Tabel 4.2	Data Hasil Distribusi ukuran serbuk dalam persen	31



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Tabel Konversi <i>U.S. Mesh</i>
Lampiran 2.	Hasil Foto SEM serbuk <i>duralumin</i>



RINGKASAN

Tasha Oksaria, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Kecepatan Putar Drum Dan Jumlah Bola Penumbuk Pada Ballmill Terhadap Distribusi Ukuran Serbuk Duralumin*, Dosen Pembimbing : Wahyono Suprpto

Limbah logam industri manufaktur yang terbuang percuma dan tidak diolah kembali dapat menurunkan efisiensi penggunaan bahan baku dan juga mencemari lingkungan. Dengan mengolah kembali limbah geram aluminium dan paduannya menjadi serbuk logam dapat menyelesaikan masalah tersebut, karena serbuk logam dapat diaplikasikan dalam banyak proses manufaktur. Pembuatan serbuk dengan proses mekanik menggunakan alat *ballmill* sudah mulai banyak dikembangkan. Pada *ballmill* terdapat banyak parameter yang mempengaruhi hasil serbuk yang dihasilkan yaitu kecepatan putar dan bola penumbuk. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar *drum* dan jumlah bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran serbuk *duralumin*.

Penelitian ini akan membahas proses pembuatan serbuk dengan *grinding* menggunakan *ballmill* dengan bahan geram *duralumin* 100 g selama 60 menit dengan variasi kecepatan putar *drum* 450, 500 dan 700 rpm dengan 3 variasi jumlah bola penumbuk yaitu: 4 bola diameter 42mm 7 bola diameter 27mm, 6 bola diameter 42mm dan 6 bola diameter 27mm, dan 5 bola diameter 42mm dan 8 bola diameter 27mm.

Hasil dari penelitian ini adalah semakin tinggi kecepatan putar *drum* akan meningkatkan tumbukan dan kehalusan serbuk namun apabila kecepatan sudah mencapai batas tertentu kehalusan serbuk berkurang. Dan semakin tinggi rasio berat *ball to powder* dari variasi jumlah bola penumbuk akan meningkatkan kehalusan serbuk karena meningkatkan daerah kontak tumbukan bola penumbuk dan serbuk. Hal ini terbukti dengan hasil distribusi ukuran serbuk terbaik didapatkan pada variasi kecepatan *drum* 500 rpm dan bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm dengan jumlah presentase tiap mesh yaitu mesh 40 59,68%; mesh 80 27,93%; mesh 100 5,64%; mesh 120 2,28%; mesh 140 2,25% dan mesh 270 dengan presentase 2,23%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil serbuk terhalus terdapat pada serbuk dengan kecepatan putar *drum* 500 rpm dan variasi bola penumbuk 5 bola diameter 42mm dan 8 bola diameter 27mm.

Kata kunci: serbuk logam, *ballmill*, kecepatan putar *drum*, bola penumbuk, distribusi ukuran serbuk

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur kini mulai banyak tumbuh dan berkembang di Indonesia, beberapa contohnya adalah industri otomotif dan peleburan logam dimana industri-industri tersebut membutuhkan bahan baku dengan kualitas baik, aman dipakai, dan tidak merusak lingkungan. Karena itu industri-industri tersebut terus mengembangkan teknologi untuk menciptakan produk dengan biaya produksi yang rendah, memiliki 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. Di Indonesia, limbah berupa logam bekas kurang dimanfaatkan secara maksimal karena pengetahuan tentang cara pengolahannya masih sangat kurang (Toto, 2009). Hal ini menyebabkan sering banyak logam bekas yang terbuang percuma. Contohnya di daerah Gedebage menghasilkan *sludge* (mengandung aluminium) sebanyak 10 ton per bulan. Pabrik elektronika di daerah Cicalengka menghasilkan limbah *scrap* aluminium mencapai 40 ton per bulan (Husaini Dkk, 2008). Apabila limbah-limbah tersebut tidak dikelola kembali dan diolah dengan baik akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Selama ini proses pengolahan aluminium dan paduannya tersebut dilakukan dengan proses pengecoran dimana logam tadi dipanaskan hingga mencapai titik lebur kemudian dicetak kembali agar dapat dimanfaatkan kembali. Proses ini terdapat beberapa kekurangan diantaranya adalah terdapat cacat hasil coran yang perlu penanganan khusus supaya tidak terjadi. Hal ini tentunya akan mengurangi kualitas dari produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk menghindari pencemaran lingkungan serta terbuangnya logam bekas secara percuma, maka dilakukanlah pengolahan kembali terhadap aluminium dan paduannya dengan cara mengolahnya salah satunya dengan mengolah menjadi bahan baku serbuk logam.

Dalam industri manufaktur pengolahan logam, bahan baku serbuk logam dengan aluminium dan paduannya dapat diproses dengan teknologi *Powder Metallurgy*

menjadi berbagai macam produk komponen contohnya untuk komponen mesin dan otomotif, seperti; *bushing, fuel injector core, micro gears*, dan bagian-bagian mesin yang berbentuk rumit. Selain itu, serbuk logam juga dapat digunakan sebagai *Thermit Welding* dan *Spray Coating*. *Thermit welding* adalah proses pengelasan atau penggabungan logam dengan cara memanaskan logam secara berlebihan sehingga mencair dengan menggunakan reaksi aluminothermis antara oksida logam dengan serbuk aluminium, (Dwi Purwanto,2011). Dan menurut Dr. Eng. Budi Prawara, (2006) *Spray Coating* adalah suatu proses dimana bahan dalam bentuk serbuk logam dideposisikan dalam kondisi cair atau setengah cair pada suatu permukaan yang telah disiapkan sebelumnya untuk membentuk suatu lapisan *spray*.

Pemilihan serbuk logam sebagai baku dalam proses produksi manufaktur dipilih karena jenis material ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain; komponen yang dihasilkan lebih presisi, lebih ringan, mudah di campur, konsumsi energi lebih rendah, ekonomis dan efisiensi transformasi bentuknya tinggi. Dan karena itulah geram-geram aluminium dan paduannya yang sering menimbulkan polusi lingkungan kerja dan sekitarnya harus dapat diolah kembali salah satu contohnya dengan diolah menjadi serbuk logam agar dapat digunakan kembali dan tidak terus menurunkan efisiensi ekonomi produksi. Salah satu upaya untuk meningkatkan optimalisasi proses pengerjaan logam adalah dengan proses teknologi *Powder Metallurgy* yang diawali dengan pembuatan serbuk logam dari geram (*chip* dan *scrap*), pencampuran (*blinding* dan *mixing*), penekanan (*compacting*), *sintering*, dan pengerjaan akhir yang bersifat *optioning* (pemotongan, *heat and surface treatment*) merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan optimalisasi proses pengerjaan logam.

Salah satu logam yang banyak diaplikasikan untuk serbuk logam 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. 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.

Dalam teknologi serbuk logam di kenal berbagai metode pembuatan serbuk dari limbah pengerjaan logam, seperti *mechanical (crushing dan milling)*, *shooting*, *spraying*, *Electro-deposition*, *oxide reduction*. Pemilihan metode pembuatan serbuk tentunya didasarkan pada sifat bahan baku yang diolah seperti sifat fisik (berat jenis, titik cair), mekanik (kekerasan, keuletan, abrasif), kimia (oksidasi, kontaminasi, potensial elektrik), dan lain-lain. Untuk pengolahan geram aluminium dan paduannya dapat digunakan proses mekanik karena langsung mengolah geram menjadi serbuk tanpa mentransformasinya menjadi bentuk lain (logam cair) seperti pada proses atomisasi. Pembuatan serbuk logam dengan metode mekanik (*crushing dan milling*) dapat menggunakan *ballmill* yaitu mesin yang digunakan untuk menghancurkan bahan menjadi serbuk yang sangat halus. *Ballmill* sudah banyak digunakan dalam proses pemisahan mineral, cat, bahan kimia, dan keramik. Dan kini mulai dikembangkan pembuatan serbuk logam dengan menggunakan *ballmill* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah, bagaimana pengaruh kecepatan putar *drum* dan jumlah 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 jumlah bola penumbuk.
2. Perhitungan distribusi ukuran mesh serbuk *duralumin* dari setiap variasi kecepatan putar *drum* dan jumlah bola penumbuk.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar *drum* dan variasi jumlah bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran serbuk duralumin.
2. Untuk mendapatkan serbuk duralumin dengan distribusi dan ukuran serbuk yang baik.
3. Untuk mengetahui cara pemanfaatan limbah logam dengan teknologi *crushing* dan *milling* untuk pengaplikasian serbuk logam.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai sarana mengurangi limbah logam dengan mengolahnya menjadi serbuk logam.
2. Menghasilkan produk serbuk logam dengan sifat mekanik yang baik.
3. Untuk memberikan informasi pada perusahaan yang memiliki masalah dalam hal logam bekas, agar dapat mendayagunakannya dengan baik.
4. Sebagai referensi tambahan bagi penulis tentang proses pembuatan serbuk logam.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

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.

Seong (2011) melakukan penelitian pembuatan serbuk aluminium dari *scrap aluminium foil* menggunakan proses *ballmill*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar ukuran bola penumbuk akan meningkatkan kualitas serbuk aluminium karena memberikan dampak energi yang lebih besar saat proses *grinding*.

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

2.2 Definisi Serbuk Logam

Serbuk adalah kumpulan dari partikel-partikel kecil berukuran nano atau μm yang bersifat kering. Sesuai dengan British Standard (2955.1958) serbuk adalah partikel-partikel kering dengan dimensi maksimum lebih kecil dari 1000 μm (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 dapat berbentuk sangat kasar dengan ukuran 10 μm , atau dapat juga sangat halus dengan ukuran 1 μm , atau juga lebih kecil. Ukuran partikel serbuk mempunyai standar yang dihubungkan dengan partikel serbuk yang mampu melewati lubang-lubang ayakan yang telah distandarisasi dengan ukuran yang berbeda-beda, yaitu:

1. Serbuk kasar (mesh 20 x < mesh 40)
2. Serbuk cukup kasar (mesh 40 x < mesh 80)

3. Serbuk halus (mesh 80 $x <$ mesh 120)
4. Serbuk sangat halus (x mesh 120)

Serbuk logam kini mulai banyak dipilih sebagai bahan baku dalam proses produksi manufaktur dipilih karena jenis material ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

1. komponen yang dihasilkan lebih presisi
2. mudah di campur
4. konsumsi energi lebih rendah
5. ekonomis dan efisiensi transformasi bentuknya tinggi.



Gambar 2.1 Serbuk logam
Sumber:Anonymous1.2013

2.3 Aplikasi Serbuk Logam

Serbuk logam mulai banyak digunakan dalam industri manufaktur. Yang banyak dikenal adalah penggunaan serbuk logam dalam proses manufaktur *Powder Metallurgy*. Namun pengembangan telah banyak 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 teknik pengolahan logam untuk menghasilkan produk dengan menggunakan serbuk logam melalui proses penekanan menjadi bentuk yang diinginkan, kemudian dilakukan pemanasan (*sinter*) (John Wiley & Sons,2002). Sedangkan menurut Chan (2010) Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi, dari serbuk logam melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau

sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah *sinter* menghasilkan pengikatan partikel halus. Dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya meningkat.

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 sedangkan keuntungan lainnya antara lain hasil akhirnya dapat langsung disesuaikan dengan dimensi yang diinginkan yang berarti akan mengurangi biaya permesinan dan bahan baku yang terbuang, (Rusianto, 2009). Dan menurut Murjito (2010) Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa serbuk, kemudian serbuk tersebut ditekan di dalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain.

Dari beberapa definisi diatas 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, sehingga terjadi koagulasi dan kemudian dilakukan pemadatan dengan menggunakan dies. Sedangkan proses pemanasan dapat dilakukan secara bersamaan dengan proses penekanan atau dilakukan setelah proses penekanan.



Gambar 2.2 Proses *Powder Metallurgy*
Sumber: Anonymous1.2013

2.3.2 Thermit Welding

Las termit adalah penyambungan atau las antara dua batang rel melalui suatu reaksi kimia dengan menggunakan termit (besioksida dengan bubuk aluminium). Metode ini dilaksanakan dengan bahan yang sederhana dan menghasilkan sambungan yang baik. Reaksinya seperti berikut:



Hasil reaksi tersebut berupa besi ditambah dengan kerak Al_2O_3 serta panas yang terjadi cukup untuk mencairkan besi yang berada disekitar rel yang pada gilirannya akan memadukan besi hasil reaksi dengan rel. Las termit dilaksanakan dengan urutan:

1. Setelah penggelaran rel dilaksanakan.
2. Disekitar sambungan dipasang cetakan.
3. Mal diisi dengan campuran besioksida dengan bubuk aluminium.
4. Dengan bantuan pemanasan dengan brander campuran tersebut dipanaskan sampai 900°C .
5. Campuran ini akan tercetus reaksinya pada suhu 900°C .
6. Reaksi akan berlangsung selama kurang lebih 15 menit. Temperatur reaksi akan mencapai 2500°C .
7. Cetakan dibuka.
8. Kelebihan besi sebagai hasil reaksi di potong selagi masih membara dan kemudian diratakan dengan menggunakan gerinda.



Gambar 2.3 Proses Thermit Welding
Sumber: Anonymous2.2013

2.3.3 Thermal Spray Coating

Thermal Spray Coating 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.

Prinsip kerja *Thermal Spray Coating* adalah memanaskan material berbentuk *powder* atau *wire* menjadi semi cair, material yang sudah setengah cair diatomisasi menggunakan semburan gas membentuk deposit 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 *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 2.4 Proses Thermal Spray Coating
Sumber: Anonymouse3.2013

2.4 Metode Pembuatan Serbuk Logam

Pembuatan serbuk logam dapat dilakukan dengan berbagai cara sebagai berikut:

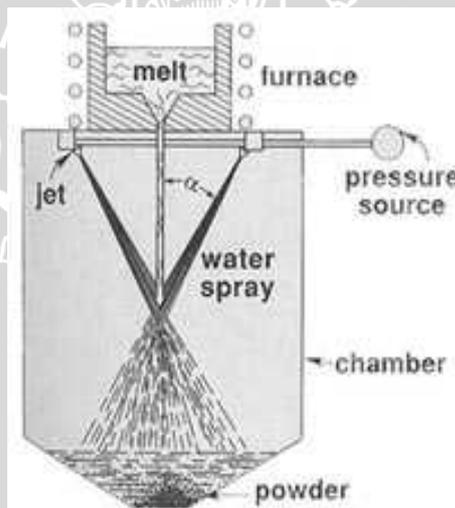
a. Proses Atomisasi

Proses atomisasi dapat didefinisikan sebagai proses memecah cairan logam yang jatuh, dimana prinsip kerja dari metode atomisasi adalah memecah atau mengatomisasi logam cair menjadi partikel serbuk dengan cara menembakkan gas

atau fluida bertekanan tinggi dari nosel. Untuk proses atomisasi sering dikaitkan pada media yang digunakan untuk memecah cairan logam tersebut, untuk logam tembaga yang digunakan media gas, dan air.

Proses pembentukan serbuk yang mungkin terjadi dalam proses atomisasi adalah cratering, splashing, stripping dan bursting, yaitu:

- Cratering adalah proses terjadinya tumbukan antara logam cair dengan satu butir air dari sprayer sehingga terbentuk satu melt droplet.
- Splashing adalah proses terjadinya tumbukan antara logam cair dengan satu butir air dari sprayer dan terbentuk lebih dari satu melt droplet.
- Stripping adalah proses terjadinya tumbukan antara logam cair dengan butiran air dari sprayer dimana aliran butiran air tersebut searah dengan aliran logam cair, sehingga terbentuklah melt droplet.
- Bursting adalah proses terjadinya tumbukan butiran air dengan melt droplet hasil dari proses cratering, splashing atau stripping



Gambar 2.5 Proses Atomisasi
Sumber: Hartono(2013).

b. Proses Reaksi Kimia

Hampir semua logam dapat dibentuk menjadi serbuk dengan menggunakan reaksi kimia. Prinsip dari metode kimia adalah proses dekomposisi kimia suatu senyawa logam. Reaksi reduksi dan oksidasi logam dengan hidrogen atau karbon monoksida sebagai pereduksi merupakan reaksi dekomposisi yang menghasilkan serbuk logam, menurut reaksi :



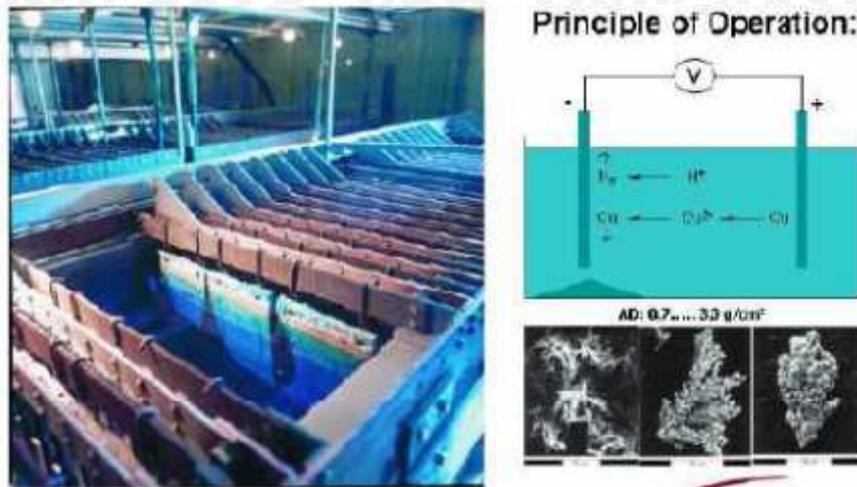
Reaksi (1) biasanya dipakai untuk menghasilkan serbuk Cu dan reaksi (2) digunakan untuk menghasilkan serbuk Fe. Metode ini sangat jarang dilakukan karena serbuk yang dihasilkan relative kasar, prosesnya yang cukup sulit dengan biaya yang cukup mahal dan hasilnya yang kurang maksimal.



Gambar 2.6 Proses dengan reaksi kimia
Sumber: Hartono(2013).

c. Proses Pengendapan Elektrolisis

Proses pengendapan elektrolisis merupakan cara yang banyak digunakan secara luas dalam pembuatan serbuk tembaga, berilium, besi, serta nikel. Kesesuaian antara material kimia dengan kondisi fisik selama elektrodeposisi memungkinkan untuk melonggarkan endapan yang menempel pada katoda, sehingga mudah untuk diserut menjadi serbuk. 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. Metoda ini pula dapat menghasilkan serbuk logam dengan kemurnian tinggi sehingga sangat baik untuk pengolahan metalurgi serbuk industri elektronika.



Gambar 2.7 Proses Pengendapan Elektrolisis
Sumber: Hartono(2013).

d. Proses penghancuran Secara Mekanik

Pembuatan serbuk secara mekanik merupakan proses pembuatan serbuk dengan penumbukan, gesekan, pemotongan, serta penekanan. Serbuk yang dihasilkan dari proses ini biasanya diaplikasikan untuk material getas dengan kekerasan sedang, paduan logam yang relatif keras dan *brittle*. Pada proses pembuatan serbuk secara mekanik menggunakan suatu alat yang dinamakan *ballmill* untuk menghancurkan material menjadi serbuk.

Ballmill adalah mesin yang digunakan untuk menghancurkan material menjadi serbuk dengan cara menumbuk dan menggerus karena adanya kombinasi gaya sentrifugal dan tumbukan bola-bola penumbuk didalam selubung putar mesin. Prinsip kerja alat tersebut adalah menghasilkan serbuk logam dengan memanfaatkan putaran motor yang memutar tabung *mill* yang telah berisi bola-bola penumbuk. Karena adanya putaran motor, material yang telah berada didalam tabung *mill* akan ditumbuk oleh bola-bola penumbuk selama beberapa waktu yang kemudian akan menghasilkan serbuk logam. Hasil dari serbuk logam 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.

Terdapat banyak parameter yang akan mempengaruhi hasil serbuk dari proses mekanik dengan menggunakan *ballmill* yaitu:

1. Jenis *ballmill* yang digunakan

Terdapat beberapa macam *ballmill* yang telah banyak digunakan dalam produksi serbuk terutama serbuk logam yaitu:

a. *Ballmil*

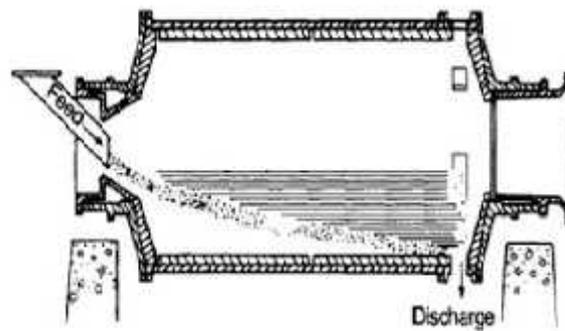
Jenis *ballmill* yang digunakan adalah berbentuk tabung silinder yang berputar secara horizontal dan diisi dengan bola penumbuk berbentuk bulat untuk menumbuk serbuk yang akan diproses. *Ballmill* dengan ukuran besar banyak digunakan di pabrik untuk mengolah semen, besi maupun logam seperti aluminium 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 2.8 *ballmill* pada laboratorium dan pabrik
Sumber: Anonymous4.2013

b. *RodMill*

Penggerusan dengan *rodmill* diterapkan dengan cara penggerusan basah, *rodmill* digunakan pada *primary grinding* sebelum dilanjutkan dengan *ballmill*. Disamping itu rod mill digunakan untuk preparasi bijih untuk proses konsentrasi gravitasi dengan produk mempunyai ukuran 4-100 mesh, dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan klinker semen. 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*, dimana umpan dimasukkan melalui sebuah *trunnion* dan dikeluarkan melalui yang lainnya. Jenis mill ini hanya digunakan untuk penghalusan basah fungsi dasarnya adalah untuk mengkonversi produk *crushing plant* menjadi *ballmill feed*.



Gambar 2.9 Rodmill
Sumber: Anonymous4.2013

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.

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 milling dari ballmill

Semakin tinggi kecepatan putar ballmill maka energi yang akan dihasilkan semakin besar dan meningkatkan tumbukan pada bola penumbuk terhadap serbuk sehingga mempengaruhi kehalusan dari hasil serbuk. Namun apabila kecepatan semakin tinggi dan melebihi batas maksimum maka yang akan terjadi bola dan bahan akan terpisah dan terjadi *pinned* pada dinding bagian dalam sehingga bola-bola penumbuk tidak jatuh dan tidak menghasilkan tumbukan.

4. Waktu penggilingan

Waktu penggilingan merupakan salah satu parameter penting dalam proses penggilingan dengan *ballmill*. Biasanya waktu ditentukan untuk mencapai kesetimbangan antara patahan dan pengelasan dingin dari serbuk partikel. Waktu yang dibutuhkan bervariasi tergantung pada jenis *ballmill* yang digunakan, intensitas penggilingan, pengaturan milling dan rasio *ball-to-powder*.

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

5. Bola penumbuk yang digunakan

Bola penumbuk yang digunakan pada proses penggilingan juga berpengaruh terhadap hasil serbuk contohnya diameter bola penumbuk, jumlah bola penumbuk, dan material bola penumbuk. Hal tersebut disesuaikan dengan *ballmill* yang digunakan dan juga material serbuk yang akan diproses.

Ukuran bola penumbuk disesuaikan dengan ukuran *drum* dari *ballmill* sendiri. Semakin besar ukuran bola penumbuk seharusnya akan meningkatkan kualitas *grinding* dikarenakan daerah kontak bola penumbuk dan serbuk akan semakin besar. Namun apabila menggunakan bola yang berukuran besar juga akan mempercepat kenaikan temperatur yang akan berpengaruh ke serbuk tersebut. 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 – beda. (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

Hardened steel, tool steel, hardened chromium steel, tempered steel, stainless steel adalah tipe material yang banyak digunakan untuk bahan bola penumbuk.

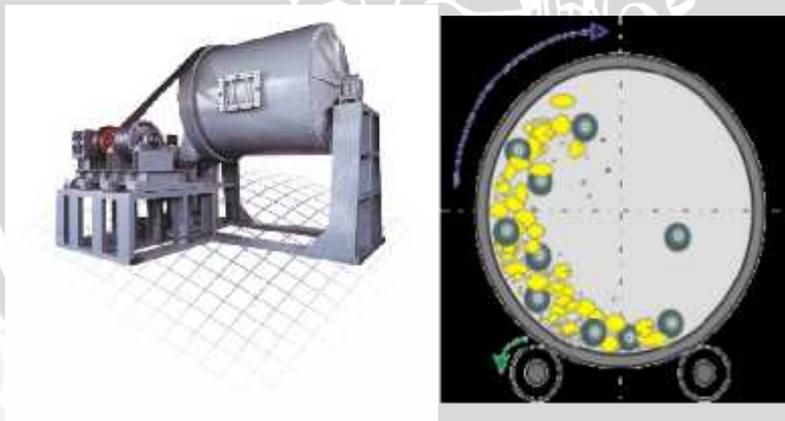
Densitas pada bola penumbuk harus cukup tinggi agar dapat menciptakan tumbukan yang maksimal pada serbuk. Biasanya bola penumbuk disesuaikan dengan bahan serbuk yang akan digrinding agar tidak terjadi kontaminasi silang.

7. Rasio *ball-to-powder*

Rasio berat *ball-to-powder* adalah perbandingan antara berat bola penumbuk dan berat serbuk yang akan diolah. Semakin banyak jumlah bola penumbuk yang digunakan didalam proses *grinding* akan menyebabkan berat bola lebih besar sehingga energi yang diberikan ke serbuk juga besar dan waktu yang diperlukan lebih cepat selain itu juga bagian yang kosong pada *grinding ball* akan berkurang dan jumlah tumbukan akan meningkat. meningkatkan tumbukan dan energi yang diberikan kepada bahan atau serbuk sehingga akan meningkatkan kehalusan serbuk.

Keuntungan proses mekanik menggunakan *ballmill* dibandingkan dengan proses lainnya adalah:

1. Biaya instalasi rendah.
2. Biaya tenaga yang diperlukan rendah.
3. Sangat cocok untuk operasi berkelanjutan
4. Sangat cocok untuk semua bahan dengan derajat kekerasan.
5. sangat cocok untuk proses *grinding* terbuka dan tertutup
6. Media *grinding* murah



Gambar 2.10 Proses Penghancuran mekanik dengan *Ballmill*
Sumber: Hartono(2013).

Pemilihan metode pembuatan serbuk dilihat dari berbagai aspek yaitu bahan yang akan digunakan, hasil yang diinginkan, biaya dan kemampuan produksi. Pada dasarnya semua material dapat dibuat menjadi serbuk logam namun hanya beberapa jenis logam yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan benda jadi. Karena beberapa jenis logam memang tidak dapat dibuat secara ekonomis. Dan proses pembuatan serbuk

bervariasi tergantung material yang akan dibuat jadi serbuk. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan sifat dan karakteristik dari tiap-tiap material. Dari beberapa proses pembuatan serbuk yang telah dijelaskan diatas dapat dibandingkan metode, aplikasi, kelebihan dan kekurangan pada tiap proses dengan tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 Metode Pembuatan Serbuk

	Metode	Kelebihan	Kekurangan	Aplikasi
Atomisasi	- mengatomisasi logam cair menjadi partikel serbuk dengan cara menembakkan gas atau fluida bertekanan tinggi dari nosel.	- Proses murah - Bentuk spherical	- Keterbatasan produksi - Terkontaminasi sistem nosel - Bentuk partikel tidak teratur - Ukuran serbuk berbeda-beda	- untuk logam Cu, Al, Zn, Pb, dan logam lain yang mempunyai temperatur lebur rendah.
Reaksi Kimia	- Dengan metode reduksi oksida logam pada saat logam dipanaskan sesuai titik leburnya dengan mengalirkan gas reduktor.	- Kemurnian tinggi - Bentuk mendekati spherical	- Hasil serbuk relatif kasar - Proses sangat mahal	- untuk logam Cu dan Fe
Pengendapan Elektrolisis	- Dengan metode elektrolisis elektroda plat baja sebagai anoda dan plat baja anti karat sebagai katoda.	- Proses murah - Kemurnian tinggi - Bentuk dendrite	- Kerapatan kurang tinggi	- Untuk pembuatan serbuk tembaga, berilium, besi, serta nikel.
Mekanik	- proses pembuatan serbuk dengan penumbukan, gesekan, pemotongan, serta penekanan. - Menggunakan <i>ballmill</i>	- Biaya tenaga yang diperlukan rendah - cocok untuk operasi berkelanjutan - Biaya instalasi rendah.	- serbuk yang dihasilkan mempunyai bentuk acak	- Untuk paduan logam yang relatif keras dan <i>brittle</i>

2.5 Paduan Alumunium dan Tembaga (Duralumin)

Duralumin (juga disebut duraluminium atau dural) adalah nama dagang dari salah satu jenis *hardenable-aluminium alloy*. Duralumin merupakan paduan aluminium - tembaga dan ditambah dengan silikon, magnesium dan bersifat *heat treatable* (Wahyono, 2012). Memiliki sifat ringan, keuletan tinggi, dan juga tahan korosi. Paduan ini dinamakan duralumin karena memiliki sifat *durability* yang tinggi. *Durability* adalah kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Untuk kepentingan penempa, duralumin tidak boleh memiliki prosentase tembaga lebih dari 5,6 %, karena akan membentuk senyawa $CuAl_2$ dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293)

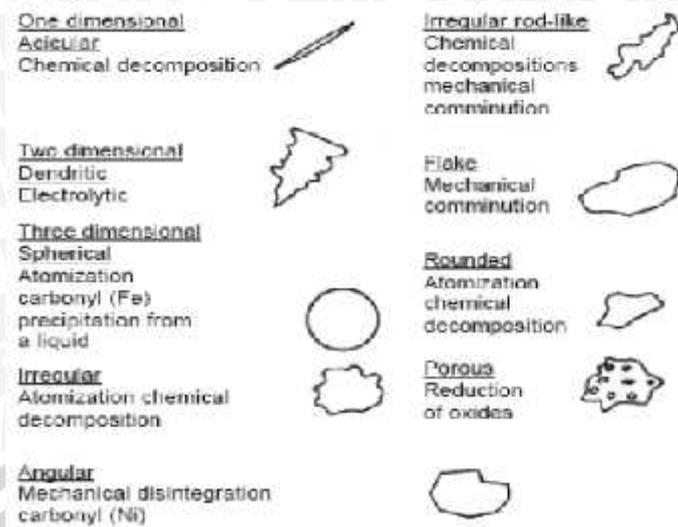
Duralumin dikembangkan oleh ahli metalurgi asal Jerman yaitu Alfred Wilm di Durener Metallwerke Aktien Gesellschaft. Pada tahun 1903, Wilm menemukan bahwa setelah *quenching*, paduan aluminium yang mengandung tembaga 4% perlahan akan mengeras bila dibiarkan pada suhu kamar selama beberapa hari. Paduan 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. Umumnya paduan Al-Cu digunakan dalam industri-industri *aircraft, automotive*, dan militer, seperti; struktur pesawat, penutup isolator, *gear box, cylinder head* dan piston, turbin dan *supercharger impellers, connecting rods, missile fins*.

2.6 Karakteristik Serbuk Logam

Karakteristik serbuk logam yang menjadi pertimbangan dalam pembuatan serbuk logam meliputi:

a. Bentuk serbuk

Bentuk partikel mempengaruhi pengemasan serbuk logam, aliran serbuk logam dalam bentuk *bulk* serta kompresibilitasnya. Bentuk ini dipengaruhi oleh teknik pembuatan serbuk logam. Pada dasarnya bentuk serbuk logam terdiri dari bentuk *irregular, irregularrod – like, angular, acicular (needle – like), dendritic, flake, rounded*, dan *porous*. Bentuk partikel dapat berubah menjadi bentuk lain tergantung proses lanjutannya.



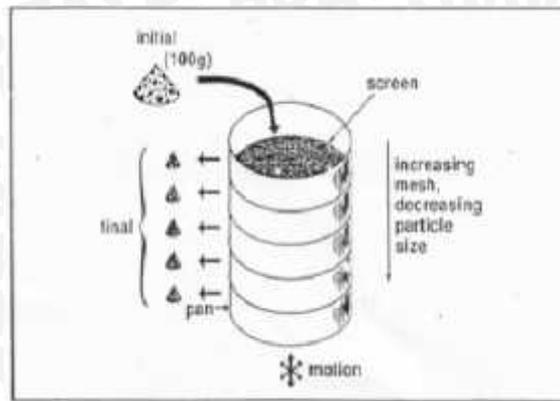
Gambar 2.11 Bentuk - bentuk partikel serbuk
 Sumber: Riles (2011:333)

b. Ukuran serbuk

Ukuran partikel adalah karakteristik yang penting dari serbuk logam. Untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Ayakan standar biasanya memiliki ukuran mesh 36 - 850 μm , sehingga dapat digunakan untuk menentukan ukuran dan distribusi ukuran serbuk. Pengukuran mikroskop biasanya hanya mencapai ukuran partikel serbuk 1 μm (0,001 mm). Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar.

c. Distribusi Partikel serbuk

Distribusi ukuran partikel serbuk menyatakan penyebaran serbuk untuk ukuran tertentu. Distribusi ukuran partikel ini sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat. Metode yang umum dan dapat digunakan dengan cepat untuk menentukan ukuran partikel serbuk secara kolektif adalah dengan menggunakan peralatan uji ayakan (*sieve analysis mesh*), dengan ukuran *mesh*. Mesh adalah jumlah lubang yang terdapat dalam ayakan tiap 1 inch.



Gambar 2.12 Peralatan Uji Ayakan
Sumber: Riles (2011:333)

2.7 Hipotesa

Dengan meningkatnya kecepatan putar *drum* pada *ballmill* pada batas tertentu akan menyebabkan meningkatnya gaya centrifugal yang tinggi sehingga efek tumbuk dari bola penumbuk terhadap serbuk *duralumin* akan meningkat. Namun apabila kecepatan ditambah lagi gaya centrifugal akan setimbang dengan gaya berat sehingga efek tumbukan akan menurun. Dan semakin kecil rongga yang terjadi antara bola-bola penumbuk berdiameter besar dan kecil akan memperluas bidang kontak tumbukan antara bola penumbuk dan serbuk logam. Dan hal tersebut akan berpengaruh terhadap distribusi ukuran serbuk dan meningkatkan kehalusan serbuk logam.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode yang digunakan

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar *drum* dan jumlah bola penumbuk pada *ballmill* terhadap distribusi ukuran serbuk *duralumin* pada proses pembuatan serbuk logam, 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.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

- Pembuatan serbuk logam dilakukan di Laboratorium Landung Sari Malang.
- Pengujian distribusi partikel serbuk dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya.
- Uji foto SEM dilakukan di *Dynamic Testing Laboratory* Universitas Brawijaya.
- Waktu Penelitian 1 september 2013- 6 Januari 2014

3.3 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 kecepatan putar *drum* yaitu: dan 450,500 dan 700. Dan juga variasi jumlah bola penumbuk yaitu: 4 bola diameter 42mm 7 bola diameter 27mm, 6 bola diameter 42mm dan 6 bola diameter 27mm, dan 5 bola diameter 42mm dan 8 bola diameter 27mm.

2. Variabel terikat

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

- a. Ukuran serbuk
- b. Distribusi partikel serbuk

3. Variabel terkontrol

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

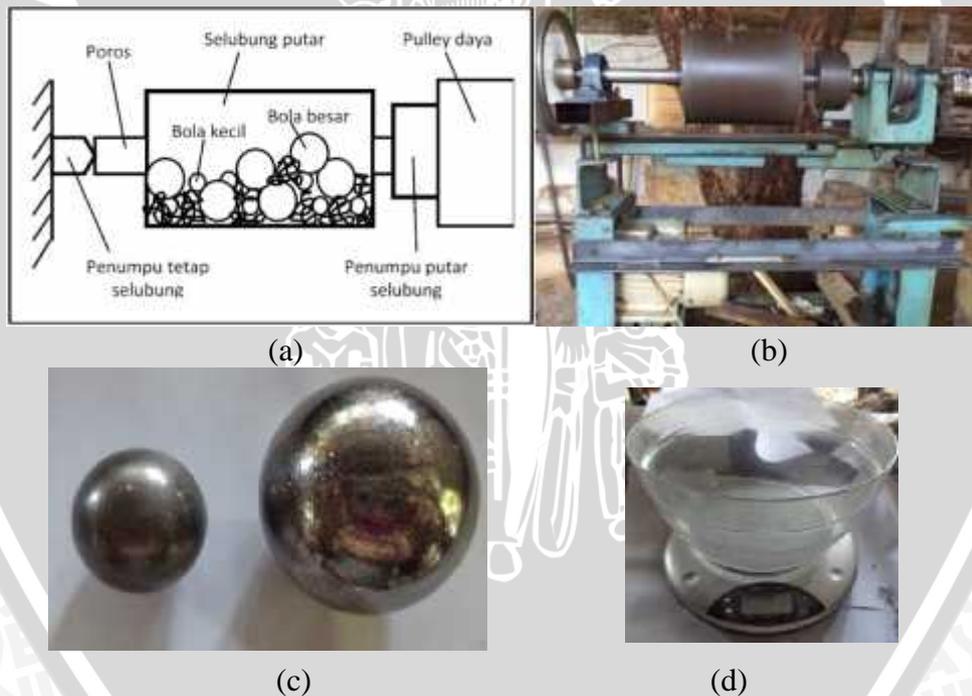
- a. Berat gram sebesar 100 gram
- b. Waktu 60 menit

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan Untuk Pembuatan Serbuk



Gambar 3.1 Peralatan untuk pembuatan serbuk. (a) Skema Mesin *Ballmill*, (b) Rekayasa Mesin *Ballmill*, (c) bola penumbuk (d) Timbangan Elektrik

Keterangan:

- (a) Mesin *ballmill* digunakan untuk menumbuk dan menghancurkan geram sampai menjadi serbuk.
- (b) Timbangan elektrik digunakan untuk mengukur geram yang akan dimasukkan kedalam *ballmill* dan mengukur serbuk hasil dari mesin *ballmill*.

2. Peralatan Pengujian

a. Mesin Pengguncang Rotap



Gambar 3.2 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. Serie	: 01849038
Frekuensi	: 50 Hz

Keterangan:

- (a) Mesin pengguncang rotap digunakan untuk mengukur serbuk dalam satuan *mesh*.

b. *Scanning Electron Microscope*



Gambar 3.3 *Scanning Electron Microscope*

Spesifikasi:

- Merk *Phenom Pro Dekstom SEM*
- Range Perbesaran 20 - 100,000x
- *Long-lifetime high-brightness source (CeB6)*
- 5 kV and 10 kV *acceleration voltages for outstanding high-resolution SEM images*
- Pemuatan sampel waktu kurang dari 30detik
- *Full color navigation camera 20 – 120x magnification*
- *Ready to run all Pro Suite software applications*

Keterangan:

- (a) *Scanning Electron Microscope* untuk mendapatkan hasil foto dan diamati ukuran beserta bentuk serbuk.

3.4.2 Bahan yang Digunakan



(a)

Gambar 3.4 Bahan yang Digunakan. (a) Geram Duralumin

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin dalam kondisi baik.
2. Timbang geram seberat 100 gram.
3. Siapkan tabung *mill* yang telah berisi bola penumbuk sesuai variasi yang telah ditentukan.
4. Masukkan geram ke dalam tabung *mill* dan tutup kembali sampai rapat.
5. Susun kembali tabung *mill* dalam rangkaian mesin *ballmill*.
6. Nyalakan mesin sesuai variasi yang telah ditentukan dan mulai *timer* dengan waktu 60 menit.
7. Setelah waktu habis, lepaskan tabung *mill* dari rangkaian mesin *ballmill*.
8. Lepaskan penutup tabung *mill* dan ambil bola penumbuk yang berada di dalamnya.
9. Ambil seluruh serbuk yang berada di dalam tabung *mill* sampai tabung *mill* bersih.
10. Timbang serbuk dan catat beratnya.
11. Masukkan serbuk ke dalam mesin pengguncang rotap.
12. Nyalakan mesin pengguncang rotap dan tunggu sampai serbuk keluar dari bagian sisa.
13. Catat berat serbuk dari setiap *mesh* pada mesin pengguncang rotap.

14. Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 13 sesuai dengan variasi kecepatan putar poros *ballmill* [rpm] yaitu 450, 500, dan 700, dan juga variasi jumlah bola baja yaitu 4 bola baja diameter 42mm 7 bola baja diameter 27mm, 6 bola baja diameter 42mm dan 6 bola baja diameter 27mm, dan 5 bola baja diameter 42mm dan 8 bola baja diameter 27mm.
15. Lakukan Uji foto SEM dengan variasi tiap kecepatan putar drum yaitu 450, 500 dan 700 rpm.



3.6 Rancangan Penelitian

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

Tabel 3.1 Rancangan penelitian

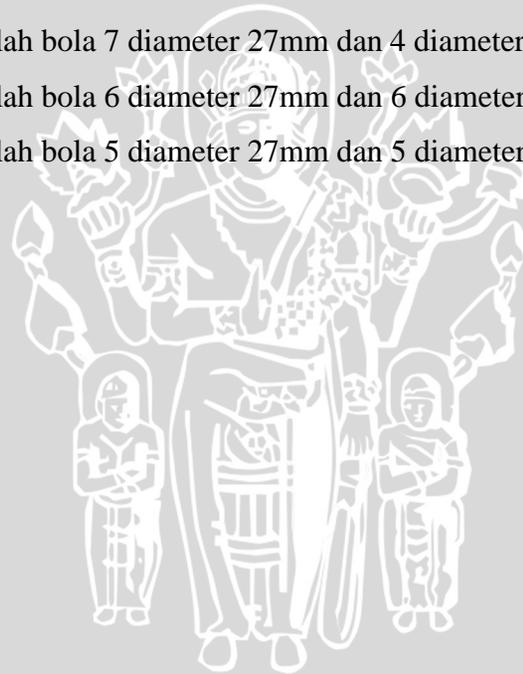
Kecepatan [rpm]	Variabel Penelitian		Ukuran Mesh Serbuk [gram]					
	Ukuran Bola [mm]	Jumlah Bola	40	80	100	120	140	2/0
450	27	7	WXA1	WXB1	WXC1	WXD1	WXE1	WXF1
	12	1						
	27	6	WXA2	WXB2	WXC2	WXD2	WXE2	WXF2
	42	6						
	27	8	WXA3	WXB3	WXC3	WXD3	WXE3	WXF3
	42	5						
500	27	7	WYA1	WYB1	WYC1	WYD1	WYE1	WYF1
	12	1						
	27	6	WYA5	WYB5	WYC5	WYD5	WYE5	WYF5
	42	6						
	27	8	WAY6	WYB6	WYC6	WYD6	WYE6	WYF6
	42	5						
750	27	7	WZA7	WZB7	WZC7	WZD7	WZE7	WZF7
	12	1						
	27	6	WZA8	WZB8	WZC8	WZD8	WZE8	WZF8
	42	6						
	27	8	WZA9	WZB9	WZC9	WZD9	WZE9	WZF9
	42	5						

W = berat serbuk (gram)

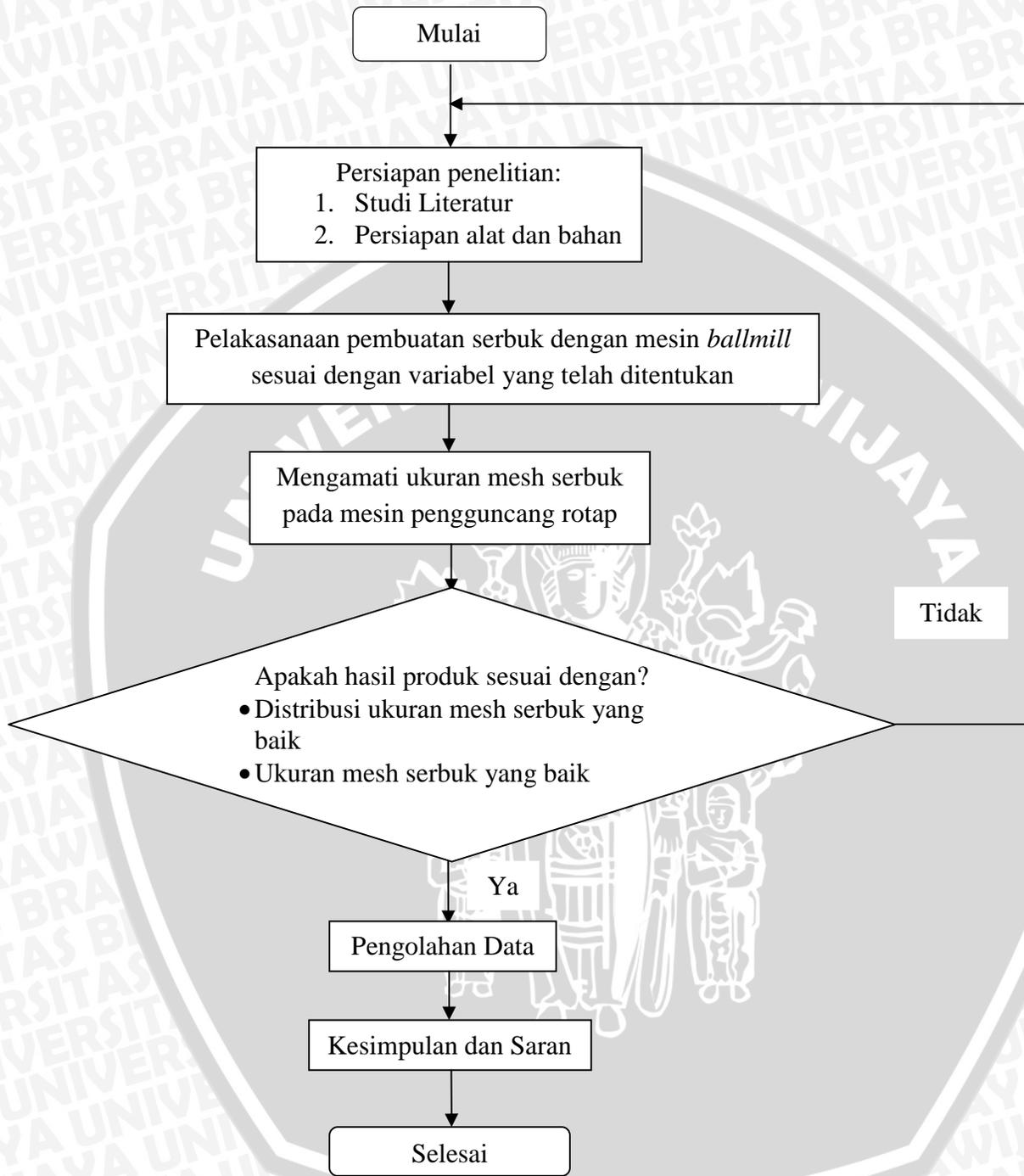
X = serbuk yang dimilling dengan kecepatan 450

Y = serbuk yang dimilling dengan kecepatan 500

- Z = serbuk yang dimilling dengan kecepatan 700
- A = serbuk yang berada pada mesh 40
- B = serbuk yang berada pada mesh 80
- C = serbuk yang berada pada mesh 100
- D = serbuk yang berada pada mesh 120
- E = serbuk yang berada pada mesh 140
- F = serbuk yang berada pada mesh 270
- 1 = serbuk yang dimilling dengan jumlah bola 7 diameter 27mm dan 4 diameter 42mm
- 2 = serbuk yang dimilling dengan jumlah bola 6 diameter 27mm dan 6 diameter 42mm
- 3 = serbuk yang dimilling dengan jumlah bola 5 diameter 27mm dan 5 diameter 42mm



3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Uji Distribusi Ukuran Partikel Serbuk

Dari pengujian yang telah dilakukan yaitu pengayakan serbuk hasil pengolahan pembuatan serbuk duralumin secara mekanik melalui proses grinding dengan ballmill didapat hasil distribusi ukuran partikel dalam gram yang terdapat pada tabel 4.1 dan dalam persentase pada tabel 4.2.

Tabel 4.1. Data Hasil Distribusi ukuran serbuk dalam gram

Rpm	Jumlah bola penumbuk	Ukuran serbuk (dalam gram)						Total
		mesh 40	mesh 80	mesh 100	mesh 120	mesh 140	mesh 270	
700	7 kecil 4 besar	78,22	13,96	2,33	1,14	1,1	0,59	97,34
	6 kecil 6 besar	72,25	19,14	3,46	1,36	1,3	1,38	97,51
	8 kecil 5 besar	72,56	18,95	2,97	1,58	1,4	1,59	97,46
500	7 kecil 4 besar	60,76	26,84	4,25	1,84	2,05	1,77	97,51
	6 kecil 6 besar	60,78	27,21	4,98	2,22	2,05	1,85	99,09
	8 kecil 5 besar	58,93	27,58	5,57	2,25	2,22	2,2	98,75
450	7 kecil 4 besar	61,88	30,01	4,12	1	0	-	97,01
	6 kecil 6 besar	58,62	30,05	6,15	2,95	0,2	-	97,97
	8 kecil 5 besar	56,6	31,25	6,88	2,98	0,3	-	98,01

Tabel 4.2 Data Hasil Distribusi ukuran serbuk dalam %

Rpm	Jumlah bola penumbuk	Ukuran serbuk (dalam %)						total
		mesh 40	mesh 80	mesh 100	mesh 120	mesh 140	mesh 270	
700	7 kecil 4 besar	80,36	14,34	2,39	1,17	1,13	0,61	100
	6 kecil 6 besar	74,09	19,63	3,55	1,39	1,33	1,42	100
	8 kecil 5 besar	74,45	19,44	3,05	1,62	1,44	1,63	100
500	7 kecil 4 besar	62,31	27,53	4,36	1,89	2,10	1,82	100
	6 kecil 6 besar	61,34	27,46	5,03	2,24	2,07	1,87	100
	8 kecil 5 besar	59,68	27,93	5,64	2,28	2,25	2,23	100
450	7 kecil 4 besar	63,79	30,93	4,25	1,03	0,00	-	100
	6 kecil 6 besar	59,83	30,67	6,28	3,01	0,20	-	100
	8 kecil 5 besar	57,75	31,88	7,02	3,04	0,31	-	100

Tabel diatas diperoleh dari perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{material yang tertampung} = \frac{W_p}{W_t} \times 100\%$$

Keterangan:

Wp = massa sampel yang tertampung di ayakan

Wt = massa total sampel

Contoh perhitungan berapa persen total serbuk yang tertampung di mesh 40 pada penggilingan serbuk dengan ballmill pada 700 rpm dengan menggunakan variasi 7 bola kecil dan 4 bola besar adalah sebagai berikut:

$$\% \text{material yang tertampung} = \frac{W_p}{W_t} \times 100\%$$

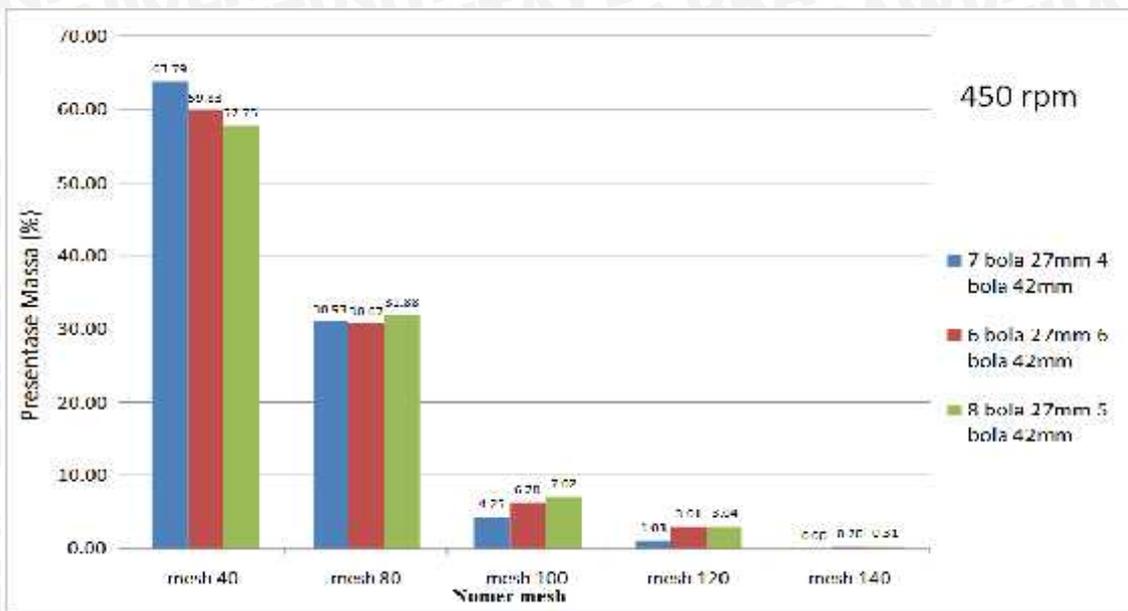
$$\% \text{material yang tertampung} = \frac{78,22}{97,34} \times 100\%$$

$$\% \text{material yang tertampung} = 80,36\%$$

4.2 Analisa Data dan Pembahasan

A. Analisa Distribusi Ukuran Partikel

Distribusi ukuran partikel digunakan untuk menyatakan penyebaran serbuk pada ukuran-ukuran tertentu. Dibawah ini adalah grafik yang menyatakan distribusi ukuran partikel pada tiap variasi kecepatan putar drum dan juga variasi jumlah bola penumbuk.



Gambar 4.1 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 450 rpm



Gambar 4.2 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 450 rpm dengan mesh 120 dan 140

Grafik diatas menunjukkan distribusi ukuran partikel hasil proses *grinding* serbuk *duralumin* dengan alat *ballmill* menggunakan kecepatan putar *drum* 450 rpm, dengan 3 variasi yang akan digunakan. Pada tiap variasi digunakan 2 ukuran bola penumbuk yang berbeda, yaitu variasi jumlah bola penumbuk 7 bola berukuran 27 mm

4 bola berukuran 42 mm ; 6 bola 27 mm 6 bola 42 mm; 8 bola 27 mm dan 5 bola 42 mm.

Analisa distribusi ukuran partikel ini diuji dengan menggunakan mesin pengguncang rotap dimana pada alat dipasang 5 ayakan dengan ukuran mesh 40 (0,400mm), 80 (0,180mm), 100 (0,140mm), 120 (0,125mm), 140 (0,100mm) dan 270 (0,056mm) dengan pengayakan selama 60 menit.

Pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm dapat dilihat klasifikasi serbuk dimana serbuk cukup kasar (mesh 40 $x <$ mesh 80) memiliki presentase 63,79%; serbuk dengan kualitas halus (mesh 80 $x <$ mesh 120) dengan presentase 35,18% dan serbuk dengan kualitas sangat halus ($x >$ mesh 120) memiliki presentase 1,03%. Sedangkan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 6 bola 42 mm dan 6 bola 27 mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase 59,83%; serbuk dengan kualitas halus 36,95% dan serbuk dengan kualitas sangat halus 3,21%. Dan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase 57,75%; serbuk dengan kualitas halus 38,90% dan serbuk dengan kualitas sangat halus dengan presentase 3,35%.

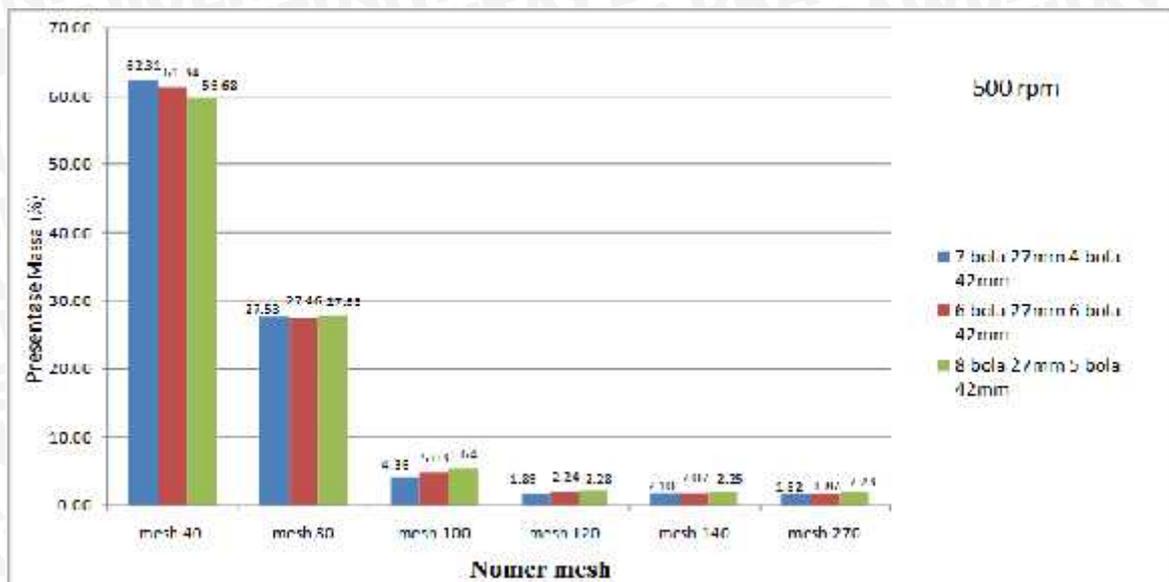
Grafik menunjukkan bahwa pada variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm pada mesh 40 jumlah serbuk yang tertahan 63,79% jumlah tertinggi dibandingkan dengan variasi yang lain, hal ini menunjukkan bahwa pada variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm proses *grinding* masih belum maksimal dikarenakan masih banyak serbuk yang lebih kasar. Dan pada mesh yang lebih tinggi yaitu mesh 80 - 140 jumlah serbuk yang tertahan pada ayakan lebih sedikit dibandingkan variasi bola penumbuk yang lain, ini menunjukkan bahwa variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm tidak dapat menghasilkan serbuk yang memiliki nilai mesh yang lebih tinggi atau lebih halus.

Sedangkan pada variasi bola penumbuk 6 bola berukuran 42 mm dan 6 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan mesh 40 adalah 59,83% dan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan mesh 40 adalah 57,75%. Pada hasil serbuk yang tertahan diayakan pada mesh 80-270 jumlah serbuk yang tertahan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm lebih tinggi dibandingkan variasi bola penumbuk yang lain, ini menunjukkan pada variasi bola

penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm proses *grinding* yang terjadi lebih baik diantara variasi lain dikarenakan menghasilkan serbuk yang lebih halus dengan jumlah yang lebih banyak.

Hasil distribusi ukuran partikel diatas dapat disebabkan oleh rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk yang digunakan dalam setiap variasi. Untuk variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm rasionya adalah 17,19 : 1 sedangkan variasi 6 bola 42 mm dan 6 bola 27 mm memiliki rasio 22,14 : 1 dan variasi 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm rasionya 20,88 : 1. Semakin tinggi rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk akan meningkatkan tumbukan dan energi yang diberikan kepada serbuk sehingga serbuk terdeformasi dan hancur yang mengakibatkan serbuk semakin halus. Namun apabila energi atau tumbukan yang terjadi terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya penyambungan kembali antar sesama partikel sehingga partikel serbuk yang ukurannya lebih besar akan muncul.

Kontak antar partikel yang terjadi antara serbuk dengan permukaan *ballmill* dan bola penumbuk juga mempengaruhi kehalusan serbuk. Semakin banyak bola penumbuk akan semakin meningkatkan kontak tumbukan partikel serbuk. Dan dengan variasi bola berukuran besar (42 mm) dan bola berukuran kecil (27 mm) diharapkan rongga yang muncul diantara bola-bola penumbuk berukuran besar dengan permukaan *ballmill* dapat tertutupi oleh bola penumbuk yang berukuran lebih kecil. Oleh karena itu pada variasi 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm hasil serbuk yang didapatkan lebih halus karena dengan peningkatan jumlah bola penumbuk berukuran kecil (27 mm) dapat meningkatkan daerah kontak tumbukan antara bola penumbuk dan serbuk.



Gambar 4.3 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 500 rpm

Pada grafik diatas menunjukkan distribusi ukuran partikel serbuk dari hasil proses *grinding* serbuk *duralumin* dengan alat *ballmill*, dengan kecepatan putar *drum* 500 rpm. Dari klasifikasi serbuk yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka dapat dilihat pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm dimana serbuk cukup kasar memiliki presentase 62,31%; serbuk dengan kualitas halus dengan presentase 31,89% dan serbuk dengan kualitas sangat halus memiliki presentase 5,81%. Sedangkan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 6 bola 42mm dan 6 bola 27mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase lebih rendah yaitu 61,34%, serbuk dengan kualitas halus 32,43% dan serbuk dengan kualitas sangat halus dengan presentase 6,18%. Dan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase 59,68%; serbuk dengan kualitas halus 33,57% dan serbuk dengan kualitas sangat halus dengan presentase paling tinggi yaitu 6,76%.

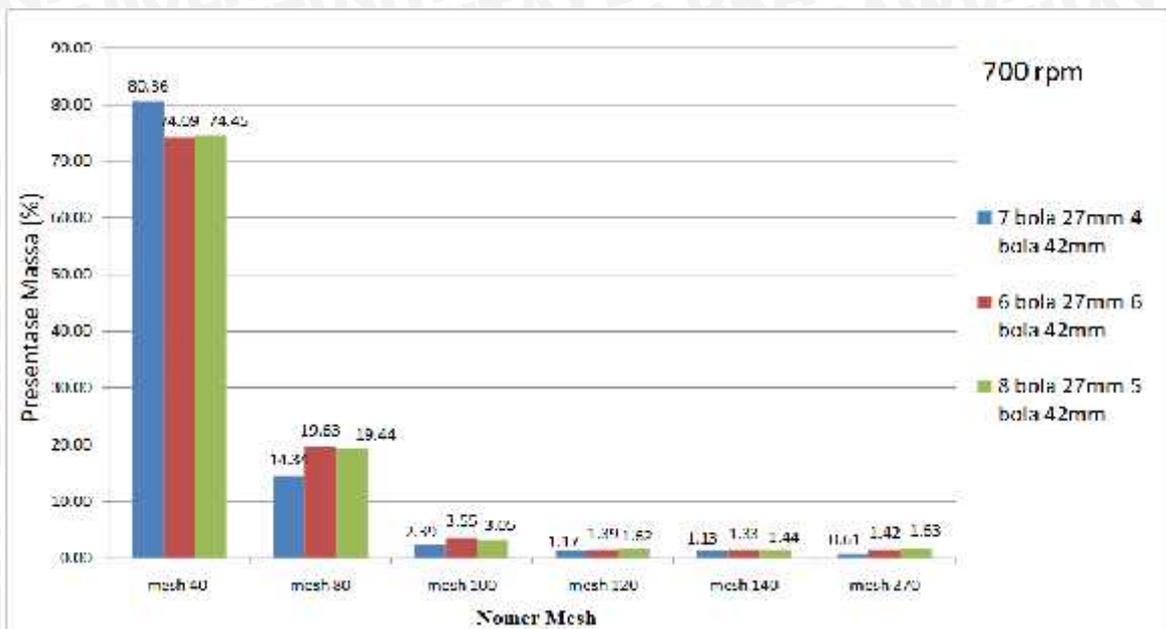
Grafik menunjukkan bahwa pada variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm pada mesh 40 jumlah serbuk yang tertahan 62,31% jumlah tertinggi dibandingkan dengan variasi yang lain, dikarenakan proses *grinding* masih belum maksimal sehingga masih banyak serbuk yang lebih kasar. Dan pada *mesh* yang lebih tinggi yaitu mesh 80-270 jumlah serbuk yang tertahan pada ayakan lebih sedikit dibandingkan variasi bola penumbuk yang lain, ini menunjukkan bahwa variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm

tidak dapat menghasilkan serbuk yang memiliki nilai *mesh* yang lebih tinggi atau lebih halus.

Pada variasi bola penumbuk 6 bola berukuran 42 mm dan 6 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan *mesh* 40 adalah 61,34% dan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan *mesh* 40 adalah 59,68%. Pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm hasil serbuk yang tertahan diayakan pada *mesh* 80-270 lebih tinggi dibandingkan variasi bola penumbuk yang lain, ini menunjukkan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm proses *grinding* yang terjadi lebih baik diantara variasi lain dikarenakan menghasilkan serbuk yang lebih halus dengan jumlah yang lebih banyak.

Hasil distribusi ukuran partikel serbuk diatas dapat disebabkan oleh rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk yang digunakan dalam setiap variasi. Semakin tinggi rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk akan meningkatkan tumbukan dan energi yang diberikan kepada serbuk sehingga serbuk terdeformasi dan hancur yang mengakibatkan serbuk semakin halus. Namun apabila energi atau tumbukan yang terjadi terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya penyambungan kembali antar sesama partikel sehingga partikel serbuk yang ukurannya lebih besar akan muncul.

Kontak antar partikel serbuk yang terjadi antara serbuk dengan permukaan *ballmill* dan bola penumbuk juga mempengaruhi kehalusan serbuk. Semakin banyak bola penumbuk akan semakin meningkatkan kontak tumbukan partikel serbuk. Dan dengan variasi bola berukuran besar (42 mm) dan bola berukuran kecil (27 mm) diharapkan rongga yang muncul diantara bola-bola penumbuk berukuran besar dengan permukaan *ballmill* dapat tertutupi oleh bola penumbuk yang berukuran lebih kecil. Oleh karena itu pada variasi 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm hasil serbuk yang didapatkan lebih halus karena dengan peningkatan jumlah bola penumbuk berukuran kecil (27 mm) dapat meningkatkan daerah kontak tumbukan antara bola penumbuk dan serbuk.



Gambar 4.4 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada kecepatan putar drum 700 rpm

Pada grafik diatas menunjukkan distribusi ukuran partikel dari hasil proses *grinding* serbuk duralumin dengan alat *ballmill*, dengan kecepatan putar *ballmill* 700 rpm Pada grafik dapat kita analisa klasifikasi serbuk dimana serbuk cukup kasar memiliki presentase 80,36%; serbuk dengan kualitas halus dengan presentase 16,73% dan serbuk dengan kualitas sangat halus memiliki presentase 2,91%. Sedangkan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 6 bola 42 mm dan 6 bola 27 mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase 74,09%; serbuk dengan kualitas halus 23,18% dan serbuk dengan kualitas sangat halus dengan presentase 4,14%. Dan pada variasi jumlah bola penumbuk dengan 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm karakteristik serbuk cukup kasar memiliki presentase 74,45%, serbuk dengan kualitas halus 22,49% dan serbuk dengan kualitas sangat halus memiliki presentase 4,69%.

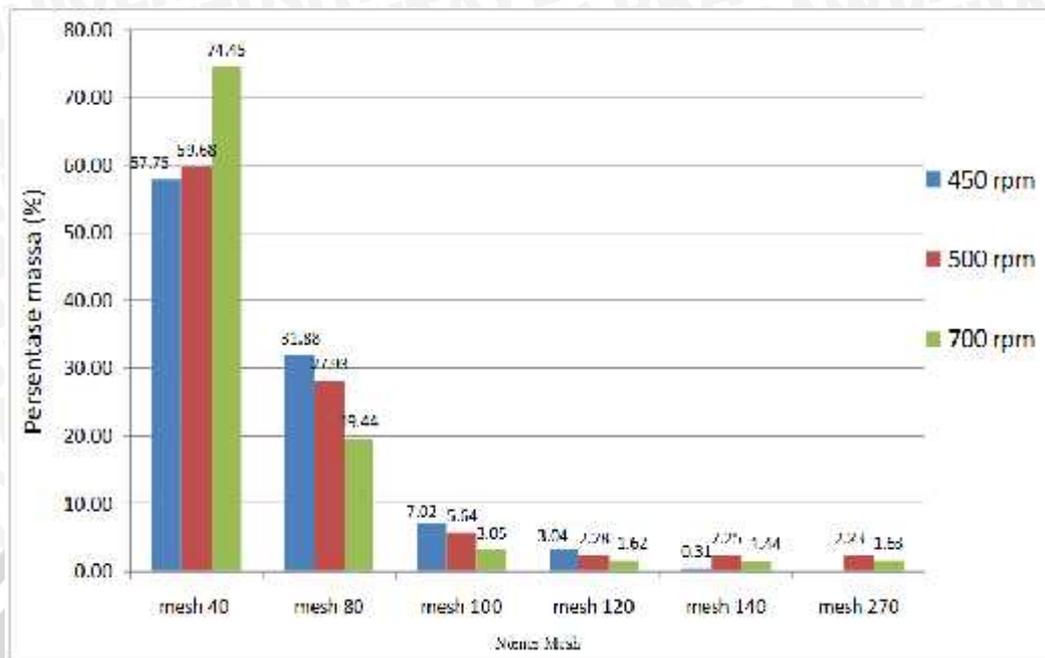
Pada grafik dapat dilihat bahwa variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm pada mesh 40 memiliki jumlah serbuk yang tertahan paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain yaitu 80,36%. Hal ini menunjukkan bahwa pada variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm proses *grinding* masih belum maksimal dikarenakan masih banyak serbuk yang lebih kasar. Dan pada mesh yang lebih tinggi yaitu mesh 80-270 jumlah serbuk yang tertahan pada ayakan lebih sedikit dibandingkan variasi bola penumbuk

yang lain, ini menunjukkan bahwa variasi 4 bola 42 mm dan 7 bola 27 mm tidak dapat menghasilkan serbuk yang memiliki nilai mesh yang lebih tinggi atau lebih halus.

Sedangkan pada variasi bola penumbuk 6 bola berukuran 42 mm dan 6 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan mesh 40 adalah 74,09% dan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm jumlah serbuk yang tertahan diayakan mesh 40 adalah 74,45%. Pada hasil serbuk yang tertahan diayakan pada mesh 80-270 jumlah serbuk yang tertahan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm lebih tinggi dibandingkan variasi bola penumbuk yang lain, ini menunjukkan pada variasi bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm proses *grinding* yang terjadi lebih baik diantara variasi lain dikarenakan menghasilkan serbuk yang lebih halus dengan jumlah yang lebih banyak.

Hasil distribusi ukuran partikel serbuk diatas dapat disebabkan oleh rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk yang digunakan dalam setiap variasi. Semakin tinggi rasio berat bola penumbuk dan berat serbuk akan meningkatkan tumbukan dan energi yang diberikan kepada serbuk sehingga serbuk terdeformasi dan hancur yang mengakibatkan serbuk semakin halus. Namun apabila energi atau tumbukan yang terjadi terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya penyambungan kembali antar sesama partikel sehingga partikel serbuk yang berukuran lebih besar akan muncul.

Kontak antar partikel serbuk yang terjadi antara serbuk dengan permukaan ballmill dan bola penumbuk juga mempengaruhi kehalusan serbuk. Semakin banyak bola penumbuk akan semakin meningkatkan permukaan kontak tumbukan partikel serbuk. Dan dengan divariasikan bola berukuran besar (42 mm) dan bola berukuran kecil (27 mm) diharapkan rongga yang muncul diantara bola-bola penumbuk berukuran besar dengan permukaan *ballmill* dapat tertutupi oleh bola penumbuk yang berukuran lebih kecil. Oleh karena itu pada variasi 5 bola 42 mm dan 8 bola 27 mm hasil serbuk yang didapatkan lebih halus karena dengan peningkatan jumlah bola penumbuk berukuran kecil (27 mm) dapat meningkatkan daerah kontak tumbukan antara bola penumbuk dan serbuk.



Gambar 4.5 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada 3 variasi kecepatan putar drum 450,500 dan 700 rpm

Dari 3 variasi kecepatan putar *drum ballmill* yaitu 450,500 dan 700 rpm dapat dilihat bahwa hasil dari proses *grinding* geram duralumin yang menghasilkan serbuk terbaik atau serbuk yang paling halus adalah kecepatan putar 500 rpm lalu 700 rpm dan yang terakhir 450 rpm. Pada kecepatan putar 500 rpm didapatkan serbuk dengan mesh tertinggi yaitu mesh 270 dengan jumlah tertinggi dibandingkan dengan variasi kecepatan putar yang lain. Dan pada mesh 100-140 juga memiliki jumlah serbuk yang tertahan paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain. Hal ini disebabkan tabung *ballmill* yang berputar searah horizontal yang menimbulkan gaya sentrifugal pada bola-bola penumbuk sehingga akan naik dan jatuh bebas saat bola penumbuk berada dilintasan atas *ballmill*. Saat bola penumbuk berputar dan jatuh tersebut akan memberikan efek tumbukan pada geram duralumin sehingga geram akan terdeformasi dan hancur menjadi serbuk. Semakin tinggi kecepatan putar *ballmill* maka energi yang dihasilkan akan semakin besar sehingga meningkatkan tumbukan yang terjadi pada bola penumbuk terhadap geram duralumin. Namun apabila kecepatan putar berada diatas kecepatan kritis maka bola penumbuk dan geram duralumin akan terpisah dan bola penumbuk tidak akan jatuh namun ikut berputar mengikuti putaran *ballmill* sehingga tidak menghasilkan gaya *impact* yang maksimal.

Berikut adalah persamaan gaya centrifugal terhadap gaya gravitasi pada setiap variasi kecepatan putar *drum*.

$$f_c = \omega^2 \times m \times R$$

$$W = m \times g$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Keterangan:

f_c = gaya sentrifugal (N)

ω = omega (radian per second)

m = massa (kg)

r = radius (m)

W = gaya berat (N)

g = gravitasi ($\frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$)

n = putaran (revolutions per minute)

Pada 450 rpm

$$f_c = W$$

$$\omega^2 \times m \times R = m \times g$$

$$(47,1 \text{ rps}) \times 0,085 = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$4,0035 < 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (bola penumbuk jatuh)}$$

Pada 500 rpm

$$f_c = W$$

$$\omega^2 \times m \times R = m \times g$$

$$(52,33 \text{ rps}) \times 0,085 = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$4,44 < 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (bola penumbuk jatuh)}$$

Pada 700 rpm

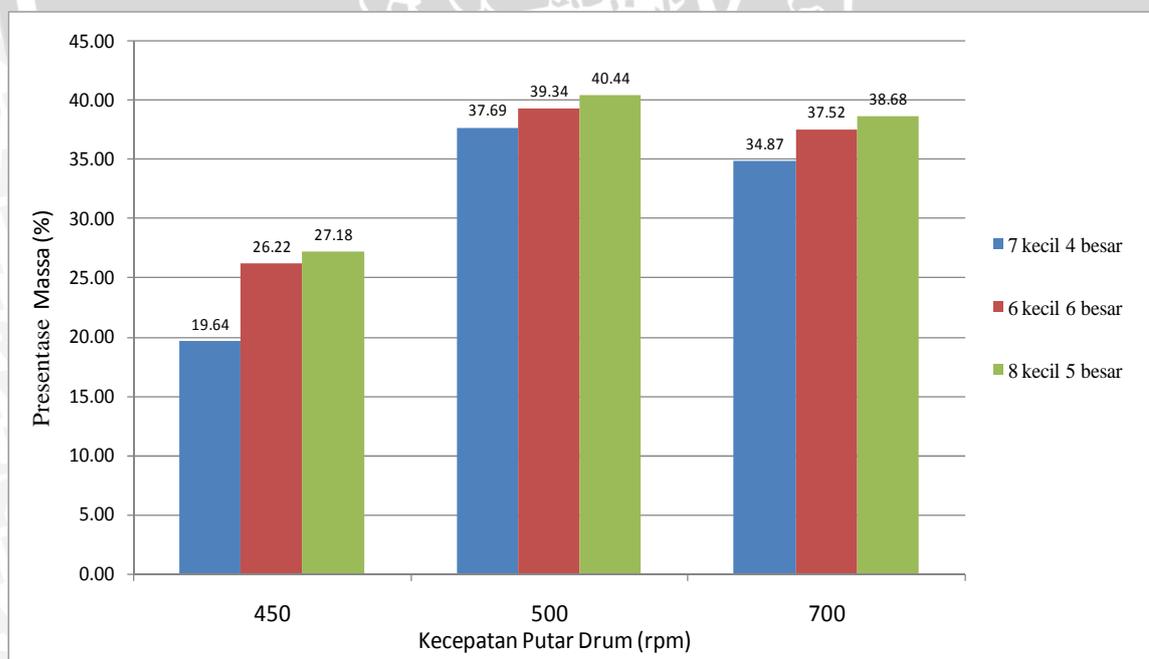
$$f_c = W$$

$$\omega^2 \times m \times R = m \times g$$

$$(12,45 \text{ rps}) \times 0,085 = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$11,57 < 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (bola penumbuk tidak jatuh)}$$

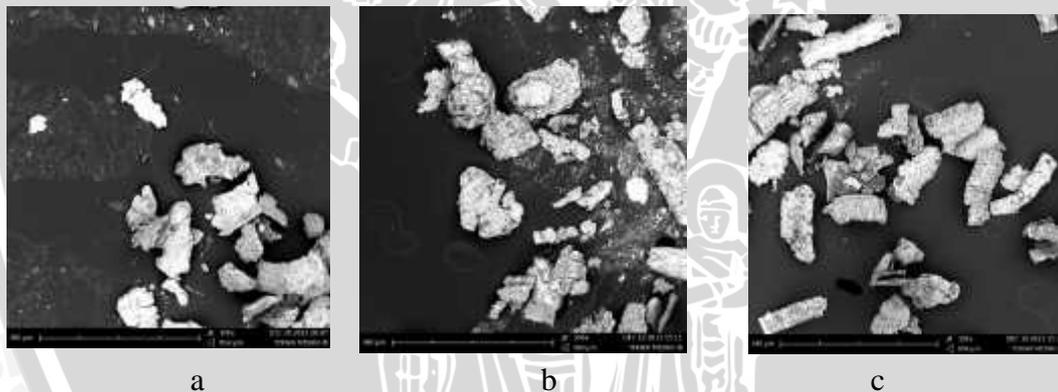
Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa pada kecepatan putar drum 450 dan 500 rpm nilai gaya centrifugal dibawah gaya berat yang menunjukkan bahwa bola penumbuk akan jatuh kebawah apabila telah mencapai lintasan atas. Dan pada kecepatan putar 700 rpm nilai gaya centrifugal berada diatas gaya berat yang menyebabkan bola akan berputar dan tidak jatuh pada saat bola berada dilintasan atas. Ini dapat menjelaskan pada kecepatan putar 700 rpm proses *grinding* yang terjadi tidak maksimal dibandingkan dengan proses grinding pada kecepatan putar 500 rpm. Dan pada kecepatan putar 450 rpm proses grinding juga tidak maksimal karena masih belum dapat mencapai serbuk dengan ukuran yang lebih halus yaitu hanya mencapai mesh 140 dikarenakan kecepatan putar yang rendah sehingga tidak dapat menimbulkan efek tumbukan yang maksimal dari bola penumbuk terhadap serbuk duralumin.



Gambar 4.6 Grafik presentase massa hasil ayakan serbuk duralumin pada klasifikasi serbuk halus dengan 3 variasi kecepatan putar drum dan 3 variasi bola penumbuk.

Serbuk logam banyak diaplikasikan pada berbagai proses produksi terutama pada proses *powder mettallurgy*. Pada proses *powder metallurgy* dibutuhkan serbuk dengan ukuran serbuk cukup halus agar dapat memberikan hasil yang maksimal pada specimen yang akan dibentuk. Karena itulah semakin halus serbuk yang dapat dibuat pada proses serbuk logam akan memberikan manfaat yang lebih besar pada proses-proses selanjutnya. Dari grafik diatas dapat terlihat hasil ayakan serbuk duralumin pada klasifikasi serbuk halus dengan 3 variasi kecepatan putar drum dan 3 variasi bola penumbuk. Terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan putar *drum* akan meningkatkan presentase massa serbuk duralumin pada klasifikasi serbuk halus namun apabila kecepatan sudah mencapai batas tertentu presentase massa serbuk akan menurun. Dan semakin tinggi rasio berat *ball to powder* dari variasi jumlah bola penumbuk juga akan meningkatkan presentase massa pada klasifikasi serbuk halus karena meningkatkan daerah kontak tumbukan bola penumbuk dan serbuk.

B. Analisa morfologi dengan SEM



Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM pada serbuk duralumin hasil grinding pada variasi kecepatan putar a. 400 rpm b. 500 rpm c. 700 rpm

Keterangan gambar:

a = serbuk pada kecepatan putar 400 rpm

b = serbuk pada kecepatan putar 500 rpm

c = serbuk pada kecepatan putar 750 rpm

Gambar diatas menunjukkan foto SEM hasil serbuk *grinding* geram duralumin menjadi serbuk menggunakan *ballmill* dengan variasi kecepatan putar drum 450, 500 dan 700 rpm. Dapat diliat pada gambar dari ketiga variasi bahwa sebagian besar serbuk

berbentuk *flake* (pipih) dan sebagian kecil berbentuk bulat dan angular (tidak beraturan). Pada variasi kecepatan putar 450 rpm dapat dilihat bahwa ukuran serbuk masih lebih besar dan kasar dibandingkan dengan hasil serbuk variasi lain. Dan pada hasil serbuk kecepatan putar 500 rpm serbuk lebih banyak yang berukuran lebih kecil dan tipis. Pada hasil serbuk kecepatan putar 700 rpm masih lebih tipis dibandingkan hasil dari kecepatan 450 rpm namun masih berukuran lebih besar dibandingkan variasi 500 rpm.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Semakin tinggi kecepatan putar *drum* akan meningkatkan tumbukan dan kehalusan serbuk namun apabila kecepatan sudah mencapai batas tertentu kehalusan serbuk berkurang. Dan semakin tinggi rasio berat *ball to powder* dari variasi jumlah bola penumbuk juga akan meningkatkan kehalusan serbuk karena meningkatkan daerah kontak tumbukan bola penumbuk dan serbuk.

Hasil distribusi ukuran serbuk terbaik didapatkan pada variasi kecepatan *drum* 500 rpm dan bola penumbuk 5 bola berukuran 42 mm dan 8 bola berukuran 27 mm dengan presentase mesh 40 59,68%; mesh 80 27,93%; mesh 100 5,64%; mesh 120 2,28%; mesh 140 2,25% dan mesh 270 dengan presentase 2,23%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kecepatan putar *drum* terhadap distribusi ukuran serbuk pada proses *grinding* menggunakan *ballmill* pada serbuk *duralumin*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi bola penumbuk terhadap distribusi ukuran serbuk pada proses *grinding* menggunakan *ballmill* pada serbuk *duralumin*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous1.2013. Serbuk Logam. <http://www.mpif.org/apmi/doc4.htm> (diakses 21 agustus 2013)
- Anonymous2.2013. *Thermit Welding*. http://id.wikipedia.org/wiki/Las_termit (diakses 21 agustus 2013)
- Anonymous3.2013. *Thermal Spray Coating*. <http://www.thomasnet.com/articles/chemicals/process-of-thermal-spray-coatings> (diakses 21 agustus 2013)
- Anonymous4.2013. *Ballmill* pada laboratorium dan pabrik http://en.wikipedia.org/wikipedia/Ball_mill (diakses 21 agustus 2013)
- Ansel. 1989. Ukuran Partikel Serbuk. Universitas Sumatera Utara. <http://id.scribd.com/pdf/Ukuran-Partikel-Serbuk/Chapter-II.pdf> (Diakses 23 September 2013)
- Chan, Yefri. 2010. Metalurgi Serbuk. Universitas Darma Persada. <Http://Yefrichan.Files.Wordpress.Com/2010/05/Metalurgi-Serbuk1.Pdf> (Diakses 19 september 2013)
- Hartono.2013. Pemilihan Metode Dan Pengujian Awal Dalam Pembuatan Serbuk Tembaga. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Semarang
- Heine, Richard W. 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- Husaini Dkk. 2008. Pemanfaatan Limbah Pertambangan dan Hasil Industri Sebagai Bahan Baku Industri Kimia. <http://www.tekmira.esdm.go.id/HasilLitbang/?p=755>.
- John Wiley & Sons. 2002. *Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e*, Inc. M. P. Groover.
- Kaloshkin SD, Tomilin IA. 2010. *Physic Met Metallogr* 95:334
- Mujito. 2010. Penerapan teknologi *powder metallurgy* untuk pembuatan komponen mesin berbasis pasir besi lokal. http://researchreport.umm.ac.id/index.php/researchreport/article/viewfile/230/331_umm_research_report_fulltext.pdf (Diakses 20 Februari 2013)
- Prawara, Budi. 2006. Rancang Bangun *Thermal Spray Coating* Dengan Menggunakan Sistem *High Velocity Oxigen Feul*. 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.
- Riles. 2011. Analisa Hasil Pengayakan Serbuk Tembaga Hasil Proses *Electrorefining*. <http://www.polines.ac.id/orbith/files/7-3-2011%20Hal%20332-336.pdf> (diakses 3 september 2013)
- Rusianto, Toto. 2009. *Hot Pressing* Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu Pemanasan. Jurnal Teknologi, Volume 2 Nomor 1 , Juni 2009, 89 - 95.
- 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.
- Sing. 1976. Metalurgi Serbuk. Institut Pertanian Bogor. <http://id.scribd.com/pdf/Metalurgi-Serbuk/BAB-III-Tinjauan-Pustaka.pdf>
- 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 Penggiling 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.

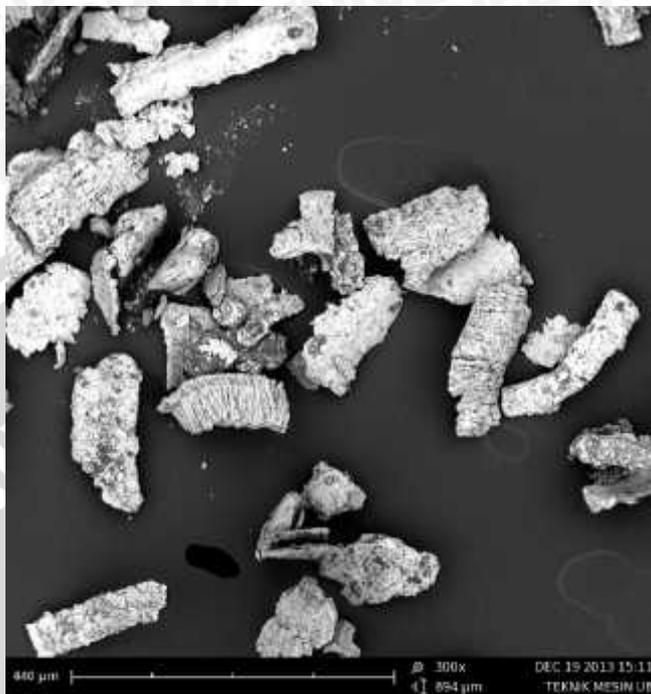
Tabel Konversi U.S. Mesh

MESH TO MICRON CONVERSION CHART

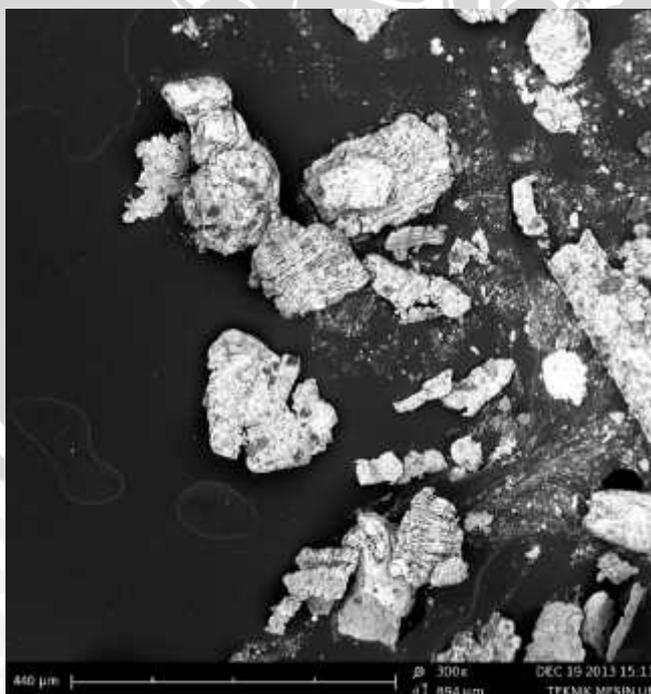
U.S. MESH	INCHES	MICRONS	MILLIMETERS
3	0.2650	6730	6.730
4	0.1870	4760	4.760
5	0.1570	4000	4.000
6	0.1320	3360	3.360
7	0.1110	2830	2.830
8	0.0937	2380	2.380
10	0.0787	2000	2.000
12	0.0661	1680	1.680
14	0.0555	1410	1.410
16	0.0469	1190	1.190
18	0.0394	1000	1.000
20	0.0331	841	0.841
25	0.0280	707	0.707
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

Hasil Foto SEM serbuk duralumin

a. Foto SEM serbuk pada kecepatan putar 400 rpm



b. Foto SEM serbuk pada kecepatan putar 500 rpm



c. Foto SEM serbuk pada kecepatan putar 750 rpm

