

PENGARUH SUDUT NOZEL TERHADAP HASIL SERBUK LOGAM DENGAN METODE ATOMISASI

M.Fajar Sidiq

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

E-mail : mr_paimin@yahoo.com

Abstrak

Dalam proses pengerjaan logam yang dikenal saat ini antara lain proses permesinan, proses pengecoran, forging, rolling, dan masih banyak proses lainnya, metalurgi serbuk (powder metallurgy) adalah salah satu proses pengerjaan logam yang sudah dikenal saat ini. Semua jenis logam secara teoritis dapat dibuat menjadi serbuk, hanya beberapa jenis logam yang dimanfaatkan dalam pembuatan benda jadi.

Atomisasi dapat didefinisikan secara sederhana proses memecah cairan logam yang jatuh dengan pancaran bertekanan tinggi dari fluida air atau gas yang disebut " Water Atomisation " atau " Gas Atomozation ", umumnya menggunakan dua fluida untuk atomisasi. Penggunaan gaya sentrifugal untuk memecahkan aliran logam cair disebut " Sentrifugal Atomozation ". Atomisasi dalam ruang vakum disebut " vacuum" atau " Soluble-gas Atomization". Penggunaan Energi Ultrasonik Untuk efek memecah aliran disebut " Ultrasonik Atomozation ".

Hasil pengujian pembuatan serbuk dengan metode atomisasi air dihasilkan diameter serbuk rata-rata sudut nosel 60^0 sebesar $748.8206 \mu\text{m}$, sedangkan diameter rata-rata serbuk dengan sudut nosel 50^0 sebesar $832.5306 \mu\text{m}$. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa semakin naik sudut nosel maka serbuk yang dihasilkan semakin kecil.

Kata kunci : *Serbuk logam, Atomisasi, Alumunium*

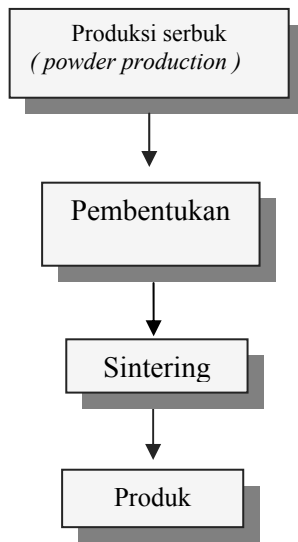
PENDAHULUAN

Dalam teknik pembuatan metalurgi serbuk didahului dengan proses pembuatan serbuk, dimana logam yang masih berbentuk padat diubah menjadi serbuk logam, dengan water atomization, kemudian serbuk logam akan mengalami proses pencampuran (mixing) yang selanjutnya akan mengalami proses pembentukan (shapping) untuk mendapatkan bentuk yang di inginkan. Produk dari proses pembentukan ini dikenal dengan green body (green compact). Produk green body tadi selanjutnya di sinter dengan temperatur dibawah temperatur cair material tersebut untuk mengurangi porositas pada green body.

Aplikasi penggunaan produk metalurgi serbuk ini sudah mencakup sangat luas dalam berbagai bidang, pada bidang elektro seperti filamen pada lampu dari tungsten, konektor, elektroda aki, dan dalam

bidang industri seperti cutting tools, cetakan (dies), katub (valve), bushing, bearing, filter dan dalam bidang kesehatan seperti implantasi tulang, peralatan-peralatan kedokteran dan lain sebagainya. (German, 1994) proses metalurgi serbuk dapat dilihat pada diagram alir pada gambar. 1

Meskipun secara teoritis semua logam dapat dibuat jadi serbuk, hanya beberapa jenis logam dimanfaatkan dalam pembuatan logam jadi. Metode yang digunakan dalam pembentukan serbuk tergantung pada sifat-sifat khusus dari material logam.



Gambar. 1 Diagram Alir Proses Metalurgi Serbuk

Berbagai jenis logam mempunyai ciri-ciri fisis dan kimia tertentu memerlukan cara pembuatan yang berbeda. Karena prosedur pembuatannya berbeda maka akan mempengaruhi pada ukuran, bentuk dan struktur partikelnya. (German, 1994)

TINJAUAN PUSTAKA

Metode pembuatan serbuk dengan proses atomisasi juga dilakukan oleh Ridwan dkk (2005). Metoda yang digunakan adalah dengan las oksasi-asitilen atau las karbit. Hasilnya memperlihatkan bahwa atomisasi dengan las oksasi-asitilen menghasilkan serbuk dengan ukuran 75 – 90 μm .

Pembuatan produk dengan metode metalurgi serbuk dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya oleh Ahmad Junaidi (2013) yang membuat elektroda tembaga-karbon, Toto (2009) yang membuat bantalan jenis silinder, dan R.A.Suryana (1996) yang membuat paduan Zirkonium dengan metode metalurgi serbuk.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan beberapa pengujian terhadap material yang diteliti.

Ada empat kategori utama dalam pembuatan serbuk logam, yaitu :

- Proses pembuatan secara mekanik (mechanical fabrication)
- Proses pembuatan secara reaksi kimia (chemical reaction)
- Proses pembuatan dengan proses endapan elektrolit (electrolytic deposition)
- Proses atomisasi (atomisation process)

Dalam pemilihan proses pembuatan serbuk pertama-tama kita harus memahami proses dan nilai ekonomisnya serta karakteristik serbuk yang dihasilkan.

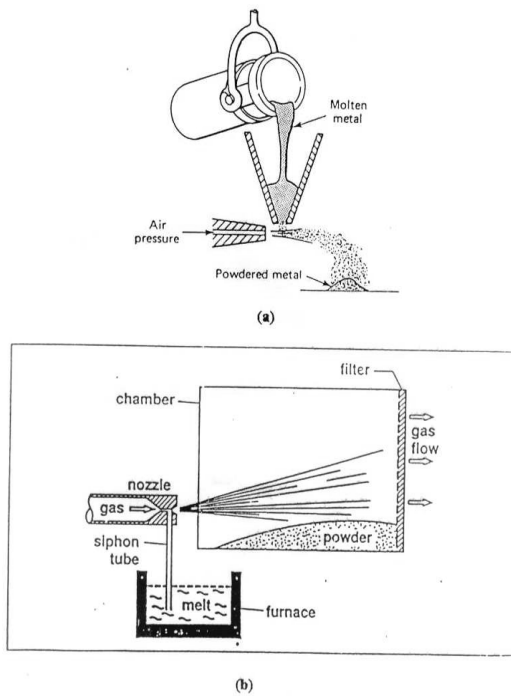
Proses Atomisasi (Atomization Process)

Atomisasi dapat didefinisikan secara sederhana proses memecah cairan logam yang jatuh dengan pancaran bertekanan tinggi dari fluida air atau gas yang disebut Water Atomisation atau Gas Atomization umumnya menggunakan dua fluida untuk atomisasi. Penggunaan gaya sentrifugal untuk memecahkan aliran logam cair disebut Sentrifugal Atomization.

Kontrol terhadap partikel serbuk merupakan hal yang penting ketika memproduksi serbuk logam dengan proses atomisasi. Bentuk partikel yang dihasilkan dengan proses atomisasi ini berbentuk spherical, ligament, dan rounded. (German, 1994)

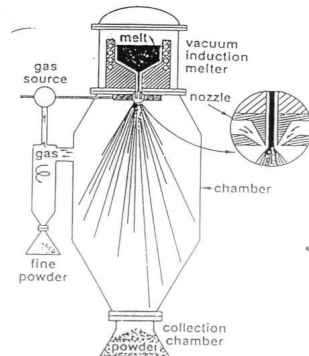
- ✚ Proses atomisasi dengan menggunakan gas bertekanan (gas atomization)

Proses atomisasi dengan gas bertekanan ini dapat digolongkan dalam dua macam, pertama dengan menggunakan udara bertekanan (air atomization), proses ini digunakan untuk logam yang mempunyai temperature cair yang rendah dan logamnya tidak reaktif terhadap oksidan-oksidan, contohnya timah hitam (timbale) dan timah putih (Sn).



Gambar 2. Proses Horizontal Atomisasi dengan Udara Bertekanan (dari Metalworking Teknologi, Little, 1977)

Proses yang kedua dengan menggunakan gas inert, teknik ini digunakan untuk logam-logam yang mempunyai temperatur cair yang tinggi dan sangat reaktif (German, 1994). Penggunaan gas inert seperti nitrogen, helium, dan argon adalah untuk melindungi logam yang mencair terhadap oksidan-oksidan.



Gambar 3. Proses Atomisasi Vertical Dengan Gas Inert (dari Powder Metallurgy Science, German, 1994)

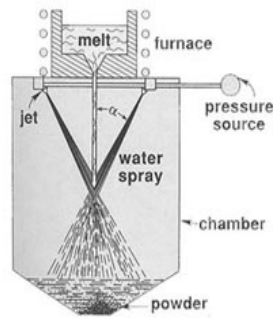
Pada teknik atomisasi dengan menggunakan gas bertekanan, parameter yang mempengaruhi bentuk dan ukuran partikel serbuk yaitu perancangan nozel baik untuk nozel logam cair (tundihs) yang akan mempengaruhi terhadap laju pengumpanan logam cair sebelum disemprot dengan aliran gas, dan nozel dari gas, tekanan gas yang digunakan, temperature logam, viskositas dari logam cair. Tekanan yang dipakai dalam teknik atomisasi gas yaitu berkisar antara 0,7 – 2,8 MPa. (F. V. Lenel,1980)

✚ Teknik atomisasi dengan air (water atomization)

Teknik atomisasi dengan air adalah teknik yang umum digunakan untuk memproduksi serbuk logam dan paduan yang memiliki temperature cair kira-kira dibawah 1600⁰ C. (German, 1980)

Air ditembakkan dengan tekanan tinggi menumbuk aliran logam cair, terjadi gaya pemecah aliran logam dan terjadi pembekuan serbuk secara cepat. Proses atomisasi dengan air ini mirip atomisasi yang menggunakan gas, perbedaannya pada proses pendinginan cepat dan perbedaan sifat fluida.

Karena terjadi pendinginan yang sangat cepat maka bentuk partikel yang dihasilkan tidak teratur atau kasar (*irregular*), dengan beberapa oksidasi. Untuk mengontrol bentuk yang dihasilkan dibutuhkan kondisi *superheat* jauh diatas daerah *liquidus*. Segregasi kimia dengan partikel paduan cenderung berkurang dengan terjadinya pembekuan partikel secara cepat. Oli sintetik atau cairan lain yang tidak reaktif dapat digunakan sebagai pengganti air untuk memperoleh kontrol yang lebih baik dari bentuk partikel dan mengontrol adanya oksidasi(R.M. German).



Gambar 4 Proses Atomisasi Dengan Air
(dari Powder Metallurgy Science, German, 1994)

Sudut nozel berpengaruh terhadap distribusi serbuk yang dihasilkan, mode matematik yang menghubungkan ukuran partikel dalam W/A dengan parameter dalam pengoperasian alat mirip dengan *gas atomization*. Tekanan tinggi atau kecepatan aliran fluida, menyebabkan penurunan dalam ukuran partikel rata-rata, hubungannya dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$D = \frac{\beta \ln(p)}{|V \sin(\alpha)|}$$

dimana β adalah konstan yang menghubungkan antara material dan efek desain dari *atomizer*, V adalah kecepatan air, dan α adalah sudut antara aliran logam cair dan *water nozzle*. Dengan jelas terlihat bahwa energi yang bersama dengan air sebagai hasil dari tekanan dan kecepatan adalah faktor utama dalam mengontrol ukuran partikel.

Pengukuran Ukuran Serbuk

untuk memudahkan dalam mempelajari metalurgi serbuk maka diperlukan pemahaman yang cukup mengenai serbuk itu sendiri. Sebuah partikel didefinisikan sebagai unit terkecil dari serbuk yang tidak dapat dibagi-bagi lagi. Umumnya, dalam metalurgi serbuk partikel mempunyai ukuran lebih besar dari asap (0,01 sampai dengan 0,1 μm) tetapi lebih kecil dari pasir (0,1 sampai dengan 3 mm). Scanning Electron Microscope (SEM)

adalah alat yang paling baik untuk meneliti karakteristik serbuk logam. (R.M German). Banyak teknik pengukuran partikel serbuk dan distribusi dari partikel serbuk. Antara lain dapat disebutkan sieve analysis, Light Scattering, Electrozone Size Analysis, Microscopy and Image Analysis dan lain-lain.

Untuk menganalisa ukuran partikel, teknik yang digunakan adalah teknik *screening*. Teknik ini adalah teknik yang paling umum digunakan untuk menganalisa ukuran partikel dengan cepat sesuai dengan standar ASTM B214. Sebuah kisi yang dibuat dari kawat membentuk suatu *mesh*. Ukuran *mesh* ini ditentukan dengan jumlah kawat perunit panjang. Semakin besar ukuran *mesh* maka semakin kecil ukuran bukaan, dan sebaliknya. Standar yang digunakan dalam spesifikasi ukuran *mesh* dengan jumlah kawat per *inchi*.

Proses dasar dari *screening* adalah lolosnya material atau pemakanan dari sebuah *screen* dengan beberapa bukaan dari sebuah ukuran. Partikel yang lolos dari *screen* adalah partikel yang lebih kecil, dan partikel yang tertinggal adalah partikel yang lebih besar. (ASM, Powder Metallurgy Committee).

Teknik *screening* ini biasanya digunakan untuk menganalisa partikel yang lebih besar dari 38 μm .

Table .1.Ukuran Mesh (R.M. German, 1994).

Ukuran Mesh	Bukaan (μm)	Ukuran Mesh	Bukaan (μm)
18	1000	100	150
20	850	120	125
25	710	140	106
30	600	170	90
35	500	200	75
40	425	230	63
45	355	270	53
50	300	325	45
60	250	400	38
70	212	450	32
80	180	500	25
		600	20

Penggunaan Material Al – Si

Aluminium sering terdapat di atas bumi dalam bentuk senyawa kimia, namun di alam tidak ditemukan aluminium dalam keadaan murni. Bahan dasar terpenting untuk membuat aluminium adalah *bauxit*, yang merupakan kumpulan mineral (tanah tawas, oksida aluminium) dengan imbuhan oksida besi dan asam silikat. Bauxit mengandung 55 – 65 % tanah tawas, 2 – 28 % besi, 12 – 30 % air dan 1 – 8 % asam silikat. Warna bauxit tergantung pada warna imbuhan (putih, merah, kuning dan lain-lain).

Aluminium stabil dalam kondisi lingkungan yang teroksidasi, ini disebabkan oleh lapisan film dalam aluminium oksida yang secara stabil terbentuk secara cepat pada permukaan aluminium yang berhubungan dengan oksigen, air, dan oksidan-oksidan yang lainnya. (ALUMINIUM, *Properties and Physical Metallurgy*, John E. Hatch)

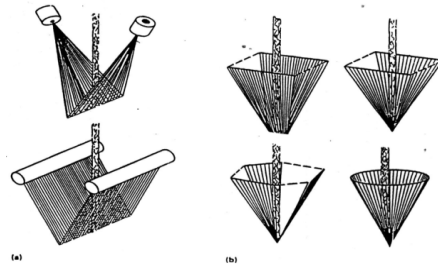
Proses Atomisasi

Serbuk aluminium diproduksi dengan mengatomisasi cairan Aluminium. Kita ketahui bahwa banyak variasi yang digunakan dalam proses pembuatan serbuk logam ini. Variasi itu antara lain sudut nosel, kecepatan fluida keluar nosel, jumlah pengatomisasi, kecepatan pemakanan dari logam cair, variasi tekanan dan masih banyak lagi. Dalam penelitian ini kita menggunakan variasi sudut. Untuk variasi sudut kita ambil sudut 60° , 50° dan untuk tekanan kita gunakan 1,5 Mpa. Dengan variasi ini diharapkan dapat diketahui karakteristik serbuk yang dihasilkan dan diketahui variasi yang mana yang menghasilkan serbuk yang paling baik.

✚ Pengaruh Sudut Nosel Terhadap Ukuran Butir

Dalam atomisasi air peranan sudut nosel cukup berpengaruh dalam distribusi butir yang dihasilkan. Fungsi dari nosel itu sendiri untuk mengontrol aliran dan sebagai

pola dari media atomisasi untuk menghasilkan kehancuran yang efisien pada logam cair dan untuk menghasilkan ukuran serbuk yang diinginkan. Dalam atomisasi dengan logam cair yang jatuh bebas, logam cair dimasukkan dalam tundish kemudian mengalir kebawah oleh karena pengaruh gravitasi dengan jarak tertentu, kemudian berinteraksi dengan aliran air dan menjadi serbuk atau teratomisasi oleh karena tekanan yang tinggi. Untuk jarak logam cair jatuh sampai dengan berinteraksi dengan media pengatomisasi pada water atomization sekitar 5 sampai 20 cm atau sekitar 2 sampai 8 in. (*Metals Handbook Ninth Edition*)



Gambar 5 Bentuk konfigurasi dari Water Jet (dari buku ASM, Powder Metallurgy Committee).

Disini terlihat bahwa sudut nosel berpengaruh pada distribusi butir yang dihasilkan. Semakin kecil sudut antara nosel dengan aliran logam cair yang terbentuk maka semakin jauh jarak logam cair berinteraksi dengan fluida pengatomisasi, semakin jauh jarak logam cair jatuh maka kemungkinan logam cair membeku sebelum berinteraksi semakin besar. Jika belum membeku maka kemungkinan ikatan antar ion sudah terbentuk sehingga sulit untuk dipecahkan oleh aliran air dan butir yang dihasilkan juga menjadi besar dan dapat menyumbat aliran keluar, seperti pada gambar dibawah dimana sudut yang diambil adalah 40° dimana banyak serbuk yang berukuran besar menyumbat pada saluran keluar pada chamber.

Sebaliknya, semakin besar sudut yang terbentuk maka serbuk yang dihasilkan juga semakin kecil. Akan tetapi jika sudut

yang terbentuk lebih besar dari 60° dapat mengakibatkan “ pembekuan oleh nosel “ sebagai akibat dari aliran balik dari serbuk yang mengenai aliran logam cair. Ini sesuai dengan persamaan

$$dm \approx \frac{1}{V \sin \alpha}$$

(Metals Handbook Ninth Edition)

dimana:

dm : diameter rata-rata

V : kecepatan dari fluida pengatomisasi

α : sudut yang terbentuk antara nosel dengan aliran logam cair.

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa semakin besar α dengan kecepatan yang sama maka diameter rata-rata serbuk akan semakin kecil. Hal serupa dapat juga dilihat pada persamaan yang lain yaitu :

$$D = \frac{\beta \ln(p)}{|V \sin(\alpha)|}$$

(Powder Metallurgy Science, German, 1994)

dimana β adalah konstan yang menghubungkan antara material dan efek desain dari atomizer, V adalah kecepatan air, dan α adalah sudut antara aliran logam cair dan water nozzle. Disini juga terlihat bahwa dengan naiknya sudut maka diameter serbuk yang dihasilkan semakin kecil.

Pengujian Distribusi Serbuk

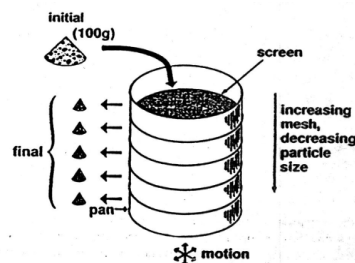
Untuk menganalisa ukuran partikel, teknik yang digunakan adalah teknik screening. Teknik ini adalah teknik yang paling umum digunakan untuk menganalisa ukuran partikel dengan cepat sesuai dengan standar ASTM B214.

Adapun cara pengukuran ukuran partikel serbuk dengan menggunakan teknik screening adalah :

1. sample serbuk yang akan diukur dimensinya ditimbang
2. kemudian screen yang akan digunakan disusun dengan ukuran bukaan yang semakin menurun, ukuran bukaan yang paling kecil adalah berada didasar atau paling bawah dan ukuran bukaan yang

paling besar ditempatkan paling atas, seperti terlihat pada gambar berikut ini,

3. Kemudian memasukkan serbuk tersebut pada bagian rak saringan paling atas kemudian digetarkan selama 15 menit.
4. setelah digetarkan maka sejumlah serbuk akan masuk kedalam masing-masing screen dengan ukuran yang berbeda-beda pada setiap tingkatan mesh.
5. Kemudian menimbang serbuk yang tinggal pada masing-masing screen tersebut dan dihitung persentasenya tiap interval ukuran. Serbuk yang melewati suatu ukuran mesh ditandai dengan tanda (-) dan yang tertahan disuatu tingkat mesh ditandai (+). Sebagai contoh -100 / +200 mesh artinya serbuk tersebut melewati ukuran 100 mesh tapi tidak bisa melewati ukuran 200 mesh.



Gambar 6. Analisa sieve dengan menggunakan screen bertingkat (dari Powder Metallurgy Science oleh R.M. German, 1994)

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah data awal yang diperoleh dari percobaan pembuatan serbuk dengan metode water atomization :

Table.2 Data awal pengujian

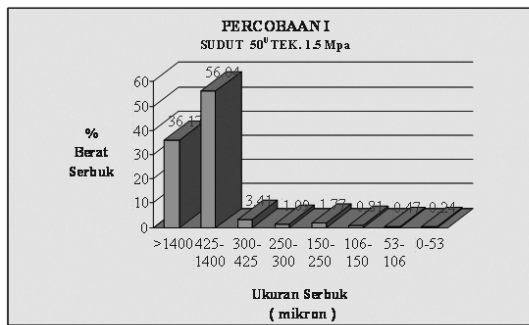
Dia met er nose l (m m)	Dia mete r Tun dish (mm)	Jml. Wat er Jet	Suhu Tuan g Al ($^\circ$ C)	Suh u Tun dish ($^\circ$ C)	Suh u akhi r ($^\circ$ C)	Su du t ($^\circ$)	Jara k loga m cair (mm)
2	4	2	820	730	31	60	90
2	4	2	800	695	28	50	150

Dari percobaan tersebut maka akan diperoleh ukuran serbuk yang beragam, yang selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap ukuran partikel dengan menggunakan metode sieving atau ayakan. Mekanisme dari proses sieving adalah specimen yang akan diuji dimasukkan pada mesh paling atas dengan bukaan paling besar kemudian digetarkan selama 15 menit. Dari hasil pengujian ini maka akan diperoleh distribusi ukuran partikel dari serbuk Al – S i. Berikut adalah data-data hasil pengujian distribusi ukuran partikel dari Al – Si

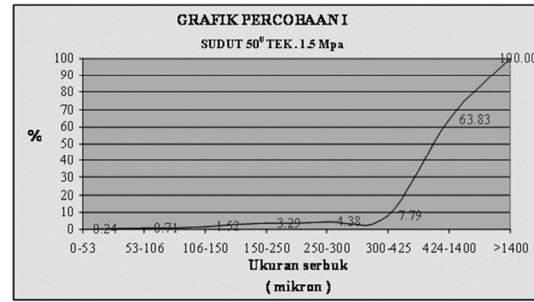
✦ Data ukuran partikel Sudut Nosel 50⁰ Dengan proses water atomization, sudut yang pertama 50⁰ dengan tekanan 1,5 Mpa, berikut datanya :

Tabel.3 Distribusi Ukuran Hasil Pengujian Untuk Percobaan I ($\theta = 50^{\circ}$, P = 1,5 Mpa)

No.	mesh	Bukaan (mm)	Berat contoh Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif	% Lolos
1	14	1.4	19.3142	36.17	36.17	63.83
2	40	0.425	29.9283	56.04	92.21	7.79
3	50	0.3	1.8214	3.41	95.62	4.38
4	60	0.25	0.5825	1.09	96.71	3.29
5	100	0.15	0.9442	1.77	98.48	1.52
6	140	0.106	0.433	0.81	99.29	0.71
7	270	0.053	0.2519	0.47	99.76	0.24
8	< 270	-	0.1293	0.24	100.00	-



Grafik.1 Histogram Distribusi Partikel Dari Percobaan I

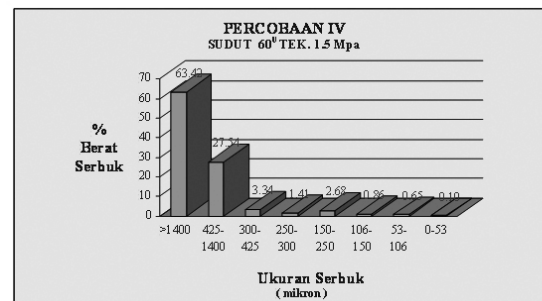


Grafik.2. Persentase Distribusi Partikel Dari Percobaan I

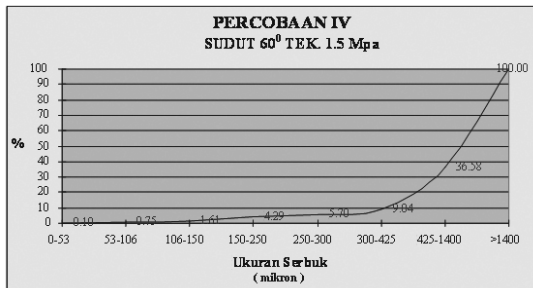
✦ Data ukuran partikel Sudut Nosel 60⁰ Dengan proses water atomization, sudut yang kedua 60⁰ dengan tekanan 1,5 Mpa, berikut datanya :

Tabel. 4 Distribusi Ukuran Hasil Pengujian Untuk Percobaan II ($\theta = 60^{\circ}$, P = 1,5 Mpa)

No.	mes h	Bukaa n (mm)	Berat contoh Tertahan (gram)	% Tertahan	% Lolos
1.	14	1.4	39.2594	63.42	36.58
2.	40	0.425	17.0488	27.54	9.04
3.	50	0.3	2.0683	3.34	5.70
4.	60	0.25	0.8723	1.41	4.29
5.	100	0.15	1.6560	2.68	1.61
6.	140	0.106	0.5324	0.86	0.75
7.	270	0.053	0.4004	0.65	0.11
8.	<270	-	0.0663	0.11	-



Grafik.3 Histogram Distribusi Partikel Dari Percobaan II



Grafik.4 Persentase Distribusi Partikel Dari Percobaan II

Berdasarkan data hasil percobaan terlihat bahwa ukuran partikel dari serbuk logam al – si yang dibuat dengan atomisi air mempunyai distribusi yang beragam. Dari gambar histogram terlihat bahwa ukuran partikel memiliki distribusi yang mengalami perubahan yang cukup tajam, dengan berat serbuk paling besar ditemukan pada ayakan yang mempunyai bukaan yang besar. Ini disebabkan karena semakin besar ukuran serbuk maka dia akan mempunyai berat yang semakin besar pula.

Ukuran Partikel Rata – Rata

Untuk data-data histogram diatas kita dapat menentukan ukuran partikel rata-rata aritmetika D_{am} dengan menggunakan rumus pada dasar teori diatas :

$$D_{am} = \left(\frac{1}{N} \right) \sum y_i D_i$$

dimana D_i adalah nilai tengah untuk masing-masing interval, jika y_i adalah frekuensi kejadian dalam data interval, dan N adalah total jumlah kejadian (N adalah jumlah dari y_i untuk semua interval).

Sehingga dapat kita hitung untuk ukuran partikel rata-rata dari hasil percobaan adalah sebagai berikut :

Percobaan I

Tabel 5 Pengolahan Data Untuk Percobaan I
($\theta = 50^\circ$, P = 1,5 Mpa)

No	Interval Ukuran Ayakan (μm)	Berat (y_i)	Nilai Tengah Interval (D_i)	$y_i * D_i$
1.	425-1399,9	29,93	912,45	27308,08
2.	300-424,9	1,82	362,45	660,17
3.	250-299,9	0,58	249,95	145,60
4.	150-249,9	0,94	199,95	188,79
5.	106-149,9	0,43	127,95	55,40
6.	53-105,9	0,25	79,45	20,01
7.	0-52,9	0,13	26,45	3,42

$$\begin{aligned} \text{Jumlah : } N (\text{ Berat }) &= 34.0906 \\ \sum D_i * Y_i &= 28381.47 \end{aligned}$$

Diameter rata-rata serbuk

$$D_{am} = \frac{28381.47}{34.0906} = 832.5306 \mu m$$

Percobaan II

Tabel 6 Pengolahan Data Untuk Percobaan II
($\theta = 60^\circ$, P =1,5 Mpa)

No	Interval Ukuran Ayakan (Mm)	Berat (y_i)	Nilai Tengah Interval (D_i)	$y_i * D_i$
1.	425-1399,9	17.0488	912,450	15556.18
2.	300-424,9	2.0683	362,450	749.66
3.	250-299,9	0.8723	249,950	218.03
4.	150-249,9	1.6560	199,950	331.12
5.	106-149,9	0.5324	127,950	68.12
6.	53-105,9	0.4004	79,450	31.81
7.	0-52,9	0.0663	26,450	1.75

$$\begin{aligned} \text{Jumlah : } N (\text{ Berat }) &= 22.6445 \\ \sum D_i * Y_i &= 16956.67 \end{aligned}$$

Diameter rata-rata serbuk :

$$D_{am} = \frac{16956.67}{22.6445} = 748.8206 \mu m$$

Hubungan Sudut Nosel Terhadap Diameter Serbuk

Dari table 4.20 terlihat penurunan ukuran serbuk dengan naiknya sudut nosel.pada sudut nosel 50^0 dan tekanan 1.5 Mpa mempunyai diameter lebih besar dibandingkan dengan sudut nosel 60^0 pada tekanan yang sama. Pada sudut yang lebih besar jarak antara jatuh bebas logam cair dengan tumbukan semakin kecil sehingga pengaruh dari aliran turbelensi tadi menjadi semakin besar.

Tabel.7 Hubungan sudut dan diameter serbuk

No	Sudut	Diameter rata-rata
1	50^0	832.5306 μm
2	60^0	748.8206 μm

KESIMPULAN

1.Pada hasil pengujian dihasilkan diameter serbuk rata-rata sudut nosel 60^0 tekanan 1.5 Mpa : 748.8206 μm , dan sudut 50^0 menghasilkan diameter serbuk rata-rata 832.5306 μm , hal ini menunjukkan bahwa semakin naik sudutnya maka serbuk yang dihasilkan semakin kecil.

2. Ukuran butir secara teoritis dan hasil pengujian ada perbedaan , ini mungkin disebabkan perbedaan factor yang berpengaruh selama proses pembuatan yang menyebabkan terjadinya kenaikan ukuran sbutir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Junaidi, Amin Suhadi, 2013 “ Pengembangan Metoda Pembuatan Elektroda Tembaga – Karbon Dengan Metalurgi Serbuk ” Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia,Vol.15.
- Amstead H.B, dkk, 1985,” Teknologi Mekanik ”, Alih Bahasa Sriati Djaprie, Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- ASM Powder Metallurgy Committee, “ Powder Metallurgy ”, Vol.7 Metal

Handbook Ninth Edition, Metal Park, Ohio.

- Brodkey Robert, S, and Hersey Harry, C, “ Transport Fenomena ”, Mc.Graw-Hill, Inc. New York.
- German, M.R., 1994, “ Powder Metallurgy Science ”, Second Edition, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New-Jersey.
- Hatch E. john, “ Alluminium Properties and Physical Mettallurgy ”, American Society For Metal, Metal Park, Ohio.
- Lenel V.F., 1980 “ Powder Mettallurgy Principle & Aplication ”, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New-Jersey.
- M. Ridlwan dkk, 2005, “ Proses Pembuatan Serbuk Logam Dengan Metoda Atomisasi Las-Asitilen ” TEKNOIN, Vol.10, No.4.
- Petty E.R., “ Physical Mettallurgy of Engineering Materials ”, George Allen and Uwin Ltd. 1970
- R.A. Suryana dkk,1996 “ Proses Teknologi Pembuatan Paduan Logam Zirkonium (Zircaloy) Dengan Metoda Metalurgi Serbuk ” Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir PEBN-BATAN, Jakarta
- Reynolds C.W., H.C. Perkins, 1991, “ Termodinamika Teknik ”, Alih Bahasa Folino Harahap, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Surdia Tata dan Chihiwa Kenji, 1976,“ Teknik Pengecoran Logam ”, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Toto Rusianto, 2009 “ Hot Pressing Metalurgi Serbuk Alumunium Dengan Variasi Suhu Pemanasan ” Jurnal Teknologi, Vol.2 No.1 AKPRIND Yogyakarta.