

Analisa Penerapan Metode Atomisasi Air Terhadap Karakteristik Serbuk Alumunium

Taufik Wisnu

Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI
taufikwisnu1@gmail.com

Abstrak

Metalurgi Serbuk merupakan teknologi pemrosesan bahan dasar serbuk logam yang meliputi perubahan bentuk, karakteristik dan struktur menjadi produk logam akhir. Dalam pembuatan serbuk logam metode Atomisasi air merupakan salah satu metode yang paling baik karena paling ekonomis dan efektif. Pada industri berskala besar, pengaturan karakteristik memegang peranan yang penting dalam menentukan kualitas hasil serbuk untuk proses selanjutnya. Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian eksperimen untuk memproduksi serbuk alumunium menggunakan alat Atomisasi air dengan variasi sudut pancaran nosel 3°, 5°, 10° dan 15°. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh sudut pancaran nosel dan tekanan air *sprayer* terhadap karakteristik serbuk. Dari hasil pengujian struktur makro menunjukkan rata-rata sebagian besar butir serbuk yang dihasilkan dengan metode atomisasi air ini berbentuk *irregular* dengan porositas yang hampir terdapat pada serbuk di setiap ukuran. Porositas lebih banyak terdapat pada ukuran yang lebih besar. Dari pengamatan struktur mikro perubahan komposisi relatif kecil, dengan kadar Al menurun karena Al teroksidasi oleh O₂ saat proses atomisasi sedangkan kadar Si meningkat. Sudut pancaran nosel 15° menghasilkan karakteristik serbuk yang paling baik dengan prosentase berat total serbuk yang memenuhi syarat paling tinggi dan juga aspek rasio paling tinggi yang berarti mendekati bentuk bulat.

Kata kunci: Atomisasi air, Metalurgi Serbuk, Serbuk logam, karakteristik serbuk Alumunium

Abstract

Powder metallurgy is a technology in processing metal powders which includes changing shape, characteristics and the structure became the final metal products. Water Atomization methode is the best option on metal powders production because the most economical and effective. On the large-scale industry, setting the characteristics was important in determining the quality of the powder to the next process. In this reseach performed a series of experiments to produce aluminum powder using water atomization method with variation of the nozzle's angle 3°, 5°, 10° and 15°. The goal is to find out the influence of the nozzle's angle and the water pressure sprayer against characteristics of the powder. From the macro structure's test results showed an average of most grains of pollen produced by the water atomization method is irregular-shaped with porosity that is almost found in pollen in each size. Porosity more found in larger sizes. Observation of microstructure found that the change in composition is relatively small, with declining proportion of Al because Al oxidized by O₂ when atomization process while Si proportion was increasing. Nozzle's angle at 15° give the best powder characteristics with highest percentage of good quality powder and also the highest aspect ratio which means approaching round shape.

Keywords: Water Atomization, Powder Metallurgy, Metal Powders, Characteristics of Aluminum powder

PENDAHULUAN

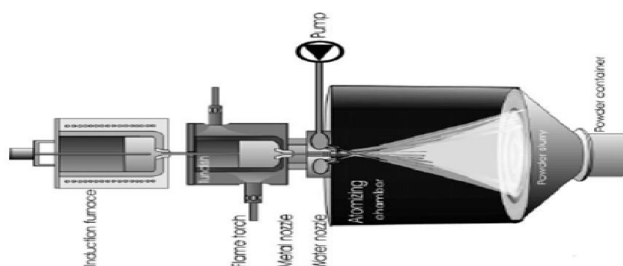
Untuk memenuhi permintaan pasar akan produk-produk *engineering* yang berkualitas tinggi dalam jumlah yang besar maka pengolahan logam terus mengembangkan metode dan proses produksi untuk menghasilkan kualitas yang lebih baik namun dengan biaya yang lebih ekonomis. Saat ini penggunaan bahan serbuk logam hadir menjadi solusi bagi industri manufaktur.

Penggunaan serbuk logam sudah menjadi bagian sangat penting dalam industri pembuatan *parts* dan komponen karena lebih baik daripada cara konvensional lain seperti pengecoran logam. Beberapa keunggulan serbuk logam, antara lain: 1. Kemampuannya untuk dibuat memenuhi bentuk yang sulit dan ukuran yang diinginkan. 2. Memiliki kepresisian yang tinggi dengan toleransi mencapai 0.13 mm maka meniadakan beberapa proses *machining*. 3. Porositas yang dapat diatur sesuai dengan kualitas serbuk. Ini berguna untuk pembuatan logam yang memerlukan porositas tertentu misalnya untuk membuat bantalan yang harus memiliki sifat dapat melewati minyak. 4. Dapat diproduksi dalam jumlah yang besar, volume sisa material yang terbuang kecil, sehingga biaya produksi lebih rendah dan lebih menguntungkan.

Semakin banyaknya pemanfaatan serbuk logam di berbagai macam industri, sehingga jumlah serbuk logam yang dibutuhkan semakin besar. Kebutuhan serbuk logam sebagai bahan mentah untuk membuat komponen dan part engineering semakin meningkat dari tahun ke tahun. Akibatnya juga proses pembuatan serbuk logam sebagai bahan dasar menjadi semakin krusial.

Proses untuk membuat serbuk, mengubah karakteristiknya dan membentuk serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan biasa disebut dengan **Powder Metallurgy** atau P/M. Untuk menghasilkan produk dari bahan serbuk perlu dilakukan tahapan-tahapan proses tertentu. Tahapan yang pertama dan paling penting dari proses P/M adalah membuat serbuk itu sendiri. [2]. Ada 3 langkah utama dalam proses Metalurgi serbuk yang meliputi: 1. Pembuatan atau produksi serbuk, 2. Proses pengerjaan, antara lain dilakukan dengan cara *Compacting, sintering, forging dan Hot pressing*, dan 3. Pengujian sifat-sifat kekuatan, konduktifitas, *ductility*, densitas dan mikrostruktur.

Perbedaan metode pembuatan serbuk logam yang digunakan akan mempengaruhi ukuran, bentuk, mikrostruktur, susunan kimia dan biayanya. Sehingga dengan kata lain bahwa karakteristik sebuah serbuk logam ditentukan oleh bagaimana serbuk itu dibuat. Ada 4 macam metode untuk menghasilkan serbuk logam, diantaranya yaitu: 1. Teknik fabrikasi mekanik, 2. Reaksi kimia, 3. Elektrolisa dan 4. Atomisasi. Dari beberapa metode pembuatan serbuk logam, atomisasi air merupakan metode yang paling banyak digunakan, paling mudah dilakukan dan juga paling ekonomis.



Gambar 1. Alat Atomisasi air [3]

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

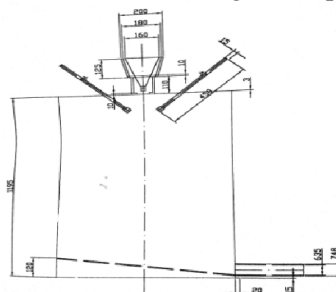
1. Untuk mengetahui pengaruh variasi sudut pancaran nosel terhadap karakteristik logam Aluminium
2. Untuk mengetahui bentuk struktur dan porositas logam Al hasil metode Atomisasi air
3. Untuk mengetahui komposisi bahan, apakah ada perubahan antara sebelum dan sesudah proses atomisasi air.
4. Untuk mengetahui apakah ada faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil dan kualitas serbuk logam untuk perbaikan di masa mendatang

METODE PENELITIAN

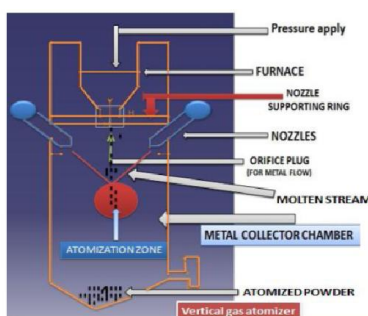
Dalam penelitian karakteristik serbuk Alumunim yang dihasilkan dengan cara atomisasi air ini menggunakan metode eksperimen. Agar penelitian yang dilaksanakan mendapatkan hasil yang sempurna maka dibuat prosedur langkah kerja dari mulai persiapan kemudian pembuatan serbuk Al sampai kepada ke pengujian. Hal ini dilakukan untuk menghindari kegagalan dan mengurangi sekecil mungkin rugi-rugi terbuangnya hasil serbuk. Untuk memperoleh kesempurnaan data, maka penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagai berikut:

Sebelum pembuatan serbuk dilakukan dengan metode atomisasi air, maka perlu dilakukan pengaturan alat agar sesuai dengan rencana variasi yang telah disusun. Pengaturannya sebagai berikut:

1. Pengaturan lubang diameter sprayer dengan memutar gagang nosel. Pengaturan ini dinyatakan dengan sudut pancaran sprayer. Percobaan dilakukan dengan 4 variasi sudut pancaran nosel, yaitu 3° , 5° , 10° dan 15° .
2. Pengaturan tekanan pompa untuk mendapatkan tekanan maksimal, yaitu 3 Mpa
3. Pengaturan sudut nosel.
4. Leveling alat atomisasi air dengan menggunakan Waterpass
5. Pengaturan jatuhnya aliran logam cair di satu titik dengan semprotan air dari keempat nosel



Gambar 2. Spesifikasi ukuran dan Pengaturan alat Atomisasi air



Gambar 3. Konsep diagram proses Atomisasi [1]

Pengklasifikasian ukuran dan penimbangan berat serbuk

Sebelum pengujian lebih lanjut maka terlebih dahulu dilakukan pengeringan serbuk, dilanjutkan ke tahap *screening* atau pengklasifikasian ukuran serbuk menjadi 12 kelas menggunakan *mesh screen*. Serbuk di masing-masing kelas ditimbang beratnya menggunakan timbangan.

Pengujian dan pengumpulan data

Setelah ukuran serbuk terbagi menjadi 12 kelas berdasarkan ukuran mesh, kemudian dilakukan pengujian. Ada 3 macam pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian Struktur Makro

Tujuan pengujian Struktur Makro sebagai berikut:

- a. Mengetahui bentuk butir hasil serbuk (*irregular, spongy*, bulat)
- b. Mengetahui tingkat porositas serbuk
- c. Mengetahui pengaruh sudut pancaran sprayer pada bentuk dan ukuran serbuk
- d. Mengetahui ukuran dan *aspect ratio* dari bentuk serbuk

Metode Pengujian sebagai berikut:

- a. Dari serbuk yang sudah dipisahkan menjadi 12 kelas, dipilih 2 kelas yaitu yang berukuran terkecil (dibawah 53 μm) dan yang berukuran interval 210 – 149 μm . Kemudian kedua kelas serbuk ditaburi pada kaca dan masing-masing diberi resin
- b. Resin kemudian diampas air dan diberi autosol untuk menghaluskan
- c. Kemudian serbuk yang berukuran di bawah 53 μm di foto dengan mikroskop dengan pembesaran 200X dan serbuk yang lebih besar dengan pembesaran 100X

2. Pengujian Struktur Mikro

Tujuan pengujian Struktur Mikro sebagai berikut:

- a. Mengetahui struktur mikro dan komposisi yang terdapat pada serbuk

Metode Pengujian sebagai berikut:

- b. Caranya sama dengan metode pengujian makro, bedanya hanya pembesaran untuk kedua kelas serbuk adalah 1000X
- c. Sampel bahan yang diuji :
 - 1) Ukuran pemb. Mesh < 53 μm , sudut pancaran 15° dan pembesaran 1000X
 - 2) Ukuran pemb. Mesh (149-210) μm , sudut pancaran 15° dan pembesaran 1000X

3. Pengujian Komposisi serbuk

Tujuan pengujian Struktur Makro sebagai berikut:

- a. Mengetahui secara pasti, komposisi unsur-unsur yang terkandung pada raw material dan pada serbuk
- b. Untuk membandingkan komposisi antara raw material dengan hasil atomisasi air, apakah terjadi perubahan kimia pada bahan

4. Pengujian tambahan

Pengujian dengan menggunakan *Jar Mill*, tujuannya untuk mengetahui apakah proses milling mempengaruhi ukuran dan bentuk serbuk

Pengolahan data dan penyajian Informasi

Dari data yang diperoleh dihitung parameter-parameter dengan menggunakan rumus-rumus sesuai dengan dasar teori yang ada untuk mengetahui karakteristik serbuk.

Perhitungan yang dilakukan antara lain:

1. Perhitungan Statistik yang terdiri dari:

- a. Harga rata-rata sampel atau *arithmetic mean size* (D_{am}). Tujuannya untuk mencari ukuran rata-rata serbuk yang paling banyak dihasilkan pada satu percobaan. Rumus untuk menghitung D_{am} sbb:

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

- b. Standard deviasi, rumus matematisnya sbb:

$$\sigma = \left[\left(\frac{1}{N} \right) \sum D_i^2 y_i - D_{am}^2 \right]^{1/2} \tag{2}$$

- c. Simpangan, rumus matematisnya sbb:

$$|\bar{d}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X_m| \tag{3}$$

Dimana: D_i = Titik tengah ukuran interval
 y_i = Berat serbuk dalam kelas interval
 N = Jumlah berat serbuk

- d. Perhitungan presentasi kumulatif. Tujuannya untuk membandingkan prosentase serbuk terbaik secara kumulatif diantara keempat percobaan.
2. Perhitungan empiris ukuran rata-rata partikel (D) tiap percobaan. Untuk mengetahui ukuran rata-rata partikel yang diharapkan dengan variasi sudut pancaran sprayer dengan menggunakan rumus empiris yang ada. Rumus matematisnya sbb:

$$D = \frac{\beta \cdot \ln(P)}{[V \cdot \sin(\alpha)]} \tag{4}$$

Dimana: β = Konstanta efek desain alat atomizer
 P = Tekanan atomisasi (Mpa)
 V = Kecepatan air (m/s)
 α = Sudut antara nosel dengan aliran logam cair vertikal

3. Perhitungan kecepatan air keluar nosel

$$V = Q_f / (0.25 \cdot \pi \cdot D_{\text{nosel}}^2) \tag{5}$$

Dimana: Q_f = Debit air (lt/detik)
 D_{nosel} = Diameter nosel

Analisa hasil pengujian dan Interpretasi

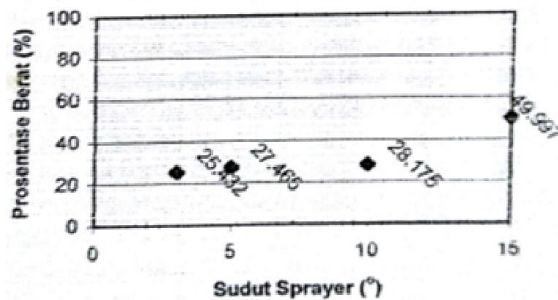
Setelah didapatkan informasi hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan matematis dari data-data pengujian yang dilakukan maka tahap selanjutnya adalah menganalisa dan menginterpretasikan hasil tersebut.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil data perhitungan prosentase berat serbuk untuk variasi sudut pancaran nosel, maka didapat keseluruhan prosentase berat masing-masing percobaan dan dapat dibandingkan hasilnya sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan prosentase berat serbuk

Percobaan	sudut pancaran (°)	Berat serbuk yang tersaring (gr)	Berat serbuk yang memenuhi syarat (gr)	Berat Al cair (gr)	Prosentase (%)	
					Berat serbuk yang tersaring	Berat serbuk yang memenuhi syarat
1	3	43.234	39.440	170	91.22	25.432
2	5	74.156	66.111	270	89.1	27.465
3	10	49.306	42.553	175	86.3	28.175
4	15	149.991	126.435	300	84.3	49.997



Gambar 4. Grafik Perbandingan Prosentase Berat Serbuk Yang Memenuhi Syarat

Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar sudut pancaran nosel sprayer, yang berarti makin kecil diameter nosel dan kecepatan makin tinggi, maka prosentase berat serbuk semakin tinggi. Maka dari penelitian diketahui bahwa sudut pancaran nosel yang paling optimal adalah 15° untuk mendapatkan serbuk yang paling banyak memenuhi syarat yaitu sekitar 49,997%.

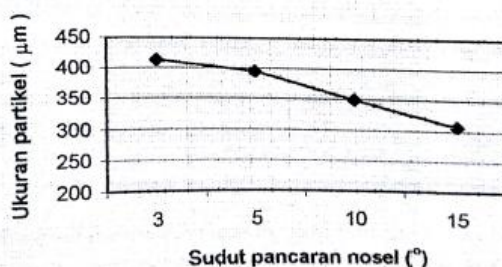
Analisa Pengaruh sudut pancaran terhadap Distribusi ukuran dan berat

Dari perhitungan ukuran sampel serbuk rata-rata (D_{am}), Standard deviasi dan simpangan maka didapat hasil sebagai berikut:

- Sudut Pancaran = 3° , $D_{am} = 375,74 \pm 15,89 \mu m$
- Sudut Pancaran = 5° , $D_{am} = 408,89 \pm 42,47 \mu m$
- Sudut Pancaran = 10° , $D_{am} = 469,16 \pm 69,99 \mu m$
- Sudut Pancaran = 15° , $D_{am} = 460,77 \pm 23,83 \mu m$

Sedangkan untuk perhitungan secara teoritis diperoleh hasil sebagai berikut:

- Sudut Pancaran = 3° , $D = 413,269 \mu m$
- Sudut Pancaran = 5° , $D = 394,487 \mu m$
- Sudut Pancaran = 10° , $D = 349,441 \mu m$
- Sudut Pancaran = 15° , $D = 307,126 \mu m$



Gambar 5. Grafik Pengaruh Sudut Pancaran Nosel Terhadap Diameter Rata-rata

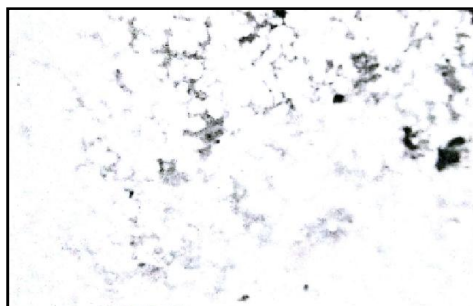
Untuk perhitungan teoritis dapat ditarik kesimpulan bahwa makin besar sudut pancaran sprayer maka hasil ukuran rata-rata butir serbuk yang diharapkan akan semakin kecil. Namun tidak demikian halnya dengan hasil sebenarnya dalam penelitian ini, bahwa sudut pancaran tidak berpengaruh secara signifikan terhadap distribusi berat dan ukuran partikel (real). Hal ini disebabkan karena pengaruh – pengaruh antara lain:

Perbandingan antara debit logam Al cair dengan air yang tidak sama pada setiap percobaan, disebabkan karena aliran deit alumunim cair yang berbeda-beda, bisa disebabkan karena faktor-faktor di bawah ini:

1. Logam cair dituang pada corong dengan temperature yang berbeda-beda, sehingga pada saat temperature tidak cukup tinggi, ada logam cair yang terhambat pada corong da nada kemungkinan logam cair yang terlalu cepat memadat sebelum teratomisasi. Temperatur logam cair sangat signifikan pengaruhnya terhadap debit cairan logam, karena akan mempengaruhi viskositas. Dengan temperature tinggi, berarti viskositas yang rendah akan menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih baik.
2. Waktu penuangan dari tungku ke corong berbeda-beda, sehingga mempengaruhi pendinginan logam cair.

Untuk itu faktor yang penting untuk menjaga aliran debit logam cair adalah dengan menjaga agar temperature logam cáir konstan pada suhu yang relatif tinggi (yaitu pada $900^\circ - 1100^\circ C$) dan menyamakan waktu penuangan.

Analisa Komposisi bahan



Gambar 15. Foto Struktur Mikro $<53\mu\text{m}$, sudut pancaran $=15^\circ$

Dari hasil pengamatan struktur mikro raw material pada mikroskop yang terlihat jelas pada bahan piston adalah komposisi Aluminium dan Silikon. Pada struktur mikro untuk serbuk untuk pembukaan mesh $< 53 \mu\text{m}$, kadar silikon masih ada tapi tidak terlihat jelas, karena terlalu kecil dan bahan serbuk yang telah diresin tidak di etsa.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa saat atomisasi ternyata Si yang terdapat pada panduan aluminium tidak hilang dan ikut terpecah menjadi butiran-butiran yang lebih kecil. Kadar Si menjadi lebih kecil seiring dengan makin kecilnya ukuran logam serbuk Al.

Dari uji komposisi diketahui terjadi perubahan komposisi yang relatif kecil antara bahan sebelum dan sesudah atomisasi pada satu titik. Dari hasil pengujian dapat dibandingkan bahwa kadar Al menjadi lebih kecil dan kadar Si meningkat dari keadaan sebelum diatomisasi. Hal ini akibat proses atomisasi yang menyebabkan aluminium teroksidasi oleh O_2 membentuk alumina (Al_2O_3), sehingga prosentase Al akan turun dan kadar Si nya akan naik.

SIMPULAN

Dari eksperimen dan pengujian yang dilakukan maka penulis dapat membuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi sudut pancaran nosel berpengaruh pada prosentase hasil serbuk. Dari percobaan didapatkan hasil sebagai berikut: Semakin besar sudut pancaran nosel maka prosentase berat serbuk yang memenuhi syarat semakin besar. Dari 4 variasi sudut yang dilakukan, sudut pancaran nosel yang paling optimal yaitu 15° yang menghasilkan 49,997% berat serbuk yang memenuhi syarat dibandingkan berat Al cair. Dengan kata lain semakin kecil diameter, semakin tinggi kecepatan atau tekanan pancaran air, maka semakin sedikit sisa logam yang terbuang.
2. Dari perhitungan empiris dengan menggunakan rumus yang ada menunjukkan bahwa semakin besar sudut pancaran nosel (Semakin besar tekanan air, semakin kecil diameter bukaan nosel) maka ukuran serbuk rata-rata yang dihasilkan akan semakin kecil [7].
Namun dalam percobaan ini ada beberapa kekurangan yang mempengaruhi hasil akhir, diantaranya adalah, Temperatur penuangan logam cair yang sulit untuk dibuat sama pada suhu tinggi yang mengakibatkan:
 - a. Proses pemadatan (*solidification*) partikel logam cair pada saat atomisasi berbeda-beda, sehingga ada yang sempurna dan ada yang terlalu cepat memadat
 - b. Perbandingan antara debit logam cair dengan air berbeda, dikarenakan untuk temperatur yang rendah maka kekentalan (viskositas) cairan tinggi, sehingga aliran logam cair terhambat pada diameter corong. Sebaliknya untuk temperatur yang tinggi cairan logam cukup encer mengalir ke bawah melewati corong.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penjagaan temperatur tinggi logam cair Al saat dituang sangat penting untuk menghasilkan butiran serbuk yang kecil. Di sini peran heater cukup membantu agar temperatur konstan di temperatur tinggi.

Selain itu karena penuangan logam cair masih dilakukan dengan manual, maka waktu penuangan dari tungku ke corong juga berbeda-beda sehingga mempengaruhi pendinginan logam cair.

Faktor penting untuk menjaga debit logam cair sama adalah dengan menjaga temperatur logam cair konstan pada suhu 900^o-1100^oC dan menyamakan waktu penuangan.

Level temperature yang tinggi, debit aliran logam cair dan tekanan air berpengaruh langsung terhadap ukuran rata-rata partikel serbuk [5].

3. Porositas terjadi pada serbuk disetiap ukuran pembukaan mesh, dalam hal ini ukuran 53 μm maupun (149 – 201) μm namun lebih banyak terjadi pada butiran yang lebih besar, untuk ukuran yang lebih kecil *solidification* terjadi lebih sempurna.
4. Pengamatan struktur mikro pada *raw material* membuktikan bahwa terdapat kadar Si pada paduan Aluminium dan pada pengamatan serbuk hasil atomisasi air membuktikan juga bahwa kadar Si pada paduan tidak menghilang tapi ikut terpecah-pecah menjad bagian yang lebih kecil, sesuai dengan makin kecilnya serbuk
5. Pada percobaan yang dilakukan, karakteristik serbuk terbaik diperoleh dengan sudut pancaran nosel 15^o. Ini dibuktikan dengan hasil prosentase berat total serbuk yang memenuhi syarat paling tinggi, yaitu sekitar 49,997% dan juga aspek rasionya paling tinggi.
6. Dari hasil serbuk yang diperoleh masih terdapat sebagian kecil serbuk dengan berat kurang dari 1 gram. Serbuk tersebut berukuran sangat kecil dan lolos dari kain penyaring. Dari beberapa yang berhasil ditampung maka dapat diamati bahwa struktur makro yang lolos dari kain tersebut rata-rata berbentuk serbuk berukuran pipih atau lonjong dengan aspek rasio paling kecil sekitar 0,428 dan ukuran rata-rata sekitar 20 μm .
7. Kemungkinan kurang akuratnya data penelitian ini dapat terjadi disebabkan antara lain oleh:
 - a. Adanya kehilangan serbuk-serbuk yang berukuran sangat kecil yang tidak tertampung karena lolos dari kain penyaring
 - b. *Design* dasar tabung atomisasi yang kurang sempurna, sehingga beberapa serbuk terhambat di dalam dan sulit untuk membersihkannya. Bagian atas juga kurang tertutup sempurna sehingga ada kemungkinan keluarnya butiran-butiran kecil serbuk logam melalui celah tersebut.
 - c. Dari beberapa percobaan yang dilakukan, logam cair tidak mencapai temperatur yang cukup tinggi sehingga logam cair tidak maksimal jatuh melalui corong, sebagian ada yang membeku di corong dan tidak bisa diperkirakan beratnya. Hal ini bisa mengurangi prosentase berat serbuk dan mempengaruhi ukuran butir serbuk
 - d. Kesalahan kalibrasi alat pengukuran
 - e. Kesalahan dalam pengukuran dan pengamatan
 - f. Kesalahan pembacaan dan perhitungan skala
 - g. Kesalahan perhitungan data

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ankit Bairwa, Ashok Kumar Reddy, Gurmeet Singh, Vijay Kumar Sharma, 2018, Granulation And Atomization Process For Production Of Metal Granules And Powders, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, Volume- 6, Issue-4, Apr.-2018, <http://iraj.in>
- [2] German, R.M.,1994, *Powder Metallurgy Science*, Second Edition, Metal Powder Industries Federation, USA
- [3] G.Thangavel, V.R.Vellingiri, 2016, Copper Alloy Powder Making By Water Atomisation, *International Journal of Advanced Science and Engineering Research*, Volume: 1, Issue: 1, www.ijaser.in
- [4] Suchart YENWISET and Tawichart YENWISET, 2011, Design and Construction of Water Atomizer for Making Metal Powder, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol.21 No.1 pp.75-81
- [5] Surdia, T.,Prof.Ir, 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT Pradnya Paramita, cetakan kedua, Jakarta
- [6] T. lešer, I. anžel, A. goršek, 2015, The Use Of Water Atomisation For The Production Of Frits, *Original Scientific paper*, METABK 54(3) 485-488 (2015)
- [7] Van Vlack, L.H., 1994, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi kelima, diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Penerbit Erlangga Jakarta