

Rancang Bangun Alat Dan Uji Coba Pembuatan Serbuk Dengan Cara Proses Atomisasi Gas Dengan Menggunakan *Close-Couple*

Ressy Noor Rafiq^{1*}, Besse Titing Karmiaty², Akbar Naro Parawangsa³

¹Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknologi Manufaktur Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung.

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Manufaktur Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung.

³Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin Politeknik Bosowa, Makassar.

*Corresponding Author

E-mail Address: ressy.noor@lecture.unjani.ac.id

ABSTRAK

Proses pembuatan serbuk dapat dilakukan dengan cara kimiawi dan mekanik. Untuk atomisasi ada beberapa cara yaitu atomisasi gas dan atomisasi air. Atomisasi gas adalah suatu metode pembuatan serbuk. Atomisasi gas banyak digunakan dalam industri pembuatan serbuk. Untuk proses atomisasi gas memiliki keunggulan diantaranya mendapatkan hasil yang *spherical* atau bulat dengan ukuran mencapai 10 μm . [11]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat alat pembuat serbuk dengan metode atomisasi gas dengan bentuk yang kompak atau ringkas dalam skala laboratorium. Karakterisasi yang digunakan adalah *Sieving Test*, *SEM*, *XRD* dan *SAA (Surface Analyzer Area)*. Dalam penelitian ini digunakan komponen *nozzle close couple* dengan *orifice nozzle* 0.1 cm dan *orifice tip* atau logam cair 0.3 cm, bahan baku Aluminium murni dan SnAgCu, dengan *superheat* Aluminium 200°C dan SnAgCu 400°C dengan tekanan 20 bar. Untuk aplikasi dipasaran. Dimana dalam ukuran serbuk Aluminium mencapai 49,5 μm sedangkan SnAgCu mendapatkan ukuran 0.15 μm namun dalam hasil penelitian ini ukuran masuk kedalam kriteria tetapi persentasi atau hasil nya masih sangat kecil. Disebabkan oleh tekanan yang tidak konstan.

Kata Kunci: Metalurgi Serbuk, *Gas Atomization*, *Nozzle Close Couple*, Aluminium, SnAgCu.

PENDAHULUAN

Sebuah data dengan judul “*The Powder Metalurgi Industry Worldwide 2007-2012*” bahwa serbuk logam digunakan pada tahun 1900 pada industri pencahayaan. Produk serbuk yang digunakan pada era modern ini yaitu *gear box* mobil, *metal injection molding (MIM)* dan bantalan *self-lubricating*. Perkiraan produksi serbuk logam adalah sekitar 1 juta ton/tahun diseluruh dunia. Penjualan sebuah industri metalurgi serbuk atau *powder metallurgy* mencapai £19,5 miliar pada 2012 di seluruh dunia. Pada penjualan tahun 2012 bahwa perkembangan industri metalurgi serbuk (*PM*) harus membutuhkan sebuah kemurnian logam yang tinggi.[1]

Metalurgi serbuk merupakan suatu seni produksi benda dari serbuk logam dengan atau tanpa penambahan konstituen non-logam. Serbuk yang sudah diproduksi dilakukan tahapan penekanan ke bentuk yang diinginkan, dan dapat dilakukan secara bersamaan atau

sesudahnya dipanaskan untuk menghasilkan produk yang solid.[2]

Salah satu proses yang ekonomis dalam sebuah komponen dengan kepresisian yang baik adalah dengan metalurgi serbuk, di negara Indonesia metalurgi serbuk masih sangat awam baik dari ketersediaan teknologi maupun dari segi ketersediaan bahan baku serbuk logam. Perkembangan sebuah teknologi yang semakin maju setiap hari nya menimbulkan keharusan atau tuntutan baru dalam sebuah kehidupan, salah satunya yaitu industri komponen mesin yang menginginkan suatu proses yang lebih ekonomis namun tetap dengan hasil yang terbaik.[3]

. Faktor kesulitan untuk mencari bahan baku serbuk dikarenakan belum menguasai dengan baik ilmu metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) serta teknolog yang tidak mendukung sehingga pembuatan serbuk sangatlah sulit dan mengakibatkan adanya ketergantungan terhadap pasokan bahan baku dari luar negeri. Sehingga sebuah tantangan baru

bagi industri *powder metallurgy*. Sehingga tujuan penelitian ini untuk membuat alat serbuk. Proses atomisasi merupakan metode yang komersial atau yang terkenal dengan produksi serbuk logam dengan kehalusan yang cukup halus.[3]

Pembuatan serbuk dengan beberapa proses yaitu *Mechanical Fabrication Techniques*, *Electrolytic Fabrication Techniques*, *Chemical Fabrication Techniques*, *Atomization Techniques*. [4] Dalam proses pembuatan serbuk di pasaran banyak menggunakan *mechanical fabrication* dan *atomization techniques*. Hasil serbuk yang didapatkan tergantung dari penggunaan. Dalam penelitian ini digunakan *atomization techniques* guna untuk mendapatkan hasil berbentuk *spherical* atau bulat. Karna hasil *spherical* dalam produksi masal banyak dihasilkan dari metode *atomization techniques*.

Ada 3 cara metode atomisasi yaitu atomisasi air, gas dan *centrifugal*. Setiap metode tersebut berbeda dalam desain rancangan maupun dari segi hasil serbuk. Dari pembuatan serbuk dengan ketiga metode diatas dipilih metode atomisasi gas dikarenakan atomisasi gas mendapatkan hasil serbuk dengan bentuk yang *spherical* atau bulat. Atomisasi gas dibagi menjadi 2 yaitu jatuh bebas atau *free fall* dan *close couple*. *Free fall* merupakan proses logam cair yang jatuh dengan diputar melalui pemecahan udara lewat nozzle dan membentur dinding sehingga membentuk serbuk logam. *Close couple* merupakan proses logam cair yang jatuh dengan tidak membentur dinding sehingga serbuk logam berbentuk *spherical* atau bulat. [5]

Penelitian ini menggunakan metode atomisasi gas *close couple*. Metode atomisasi gas *close couple* telah banyak digunakan pembuatan serbuk dilapangan maupun dalam skala laboratorium. R.Unal (2016) dengan mengimprove nosel yang digunakan dengan tekanan 0,9 - 3,1 Mpa mendapatkan ukuran serbuk rata-rata 55,4mm[6], Xing-gang Li, Qiang Zhu, Shi Shu, Jian-zhong Fan, dan Shao-ming Zhang (2019) dengan memperkecil diameter 1, 2, 3, dan 4mm bagian dalam nosel menggunakan tekanan 2 – 3Mpa menghasilkan serbuk rata – rata 38µm hingga 53µm.[7]

Metode atomisasi gas dengan menggunakan *close couple* pertama kali diamati oleh Rayleigh yaitu mekanisme perluasan. Kuehn (1925), Weber & Dejuhansz et al (1931), Ranz (1956), Tennekes & Lumley (1972), Hinze (1975), dan Schlichting (1979) yaitu perilaku turbulen pada pemisahan logam cair. Meister &

Koowalewski (1992) yaitu mekanisme perpisahan logam cair yang dimodifikasi. Fargo & Chigier (1992) yaitu mengungkapkan kondisi aliran.[7]

Proses atomisasi gas menggunakan *close couple* telah banyak digunakan didalam industri *powder metallurgy*. Namun masih sangat sedikit produksi serbuk diIndonesia khusus nya, sehingga dilakukan proses pembuatan alat pembuat serbuk untuk mengisi pasar penggunaan serbuk dipasaran Indonesia. Maka dari itu penelitian ini berguna untuk pengembangan apakah alat pembuat serbuk dapat mencapai kriteria yang diinginkan pasar atau tidak. Dengan ada nya pembuatan alat ini diharapkan oleh peneliti hasil serbuk yang didapatkan dapat mencapai kriteria yang diinginkan oleh pasar khusus nya penggunaan serbuk dalam industri.

TINJAUAN PUSTAKA

The Powder Metallurgy (P/M) proses adalah proses manufaktur yang menggabungkan fitur teknologi pembuatan bentuk untuk pemadatan bubuk dengan pengembangan bahan akhir dan sifat desain (fisik dan mekanis) selama proses densifikasi atau konsolidasi berikutnya (misalnya, sintering). Sangat penting untuk mengenali hubungan timbal balik ini pada awal proses desain karena perubahan halus dalam proses manufaktur dapat menyebabkan perubahan signifikan pada properti material.[8]

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa serbuk, kemudian serbuk tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi masa 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. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).[9]

Langkah-langkah dasar pada *powder metallurgy*:

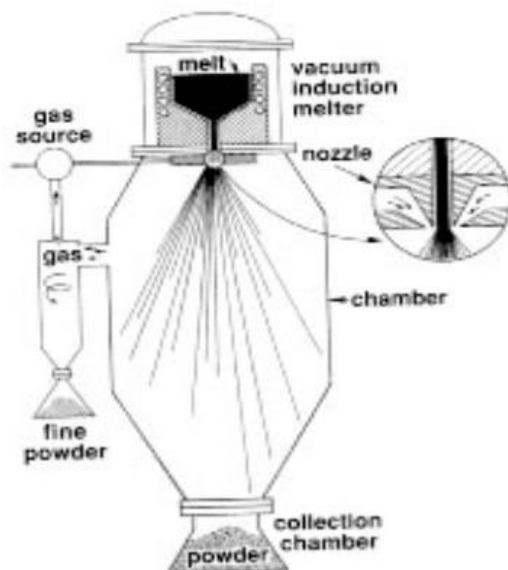
- Pembuatn serbuk.
- *Mixing*.
- *Compaction*.
- *Sintering*.

- *Finishing*. [9]

A. Pembuatan Serbuk dengan Atomisasi Gas

Atomisasi gas adalah proses atomisasi dua fluida (udara atau gas dengan logam cair) melibatkan interaksi lelehan dan atomisasi gas. Selama atomisasi gas, dispersi halus tetesan dihasilkan oleh pelepasan atomisasi gas energi tinggi pada aliran leleh sebagai hasil dari transfer energi kinetik dampak dari atomisasi gas ke lelehan. [10]

Atomisasi gas memiliki nosel yang dengan bentuk yang berbeda-beda antara lain *free fall*, *clouse couple*, dan *ultrasonic*. Perinsip kerja sama dengan menyemprotkan gas kedalam logam cair dan menghasilkan serbuk logam dengan ukuran yang halus. Desain *close couple* merupakan nosel yang memiliki kehalusan butir yang maksimal yaitu sekitar 10 μm dengan memaksimalkan kerapatan saat kontak dengan logam. [8]



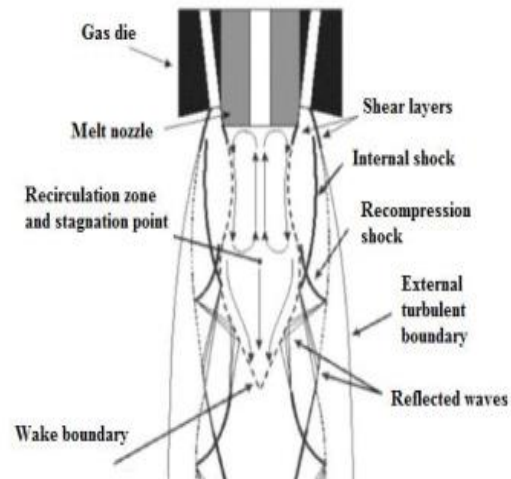
Gambar 1. Skematik Gas Atomisasi [10]

B. Nosel (*Nozzle Close-Couple*)

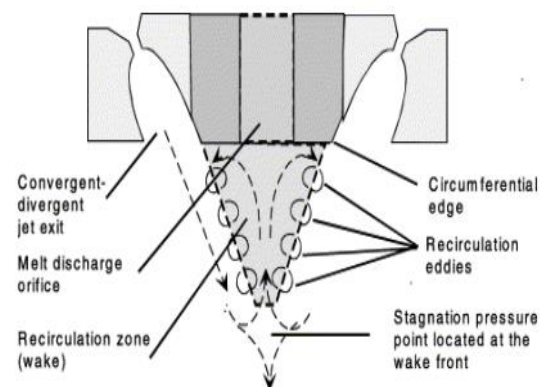
Nosel adalah suatu perangkat yang mengatur suatu fluida gas maupun air. Sehingga dalam suatu nosel menghasilkan suatu tekanan fluida secara maksimum [11]. Nosel dalam atomisasi gas berfungsi sebagai penembakan fluida gas dan fluida logam cair [12].

Suatu investigasi pola aliran yang terjadi pada proses atomisasi terutama dalam bagian nosel. Biasanya proses teknik untuk pengambilan pola aliran menggunakan suatu teknik yang bernama schlieren. Teknik ini menggunakan lensa khusus untuk memvisualisasikan pola aliran gas dengan kecepatan tinggi [12].

Aliran gas memberikan efek kontrol ukuran partikel serbuk dengan ukuran yang lebih halus dengan standar divisiasi rendah [13]. pemecah aliran logam cair pada atomisasi gas bernama zona resirkulasi yaitu kembalinya aliran udara atau gas kedalam area lubang logam cair. Penyebab terjadinya zona resirkulasi yaitu tekanan aspirasi adalah tekanan lubang nosel keluaran logam cair atau keseimbangan massa, waktu, serta rata-rata gas masuk dan keluar [12].



Gambar 2. Tampilan Skematis Bidang Aliran Gas dan Detail Di Sekitar Lelehan Pada Ujung Lubang Nosel Pengirim Logam Cair (Tip) [12]

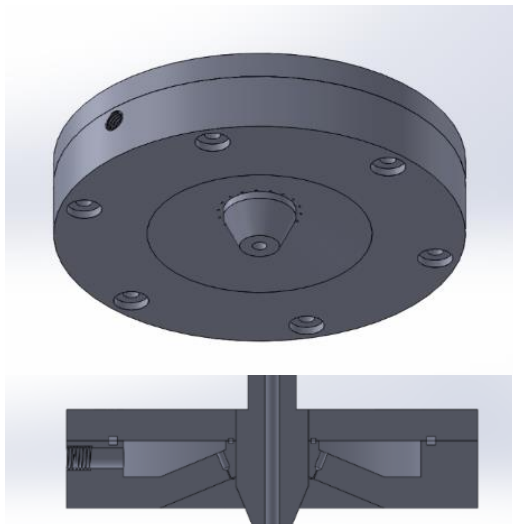


Gambar 3. Zona Resirkulasi Ujung Lubang Nosel Pengirim Logam Cair (Tip). [12]

Banyak parameter yang dapat mempengaruhi zona resirkulasi seperti tekanan gas, desain tip, dan tinggi tip nosel. Sehingga dalam desain nosel harus diperhatikan sehingga memperkecil zona resirkulasi yang dapat menyebabkan serbuk berukuran tidak seragam [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

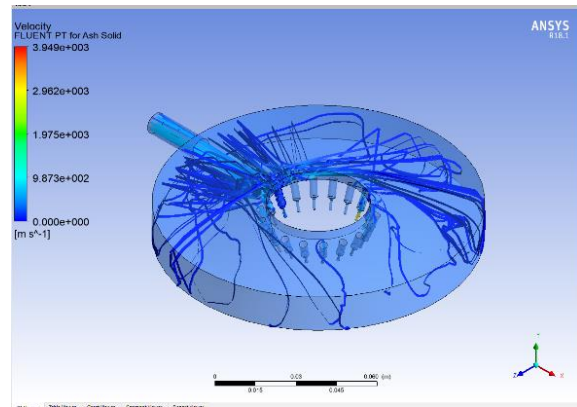
Uji coba *nozzle close couple* digunakan untuk memecah logam cair atau dilakukan untuk pembuatan serbuk dengan metode atomisasi gas. Konsep ini mengacu kepada buku ASM Volume 7 dan thesis, dan penambahan *converging diverging* pada orifice gas sehingga terjadi keluaran yang cukup tinggi dengan lubang *orifice* 18 buah. Serta dengan menggunakan sudut yaitu 45° tujuan dari bentuk sudut 45° agar logam tidak ada efek membalik dan menutupi *orifice* yang akan mengakibatkan penyumbatan.



Gambar 4. Konsep 3D Nozzle-Close Couple Gas Atomisasi.

Dengan ketebalan *nozzle* 3.5 cm sehingga dapat digunakan dengan tekanan yang cukup besar. Diameter *orifice* gas 1mm dikarenakan banyak yang harus diperhitungkan yaitu dari proses fabrikasi *nozzle* yang mengakibatkan memilih 1mm serta *orifice* tip digunakan diameter 3mm karena dikhawatirkan jika semakin besar diameter tip maka hasil serbuk menjadi sangat besar yang menyebabkan serbuk tidak dapat mengikuti kriteria pasar.

Dapat dilihat bahwa aliran akan menabrak dinding dan tidak terjadi laju *nozzle* menjadi *turbulen* sehingga konsep yang diinginkan karena jika suatu aliran fluida bergerak dengan arah ruang tabung atau silinder maka akan terjadi aliran yang *turbulen* sehingga akan mengakibatkan proses didalam atomisasi akan membutuhkan sebuah ruangan *chamber* yang besar.



Gambar 5. Simulasi Kecepatan Dalam Nozzle

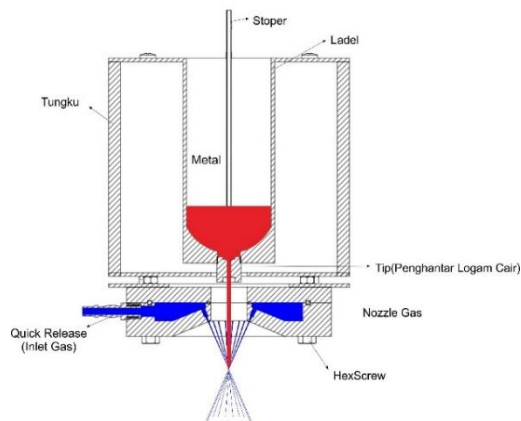


Gambar 6. Skematik Proses Atomisasi

Gambar diatas merupakan skematik proses pembuatan serbuk dengan alat atomisasi yang dibuat dengan *orifice* gas 1 mm dan *orifice* tip 3mm dengan luas volume ladel mencapai 500ml dengan inlet gas 0,85mm dengan sudut 45° . bahan baku akan ditaruh kedalam ladel setelah meleleh atau cair maka bahan baku telah siap diatomisasi. Gas akan memasuki *inlet nozzle* dan akan memasuki ruang *nozzle*, dan akan keluar dengan *orifice* 1 mm. setelah siap maka dilakukan penembakan antara logam cair dengan gas.



Gambar 7. Konsep Gas Atomisasi



Gambar 8. Produk Jadi Gas Atomisasi

A. Spesifikasi Alat

Ukuran : 100cm(p) x 70cm(l) x 162cm(t)
Tekanan Maksimum Nozzle : 216 Bar
Temperatur Maksimum : 1000°C
Kapasitas Ladle : 500 ml
Voltase : 220 Volt
Daya : 1040 Watt

B. Proses Percobaan

Tabel 1. Data Percobaan

Sampel	Alumunium 1100	SnAgCu
<i>Atomising Gas</i>	Udara Kompresor+ Argon	
Tekanan (Bar)	20	
T Leleh (°C)	660	217
T Superheat (°C)	200	400
Berat Awal, W₀ (gram)	255	390
Berat Akhir, W_i (gram)	238	379
Waktu proses	43 detik	30 detik

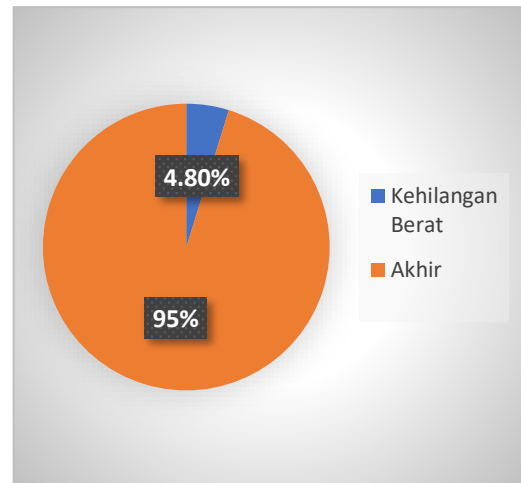


(a)



(b)

**Gambar 9. Hasil Serbuk (a) Alumunium
(b)SnAgCu**



Gambar 10. Persentase Kehilangan

Persentase total akhir yaitu 95% dari bahan awal, ada beberapa penyebab kehilangan yaitu berupa bahan aluminium yang tidak jatuh kebawah atau menempel didinding ladle, atau kehilangan dapat terjadi saat proses penyaringan serbuk sehingga hasil serbuk yang berukuran sangat kecil terbawa oleh air maupun terbawa oleh gas buang, dan terdapat pengotor pada saat peleburan sehingga hasil yang didapat berkurang. Dalam hal ini kehilangan berat cukup dikatakan sedikit karna hanya 4.8%.

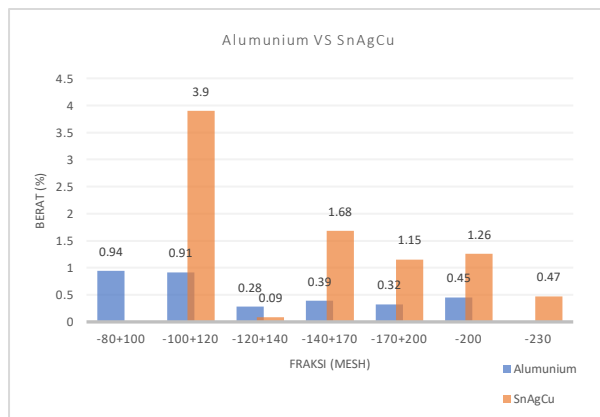
C. Data Pengujian Seaving

Tabel 2. Data Hasil Seaving Alumunium

Sampel 1		
No Lab: 4875/20		
Material: Aluminium		
Temperatur: 660°C Superheat: 200°C		
Fraksi (Mesh)	Berat (%)	Micron (µm)
+ 80	96.6	+177
-80+100	0.94	±149
-100+120	0.91	±125
-120+140	0.28	±105
-140+170	0.39	±88
-170+200	0.32	±74
-200	0.45	-74

Tabel 3. Data Hasil Seaving SnAgCu
Sampel 2

No Lab: 4875/20		
Material: SnAgCu		
Temperatur: 217 °C		
Superheat: 400°C		
Fraksi (mesh)	Berat (%)	Micron (µm)
+100	91,45	+149
-100+120	3,90	±125
-120+140	0,09	±105
-140+170	1,68	±88
-170+200	1,15	±74
-200+230	1,26	±63
-230	0,47	-63



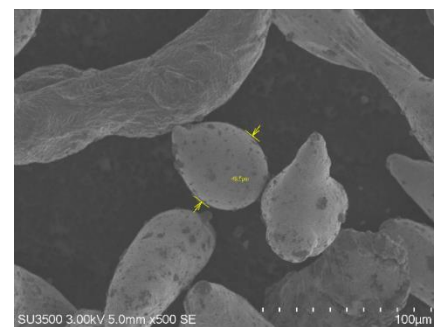
Gambar 11. Grafik Alumunium VS SnAgCu

Didapat data hasil seaving dapat dilihat bahwa SnAgCu memiliki ukuran serbuk lebih dari -230 µm dimana hasil tersebut cukup halus sednagkan aluminium memiliki ukuran serbuk terhalus yaitu -200 µm penyebab terjadi nya serbuk dengan ukuran halus lebih dominan SnAgCu dibandingkan serbuk Alumunium karena banyak farktor yang mempengaruhi dari super heat dengan selisih 200°C dikarenakan pengaruh *superheat* berpengaruh kepada *viscosity* semakin besar sehingga dapat berpengaruh kepada *surface tention* jika *viscosity* semakin besar atau kekentalan sehingga tinggi maka proses pemecahan atau atomisasi semakin mudah sehingga temperature pemanasaan berpengaruh pada proses atomisasi maupun pengecoran.

Untuk persentase jumlah berat serbuk yang cukup banyak di hasil seaving aluminium

yaitu pada ukuran +177 µm dengan persentase sebesar 96% sedangkan SnAgCu 91% dengan ukuran +149 µm yang mengakibatkan tidak efektif nya bentuk serbuk, penyebab terjadi nya ukuran serbuk mencapai lebih dari 177 µm untuk aluminium serta ukuran serbuk bagi SnAgCu +149 µm yaitu disebabkan tekanan yang kurang setabil dikarenakan pada proses pembuatan serbuk menggunakan kompresor untuk menginjeksikan udara kedalam proses atomisasi pengurangan tekanan pada kompresor yang mengakibatkan proses atomisasi melemah atau tekanan berkurang.

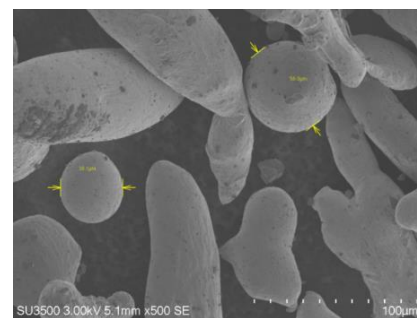
D. Data Hasil Pengujian SEM



(a)



(b)



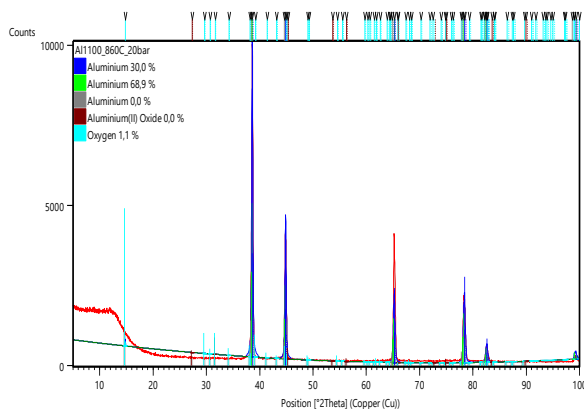
(c)

Gambar 12. (a) SEM Alumunium Perbesaran 100 µm, (b) SEM Alumunium Perbesaran Perbesaran 200 µm, (d) SEM SnAgCu Perbesaran 100 µm

Didapatkan morfologi hasil *SEM* dari serbuk aluminium serta SnAgCu hampir sama dengan bentuk *rounded*, *spherical* serta *droplet*. Bentuk *spherical* dikarenakan tekanan yang konstan saat prose atomisasi dengan sedangkan bentuk *droplet* dikarenakan tekanan berkurang saat proses terbentuk nya *spherical*, bentuk *rounded* dikarenakan tekanan berkurang serta ketinggian logam cair saat jatuh yang mengakibatkan terjadi nya bentuk *rounded*.

Dapat dikatakan bahwa bentuk atau morfologi dari hasil *SEM* berbentuk seperical mencapai 38,1µm untuk SnAgCu sedangkan untuk aluminium paling rendah atau serbuk terkecil mencapai 49,5 µm, termasuk ukuran yang kecil dengan bentuk hampir mendekati bulat sempurna. Bisa dikatakan serbuk cukup halus hanya saja faktor tekanan cukup mempengaruhi proses saat terjadi bentuk yang bulat serta logam jatuh sangat mempengaruhi hasil dengan ketinggian 3 cm maka logam cair mengalami efek gelombang dimana aliran dari logam cari bergelombang yang menyebabkan proses tumbukan atau atomisasi kurang maksimal.

E. Data Hasil Pengujian XRD



Gambar 13. Grafik XRD Alumunium

Hasil pengujian *XRD* hanya digunakan pada aluminium dikarenakan peneliti ingin melihat apakah terjadi oksidasi didalam aluminium atau tidak, sehingga dapat dilihat bahwa aluminium tidak terdapat oksida yang ikut bersama aluminium sehingga tidak terbentuknya alumina yang akan terbentuk menjadi aluminium oksida. Dengan ada nya argon atau gas argon maka aluminium terlindungi dari adanya oksida sehingga aluminium seri 1 atau dikatakan murni dapat terlindungi. Karena gas argon adalah gas inert atau gas mulia dan fungsi argon sehingga menjaga alumunium dari oksidasi.

F. Data Hasil Pengujian SAA

Tabel 4. Data Hasil SAA SnAgCu

Sampel	SnAgCu
Temperatur <i>Superheat</i> (°C)	400
Ukuran Partikel (Å)	1548,6
Ukuran Partikel (µm)	0,1548

Dengan menggunakan temperature 617°C dari *temperature melting* 217°C maka volume yang diserap mencapai 0.1 hingga 72cc/g dengan kemampuan daya serap serbuk mengisi volume maka didapatkan kemampuan serap serbuk dalam proses *SAA* ini mencapai 0,15 µm dapat dikatakan bahwa serbuk memiliki ukuran sangat kecil sehingga mampu untuk mengisi volume hingga 0,15 µm dengan pengaruh super heat dan tekanan yang cukup tinggi bisa menghasilkan sebuk dengan ukuran 0,15 µm.

PENUTUP

Kesimpulan

- Spesifikasi Alat
Ukuran Maksimum : 100cm(p)x70cm(l)x162cm(t)
Temperatur Maksimum : 1000°C
Kapasitas Ladle : 500 ml
Voltase : 220 Volt
Daya : 1040 Watt
Sudut *Nozzle* : 45°
Oriface Gas : 1 mm
Oriface Logam Cair (Tip) : 3 mm
- Komponen yang digunakan atau unti utama yaitu *nozzle*, konstruksi, tungku, dan gas.
- Efisiensi alat atomisasi gas dalam pembuatan Alumunium mencapai 93,33% dam untuk SnAgCu mencapai 97,17% sehingga efisiensi alat mencapai 95,2%.
- Kriteria pasar untuk penggunaan serbuk yaitu 20 - 250 µm khususnya pada bidang penelitian sehingga serbuk yang dihasilkan alat gas atomisasi mencapai 74 µm dengan material Aluminium dan 0,15 µm dengan material SnAgCu dengan material aluminium *temperature superheat* 200°C mencapai 74 µm.

Saran

- Gunakan tekanan yang stabil dengan menggunakan *booster* untuk

menyeimbangkan atau mengkonstantkan tekanan.

2. Atau dengan menggunakan argon dengan tabung dengan 10 tabung dengan kapasitas debit 58 liter/min jika suatu kompresor memiliki 495 liter/min maka hanya dengan menggunakan argon 10 tabung agar mendapatkan setidaknya 580 liter/min.
3. Gunakan pemanas atau *heating element* di area tip. Jika *heating element* tidak ingin digunakan maka dilakukan penggantian material yaitu dengan:
 - Grapit
 - KeramikAtau dengan menggunakan burner yang dipusatkan kedalam area tip agar tidak terjadi *thermalshock*.
4. Untuk bagian pendinginan *chamber* diberikan cairan nitrogen bila mana diperlukan. Atau jika dirasa kurang dingin maka dilakukan penggantian *chamber* sehingga proses pendinginan secara maksimal untuk mendapatkan efisiensi bentuk serbuk.
5. Untuk bagian tungku bila dirasa kurang temperature kerja 1000°C dilakukan penggantian pada *temperature control* hingga 1400°C pada prinsip nya mengikuti kawat, kawat khantal memiliki temperature kerja 1400°C secara berulang.
6. Kurang nya percobaan dalam pembuatan serbuk sehingga kedepan nya atau untuk penelitian selanjutnya dilakukan *experiment* setidaknya 5 sampai 6 kali percobaan.

REFERENSI

- Sheppard.L. 2012. *The powder metallurgy industries worldwide 2007-2012*. Materials technology publication.
- J. E. Newson, M. Met. 1946. *Powder Metallurgy*. Gazi University.
- Yudi Wahyudi. 2001. *Rancang Bangun Alat dan Uji Coba Pembuatan Serbuk Logam Dengan Cara Proses Elektroda Putar (Rotating Elektrode Process/REP)*. Bandung: Universitas Jenderal Achmad Yani.
- German, M. R., 1984. *Powder Metallurgy Science*. Metal Powder industries.
- Anderson. I. E, Filogliola.R.S. and Morton.H. 1991. *Flow mechanisms in high pressure gas atomization* : Materials Science and Engineering.
- R. Unal. 2007. *Improvements To Close Coupled Gas Atomisasi Nozzle For Fine Powder Production*. Dumlupinar Univesity. Turki
- Xing-gang Li, Qiang Zhu, Shi Shu, Jianzhong Fan, dan Shao-ming Zhang. 2019. *Fine spherical powder production during gas atomization of pressurized melts through melt nozzles with a small inner diameter*. Shenzen. China.
- ASM Hand Book Vol.7: *Powder Metallurgy*.
- Muhammad Rif'at. 2017. *Analisa Pengaruh Variasi Waktu Sintering Terhadap Kekerasan Dan Mikrostruktur Pada Intermetallic Bonding Aluminium(Al) Titanium(Ti) Hasil Metalurgi Serbuk*. Malang: Muhammadiyah Malang.
- Subarmono, Heru SB. Rochadjo dan Muhamad Ridwan. 2006. *Pembuatan Serbuk Aluminium Dengan Metode Atomisasi Gas*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Chandrashekhar, Bhargava Satvik Sarma., dan Bhargava Satvik Sarma. 2017. *Cfd Analysis On Conical And Bell Nozzle*. India
- Iver E. Anderson, FAPMI, Joel R. Rieken, Shahed Motaman. 2013. *High-Speed Imaging And Computational Modelling Of Close-Coupled Gas Atomization*. University of Leeds. Inggris.
- Iver E. Anderson, FAPMI, Joel R. Rieken, John Meyer, David Byrd, and Andrew Heidloff. 2011. *Visualization Of Atomization Gas Flow And Melt Break-Up Effects In*. Amerika Serikat.

BIODATA PENULIS

■ Penulis pertama

Nama lengkap : Ressy Noor Rafiq, S.T.,
M.Eng.
Jenis Kelamin : Laki-laki
NID : 412188982
NIDN : 0424118203
ID SINTA : 6082349
Disiplin Ilmu : T. Metalurgi

Pangkat/Gol : IIIb
Jabatan : -
Alamat : Jl.Adibumi 1 no17
Bandung
Telepon/E-mail : 08122237991/
ressy.noor@lecture.unjani.ac.id

▪ **Penulis kedua**

Nama lengkap : Besse Titing Karmiati,
S.T., M.Eng.
Jenis Kelamin : Perempuan
NID : 412184585
NIDN : 0403108502
ID SINTA : 6087545
Disiplin Ilmu : T. Metalurgi
Pangkat/Gol : IIIb
Jabatan : Asisten Ahli
Alamat : Jl.Adibumi 1 no17
Bandung
Telepon/E-mail : 081910221291/
besse.titing@lecture.unjani.ac.id

▪ **Penulis ketiga**

Nama lengkap : Akbar Naro P., S.T., M.T.
Jenis Kelamin : Laki-laki
NIK : 2013004070
NIDN : 0909028701
ID SINTA : 6118913
Disiplin Ilmu : Konversi Energi
Pangkat/Gol : III.c
Jabatan : Lektor
Alamat : Perum. Gelora Baddoka
Indah No.F2/12, Makassar
Telepon/E-mail : 085242114419/
akbar.naro@politeknikbosowa.ac.id