

PENGARUH TEKANAN TERHADAP PEMBUATAN SERBUK DARI LIMBAH ALUMINIUM MELALUI ATOMISASI AIR

Muh. Yusuf, Muhammad Sadat Hamzah, Mustafa, Danny Syamsu Wawolumaja.

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS TADULAKO
Kampus Bumi Tadulako Palu – Sulawesi Tengah

Abstract: Effect of pressure on the manufacture of powder from aluminum waste through the water atomization method. This study aims to determine the effect of pressure on the shape and size of the powder by scanning electron microscope (SEM) with the water atomization method. the material used in this study was aluminum waste obtained from Palu Barat District, Central Sulawesi. In this research aluminum waste was first grouped and reduced, the aluminum melting process in a furnace with a temperature of 750 ° C, then put into a nozzle with a diameter of 5 mm and then liquid aluminum was sprayed at an angle of 60 using a pressure of 15 kg / cm², 20 kg / cm² and 25 kg / cm². This research was conducted at the Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tadulako University.

The test results show that the pressure of the water spray affects the yield of the powder product by the water atomization method. The results of research with pressure variations obtained that a pressure of 15 kg / cm² produces 10.12% powder, a pressure of 20 kg / cm² produces 10.7% powder, a pressure of 25 kg / cm² produces 15.71% powder. the best powder yield is theoretically produced at a pressure of 25 kg / cm². The shape of the powder from the process of water atomization is mostly spherical, irregular, rounded and irregular or rough surface forms.

Keywords: Powder, Pressure, Aluminum waste and Atomization Method

Abstrak: Pengaruh tekanan Terhadap Pembuatan Serbuk dari Limbah Aluminium Melalui Metode Atomisasi Air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap bentuk dan ukuran serbuk dengan scanning electron microscope (SEM) dengan metode atomisasi air. material yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah aluminium yang diperoleh dari Kecamatan Palu Barat Sulawesi Tengah. Dalam penelitian ini limbah aluminium terlebih dahulu dikelompokkan dan diperkecil, proses peleburan aluminium di dalam dalam tungku pembakaran dengan temperatur 750° C, selanjutnya dimasukkan ke dalam nozzle dengan ukuran diameter 5 mm lalu aluminium cair disemprot dengan sudut 60 dengan menggunakan tekanan 15 kg/cm², 20 kg/cm² dan 25 kg/cm². Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tadulako.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan semprotan air mempengaruhi hasil produk serbuk dengan metode atomisasi air. Hasil penelitian dengan variasi tekanan diperoleh bahwa tekanan 15 kg/cm² menghasilkan serbuk 10,12 %, tekanan 20 kg/cm² menghasilkan serbuk 10,7 %, tekanan 25 kg/cm² menghasilkan serbuk 15,71 %. hasil serbuk terbaik secara teoritis dihasilkan pada tekanan 25 kg/cm². Bentuk serbuk hasil proses atomisasi air sebagian besar berbentuk spherical, irregular, rounded dan bentuk permukaan tak beraturan atau kasar.

Kata kunci: Serbuk, Tekanan, Limbah aluminium dan Metode Atomisasi

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, kebutuhan manusia semakin kompleks dan semakin beragam, di mana kebutuhannya tersebut tergantung pada era perkembangan yang senantiasa berkembang demi terciptanya masyarakat adil dan makmur. Didorong oleh kebutuhan manusia yang semakin kompleks tersebut dan keinginan untuk memperoleh kemudahan dalam hidupnya,

maka manusia senantiasa berpikir untuk terus pengembangan teknologi yang telah ada guna menemukan teknologi baru yang bermanfaat bagi kehidupan umat manusia.

Sejalan dengan itu bangsa Indonesia telah mampu menerapkan disiplin ilmu keteknikan dalam berbagai bidang teknologi demi menunjang keberhasilan industrialisasi. Salah satunya dalam bidang pengolahan logam. Logam

merupakan salah satu unsur yang sangat penting bagi kehidupan manusia, hampir semua benda yang dimiliki manusia pada saat ini memiliki unsur logam di dalamnya. Dengan sifat-sifat yang dimilikinya, sejak zaman prasejarah manusia telah berusaha untuk mendapatkan dan memanfaatkan berbagai logam untuk keperluan hidup salah satunya yaitu aluminium.

Aluminium merupakan salah satu jenis material yang banyak ditemui dan didapat disekitar kita seperti kaleng minuman, komponen mobil, motor, elektronik dan, perabotan rumah tangga. Produk yang tidak digunakan dan tidak didaur ulang, baik produk rumah tangga maupun otomotif yang terbuat dari material aluminium disebut dengan limbah aluminium. Ada beberapa produk yang menjadi limbah aluminium khususnya di Kota Palu yaitu kaleng minuman, dan elemen otomotif. Limbah aluminium yang sudah terbuang atau tidak terpakai berpotensi untuk dimanfaatkan kembali, sehingga beberapa pihak mencoba melakukan berbagai percobaan untuk mencari solusi memanfaatkan limbah dari aluminium.

Limbah aluminium belum dapat dimanfaatkan oleh industri di Sulawesi Tengah menjadi bentuk yang mempunyai nilai ekonomi, karena keterbatasan ilmu pengetahuan, peralatan dan kesadaran dalam mengelola limbah aluminium. Limbah aluminium dapat dimanfaatkan kembali dengan proses metalurgi serbuk untuk menghasilkan produk yang mempunyai nilai tinggi.

Limbah aluminium dapat dimanfaatkan dan diolah kembali menjadi serbuk dengan proses metalurgi serbuk dan dapat dijadikan produk yang mempunyai nilai ekonomi, selain untuk diperjual belikan juga dapat digunakan untuk kita sendiri. Sekarang ini, kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton (Noorsy, 2007). Jika ditinjau dari sisi ekonomi serbuk logam (aluminium) yang memiliki harga Rp. 130.000 tiap 100 gram (Tokopedia.com), maka pemanfaatan limbah aluminium perlu diperhatikan dan

perlu meningkatkan pengetahuan di bidang metalurgi serbuk.

Metalurgi serbuk merupakan metode pembuatan benda logam yang menggunakan logam serbuk sebagai bahan dasar. Proses dalam teknologi metalurgi serbuk terdiri dari pembentukan serbuk, *compacting*, *sintering* dan *finishing*. Salah satu metode dalam pembuatan serbuk logam dengan metode atomisasi.

Atomisasi adalah metode yang paling umum digunakan dalam pembuatan serbuk (*powder*) logam, proses atomisasi merupakan perubahan logam cair kedalam bentuk serbuk. Biasanya logam yang digunakan adalah logam murni, tapi logam paduan juga dapat dibuat menjadi serbuk dengan cara atomisasi (Halim, 2014).

Adapun beberapa jenis proses atomisasi yang sering digunakan untuk menghasilkan serbuk adalah atomisasi gas (umumnya digunakan gas inert contohnya argon), atomisasi air, atomisasi sentrifugal. Salah satu kelebihan dan kekurangan menggunakan proses atomisasi ialah hasil serbuk yang dihasilkan lebih berkualitas, dan proses atomisasi ialah hanya dapat digunakan untuk material yang memiliki temperatur lebur yang rendah seperti timah putih, aluminium, seng, dan timah hitam.

Masalah yang dihadapi dalam proses pembuatan serbuk aluminium dengan metode atomisasi air adalah hasil serbuk yang diperoleh belum optimum. tekanan air pada *sprayer pump* dipandang memiliki pengaruh terhadap hasil serbuk dalam proses atomisasi air, sehingga perlu adanya penelitian tentang pengaruh tekanan air terhadap hasil serbuk dengan metode atomisasi air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan terhadap presentase hasil serbuk aluminium dengan proses atomisasi air. Penelitian awal ini untuk mendapatkan tekanan air sehingga menghasilkan jumlah serbuk yang optimum sekaligus mengamati bentuk serbuk dalam proses atomisasi air. Metalurgi serbuk adalah pembuatan benda komersial dari serbuk logam melalui

penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada di bawah titik cair serbuk (Amstead dkk, 1993).

Suwanda (2006) meneliti tentang pengaruh sudut *water sprayer* dan tekanan air dalam *sprayer pump* terhadap hasil serbuk aluminium pada proses atomisasi air. Proses pembuatan serbuk menggunakan metode atomisasi air dengan variabel bebasnya adalah sudut α yang ditentukan 30° , 40° , 50° , dan 60° dan variasi tekanan air, yaitu 25 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , 35 kg/cm^2 dan 40 kg/cm^2 . Bahan yang digunakan dalam proses atomisasi air adalah aluminium. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa sudut α dan tekanan tumbukan air pada *melting* mempengaruhi hasil produksi serbuk dengan metode atomisasi air. Hasil penelitian dengan variasi sudut α di peroleh bahwa sudut $\alpha = 30^\circ$ menghasilkan produk 2,7 %, sudut $\alpha = 40^\circ$ menghasilkan produk 4,05 %, sudut $\alpha = 50^\circ$ menghasilkan produk 3,23 %, sudut $\alpha = 60^\circ$ menghasilkan produk 1,85 %. Penelitian dengan variasi tekanan air pada tekanan 20 kg/cm^2 tidak diperoleh serbuk, 25 kg/cm^2 diperoleh 2,9 %, tekanan 30 kg/cm^2 diperoleh 3,2 %, tekanan 35 kg/cm^2 diperoleh 4,5 % dan tekanan 40 kg/cm^2 diperoleh 2,9 %. Hasil serbuk aluminium optimum secara teoritis dihasilkan pada sudut $\alpha 42,5^\circ$ dan tekanan air $33,17 \text{ kg/cm}^2$. Bentuk serbuk hasil proses atomisasi air sebagian besar adalah *irregular*, *acicular* dan *flake*.

TINJAUAN PUSTAKA

Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah studi yang mempelajari tentang serbuk logam, termasuk fabrikasi, karakterisasi dan proses mengubah serbuk logam menjadi komponen teknik yang berguna (German, 1994). Teknik ini telah dikenal sejak 3000 tahun sebelum masehi oleh orang-orang mesir yang telah menggunakan "*sponge iron*" untuk membuat peralatan.

Definisi metalurgi serbuk ini kemudian berkembang dan tidak terbatas hanya pada material logam saja. Metalurgi

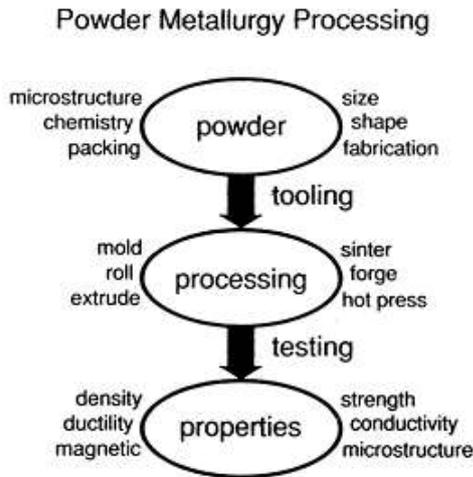
serbuk adalah metode yang terus dikembangkan dari proses manufaktur yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter di dalam furnace (tungku pemanas).

Proses pemanasan yang dilakukan harus berada di bawah titik leleh serbuk material yang digunakan. Setiap proses dalam pembuatan metalurgi serbuk sangat mempengaruhi kualitas akhir produk yang dihasilkan. Material komposit yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk adalah komposit isotropik, yaitu komposit yang mempunyai penguat (filler) dalam klasifikasi partikulet.

Kelebihan dan Kekurangan Proses Metalurgi Serbuk

- Keuntungan proses metalurgi serbuk, antara lain:
 - Mampu melakukan kontrol kualitas dan kuantitas material
 - Mempunyai presisi yang tinggi
 - Selama pemrosesan menggunakan suhu yang rendah
 - Kecepatan produk tinggi
 - Sangat ekonomis karena tidak ada material yang terbuang selama pemrosesan
- Keterbatasan metalurgi serbuk, antara lain:
 - Biaya pembuatan yang mahal dan terkadang serbuk sulit penyimpanannya
 - Dimensi yang sulit tidak memungkinkan, karena selama penekanan serbuk logam tidak mampu mengalir ke ruang cetakan
 - Sulit untuk mendapatkan kepadatan yang merata

Adapun tahapan metalurgi serbuk secara umum, dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tiga tahapan utama dalam metalurgi serbuk (German,1994)

Proses Pembuatan Serbuk

Pembuatan serbuk merupakan salah satu proses utama dalam metode metalurgi serbuk. Serbuk logam banyak memberikan pengaruh pada kualitas produk akhir, bentuk bubuk dan ukuran bubuk menjadi faktor yang sangat penting, akan tetapi tidaklah mudah untuk mengendalikan keadaan-keadaan itu. Secara umum proses pembuatan serbuk dibagi menjadi tiga yaitu :

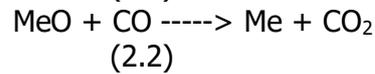
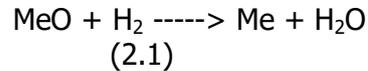
1. Metode Fisik

Pembuatan serbuk dengan metode fisik yang paling banyak digunakan adalah proses atomisasi yang prinsipnya adalah mengalirkan logam cair melalui celah *nozzle*. Kemudian aliran logam cair disemprotkan dengan tekanan udara atau air sehingga membeku menjadi serbuk. Dalam proses ini harus diperhatikan lubang alat, temperatur proses dan tekanan penyemprotan karena hal ini berhubungan erat dengan sifat dari serbuk. Ukuran serbuk hasil atomisasi mempunyai variasi yang luas tergantung dari kondisi proses yang digunakan. Peningkatan tekanan gas atau air akan menghasilkan serbuk yang lebih halus. Pembuatan serbuk dengan metode ini biasanya digunakan untuk logam Cu, Al, Zn, Pb, dan logam lain yang mempunyai temperatur lebur rendah.

2. Metode Kimia

Prinsip dari metode kimia adalah proses dekomposisi kimia suatu senyawa logam.

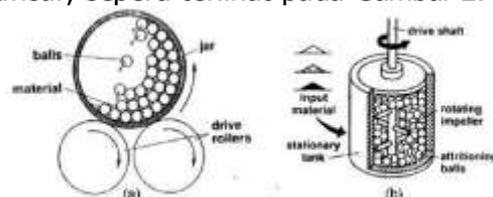
Reaksi reduksi dan oksidasi logam dengan hidrogen atau karbon monoksida sebagai pereduksi merupakan reaksi dekomposisi yang menghasilkan serbuk logam, menurut reaksi :



Reaksi (2.1) biasanya dipakai untuk menghasilkan serbuk Cu dan reaksi (2.2) digunakan untuk menghasilkan serbuk Fe. Beberapa metode kimia yang digunakan dalam pembuatan serbuk adalah metode elektrolisa, reduksi oksidasi. Produksi serbuk dengan metode elektrolisa ini seperti pada proses *refining* dari tembaga, pada katoda menggunakan unsur Pb (timah hitam) sedangkan anodanya menggunakan unsur Cu (tembaga), serbuk tembaga yang diperoleh kemudian dicuci dan disaring.

3. Metode Mekanik

Metode ini biasanya digunakan untuk menghasilkan serbuk logam dari logam yang bersifat rapuh dan kekerasannya sedang, pada proses pembuatan serbuk secara mekanik menggunakan suatu alat yang dinamakan *ball mill* atau *roll mill* untuk menghancurkan material menjadi serbuk. Secara garis besar proses pembuatan serbuk logam dengan cara ini adalah dengan memasukkan logam yang akan dijadikan serbuk kedalam suatu silinder berongga yang berputar dan didalamnya terdapat bola-bola baja. Bola baja yang ada didalam silinder akan bertumbukan dengan material secara terus menerus sehingga logam atau material yang dimasukkan akan hancur, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fabrikasi serbuk (a) *milling* dan (b) *mechanical alloying* (German, 1994)

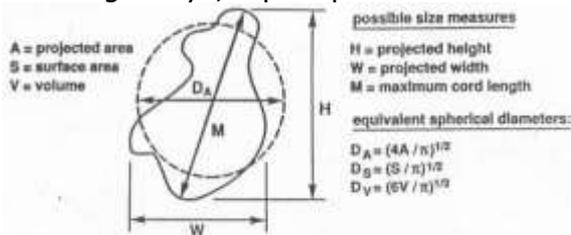
Karakteristik Serbuk

Serbuk adalah partikelnya berukuran lebih dari asap (0,01 – 1 μm) namun lebih kecil dari pasir (0,1- 3 mm). Kebanyakan mirip dengan diameter rambut manusia (25 – 200 μm). *Scanning Elektron Mikroskop* (SEM) adalah satu alat terbaik yang dapat melihat terpisah serbuk logam.

Karakter serbuk yang diperlukan :

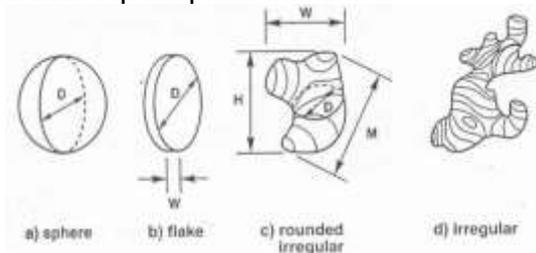
1. Ukuran partikel dan Distribusinya
2. Bentuk Partikel dan Variasinya dengan Ukuran
3. Wilayah Permukaan
4. Gesekan antar Partikel
5. Mampu Alir dan Packing (pemampatan)
6. Struktur Internal Partikel dan
7. Komposisi, Kehomogenan dan Kontaminasi

Untuk partikel dengan bentuk tak beraturan digunakan proyeksi dari sekeliling sisinya, seperti pada Gambar 3



Gambar 3. Diameter Bola Ekuivalen (German, 1984)

Bentuk bulat adalah bentuk yang paling baik karena akan memberikan densitas yang baik pada saat dilakukan kompaksi dan jika bentuk partikel makin rumit akan semakin sulit karena bertambahnya jumlah bagian yang harus diukur seperti pada Gambar 4



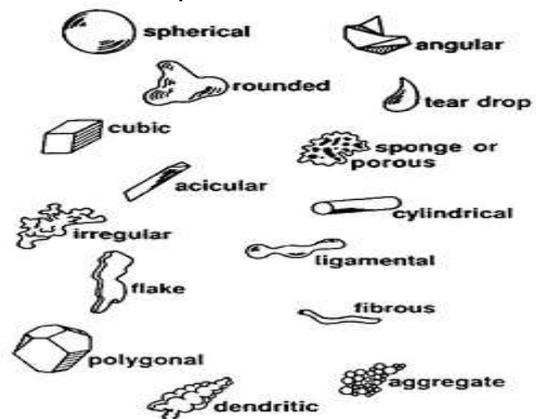
Gambar 4. Possible Size Measure (German, 1984).

Dari gambar di atas dapat dilihat ukuran partikel. Gambar 4.(a) merupakan partikel berbentuk bola, hanya memiliki

satu parameter ukuran yaitu diameter (D). Namun untuk partikel dengan bentuk yang lebih kompleks, ukuran partikel lebih sulit ditentukan secara langsung, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.(b), yaitu partikel berbentuk keping (*flake*), mempunyai dua parameter ukuran, yaitu diameter (D) dan lebar (W). Gambar 4. (c) adalah ukuran partikel berbentuk bulat tak beraturan (*rounded irregular*) dimana ukuran partikel ditentukan dengan tinggi proyeksi (H), panjang maksimum (M), lebar (W), dan diameter (D).

Bentuk Serbuk

Bentuk-bentuk serbuk ada berbagai macam tergantung dari proses pembuatannya. Bentuk bulat adalah bentuk yang paling baik karena akan memberikan densitas yang baik pada saat dilakukan kompaksi. Gambar 4. adalah bentuk-bentuk partikel serbuk.



Gambar 5. Berbagai Macam Bentuk Partikel/Serbuk (German, 1994)

1. Bentuk dan ukuran partikel memegang peranan penting dalam menentukan kualitas ikatan material komposit. Semakin kecil ukuran partikel yang berikatan maka kualitas ikatannya semakin baik, karena semakin luas kontak permukaan antar partikel.
2. Ukuran partikel juga berpengaruh pada distribusi partikel, semakin kecil partikel kemungkinan terdistribusi secara merata lebih besar, sehingga pada proses pencampuran akan diperoleh distribusi yang homogen.

3. Kehomogenan campuran menentukan kualitas ikatan komposit, karena selama proses kompaksi gaya tekan yang diberikan akan terdistribusi secara merata.
4. Ikatan antar partikel dalam material komposit salah satunya disebabkan karena adanya interlocking antar partikel yang dipengaruhi oleh bentuk partikel yang digunakan.

Aluminium Powder Metallurgy

Aluminium Powder Metallurgy (P/M) adalah proses pembuatan komponen (*part*) berbahan dasar aluminium dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Proses ini menghasilkan bahan dengan densitas lebih terkontrol dan komponen yang dihasilkan juga dapat diproses lebih lanjut (*heat treatment*) untuk mengurangi porositas dan meningkatkan kekuatannya. Proses aluminium P/M terdiri dari tiga langkah dasar :

1. Serbuk aluminium dengan kemurnian dan ukuran partikel yang terkontrol dicampurkan (*mixing*) dengan serbuk logam lain, menggunakan perbandingan yang tepat. Serbuk pelumas (*lubricant*) ditambahkan untuk mencegah terjadinya pelengketan aluminium pada *dies*. Pemilihan *lubricant* harus dilakukan secara hati-hati supaya tidak meninggalkan abu yang akan mengganggu proses sintering.
2. Kompaksi dilakukan dengan *dies* yang presisi untuk menghasilkan *green body*. Campuran aluminium umumnya memiliki *compressibility* yang baik sehingga menghasilkan produk dengan densitas yang baik.
3. Sintering pada temperatur tertentu. Sintering pada serbuk aluminium sulit dilakukan karena adanya lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang tidak akan tersinter apabila proses dilakukan pada sintering biasa dengan atmosfer udara.

Aluminium

Aluminium mempunyai densitas yang rendah ($2,7 \text{ gram/cm}^3$) jika dibandingkan dengan baja ($7,9 \text{ gram/cm}^3$), konduktivitas listrik dan termal yang tinggi serta tahan terhadap korosi. Aluminium memiliki struktur kristal FCC dan keuletannya dapat dipertahankan pada temperatur rendah. Keterbatasan utama aluminium adalah temperatur leleh yang rendah yaitu 660°C , hal tersebut membatasi temperatur maksimum penggunaannya (Callister dan Rethwisch, 2009).

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi dan hantaran listrik yang sangat baik. Logam ini dipergunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dapat dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lainnya. Aluminium banyak digunakan sebagai material teknik dikarenakan bobotnya cukup ringan, konduktor listrik, penghantar panas yang baik, dan tidak mudah terjadi korosi (Khairil, 2005). Aluminium mempunyai sifat-sifat fisis dan mekanis dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Aluminium mempunyai sifat fisik dan kimia yang diterbitkan oleh PT.INALIUM (1998), terlihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	99,0 - 99,996
Masa jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g. $^\circ\text{C}$) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur ($^\circ\text{C}$)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian ($20-100^\circ\text{C}$)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Densitas kristal, konstanta kisi	fcc, $a = 4,013 \text{ \AA}$	fcc, $a = 4,04 \text{ \AA}$

(Surdia dan Shinroko, 1992)

Tabel 2. Sifat-sifat mekanis aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		99,0 - 99,996	
	Densil	75% drol dingin	Densil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm^2)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mukur (0,2%) (kg/mm^2)	1,3	11	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

(Surdia dan Shinroko, 1992)

Tabel 3 Sifat-sifat fisik dan kimia dari Aluminium

ITEM	KUALIFIKASI
Nomor Atom	13
Nomor Massa	26.9815
Bentuk Kristal (25° C)	Kubus Pusat Muka
Density	2.699 g/cm ³
Struktur Atom Terluar	3s ² 3p ¹
Titik Leleh (1 Atm)	660.1° C
Titik Didih (1 Atm)	2327° C
Panas Peleburan	94.6 Kal/g
Panas Jenis	0.280 Kal/g° C

(PT.INALIUM 1998)

Kekuatan mekanis aluminium dapat ditingkatkan dengan proses pengerjaan dingin dan pemaduan. Unsur paduan aluminium yaitu tembaga, magnesium, silikon, mangan dan seng. Dalam beberapa paduan, pengerasan pengendapan (precipitation) disebabkan pengendapan dua unsur lain dari aluminium untuk membentuk senyawa inter metalic seperti CuAl₂ (Callister dan Rethwisch, 2009). Pengerasan pengendapan sebagai hasil pemaduan aluminium. Precipitation hardening bisa juga disebut age hardening adalah pengerasan dan penguatan pada paduan logam dengan penyebaran partikel yang sangat kecil dan homogen yang mengendap dari larutan padat jenuh. Age hardening dapat meningkatkan kekuatan dari aluminium sebagai akibat pengembangan ukuran butir partikel dan pengendapan.

Aluminium paduan dapat dikelompokkan menjadi *cast* (cor) dan *wrought* (tempa). Aluminium tempa dibentuk secara mekanis dengan proses pengerolan, ekstrusi dan penempaan. Sedangkan aluminium cor dibentuk dengan menuangkan aluminium cair ke dalam cetakan seperti cetakan pasir dan die casting (Gikunoo, 2004). Paduan aluminium cor digunakan untuk memproduksi suku cadang mesin, komponen dan *body* untuk industri otomotif dan kedirgantaraan. Paduan aluminium tempa dalam bentuk produk

seperti lembaran, batang, pipa dan kawat yang digunakan dalam industri otomotif dan kedirgantaraan.

Kekuatan mekanis aluminium dapat ditingkatkan dengan proses pengerjaan dingin dan pemaduan. Salah satu unsur paduan aluminium yaitu tembaga. Tembaga murni atau yang tidak dipadukan mempunyai sifat sangat lunak dan ulet sehingga sulit untuk dikerjakan dengan mesin. Sifat mekanis dan ketahanan korosi tembaga dapat ditingkatkan dengan pemaduan (Callister dan Rethwisch, 2009).

Teknik Atomisasi

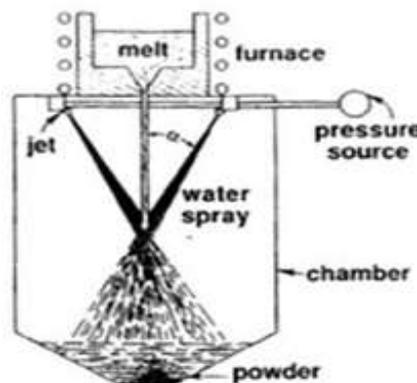
Atomisasi merupakan teknik yang paling banyak digunakan dalam pembuatan serbuk (*powder*). Metode ini dilakukan dengan cara melakukan penyemprotan pada logam cair dengan tekanan tertentu didalam ruang tertutup. Proses atomisasi ini sangat sesuai untuk membuat serbuk dari logam yang bersuhu cair rendah seperti timah putih, aluminium, seng dan timah hitam. Bentuk partikel yang dihasilkan biasanya bulat (*sphere*) dan ukurannya berbedabeda. Pada proses atomisasi, faktor yang paling berpengaruh adalah kecepatan penyemprotan dan kecepatan pendinginan. Kecepatan penyemprotan akan berpengaruh langsung terhadap ukuran serbuk, sedangkan kecepatan pendinginan akan mempengaruhi bentuk dari partikel/srbuk yang dihasilkan.

Adapun beberapa jenis proses atomisasi yang sering digunakan untuk menghasilkan serbuk adalah:

- 1) Atomisasi gas (umumnya digunakan gas inert; contoh : argon)
- 2) Atomisasi air
- 3) Atomisasi sentrifugal

pada kesempatan ini teknik atomisasi yang digunakan ialah Atomisasi air dimana teknik ini yang paling umum untuk memproduksi serbuk dari logam yang mempunyai titik lebur dibawah 1600°C. Air yang bertekanan tinggi disemprotkan secara langsung pada lelehan logam, sehingga memaksa disintegrasi dari lelehan logam tersebut

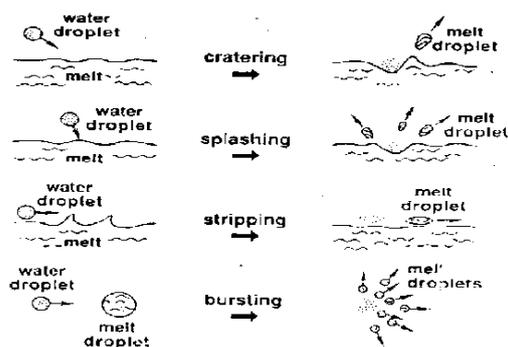
dan terjadi pemadatan dengan cepat. Proses dan mekanisme atomisasi dengan tekanan air ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 6. Atomisasi air (German, 1994)

Proses *atomisasi* air terjadi ketika logam cair dari *nozzle* bertabrakan dengan air yang disemprotkan dari *sprayer*, seperti diperlihatkan pada Gambar. 2.5, adapun proses pembentukan serbuk yang mungkin terjadi dalam proses atomisasi adalah *cratering*, *splashing*, *stripping* dan *bursting*, seperti terlihat pada Gambar 6.

- a. *Cratering* adalah proses terjadinya tumbukan antara logam cair dengan satu butir air dari *sprayer* sehingga terbentuk satu *melt droplet* (butiran logam cair).
- b. *Splashing* adalah proses terjadinya tumbukan antara logam cair dengan satu butir air dari *sprayer* dan terbentuk lebih dari satu *melt droplet* (butiran logam cair).
- c. *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* (butiran logam cair).
- d. *Bursting* adalah proses terjadinya tumbukan butiran air dengan *melt droplet* hasil dari proses *cratering*, *splashing* atau *stripping*.



Gambar 7. Mekanisme Pembentukan Serbuk Atau Partikel Yang Terjadi Dalam Atomisasi Air (German, 1984)

Ukuran dan bentuk partikel tergantung dari temperatur logam, kecepatan rata-rata aliran logam, ukuran *nozzle* dari *tundish* (tempat menampung dan mengalirkan logam cair), dan karakteristik semprotan air. Aliran logam yang pelan namun konstan kemungkinan akan menghasilkan bentuk yang lebih halus, sedangkan ukuran *nozzle tundish* berkaitan erat dengan kecepatan aliran logam cair. Dalam tahap penyelesaian serbuk hasil atomisasi air akan mengalami pengayakan, pemanasan, dan penyimpanan. Pengayakan diperlukan untuk memisahkan serbuk kasar dan serbuk halus atau untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran tertentu. Untuk mengantisipasi terjadinya oksidasi maka dilakukan pemanasan secepat mungkin sehingga kandungan air pada serbuk kecil. Apabila serbuk belum akan dibentuk, lebih baik disimpan dalam temperatur kamar dan tidak terlalu banyak berhubungan dengan udara luar agar kondisinya tetap stabil.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan yaitu :

- a. Langkah pertama yang dilakukan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, limbah aluminium sebelum dilebur akan dikelompokkan dan diperkecil.
- b. Limbah aluminium dilebur pada tungku pembakaran dengan

- temperatur di atas titik lebur limbah aluminium, yaitu 750°C
- c. Hasil peleburan kemudian dialirkan ke dalam corong *nozzle* dengan ukuran diameter *nozzle* yaitu 5 mm.
 - d. Melting yang keluar dari lubang *nozzle* disemprot dengan air yang dibantu oleh mesin *pressure* air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20, 25 kg/cm², dan sudut 60°.
 - e. Setelah selesai proses atomisasi, serbuk dijemur untuk menghilangkan kadar air pada serbuk hasil proses atomisasi.
 - f. Setelah dijemur, kemudian dilakukan proses pengayakan untuk mengetahui presentase serbuk dan ukuran serbuk yang lolos dengan menggunakan ukuran lubang ayakan 53, 63, 75, dan 90 µm.
 - g. Setelah selesai proses pengayakan dilakukan pengamatan alat *scanning electron microscope* (SEM) dan *microscope optic* untuk mengetahui bentuk serbuk. Setelah itu dilakukan uji komposisi dengan alat EDX.

Pengujian Pengayakan

Proses pengayakan dilakukan untuk mengetahui ukuran dan distribusi serbuk, pada proses pengayakan menggunakan diameter lubang ayakan 53, 63, 75 dan 90 µm, waktu lama pengayakan 30 menit untuk total berat serbuk 100 gram tiap-tiap variasi tekanan.

Bentuk Serbuk

Untuk mengetahui bentuk serbuk dapat diamati dengan menggunakan alat *microscope optic* dengan pembesaran 50X, *scanning electron microscope* (SEM) dengan pembesaran 20.000X dan 30.000X saat pengambilan gambar untuk mengetahui bentuk permukaan serbuk dan pengamatan komposisi serbuk dengan alat EDX.

PEMBAHASAN

Di dalam proses pembuatan serbuk limbah aluminium menggunakan metode fisik yaitu proses atomisasi air yang

prinsipnya adalah mengalirkan logam cair melalui celah *nozzle*. Pada peleburan limbah aluminium dengan temperatur 750°C, dialirkan melalui *nozzle* ukuran diameter 5 mm dengan sudut 60°, dan menggunakan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm². Setelah proses atomisasi air dilakukan, proses selanjutnya yaitu proses pengeringan di bawah sinar matahari. Hasil serbuk yang diperoleh dilakukan proses pengayakan menggunakan alat elektrolab/ayakan dengan ukuran lubang 53, 63, 75 dan 90 µm, pengujian bentuk serbuk dengan menggunakan alat uji SEM (*scanning electron microscope*) dan uji photo micro pada *microscope optic*.

Prinsip Kerja Alat Atomisasi Air

Alat Atomisasi air

Alat atomisasi air didesain sedemikian rupa agar dapat menghasilkan serbuk aluminium seperti yang diinginkan, alat atomisasi air dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat Atomisasi air

Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat atomisasi air pada Gambar 8. yaitu sejumlah limbah aluminium dicairkan pada tungku peleburan, bahan yang digunakan yaitu velg motor yang bermaterial aluminium yang dilebur menjadi cair menggunakan tabung gas elpiji sebagai sumber panas dengan temperatur peleburan 750°C.

Setelah aluminium mencair akan dialirkan ke dalam *nozzle* yang berdiameter 5 mm dengan cara dituangkan. Aluminium cair yang masuk dan keluar dari *nozzle* akan terpecah dan membentuk butiran-butiran kecil, setelah itu butiran-butiran kecil dari aluminium cair akan disemprot dengan air yang bertekanan 15, 20 dan 25 kg/cm² dan sudut 60°. Setelah itu akan dilakukan

proses pengeringan untuk menghilangkan kadar air yang tercampur dengan serbuk sebelum dilakukan proses pengujian.

Berdasarkan proses pembuatan dengan metode atomisasi air yang telah dilakukan masih memiliki beberapa kendala atau kerja alat atomisasi air belum maksimal, salah satu menjadi kendala ialah tekanan pada *water sprayer* yang mempengaruhi penyemprotan terhadap aluminium cair. Pada penelitian ini dilakukan beberapa kali percobaan alat atomisasi air sebelum pengambilan hasil serbuk proses atomisasi air. Berdasarkan beberapa percobaan yang dilakukan sehingga peneliti memilih tekanan *water sprayer* 15, 20, dan 25 kg/cm² dikarenakan pada hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan tekanan *water sprayer* tersebut menghasilkan serbuk yang lebih maksimal dibandingkan dengan tekanan *water sprayer* di bawah 15 kg/cm².

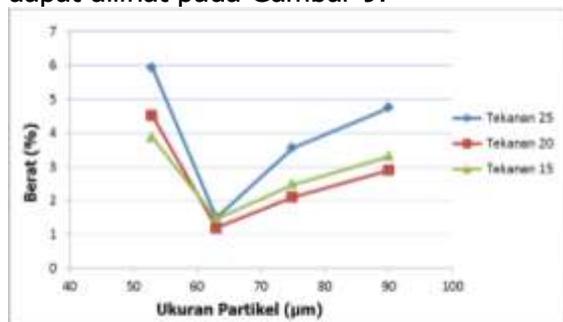
Pengujian Serbuk Hasil Produksi Melalui Proses Ayakan

Ukuran Serbuk

Berdasarkan Hasil uji pengayakan yang dilakukan selama 30 menit dengan berat serbuk 100 gram pada tiap-tiap variasi tekanan *water sprayer*. Dapat diketahui bahwa ukuran partikel yang dihasilkan berdasarkan ukuran diameter lubang ayakan yang digunakan yaitu 53, 63, 75 dan 95 μm .

Distribusi Serbuk

Distribusi serbuk hasil proses atomisasi air dapat diketahui melalui proses penimbangan partikel setelah proses pengayakan. Distribusi serbuk dapat dilihat pada Gambar 9.

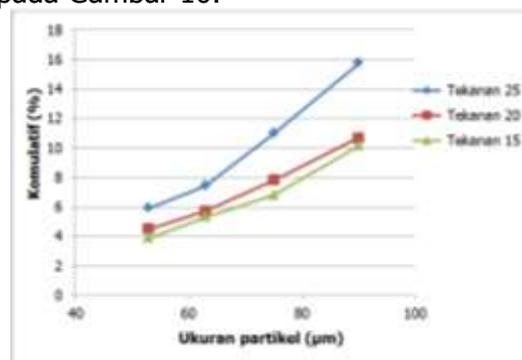


Gambar 9. Grafik Distribusi Serbuk

Berdasarkan Gambar 9. grafik distribusi serbuk aluminium pada ukuran diameter lubang ayakan 53, 63, 75 dan 90 μm menjelaskan bahwa tekanan *water sprayer* yang tertinggi menghasilkan presentase distribusi serbuk terbesar pada ukuran partikel terkecil yaitu dengan tekanan 25 kg/cm² pada ukuran partikel 53 μm = 5,92 %, ukuran partikel 63 μm = 1,5 %, ukuran partikel 75 μm = 3,56 %, ukuran partikel 90 μm = 4,73 %. Distribusi partikel dengan tekanan 20 kg/cm², pada ukuran partikel 53 μm = 4,5 %, ukuran partikel 63 μm = 1,2 %, ukuran partikel 75 μm = 2,1 %, ukuran partikel 90 μm = 2,9 %. Sedangkan tekanan yang terendah menghasilkan presentase distribusi serbuk terkecil pada ukuran partikel terkecil yaitu tekanan 15 kg/cm² pada ukura partikel 53 μm = 3,87 %, ukuran partikel 63 μm = 1,45 %, ukuran partikel 75 μm = 1,5 % dan ukuran partikel 90 μm = 3,3 %.

Kumulatif Serbuk

Berdasarkan hasil perhitungan kumulatif pada setiap ukuran partikel menghasilkan nilai kumulatif serbuk yang berbeda-beda, nilai kumulatif dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Komulatif Serbuk

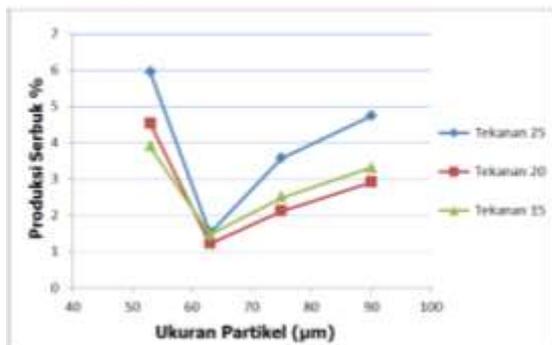
Berdasarkan Gambar 10. grafik kumulatif serbuk aluminium hasil proses atomisasi air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm² menjelaskan bahwa, kumulatif serbuk tertinggi yaitu dengan tekanan 25 kg/cm² pada ukuran partikel 53 μm = 5,92 %, ukuran partikel 63 μm = 7,42 %, ukuran partikel 75 μm = 10,98 % dan ukuran partikel 90 μm = 15,71 %. Kumulatif

serbuk dengan tekanan 20 kg/cm², pada ukuran partikel 53 μm = 4,5 %, ukuran partikel 63 μm = 5,7 %, ukuran partikel 75 μm = 7,8 % dan ukuran partikel 90 μm = 10,7 %. Pada tekan 15 kg/cm² menghasilkan kumulatif terendah yaitu pada ukuran partikel 53 μm = 3,87 %, ukuran partikel 63 μm = 5,32 %, ukuran partikel 75 μm = 6,82 % dan ukuran partikel 90 μm = 10,12 %.

Berdasarkan hasil pengujian ukuran partikel serbuk dengan uji ayakan, ukuran serbuk yang kecil dengan kumulatif serbuk yang lebih besar yaitu pada tekanan 25 kg/cm². Hal ini dikarenakan semakin besar tekanan *water sprayer* yang digunakan maka semakin cepat pula terjadinya tumbukan antara aluminium cair dan air dari *water sprayer*.

Produksi Serbuk

Dari hasil perhitungan nilai produksi serbuk yang dihasilkan pada proses atomisasi air dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Produksi Serbuk

Dapat dilihat pada Gambar 11. grafik produksi serbuk menjelaskan bahwa hasil serbuk melalui atomisasi air dengan tekanan 25 kg/cm² menghasilkan nilai produksi terbesar pada ukuran partikel terkecil dari ketiga variasi tekanan yang digunakan yaitu pada ukuran partikel 53 μm = 5,92 %, ukuran partikel 63 μm = 1,50 %, ukuran partikel 75 μm = 3,56 % dan ukuran partikel 90 μm = 4,73 %. Nilai produksi serbuk dengan tekanan 20 kg/cm² yaitu ukuran partikel 53 μm = 4,50 %, ukuran partikel 63 μm = 1,20 %, ukuran partikel 75 μm = 2,10 % dan ukuran partikel 90 μm = 2,90 %.

Sedangkan dengan variasi tekanan 15 kg/cm² menghasilkan nilai produksi terkecil dari ketiga variasi tekanan yang digunakan yaitu ukuran partikel 53 μm = 3,87 %, ukuran partikel 63 μm = 1,45 %, ukuran partikel 75 μm = 1,50 % dan ukuran partikel 90 μm = 3,30 %.

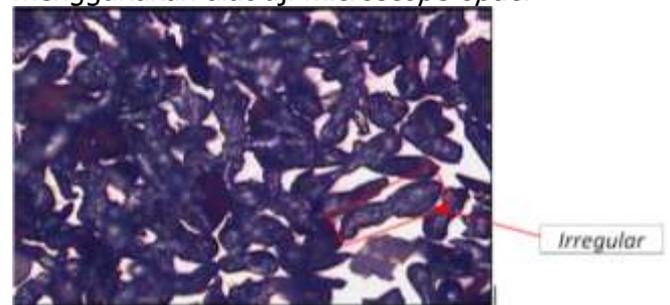
Dari hasil perhitungan nilai produksi, pada metode atomisasi air tekanan *water sprayer* yang baik digunakan ialah tekanan 25 kg/cm², sebab nilai produksi yang dihasilkan lebih besar dari tekanan *water sprayer* 20 dan 15 kg/cm².

Bentuk Serbuk

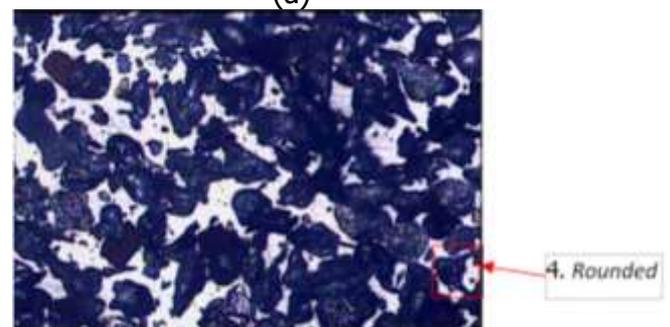
Photo micro pada *microscope optic*

Bentuk serbuk aluminium hasil proses pembuatan serbuk melalui metode atomisasi air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm², sudut 60° dan diameter nozzle 5 mm dapat dilihat pada Gambar 12.

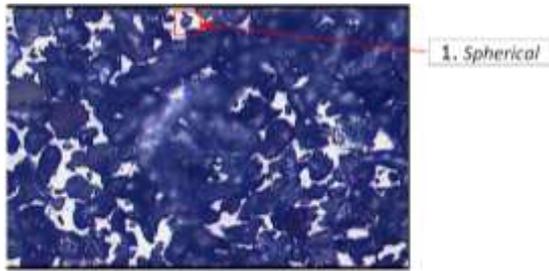
Bentuk serbuk hasil proses atomisasi air pada pengamatan dengan menggunakan alat uji *microscope optic*.



(a)



(b)



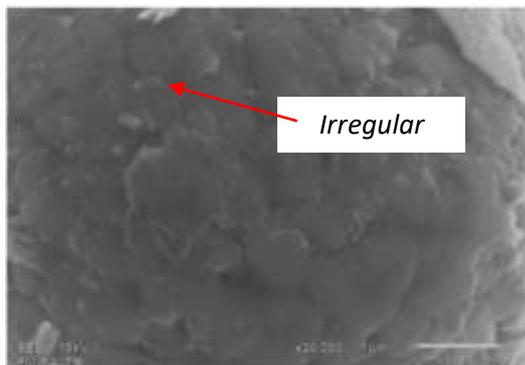
(c)

Gambar 12. Bentuk Serbuk Pada Uji Photo micro dengan alat *microscope optic* pembesaran 50 μm . a) Tekanan 15 kg/cm^2 , b) Tekanan 20 kg/cm^2 , c) Tekanan 25 kg/cm^2 .

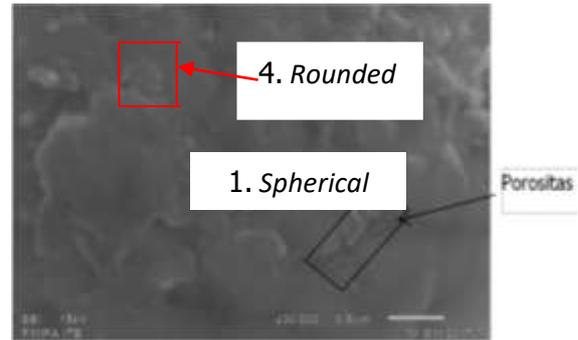
Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan alat *microscope optic* pada Gambar 12. Bentuk serbuk aluminium hasil proses produksi dengan metode atomisasi air dengan menggunakan variasi tekanan 15, 20 dan 25 kg/cm^2 mendapatkan bentuk serbuk yaitu *irregular*, *rounded* dan *spherical*. Namun hasil proses produksi serbuk aluminium pada tekanan 15 kg/cm^2 bentuk serbuk yang lebih dominan ialah *irregular*, hasil proses produksi serbuk aluminium pada tekanan 20 kg/cm^2 bentuk serbuk yang lebih dominan ialah *rounded* dan hasil proses produksi serbuk aluminium pada tekanan 25 kg/cm^2 bentuk serbuk yang lebih dominan ialah *spherical*.

Scanning Elektron Microscope (SEM)

Bentuk serbuk yang dihasilkan pada proses produksi serbuk dengan metode atomisasi air yang telah diuji dengan alat uji *Scanning Elektron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 13.



(a)



(b)

Gambar 13. Bentuk Permukaan Serbuk Hasil Proses Atomisasi Air Dengan Variasi tekanan *water sprayer*, a). Pembesaran 20.000x dan b). Pembesaran 30.000x

Berdasarkan hasil uji *SEM* pada Gambar 12. (a). Bentuk permukaan serbuk hasil proses atomisasi air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm^2 dengan pembesaran 20.000X pada saat diambil gambar menjelaskan bahwa, bentuk permukaan serbuk berbentuk kasar. Hal ini dikarenakan pengaruh dari media pendingin yang digunakan yaitu air atau pendinginan cepat, selain itu juga dikarenakan bentuk *nozzle* yang digunakan. (b). Bentuk permukaan serbuk hasil proses atomisasi air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm^2 dengan pembesaran 30.000X pada saat diambil gambar menjelaskan bahwa adanya porositas pada serbuk, hal ini dikarenakan adanya butiran serbuk yang dihasilkan berukuran besar dan kasar sehingga dapat menyebabkan porositas pada serbuk.

Hasil uji SEM serbuk aluminium hasil proses atomisasi air yang dihasilkan berbanding lurus dengan hasil penelitian yang menjelaskan bahwa ukuran dan bentuk logam cair yang keluar dari lubang alir sangat dipengaruhi oleh bentuk ujung dan ukuran diameter lubang alir atau *nozzle* yang digunakan, semakin kecil ukuran diameter *nozzle* maka logam cair yang keluar dari dalam *nozzle* akan semakin kecil sehingga serbuk yang dihasilkan semakin banyak dan bentuknya bulat halus (Mullis. dkk,2011).

Bentuk permukaan serbuk berkaitan erat dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar

permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kotak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar (Murjito, 2010).

Selain itu ada beberapa hasil penelitian menjelaskan bahwa bentuk partikel yang dihasilkan dengan proses atomisasi air ini berbentuk *spherical*, *ligament*, *rounded* dan bentuk permukaan yang kasar hal ini karena pada metode atomisasi air terjadi proses pendinginan cepat, sehingga karena terjadi pendinginan yang sangat cepat maka bentuk partikel yang dihasilkan tidak teratur atau kasar (*irregular*), dengan beberapa oksidasi (German, 1994).

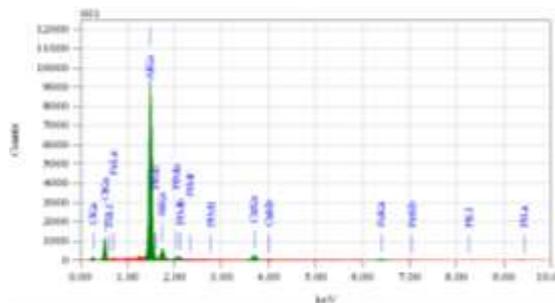
Bentuk, distribusi dan ukuran serbuk sangat berpengaruh pada sifat-sifat serbuk aluminium hasil proses atomisasi air yaitu seperti yang dijelaskan bahwa, bentuk partikel serbuk merupakan faktor penting terhadap sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan serbuk, mampu alir serbuk, dan mampu tekan serbuk. Ukuran partikel akan berpengaruh terhadap porositas dan densitas serta sifat mekanisnya. Ukuran partikel juga menentukan stabilitas dimensi, semakin halus ukuran partikel, maka akan semakin besar berat jenis bahan tersebut.

Distribusi partikel ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan saling isi partikel untuk mendapatkan volume terpadat (Ikhsan, 2016).

Oleh karena itu perlu diperhatikan hal-hal yang mempengaruhi ukuran, bentuk dan distribusi serbuk pada saat proses produksi untuk menghasilkan serbuk yang dapat dikatakan bisa untuk diperbanyak dan dapat diaplikasikan untuk dijadikan produk-produk.

Komposisi Serbuk Hasil Proses Atomisasi Air

Komposisi serbuk aluminium hasil proses atomisasi air sesuai dengan limbah aluminium yang digunakan sebagai bahan pembuatan serbuk dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Uji Komposisi Serbuk Aluminium Dengan EDX

EDX Method Standards Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2924

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Cation	Z
C	K	0.277	15.61	1.27	26.85		4.0019
O	K	0.525	26.50	0.59	34.22		16.1472
Al	K	1.496	44.24	0.22	33.97		63.7779
Si	K	1.739	3.13	0.36	2.30		3.43196
Ca	K	3.690	2.75	0.52	1.42		4.2512
Fe	K	6.398	2.02	1.38	0.75		2.9192
Pt	M	2.048	5.75	1.27	0.61		5.4032
Total		100.00		100.00			

Berdasarkan hasil pengujian komposisi serbuk aluminium pada Gambar 14. dapat diketahui bahwa, pada serbuk aluminium terdapat beberapa unsur, ditinjau dari 0 % komposisi serbuk aluminium yaitu Al yang merupakan unsur terbesar pada serbuk aluminium dengan 44,24 %, O = 26,5 %, C = 15,61 %, PT = 5,75 %, Si = 2,75 % sedangkan dengan unsur massa paling sedikit yaitu Ca dengan nilai massa hanya 2,02 %. Total persentase dengan komposisi serbuk aluminium yaitu 100 %.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang ukuran serta bentuk serbuk aluminium pada proses pembuatan serbuk melalui metode atomisasi air dengan variasi tekanan *water sprayer* 15, 20 dan 25 kg/cm².

1. Ukuran partikel serbuk yang dihasilkan ialah 53, 63, 75 dan 90 µm dengan produksi serbuk yaitu dari ketiga tekanan *water sprayer* yang digunakan, maka pada ukuran partikel terkecil dengan produksi yang paling besar dengan tekanan *water sprayer* 25 kg/cm². Sedangkan pada ukuran

terkecil dengan produksi paling kecil dengan tekanan *water sprayer* 15 kg/cm².

2. Berdasarkan hasil pengamatan dengan *microscope optic* dan *scanning electron microscope* (SEM) Bentuk serbuk hasil yang diperoleh adalah *spherical, irregular, rounded* dan bentuk permukaan tak beraturan atau kasar. Hal ini dipengaruhi oleh media pendingin, bentuk dan ukuran *Nozzle* yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., dan Begeman, M.L., 1993, *Teknologi Mekanik*, Jilid 1, Edisi Ketujuh, terj. Djaprie S., Erlangga, Jakarta.
- Callister, W.D.Jr., dan Rethwisch, DG., 2009, *Materials Science and Engineering An Introduction*, Eighth Edition, United States of America, John Wiley & Sons. Inc.
- Emmanuel, Gikunoo, 2004. *Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535*.
- German, R.M., 1984, *Powder Metallurgy Science*, second edition, Princeton, New Jersey.
- German, M.R., 1994, " *Powder Metallurgy Science* ", *Second Edition, Metal Powder Industries Federation*, Princeton New Jersey.
- Halim, A.M., 2014, *Karakterisasi Serbuk Hasil Produksi Menggunakan Metode Atomisasi*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Ikhsan, F., 2016, " *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Pada Proses Hot Pressing Terhadap kekerasan Komposit Abu Terbang Batubara/Phenolic* ", Skripsi, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Kalpakjian, S., 1989, *Manufacturing Engineering and Tecnology*, Addison Wesley company, New York.
- Khairil, R, A., 2005, " *The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinous Reinforced Aluminum Metal Matrix* "
- Murjito., 2010, " *Penerapan Teknologi Powder Metalurgy Untuk Pembuatan komponen Mesin Berbasis Pasir Besi Lo Al* ", Naskah penelitian Berorientasi Produk (PBP), Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang.
- Mullis, A.M., McCarthy, I.N. dan Cochrane, R.F., 2011, " *High Speed Imaging Of The Flow During Close-coupled Gas Atomisation: Effect of Melt Delivery Nozzle Geometry* ", Journal of Materials Processing Tecnology. Institute for Materials Research, University of Leeds, Leeds LS2-9JT, UK.
- Noorsy. 2007, *impor aluminium akan melonjak*, sinar Harapan, 5542.
- Rahman, Nur dan Suwanda, Totok. 2006. *Pengaruh Sudut Water Sprayer Dan Tekanan Air Dalam Sprayer Pump Terhadap Hasil Serbuk Alumunium Pada Proses Atomisasi Air*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinkoro. 1992. *Pengatahuan Bahan Teknik (edisi kedua)*, Jakarta: Pradnya paramita.