

PENGARUH SUDUT WATER SPRAYER DAN TEKANAN AIR DALAM SPRAYER PUMP TERHADAP HASIL SERBUK ALUMINIUM PADA PROSES ATOMISASI AIR

Muhammad Budi Nur Rahman & Totok Suwanda

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat Tamantirto Kasihan Bantul Yogyakarta 55183
Telp. 0274-387656

ABSTRAK

Metalurgi serbuk merupakan metode pembuatan benda-benda logam dengan menggunakan serbuk logam sebagai bahan dasar. Proses dalam teknologi metalurgi serbuk terdiri dari pembentukan serbuk, compacting, sintering dan finishing. Salah satu metode dalam pembuatan serbuk logam adalah dengan metode atomisasi air. Pembuatan serbuk dengan metode atomisasi air terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain: sudut α (sudut tumbukan antara melting dengan butir air) dan tekanan air saat tumbukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut α , dan tekanan air terhadap optimalisasi hasil pembuatan serbuk dengan metode atomisasi air dan bentuk serbuk yang diamati dengan foto mikro. 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 diperoleh 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 1,8%. 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, accicular dan flake.

Kata kunci : metalurgi serbuk, atomisasi air, sudut α , tekanan air, irregular, accicular dan flake.

PENDAHULUAN

Salah satu perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi khususnya bidang pengolahan logam dan unsur-unsur paduan adalah metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*). Metalurgi serbuk merupakan bagian dari ilmu tentang metalurgi dengan menggunakan serbuk logam sebagai bahan dasar atau bahan utama untuk membuat benda-benda logam tanpa melalui proses peleburan terlebih dahulu.

Produk yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk banyak dimanfaatkan di industri-industri terutama untuk komponen-komponen penunjang seperti roda gigi, bantalan, dan alat-alat listrik. Adapun sifat - sifat fisik dari produk yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk banyak tergantung dari proses pengerjaannya, misalnya tekanan pemadatan (*compacting*) yang berpengaruh besar terhadap sifat-sifat dan kekerasan dari produk akhir yang dipadukan. Oleh karena itu kualitas produk akhir sangat ditentukan oleh berbagai parameter proses seperti material awal yang digunakan, ukuran partikel serbuk, komposisi prosentase serbuk, tekanan kompaksi, suhu *sintering* maupun waktu *sintering*.

Penelitian tentang metalurgi serbuk telah banyak dilakukan, tetapi kebanyakan mengarah pada proses produksi metalurgi serbuk dengan variabel kompaksi, komposisi serbuk dan *sintering*. Masih sedikit penelitian tentang proses pembuatan serbuk logam.

Masalah yang dihadapi dalam proses pembuatan serbuk aluminium dengan metode atomisasi air adalah hasil serbuk yang diperoleh belum optimum. Sudut antara aliran *melting* dengan *water sprayer* (sudut α) dan tekanan air pada *sprayer pump* dipandang memiliki pengaruh terhadap hasil serbuk dalam proses atomisasi air, sehingga perlu adanya penelitian tentang pengaruh sudut α dan tekanan air terhadap hasil serbuk dengan metode atomisasi air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut α (sudut antara aliran *melting* dengan *water sprayer*) dan variasi tekanan air terhadap prosentase hasil serbuk aluminium dengan proses atomisasi air. Penelitian awal ini untuk mendapatkan sudut α dan 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).

Teknik pembuatan bubuk logam atau bubuk paduan juga pembuatan barang-barang logam dengan jalan menekan bubuk dalam cetakan kemudian dilakukan proses penyinteran dibawah titik cairnya, dinamakan metalurgi serbuk (Surdia dan Saito, 1995).

Jenis produk yang dibuat dari proses metalurgi serbuk antara lain pahat pemotong, bantalan, roda gigi dan komponen otomotif seperti piston hidrolis, batang engkol dan ring piston serta digunakan juga dalam komponen pesawat terbang seperti bagian roda pendarat.

Produksi logam dengan proses metalurgi serbuk mempunyai beberapa keuntungan dan keterbatasan. Keuntungan yang dapat diperoleh dari proses metalurgi serbuk adalah (Amstead, B.H., dkk, 1995):

1. Proses metalurgi serbuk dapat menghasilkan produk bimetal yang terdiri dari lapisan serbuk yang berbeda.
2. Dapat menghasilkan produk dengan porositas yang terkendali.
3. Dapat menghasilkan produk yang kecil dengan toleransi ketat dan permukaan halus dalam jumlah banyak
4. Serbuk yang murni akan menghasilkan produk yang murni pula.
5. Tidak ada bahan yang terbuang selama proses produksi.
6. Upah buruh lebih murah karena tidak diperlukan tenaga dengan keahlian khusus untuk menjalankan mesin pres dan mesin-mesin lainnya.

Sedangkan keterbatasan dari proses metalurgi serbuk adalah :

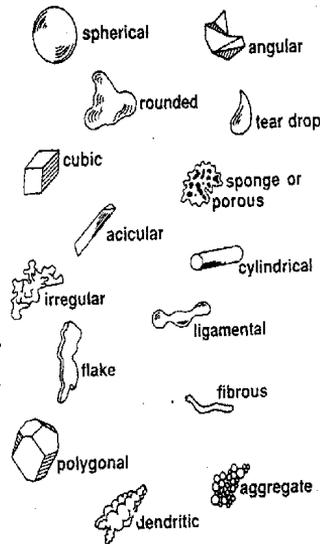
1. Harga serbuk logam sangat mahal dan terkadang sulit dalam penyimpanannya karena mudah terkontaminasi.
2. Beberapa jenis produk tidak dapat dibuat secara ekonomis karena keterbatasan kapasitas mesin pres.
3. Bentuk yang sulit atau rumit tidak dapat dibuat karena selama proses penekanan (pemampatan) serbuk logam tidak mampu mengalir mengisi ruang cetakan.
4. Pada serbuk logam yang mempunyai titik cair rendah seperti timah hitam dan seng kemungkinan timbul kesulitan dalam proses penyinteran.
5. Dengan proses metalurgi serbuk sulit mendapatkan kepadatan yang merata.

Karakteristik Serbuk Logam

Serbuk logam dalam metalurgi serbuk perlu diketahui karakternya untuk menentukan perlakuan dan sifat-sifatnya. Hal ini dapat diketahui dari:

1. Bentuk partikel (*particle shape*)

Proses metalurgi serbuk sangat terpengaruh pada bentuk serbuk disebabkan proses dan alat yang digunakan berbeda. Akibat dari metode yang berbeda, bentuk partikel serbuk (gambar 1) juga berbeda ada yang membulat (*spherical*), serpih (*flake*), kotak (*cubic*), berpori (*sponge*), dendritik (*dendritic*), atau bahkan tidak teratur (*irregular*). Untuk menentukan bentuk serbuk dapat dilakukan pengamatan dengan *Zoom Stereo Microscope*.



Gambar 1. Bentuk serbuk serbuk logam (German, 1984)

2. Ukuran Partikel (*particle size*)

Ukuran serbuk menentukan tingkat kehalusan serbuk. Hal ini dapat ditentukan dengan pengayakan standar berukuran 36-850 μm (Amstead, B.H.,dkk, 1993) atau menggunakan cara pengukuran mikroskopis partikel serbuk standar dengan ukuran 0,1-1000 μm (Kalpakjian, 1989).

3. Mampu alir (*flowability*)

Mampu alir adalah kemampuan sebuah partikel serbuk untuk mengisi ruang cetakan. Hal ini akan berpengaruh terhadap densitas.

4. Sifat kimia (*chemical properties*)

Sifat kimia partikel serbuk, akan berpengaruh terhadap perlakuan dan sifat bahan jadi.

5. Kompresibilitas (*compressibility*)

Kompresibilitas merupakan kemampuan sebuah partikel untuk dikompaksi (ditekan). Harga ini diukur dengan membandingkan volume sebelum kompaksi dengan volume setelah kompaksi.

6. Kemampuan sinter (*sinterability*)

Kemampuan sinter merupakan kemampuan antar partikel serbuk untuk saling melekat dengan proses pemanasan di bawah titik cair bahannya.

Proses Pembuatan Serbuk

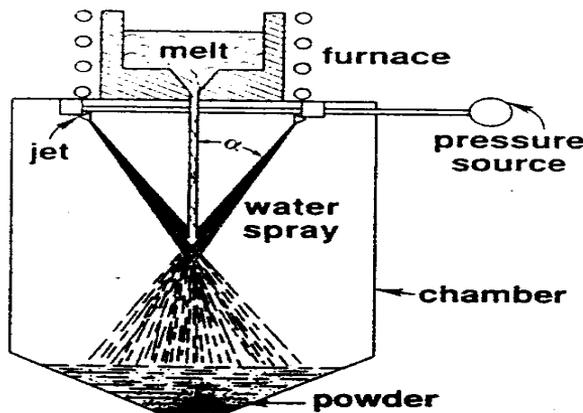
Pembuatan serbuk merupakan salah satu proses utama dalam metode metalurgi serbuk. Serbuk logam banyak memberikan pengaruh pada kualitas produk akhir, bentuk bubuk dan ukuran bubuk menjadi faktor yang sangat penting,

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.

Atomisasi air adalah teknik 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 disintegrasikan dari lelehan logam tersebut dan terjadi pematatan dengan cepat. Proses dan mekanisme atomisasi dengan tekanan air ditunjukkan pada gambar 2.

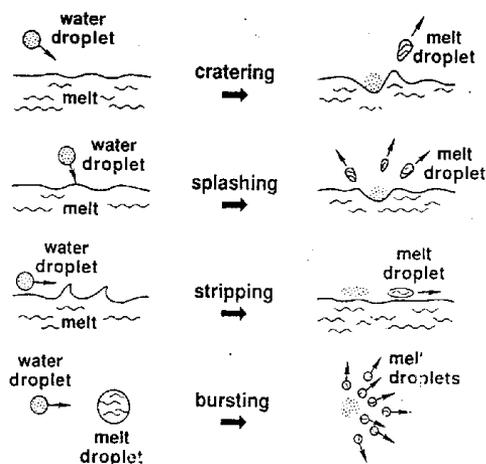


Gambar. 2. Proses atomisasi air (Kalpakjian, 1989)

Proses *atomisasi* air terjadi ketika logam cair dari nosel bertabrakan dengan air yang disemprotkan dari *sprayer*, seperti diperlihatkan pada gambar. 2, adapun proses pembentukan serbuk yang mungkin terjadi dalam proses atomisasi adalah *cratering*, *splashing*, *stripping* dan *bursting*, seperti terlihat pada gambar 3.

- 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 3. Mekanisme pembentukan serbuk atau partikel yang terjadi dalam atomisasi air (German, R. M., 1984)

Ukuran dan bentuk partikel tergantung dari temperatur logam, kecepatan rata-rata aliran logam, ukuran nosel 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 *nozzel 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.

2. Metode Kimia

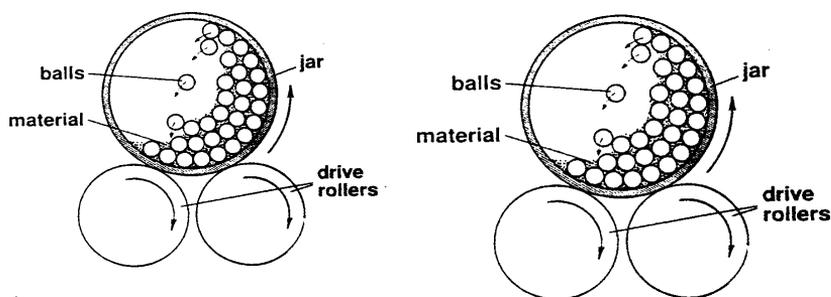
Prinsip dari metode kimia adalah proses dekomposisi kimia suatu senyawa logam. Reaksi reduksi dan oksidasi logam dengan hidrogen atau karbon monoksida sebagai pereduksi merupakan reaksi dekomposisi yang menghasilkan serbuk logam, menurut reaksi :



Reaksi (1) biasanya dipakai untuk menghasilkan serbuk Cu dan reaksi (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 4.



Gambar 4. Pembuatan serbuk dengan *ball mill* (German, R. M., 1984)

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang dibuat serbuk adalah alumunium. Alat yang digunakan alat atomisasi air, pompa air Type-30, timbangan digital, ayakan diameter 1mm, *nozzle* dengan diameter lubang 30mm, mikroskop metalurgi, tungku pembakaran dan perlengkapannya (kowi, arang bakar, tang penjepit)

Pembuatan serbuk dilakukan dengan meleburkan alumunium menggunakan tungku pembakaran dimana terak alumunium dibuang agar bahan pengotor minimal. Hasil peleburan alumunium dimasukkan dalam corong *nozzle*, sehingga *melting* dapat masuk secara *continue* dan konstan. *Melting* yang keluar dari *nozzle* disemprot dengan air dimana sudut *water sprayer* dan tekanan *water sprayer* divariasasi sebagai variable bebas.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat serbuk alumunium dengan metode atomisasi air, dimana variabel yang diteliti adalah pengaruh sudut α *water sprayer* dan tekanan air *water sprayer*. Sudut α *water sprayer* divariasikan dengan besar sudut antara 30° sampai 60° . Tekanan air *water sprayer* divariasikan dengan tekanan air antara 20 kg/cm^2 sampai 40 kg/cm^2 . Pengujian dilakukan dengan menghitung prosentase jumlah serbuk yang dihasilkan dibandingkan jumlah awal material, serbuk yang dihitung adalah serbuk dengan ukuran diameter dibawah 1mm. Hasil perhitungan disajikan dalam tabel dan grafik antara variabel bebas yaitu sudut α *water sprayer* dan tekanan air *water sprayer* terhadap prosentase jumlah serbuk yang dihasilkan. Hasil pengamatan bentuk serbuk dilihat dengan foto mikro dengan perbesaran 50X.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Belum ada referensi tentang standar baku variabel apa saja yang berpengaruh terhadap jumlah produk yang dihasilkan pada proses pembuatan serbuk logam dengan metode atomisasi air. Di sini diteliti pengaruh sudut α dan tekanan air terhadap hasil serbuk, sehingga didapatkan sudut α dan tekanan air optimum dalam pembuatan serbuk logam dengan metode atomisasi air.



Gambar 5. Foto *Water Atomizer*

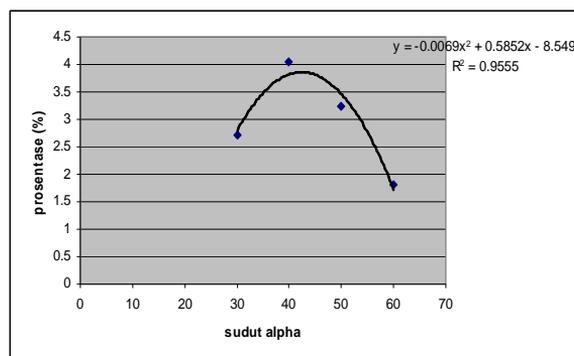
1. Variasi Sudut α

Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh sudut α terhadap prosentase jumlah serbuk yang dihasilkan. Hasil pengolahan data disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Data hasil percobaan rata-rata

No	Besar sudut α	Prosentase (%)
1.	60	1,8
2.	50	3,23
3.	40	4,05
4.	30	2,72

Pada pembuatan serbuk dengan variasi sudut α dilakukan pada tekanan tetap sebesar 30 kg/cm^2 .



Gambar 6. Grafik pengaruh sudut α terhadap prosentase

Dari Gambar 6, terlihat bahwa peningkatan sudut α sampai 40° dapat meningkatkan jumlah serbuk yang dihasilkan. Namun penambahan sudut α dari 40° justru menurunkan jumlah serbuk yang dihasilkan. Hubungan variasi sudut α dan prosentase hasil serbuk dapat dinyatakan dalam persamaan kuadratis:

$$y = -0,0059x^2 + 0,5852x - 8,549$$
$$R^2 = 0,9555.$$

Variabel y sebagai pengganti dari prosentase sedangkan x merupakan variabel pengganti sudut α . Nilai R menandakan variabilitas. Dari persamaan menunjukkan hubungan yang signifikan antara variasi sudut α dengan prosentase hasil serbuk. Dengan perhitungan persamaan parabola diperoleh sudut α optimal pada persamaan diatas sebesar $42,5^\circ$.

Dari data table dan grafik menunjukkan penambahan sudut sampai 40° dapat menaikkan jumlah serbuk yang dihasilkan. Hal ini disebabkan penambahan sudut α dapat menambah terjadinya hasil *splashing* sehingga *melting drop* yang terbentuk akan semakin banyak. Proses *cretering* dan *splashing* akan diikuti dengan proses *bursting* untuk terjadinya serbuk yang mendekati *powder*. Proses terjadinya serbuk diakibatkan oleh proses *bursting* yang terjadi berkali-kali. Kenaikan sudut akan memperluas area semprotan air sehingga *bursting* semakin banyak terjadi dan menambah jumlah serbuk yang dihasilkan.

Peningkatan sudut α lebih lanjut akan menyebabkan berkurangnya proses *cretering* sehingga yang terjadi hanya proses *splashing* saja. Disamping itu hasil butiran proses *splashing* banyak yang keluar area semprotan, sehingga proses *bursting* yang terjadi sangat sedikit mengakibatkan serbuk yang dihasilkan menjadi berkurang.

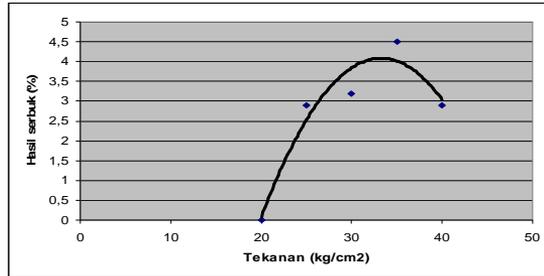
2. Variasi Tekanan Air

Data hasil akhir penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Table 2. Data prosentase serbuk diperoleh dari penimbangan berat awal logam bahan dasar dan berat hasil serbuk, kemudian dihitung reratanya agar mudah ditampilkan dalam grafik

Tabel 2. Hasil serbuk aluminium pada proses atomisasi air

No	Tekanan air (kg/cm ²)	Prosentase (%)
1.	20	0
2.	25	2,9
3.	30	3,2
4.	35	4,5
5.	40	2,9

Pada proses pembuatan serbuk dengan variasi tekanan sprayer pump, dilakukan pada sudut α 30° . Dari Tabel 2 dapat kita ketahui bahwa hasil serbuk pada tekanan air 20 kg/cm² – 35 kg/cm² cenderung meningkat, tetapi pada tekanan air 40 kg/cm² terjadi penurunan hasil serbuk seperti terlihat pada Gambar berikut:



Gambar 7. Pengaruh Variasi Tekanan Air terhadap Prosentase Hasil Serbuk Proses Atomisasi Air

Pada Gambar 7, dimana sumbu x adalah variabel tekanan air pada *sprayer pump* dan sumbu y adalah prosentase berat hasil serbuk alumunium. Hubungan variasi tekanan air dan prosentase hasil serbuk dinyatakan dalam persamaan garis *trendline*

$$y = -0,0229x^2 + 1,5194x - 21,169,$$

$$R^2 = 0,9252,$$

Terhadap hubungan yang signifikan antara variasi tekanan air pada *sprayer pump* dengan prosentase hasil serbuk. Dari persamaan tersebut diperoleh tekanan air optimum secara teoritis 33,17 kg/cm².

Proses atomisasi air terjadi ketika terjadi tabrakan logam cair dengan air. Adapun kemungkinan terbentuknya serbuk logam melalui proses *cratering*, *splashing* dan *bursting*. Tekanan air berhubungan erat dengan gaya tumbuk yang dihasilkan oleh semprotan air, semakin besar tekanan air maka gaya tumbuk dari air juga akan semakin besar. Tekanan air berpengaruh terhadap terjadinya proses *cratering*, *splashing* dan *bursting*.

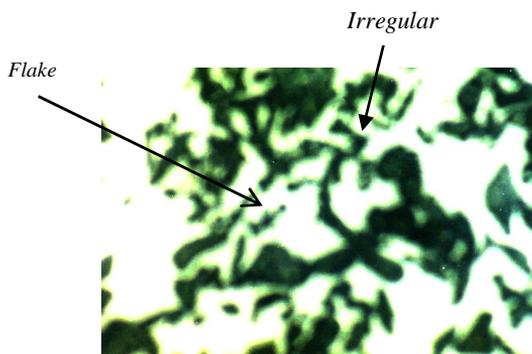
Tekanan air yang rendah mengakibatkan proses *cratering* dan *splashing* yang terjadi menjadi sedikit karena daya untuk memecah *melting* tidak dapat terjadi dengan baik. Sedikitnya *melting drop* yang dihasilkan menyebabkan serbuk yang dihasilkan sedikit sehingga proses *bursting* juga sedikit.

Tekanan air yang terlalu besar mengakibatkan proses *cratering* dan *splashing* menjadi banyak tetapi proses *bursting* menjadi sedikit karena butiran logam cair hasil dari proses *cratering* dan *splashing* banyak yang keluar dari area yang terkena semprotan air. Banyak *melting drop* yang keluar area semprotan menyebabkan proses *bursting* yang terjadi menjadi berkurang sehingga serbuk yang dihasilkan menjadi sedikit.

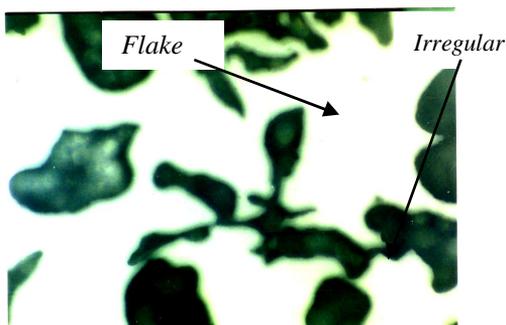
3. Bentuk Serbuk

Pengamatan bentuk serbuk alumunium dilakukan dengan menggunakan alat *Zoom Stereo Microscope*. Dalam pengamatan disini pembesaran dipilih 50 x

karena dengan pembesaran ini sudah cukup memberikan gambar bentuk serbuk secara jelas.



Gambar 8. Bentuk butiran serbuk pada variasi sudut α



Gambar 9. Bentuk Serbuk dengan variasi tekanan air

Dari gambar serbuk hasil atomisasi air terlihat bahwa pada masing-masing variasi tekanan bentuk serbuk sama yaitu berbentuk *irregular* (tak beraturan) dan *flake* (serpih). Hal ini disebabkan proses terjadinya serbuk adalah hancurnya logam cair oleh semprotan air sehingga logam cair tertabrak air secara acak dan berulang kali karena *water spayer* yang dipakai dua buah dan posisinya berhadapan . Sebelum membeku alumunium mengalami tabrakan berulang kali dan ini menyebabkan serbuk alumunium hasil proses atomisasi berbentuk *irregulars* dan *flake*.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan dari hasil percobaan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat hubungan yang signifikan antara variasi sudut α *water sprayer* dengan prosentase hasil serbuk. Perhitungan secara teoritis diperoleh sudut α optimum sebesar $42,5^{\circ}$.
2. Terdapat hubungan signifikan antara variasi tekanan air pada *sprayers pump* dengan prosentase hasil serbuk. Perhitungan secara teoritis diperoleh tekanan *water pumps* sebesar $33,17 \text{ kg/cm}^2$.
3. Hasil pengamatan foto makro dapat diketahui bentuk serbuk aluminium hasil proses atomisasi air pada setiap variasi sudut α dan variasi tekanan adalah *irreguler* dan *flake*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., dkk, 1993, *Teknologi Mekanik*, Edisi ketujuh, Jilid 1, Erlangga, Jakarta
- ASM Handbook, Volume 7, *Powder Metal Technologies and Applications*, ASM International, The Materials Information Society
- Beumer, B.J.M., Anwir B.S., 1994, *Ilmu Bahan Logam Jilid I*, Bhratara, Jakarta.
- German, R.M., 1984, *Powder Metallurgy Science*, second edition, Princeton, New Jersey
- Kalpakjian, S., 1989, *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison-Wesley company, New York.
- Surdia, T. dan Saito, S., 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suwanda, T. dkk., 2005, *Optimalisasi Tekanan, temperatur Sintering dan Waktu Sintering terhadap Kekerasan dan Berat Jenis Aluminium pada Proses Pencetakan dengan Metalurgi Serbuk*, Seminar Research Grant TPSDP, Surabaya, DIKTI, Jakarta.