

OPTIMALISASI TEKANAN KOMPAKSI, TEMPERATUR DAN WAKTU SINTERING TERHADAP KEKERASAN DAN BERAT JENIS ALUMINIUM PADA PROSES PENCETAKAN DENGAN METALURGI SERBUK

Totok Suwanda

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UMY
Jalan Lingkar Barat Tamantirto Kasihan Bantul Yogyakarta 55183
Telp. 0274-397656

ABSTRACT

Powder metallurgy is one of the manufacturing processes. Upon the process, melting process is not necessary to carry out. The powder is subsequently compacted then sintered. These processes can be conducted either separately or simultaneously. However metallurgy processes have not been commonly developed in Indonesia yet. Therefore it is necessary to carry out preliminary research that serves as a basis for developing of further process. The effect of the independent variables of the process on mechanical and physical properties of the product will be examined. The research was conducted by arranging the independent variables which consist of pressure, temperature and sintering period whereas hardness and density of product are the dependent variables. Aluminum will be water atomized for obtaining the powder. Response surface method is used as the experimental design method. The method can show the effect of the independent variables individually and the interaction among the variables. Data analysis will result mathematic formula showing the functional relation. The research concludes that 170 MPa compaction pressure and 500 °C sintering temperature and 40 to 50 minutes range period of sintering produces the maximum Brinell hardness number of 47 BHN. On the other hand, the effect of the independent variables to the density has not been able to be formulated.

Keywords : *Powder Metallurgy, Response Surface, Compaction Pressure, Sintering Temperature, Sintering Period.*

PENDAHULUAN

Proses metalurgi serbuk relatif lebih baru dan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses pengecoran logam. Namun demikian proses ini tidak bisa menggantikan sepenuhnya fungsi proses pengecoran. Masing-masing proses memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan proses metalurgi serbuk di

antaranya adalah: Efisiensi bahan tinggi, dapat membuat paduan dari bahan yang perbedaan density dan temperatur leburnya cukup tinggi, porositas dan homogenitas produk terkontrol, mudah mengatur komposisi paduan. Kekurangan-kekurangan proses metalurgi serbuk di antaranya adalah: keterbatasan bentuk dan ukuran benda yang dapat dibuat.

Banyak pertanyaan yang dapat dikemukakan mengenai proses metalurgi serbuk ini. Bagaimana mendapatkan serbuk untuk bahan baku adalah salah satu masalah yang mendasar yang harus dipecahkan. Jika serbuk bahan sudah diperoleh, bagaimana langkah-langkah proses dapat dikerjakan. Berapa tekanan pemadatan harus diberikan agar dapat menghasilkan green compact yang cukup kuat. Berapa temperatur dan waktu sintering yang harus diberikan agar diperoleh ikatan atom yang dianggap cukup kuat. Untuk bahan yang berbeda tentunya berbeda juga besarnya tekanan, temperatur maupun waktu sintering yang diperlukan. Pertanyaan-pertanyaan tersebut memberikan alasan perlunya dilakukan penelitian mengenai proses metalurgi serbuk.

Dari uraian yang telah dipaparkan, ada beberapa masalah yang memerlukan pemecahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pengaruh tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan dan berat jenis produk metalurgi serbuk belum diketahui dengan pasti.
2. Pengaruh tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan dan berat jenis produk metalurgi serbuk belum diketahui dengan pasti.
3. Tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering optimum yang menghasilkan kekerasan dan berat jenis maksimum aluminium produk metalurgi serbuk belum diketahui dengan pasti.

Agar penelitian menjadi terarah dan dapat memberikan kejelasan terhadap permasalahan yang dibahas, maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

Material yang digunakan adalah aluminium.

1. Komposisi kimia aluminium tidak diperhitungkan
2. Pengaruh pembuatan serbuk terhadap aspek-aspek metalurgi diabaikan.
3. Pengukuran kekerasan dengan angka kekerasan Brinell.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Menentukan model matematis pengaruh tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan aluminium hasil proses metalurgi serbuk .
2. Menentukan model matematis pengaruh tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering kompaksi terhadap kekerasan aluminium hasil proses metalurgi serbuk.

3. Menentukan tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering optimum yang menghasilkan kekerasan dan berat jenis maksimum aluminium produk metalurgi serbuk.

Penelitian ini bermanfaat sebagai langkah awal dari pengembangan proses metalurgi serbuk di Indonesia. Dengan demikian akan membantu mengurangi ketergantungan industri terhadap impor bahan yang bermutu.

Prasetyo (2004) melakukan penelitian karakteristik aluminium hasil proses metalurgi serbuk. Bahan dasar serbuk yang digunakan dihasilkan dengan mengikir batang aluminium. Butiran hasil pengikiran berbentuk irreguler. Pemadatan butiran dilakukan dengan tekanan $0,17 \text{ kN/mm}^2$. Sintering dilakukan pada temperatur 300°C , 400°C dan 500°C . Waktu sinter 60 menit dan 90 menit. Pada sintering dengan temperatur 300°C dan 400°C gagal karena benda uji terlalu rapuh. Pada temperatur sinter 500°C dan waktu sinter 60 menit dihasilkan kekerasan vickers benda 10,5 (VHN) sedangkan dengan waktu sinter 80 menit pada temperatur yang sama dihasilkan kekerasan benda adalah 12,3 (VHN). Pada penelitian tersebut benda uji yang berhasil dibuat hanya dua, sehingga kurang mencukupi untuk dapat menarik kesimpulan yang cukup valid.

Mamedove (2002) menyatakan penerapan Rapid-Heating menyebabkan terjadinya bypass daerah temperatur rendah yang di tempat itu didominasi oleh sinter transport permukaan yang terkendali. Interaksi lapisan-lapisan permukaan partikel dengan spesies kimiawi reaktif dari plasma merupakan faktor penting dalam mekanisme sinter.

Pembuatan Serbuk

Secara teoritis semua logam dapat dibuat menjadi serbuk. Namun demikian tidak semua jenis logam cocok dibuat dengan proses metalurgi serbuk. Beberapa jenis bahan yang sering digunakan pada proses metalurgi serbuk adalah: besi, tembaga, aluminium, tin, nikel, titanium dan logam-logam yang mudah dipecah.

Ada bermacam-macam cara yang digunakan untuk pembuatan serbuk logam. Atomisasi dilakukan untuk menghasilkan serbuk dari bahan-bahan dengan temperatur lebur yang rendah, seperti seng, aluminium, dan timah. Proses ini dilakukan dengan melewati cairan kedalam nozel, kemudian disemprot dengan udara, uap atau gas. Cara reduksi dilakukan dengan membuat logam menjadi oksidasi, kemudian kemudian direduksi menjadi serbuk.

Pencampuran

Butiran-butiran serbuk yang bervariasi harus terdistribusi merata, sehingga perlu dilakukan pencampuran. Di samping untuk meratakan distribusi butiran, pencampuran ini juga dilakukan untuk meratakan distribusi bahan pada pembuatan paduan. Bahan-bahan yang berbeda jenisnya atau berbeda titik leburnya harus tercampur merata. Dengan demikian akan dihasilkan benda dengan sifat yang homogen.

Pemadatan

Untuk mendapatkan benda dengan bentuk yang diinginkan, perlu dilakukan pemadatan serbuk dalam cetakan. Pemadatan dilakukan dengan memberikan tekanan pada serbuk. Dengan pemadatan akan menaikkan massa jenis dan ikatan antar butir, sehingga cukup kuat untuk diproses selanjutnya. Serbuk yang sudah dipadatkan ini disebut *green compact*.

Tekanan pemadatan yang diperlukan tergantung pada jenis bahan serbuk yang berkisar antara 70 Mpa (10 ksi) hingga 800 Mpa (120 ksi) (Kalpakjian,1989). Bahan-bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu memerlukan tekanan pemadatan yang rendah. Bahan-bahan dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan pemadatan yang tinggi. Semakin tinggi tekanan pemadatan akan menaikkan berat jenis hingga kondisi optimum. Di atas tekanan optimum tersebut, peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan massa jenis.

Sintering

Green compact yang dihasilkan dari proses pemadatan pada temperatur ruangan belum memiliki ikatan atom yang memadai. *Green compact* ini perlu dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur antara 70% hingga 90% dari titik lebur bahan. Proses pemanasan ini disebut proses sintering. Untuk bahan aluminium dengan titik lebur 660 °C, temperatur sinternya berkisar antara 460 °C hingga 590 °C.

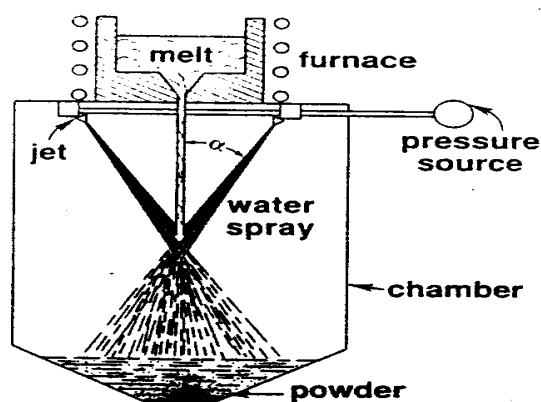
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan berdasarkan rancangan percobaan response surface. Variabel-variabel dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel-variabel yang nilainya ditentukan sehingga diharapkan akan mempengaruhi nilai respon yang akan diukur. Sebagai variabel bebas yang dipilih dalam penelitian ini adalah: besar tekanan kompaksi (X1) temperatur sintering dengan simbol (X2) dan waktu sintering (X3). Variabel terikat adalah nilai respon yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam hal ini, variabel terikat yang dipilih adalah: kekerasan bahan (Y1) dan massa jenis bahan (Y2).

Pembuatan Serbuk

Pembuatan sampel untuk penelitian dimulai dari pembuatan serbuk aluminium dengan cara atomisasi air. Atomisasi air adalah teknik yang paling umum untuk memproduksi serbuk dari logam yang mempunyai titik lebur dibawah 1600⁰C. Proses ini dimulai dengan mencairkan aluminium terlebih dahulu. Aluminium yang sudah dicairkan kemudian dituangkan kedalam wadah semacam

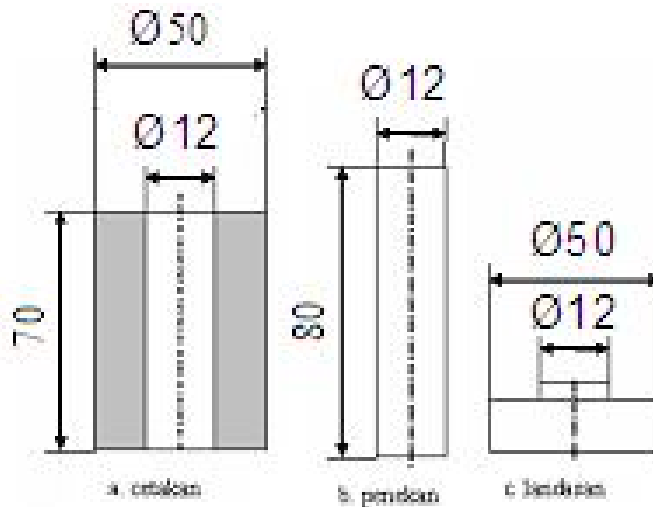
ladel yang dilengkapi semacam nosel yang digunakan untuk mengeluarkan cairan aluminium. Ladel ini ditempatkan di bagian atas peralatan atomisasi sebagai pengganti furnace.. Proses atomisasi dilakukan dengan menyemprotkan air yang bertekanan tinggi melalui jet sprayer secara langsung pada lelehan logam yang keluar dari nosel ladle, sehingga memaksa disintegrasi dari lelehan logam tersebut dan terjadi pematatan dengan cepat. Serbuk logam dihasilkan melalui mekanisme *cratering*, *splashing*, *stripping* dan *bursting*. Proses dan mekanisme atomisasi dengan tekanan air ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses atomisasi dengan tekanan air (German, 1984)

Penyiapan Spesimen Uji

Spesimen yang akan dibuat adalah silinder pejal dengan diameter 12 mm. Panjang silinder tergantung pada hasil kompaksi. Spesimen uji dibuat dengan cetakan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Cetakan



Gambar 3. Spesimen uji

Spesimen yang sudah dikompaksi yang disebut *Green compact* selanjutnya disinter dalam dapur induksi dengan temperatur sesuai dengan rancangan percobaan (Gambar 3).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan metode permukaan respon (*respons surface*). Prinsip dari rancangan percobaan ini adalah perubahan variabel-variabel bebas dilakukan secara simultan, sehingga pengaruh variabel bebas terhadap respon secara individu maupun

interaksinya segera terlihat. Rancangan percobaan ini terdiri dari dua bagian, yaitu rancangan percobaan orde pertama dan rancangan percobaan orde kedua.

Rancangan Percobaan Orde Pertama

Rancangan percobaan orde pertama menggunakan rancangan faktorial 2^k ditambah dengan pengamatan di beberapa level tengah. Rancangan faktorial 2^k ini dipilih karena selain dapat menunjukkan adanya pengaruh variabel-variabel secara individual juga dapat menunjukkan pengaruh interaksi antar variabel terhadap respon. Penambahan pengamatan di beberapa level tengah untuk memperoleh taksiran galat percobaan. Rancangan faktorial digunakan untuk percobaan yang terdiri dari k faktor dengan masing-masing variabel diberi kode -1 dan +1. Kode -1 berhubungan dengan level rendah dan kode +1 berhubungan dengan level tinggi. Kode variabel diperoleh dari persamaan:

$$x_i = \frac{\left(x_t - \frac{x_1 + x_2}{2} \right)}{\left(\frac{x_1 - x_2}{2} \right)} \quad (1)$$

dengan : x_i = nilai koding

x_t = nilai variabel yang sebenarnya

x_1 = nilai variabel pada level tinggi

x_2 = nilai variabel pada level rendah

Nilai sebenarnya untuk masing-masing variabel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai variabel sebenarnya

	Level rendah	level tengah	level tinggi
Tekanan pemadatan (Mpa)	90	120	150
Temperatur sintering ($^{\circ}$ C)	450	500	550
Waktu sintering (menit)	30	45	60

Hasil pengkodean tersebut digunakan untuk menyusun rancangan percobaan orde pertama. Taksiran untuk model orde pertama adalah :

$$\hat{Z} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i \quad (2)$$

dengan : \hat{Z} = taksiran nilai respon

b_0 = konstanta

b_i = koefisien parameter orde pertama

X_i = variabel bebas

Setelah didapatkan taksiran untuk model orde pertama, kemudian dilakukan uji lack of fit untuk mengetahui apakah ada kesesuaian model. Apabila terdapat kesenjangan model maka dilakukan rancangan percobaan orde kedua.

Rancangan Percobaan Orde Kedua

Rancangan percobaan orde kedua disusun untuk memperkirakan pengaruh variabel input dan interaksi antar variabel terhadap respon. Rancangan ini dipilih berdasarkan pertimbangan ketelitian relatif dalam menduga parameter model dan banyaknya pengamatan yang diperlukan.

Pada rancangan percobaan orde kedua digunakan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari rancangan faktorial 2^k ditambah titik-titik pengamatan pada level tengah dan titik aksial ($\alpha = 2^{k/4}$), yaitu titik-titik pada sumbu rancangan. Untuk percobaan dengan $k = 3$ maka harga $\alpha = 1,682$. Sedang jumlah level tengah adalah 6 (Khuri, 1996).

Persamaan model orde kedua adalah:

$$\hat{Z} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon, \quad (3)$$

Pendugaan model orde kedua dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\hat{Z} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k b_{ij} X_i X_j, \quad I < j \quad (4)$$

Untuk percobaan dengan $k = 3$, pendugaan model orde kedua adalah:

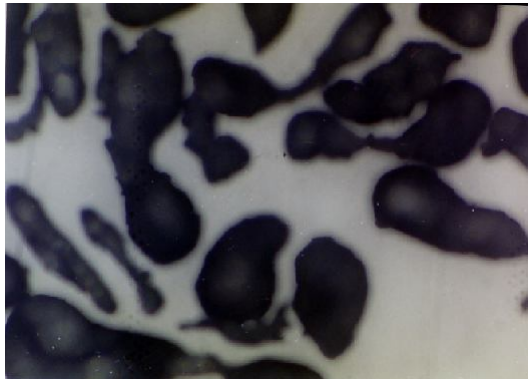
$$\begin{aligned} \hat{Z} = & b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + \\ & b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Analisa statistik meliputi pengujian dari data yang dihasilkan dalam eksperimen, dimana hasil yang diperoleh akan membantu dalam menginterpretasikan fakta-fakta yang diperoleh. Teknik analisa yang umum dilakukan adalah analisa variansi untuk mengetahui keberadaan dari sumber-sumber variasi, yaitu model yang terdiri dari suku orde pertama dan suku orde kedua serta error yang terdiri dari lack of fit dan pure error.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Serbuk

Pada pembuatan serbuk dengan water atomiser menghasilkan serbuk dengan bentuk flake dan irregular. Secara teoritis serbuk yang baik adalah berbentuk spherical dengan besar butiran kurang dari 1 mm.



Gambar 4. Serbuk hasil atomisasi

Efisiensi water atomiser pada pembuatan serbuk ini sangat rendah, sehingga butiran yang dihasilkan dengan ukuran kurang dari 1 mm sangat sedikit. Maka untuk pembuatan spesimen uji, dicampur dengan butiran-butiran yang berukuran lebih besar.



Gambar 5. Foto *Water Atomizer*

Rancangan Percobaan Orde Kedua

Analisa terhadap hasil percobaan orde pertama menunjukkan bahwa model matematis yang dibuat tidak memadai. Dengan demikian maka digunakan rancangan percobaan orde kedua. Berdasarkan hasil regresi terhadap data rancangan percobaan orde kedua, perkiraan model persamaan orde kedua untuk kekerasan adalah :

$$H = 30,06 + 6,39X_1 - 0,45 X_2 - 0,66 X_3 + 2,30 X_1^2 - 3,48 X_2^2 - 0,68 X_3^2 - 0,70X_1 X_2 + 2,12 X_1 X_3 + 2,55X_2 X_3 \quad (6)$$

dengan

H = kekerasan Brinnel
 X_1 = tekanan kompaksi
 X_2 = temperature sintering
 X_3 = waktu sintering

Hasil analisa varian menunjukkan bahwa P-value untuk interaksi adalah 1,62 dan untuk Lack-of Fit adalah 0,076. Pada level pengujian dengan $\alpha = 0,05$, maka P-value untuk interaksi = 1,62(lebih besar dari α) menunjukkan tidak adanya interaksi variabel yang signifikan. Sedangkan P-value untuk Lack-of Fit = 0,76 (lebih kecil dari α) menunjukkan tidak adanya Lack-of-Fit. Tidak ada Lack-of-Fit berarti bahwa model persamaan yang diterapkan cukup memadai. Nilai R-squared = 86,7% menunjukkan keragaman yang diterangkan oleh model.

Regresi dan analisa varian terhadap respon berat jenis menghasilkan model matematis orde kedua sebagai berikut:

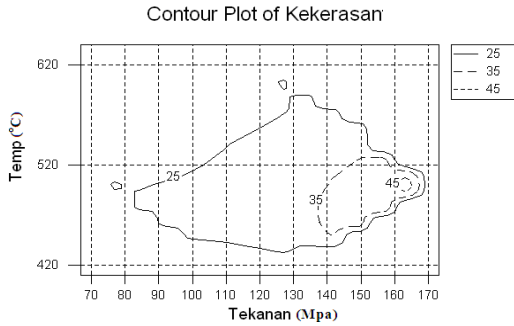
$$BJ = 2,41 + 0,34X_1 - 0,14X_1^2 - 0,06 X_2^2 - 0,06 X_3^2 - 0,01X_1 X_2 + 0,2X_2 X_3. \quad (7)$$

dengan

BJ = berat jenis
 X_1 = tekanan kompaksi
 X_2 = temperature sintering
 X_3 = waktu sintering

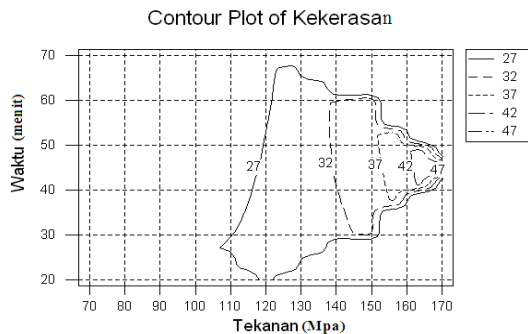
Berdasarkan analisa varians menunjukkan adanya Lack-of-Fit pada model tersebut. Model matematis yang dihasilkan belum dapat menunjukkan hubungan yang jelas pengaruh ketiga variabel penelitian secara simultan terhadap respon berat jenis. Pengaruh tekanan dan temperatur sintering terhadap kekerasan dapat ditampilkan dalam grafik kontur pada gambar 6.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa kekerasan maksimum H = 45 BHN dapat diperoleh pada tekanan kompaksi sekitar 162 Mpa dan temperatur sintering 500 °C.



Gambar 6. Kontur pengaruh temperatur sintering dan tekanan kompaksi terhadap kekerasan.

Sedangkan pengaruh tekanan dan waktu sintering dapat dilihat pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat kekerasan maksimum $H = 47$ BHN dapat diperoleh pada tekanan sekitar 170 Mpa dan waktu sinter antara 40 hingga 50 menit. Berdasarkan kedua grafik pada gambar 6 dan gambar 7 maka dapat diperkirakan bahwa kekerasan maksimum aluminium pada penelitian ini dapat diperoleh pada tekanan kompaksi sekitar 170 Mpa, temperatur sintering sekitar 500°C dan waktu sintering antara 40 menit hingga 50 menit dengan kekerasan Brinnel 47.



Gambar 7. Kontur pengaruh waktu sintering dan tekanan kompaksi terhadap kekerasan.

KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan terhadap data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Variabel tekanan kompaksi, temperature sintering dan waktu sintering berpengaruh secara simultan terhadap kekerasan aluminium produk metalurgi

serbuk yang dapat dinyatakan dengan model matematis orde kedua sebagai berikut :

$$H = 30,06 + 6,39X_1 - 0,45 X_2 - 0,66 X_3 + 2,30 X_1^2 - 3,48 X_2^2 - 0,68 X_3^2 - 0,70X_1X_2 + 2,12 X_1 X_3 + 2,55X_2 X_3$$

2. Pengaruh variabel tekanan kompaksi, temperatur sintering dan waktu sintering terhadap berat jenis aluminium produk metalurgi serbuk pada range variabel yang digunakan pada penelitian ini belum dapat dinyatakan dengan model matematis yang diharapkan.
3. Kekerasan aluminium maksimum sebesar 47 BHN diperoleh pada tekanan kompaksi optimum antara 162 Mpa hingga 170 Mpa, temperatur sinter optimum 500 °C dan waktu sinter optimum antara 40 hingga 50 menit.
4. Tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering optimum yang menghasilkan berat jenis maksimum aluminium produk metalurgi serbuk belum dapat ditentukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- German, R.M., 1994, "*Powder Metallurgy Science*", second edition, Princeton, New Jersey,
- Kalpakjian, S., 1989, "*Manufacturing Engineering and Technology*", Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Khuri, A.A., Cornell, J.A., 1996, "*Response Surfaces*", second edition, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Mamedove, V.A., "*Spark Plasma Sintering (SPS) As Advanced Powder Metallurgy Sintering Method*", Powder Metallurgy Progress, Vol 2 (2002) No. 1
- Prasetyo, M.A., 2004, "*Karakteristik Aluminium Hasil Proses Metalurgi Serbuk*", skripsi, Yogyakarta