

## Pengaruh Temperatur pada Proses *Hot Isostatic Pressing* terhadap Porositas, Keausan dan Mikrostruktur *Sludge Powder Duralumin*

Ahmad Multazam, Wahyono Suprpto, Pratikto  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jl. Mayjen Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia  
E-mail: azam.ub@gmail.com

### **Abstract**

*Sludge is the starting raw material in the process of forming wheels with forging method. Performance wheels strongly influenced by the quality of sludge. Sludge should have physical properties that light, soft and easy strengthened. One material that can be used as materials for sludge are: duralumin material. Duralumin is another name for aluminum & copper alloy (Al / Cu) with a Cu content of about 4 %. Making sludge powder duralumin with powder metallurgical methods can improve the quality of sludge. Making the specimen begins to weigh 100 g of powder duralumin and enter into a mold that has been in the preheating (100 ° C). Wait about 10-15 minutes until the mold temperature reached (450 ° C), (475 ° C), (500 ° C), and (525 ° C). Perform (hot iso- static pressing) HIPing by using a hydraulic press machine at 50 MPa and kept constant for 30 minutes. After the specimens were removed from the mold. The results showed the higher temperature tends to result in a percentage sintering porosity and wear rate decreases. This is evidenced by the percentage of porosity at a temperature of 450 ° C, 475 ° C, 500 ° C, and 525 ° C is 1.193 ° C, 1.03 ° C, 0.757 ° C and 0.733 ° C. While the wear rate at the sintering temperature of 450 ° C, 475 ° C, 500 ° C, and 525 ° C is 0.00095 g / s, 0.00080 g / s, 0.00059 g / s, 0.00050 g / s. Then from the microstructural observations with 500x magnification SEM image shown that with increasing temperature HIPing likely to result looks smooth surface of the test specimen*

**Keywords:** Powder Metallurgy, Temperature HIPing, Duralumin, Sludge, Porosity, Wear, Microstructure.

### **PENDAHULUAN**

Belakangan ini teknologi manufaktur berkembang pesat, khususnya dalam industri otomotif (Transportasi) membutuhkan komponen/spart part yang kuat dan ringan, tidak mudah aus dan tahan terhadap korosi. Seperti: *velg* mobil, piston, blok mesin, *cylinder head*, *valve*, *gear* dan lain sebagainya. Material yang mendominasi untuk pembuatan komponen otomotif seperti ; Besi cor kelabu, *advance hight strength steel*, aluminium (paduannya) dan lain-lain [1].

*Velg* merupakan salah satu komponen utama dari kendaraan yang mempunyai peran penting untuk kenyamanan dan keselamatan pengendara. Berdasarkan teknologi yang digunakan untuk pembuatan *velg* salah satu diantaranya dengan proses *forging* dimana bahan baku utamanya dinamakan *sludge* [2].

*Sludge* merupakan bahan baku awal dalam proses pembentukan *velg* dengan metode *forging*. *Performance velg* sangat dipengaruhi oleh Kualitas *sludge* harus memiliki sifat fisik yang ringan, lunak dan mudah dikuatkan. Salah satu material yang bisa dijadikan sebagai bahan pembuatan *sludge* yaitu: material duralumin [2].

Duralumin nama lain dari paduan aluminium-tembaga (3.5-5.5% Cu) ditemukan sekitar tahun 1901-1906 oleh Dr. Alfred Wilm, biasanya pada duralumin ditambahkan kurang dari 1% Mg and Mn. Material duralumin mempunyai beberapa kelebihan diantaranya; perbandingan kekuatan terhadap berat jenis tinggi (dalam kondisi O: 288 MPa dan T4: 713 MPa), ketahanan korosi dan konduktifitas elektriknya baik, sifat ketangguhan patah dan

ketahanan lelahnya sangat tinggi, dan dapat diberi perlakuan panas [3].

Pada proses pembentukan paduan dengan metode metalurgi serbuk ada beberapa faktor termodinamika yang perlu diperhatikan agar diperoleh hasil yang optimal diantaranya temperatur dan tekanan, keduanya mengakibatkan terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* dan difusi antar permukaan. Setelah dilakukan proses *sintering* disertai proses kompaksi terhadap sampel maka ikatan antar serbuk akan semakin kuat. Meningkatnya ikatan setelah proses *sintering* ini disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak/padat [4].

Pengaruh suhu pada proses *sintering* campuran nikel pada molybdenum. Dengan bertambahnya suhu *sintering* kekuatan dan kekerasan molybdenum meningkat. Efek ini lebih terlihat dengan semakin banyaknya kandungan nikel pada paduan. Peningkatan suhu *sintering* mengakibatkan ukuran pori semakin halus dan difusi nikel semakin sempurna [5].

Membran PTFE (*teflon*) dapat dibuat dengan *sintering*, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sifat mekanik dan morfologi dari membrane sangat tergantung pada suhu *sintering* yang digunakan. Pada temperatur *sintering* yang lebih tinggi membran yang dihasilkan menunjukkan konfigurasi ukuran pori yang lebih baik. Peningkatan kekuatan tarik terlihat pada membran pada suhu *sintering* 385 °C [6].

Berdasarkan ulasan di atas perlu dilakukan penelitian secara eksperimen untuk mengetahui sejauh mana pengaruh suhu *Hot Iso Static Pressing* terhadap porositas, keausan, dan makrostruktur pada *sludge* serbuk duralumin. Dari hasil penelitian nantinya akan diketahui suhu *sinter* optimal sehingga menghasilkan sifat mekanik maksimum dari hasil pengujian porositas, uji keausan dan dari pengamatan makrostrukturnya.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Penelitian Sebelumnya

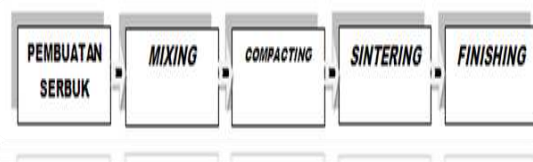
Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Distribusi Kekerasan Dan Porositas *Powder Metallurgy* Pada *Bushing duralumin*'

Variabel bebas yang digunakan adalah temperatur *sintering* 450°C, 470°C, 490°C, 510°C, dan 530°C. Variabel terikat diperoleh distribusi kekerasan dan porositas. Variabel yang dijaga tetap yaitu berat serbuk *duralumin* 40 gram, beban penekanan 400 bar dan dilakukan proses *compacting* dan *sintering* selama 30 menit. Hasil dari penelitian adalah semakin tinggi temperatur maka nilai distribusi kekerasannya semakin tinggi dan nilai porositasnya semakin menurun [7].

Pengaruh variasi suhu *sintering* pada komposit Al-Mg-Si terhadap kekuatan dengan teknik metalurgi serbuk. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa meningkatnya suhu *sinter* dapat menyebabkan kekerasan menurun, dengan nilai kekerasan tertinggi 64,20 kgf/mm<sup>2</sup> yang diperoleh pada suhu *sinter* 400°C. Munculnya fase Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan MgO pada hasil XRD dapat disebabkan oleh terjadinya oksidasi dan impuritas selama *sintering*. Keberadaan oksida logam dan pengotor pada komposit Al- Mg-Si berakibat pada kualitas mekanik yang menurun [8].

### Metalurgi Serbuk (Powder Metallurgy)

*Powder Metallurgy* merupakan suatu proses pembentukan produk berbahan dasar serbuk logam dengan cara penekanan disertai pemanasan.



Gambar 1. Langkah Dasar *Powder Metallurgy*[5].

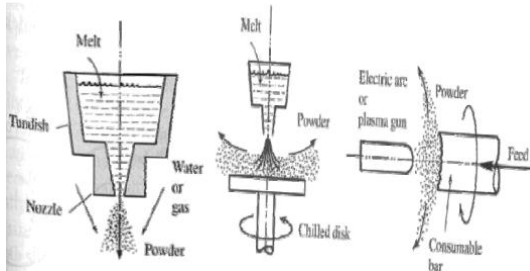
Proses pembentukan logam menggunakan metalurgi serbuk diawali dengan mencampurkan unsur-unsur serbuk logam yang dipadukan, kemudian dilakukan pemadatan dengan menggunakan *dies*[5]. Metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain:

- Dapat menghasilkan produk dengan porositas yang terkendali
- Dapat menghasilkan bagian yang kecil dengan toleransi yang tinggi dan permukaan yang halus.

- Sangat ekonomis karena tidak ada bahan yang terbuang

**Pembuatan Serbuk**

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain: *Decomposition, Electrolytic Deposition, Atomization of Liquid Metals, Mechanical Processing of Solid Materials.*



**Gambar 2.** Proses Atomisasi [5].

- (a) *Water or gas atomization,*
- (b) *Centrifugal atomization,*
- (c) *Rotating electrode*

**Mixing (Pencampuran serbuk)**

Kualitas produk sangat dipengaruhi kehomogenan komponen sangat dipengaruhi kehomogenan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran atau yang juga biasa disebut sebagai proses kalsinasi. Dua serbuk yang berbeda unsur dicampur untuk menghasilkan paduan, pencampuran serbuk tersebut harus homogen untuk menghasilkan pencampuran yang sebaik-baiknya. Komposisi paduan tersebut dicampur dengan perbandingan jumlah yang sama agar didapatkan pencampuran yang terbaik [5].

**Compacting (Powder consolidation)**

*Compacting* adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering* [5]. Proses *pressing* terdapat beberapa macam antara lain:

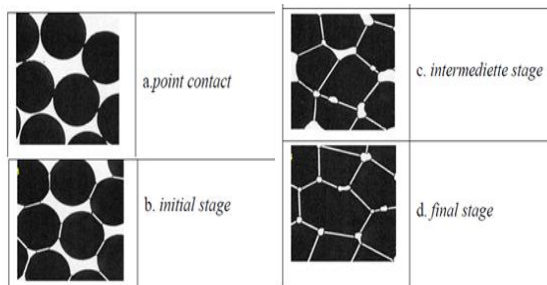
1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk
2. *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperature kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.

3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai rolling mill.
4. *Hot Iso Statis Pressing* yaitu penekanan pada serbuk didalam cetakan pada temperature panas yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.

**Sintering**

*Sinter* adalah suatu proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan dibawah titik lebur, yang dilakukan selama proses penekanan atau sesudah penekanan. Temperatur *sinter* umumnya berada pada 0.7 – 0.9 dari temperatur cair serbuk utama atau  $T_s = 0.7 - 0.9 T_m$ . Proses *sinter* menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Disamping itu gas yang ada menguap. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan [5].

Terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada proses *sintering* yaitu :



**Gambar 3.** Tahapan *Sintering* [6].

**Material Duralumin**

*Duralumin* merupakan paduan aluminium dan tembaga dengan kadar tembaga sekitar 4 %. *Duralumin* memiliki sifat ringan, keuletan tinggi, dan juga sifat tahan korosi. Paduan ini dinamakan *duralumin* karena memiliki sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Untuk kepentingan penempa, *duralumin* tidak boleh memiliki presentase tembaga lebih dari 5,6 % karena akan membentuk senyawa

CuAl2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh [7].

**Sludge**

Sludge merupakan bahan baku awal dalam proses pembuatan *velg* melalui proses *forging*. Bentuk dari *sludge* seperti silinder yang *solid*. Material *sludge* dibuat dari material aluminium paduan dan ada juga dari material baja, pembuatan *sludge* dengan material baja belakangan ini sudah jarang karena kurang efisien dan efektif, disamping memiliki berat yang tinggi juga rentan terhadap karat. Oleh karena itu, *velg* dengan bahan dasar logam aluminium menjadi *velg* standar bagi mobil jaman skarang [2].

Dengan berkembangnya riset dari berbagai instansi, Penemuan penemuan material baru juga semakin banyak. Pembuatan *sludge* mengandalkan metal aluminium alloy yang terdiri dari campuran aluminium (Al) silikon (Si), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), magnesium (Mg), krom (Cr), seng (Zn), vanadium (V), titanium (Ti), bismut (Bi), galium (Ga), timbal (Pb) hingga zirkonium (Zr). Dari material tersebut komposisi ini dimainkan untuk grade kualitasnya, ada seri 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 dan 8000. Salah satu contoh yang diunggulkan untuk *velg forged* adalah 6061 yang asalnya dipakai buat tulang pesawat terbang [2].

**Hot Isostatic Pressing**

*Hot Isostatic Pressing (HIPing)* merupakan proses penekanan pada serbuk didalam cetakan pada temperatur panas yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah. *HIPing* akan menjadikan serbuk menjadi lebih lunak/plastis, sehingga memudahkan untuk dipadatkan [8].

**Porositas**

Porositas merupakan perbandingan volum rongga-rongga pori terhadap volum total logam. Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase porositas yang terjadi pada *sludge duralumin*. Untuk mencari persentase porositas yang terdapat pada suatu produk yang pertama dilakukan mencari *Theoretical Density* density. Adapun tahapan dari pengujian porositas ialah sebagai berikut :

Persamaan 1 menjelaskan tentang *true density* berdasarkan ASTM Standar B 311 – 93, 2002 [9].

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}}\right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}}\right) + \text{etc....}} \tag{1}$$

Dengan:

- $\rho_{th}$  = True Density
- %Al, %Cu = Prosentase berat tiap unsur
- $\rho_{Cu}$ ,  $\rho_{Al}$  = Densitas tiap unsur

Kemudian diteruskan dengan pengujian Apparent density setelah spesimen uji dibentuk dengan Persamaan 2 sebagai berikut.

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \tag{2}$$

Dengan :

- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* (g/cm3)
- $\rho_w$  = Densitas air (g/cm3)
- $W_s$  = Berat sampel di luar air (g)
- $W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang dalam air (g)
- $W_b$  = Berat keranjang di dalam air (g)

Perhitungan *presentase porosity* yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan *apparent desity* dengan densitas teoritis [9] yang dinyatakan pada Persamaan 3.

$$\% P = \left(1 - \frac{ps}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \tag{3}$$

dengan :

- % P = Presentase *porosity* (%)
- ps = *Apparent Density* (g/cm3)
- $\rho_{th}$  = Densitas berat teoritis atau *True Density* (g/cm3)

**Keausan**

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Adapun rumusan untuk menghitung laju keausan [10] dinyatakan pada Persamaan 4.

$$W = \left( \frac{Ma - Mt}{t} \right) [g/s] \quad (4)$$

dengan :

$Ma$  = Berat spesimen sebelum uji keausan

$Mt$  = Berat spesimen sesudah uji keausan

$t$  = Waktu proses keausan

$W$  = Laju keausan

### Mikrostruktur

Sifat-sifat logam, terutama sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur logam disamping komposisi kimianya. Misalnya suatu logam atau paduan (dengan komposisi kimia tertentu) akan mempunyai sifat mekanik yang berubah – ubah, bila struktur mikronya diubah. Ada beberapa macam pengujian untuk melihat bentuk struktur logam salah satu diantaranya uji SEM [11].

### Scanning Electron Microscope (SEM)

(SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik [12].

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) dilakukan di laboratorium metalurgi  $\alpha\beta\gamma$  Landung Sari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *HIPing* terhadap porositas, keausan dan mikrostruktur pada *sludge* serbuk duralumin. Prosedur dari penelitian ini yaitu : tahap pertama menimbang berat serbuk duralumin sebesar 100 gram/ spesimen, kemudian dimasukkan kedalam cetakan berbentuk silinder. Sebelum dimasukkan elemen pemanas dihidupkan dan ditunggu sampai suhu tertentu yaitu : 450 °C, 475 °C, 500 °C, 525 °C. setelah serbuk duralumin dimasukkan kedalam cetakan lalu *punch*/penekan dimasukkan dan ditekan dengan menggunakan mesin press hidrolik sampai tekanan 50 MPa dijaga konstan selama 30 menit. Setelah itu spesimen

dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan pengujian porositas, uji laju keausan dan pengamatan mikrostruktur.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan Perhitungan Persentase Porositas

#### • Perhitungan True Density

*True Density* dapat diperoleh dengan dihitung menggunakan rumus (2.1) seperti data Table 1.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan *True Density* serbuk duralumin.

| No           | Nama Unsur     | Prosentase (%) | Massa Jenis (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| 1            | Silikon (Si)   | 0.405          |                                   |
| 2            | Besi (Fe)      | 0.442          |                                   |
| 3            | Tembaga (Cu)   | 4.29           |                                   |
| 4            | Mangan (Mn)    | 0.052          |                                   |
| 5            | Chromium (Cr)  | 0.017          |                                   |
| 6            | Zinc (Zn)      | 0.108          |                                   |
| 7            | Magnesium (Mg) | 0.141          |                                   |
| 8            | Titanium (Ti)  | 0.012          |                                   |
| 9            | Nikel (Ni)     | 0.002          |                                   |
| 10           | Timbal (Pb)    | 0.001          |                                   |
| 11           | Timah (Sn)     | 0.004          |                                   |
| 12           | Aluminium (Al) | 93.525         |                                   |
| True Density |                | 2.82           |                                   |

#### • Perhitungan Apparent Density

*Apparent Density* dapat diperoleh dengan dihitung menggunakan rumus (2) seperti pada Tabel 2.

Dari data hasil perhitungan laju keausan benda uji pada tabel 4 kemudian di buat dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Gambar 5 merupakan grafik hubungan suhu sintering terhadap laju keausan *sludge* duralumin. Teridentifikasi bahwa suhu sintering berpengaruh terhadap laju keausan. Terdapat hasil laju keausan maximum dan minimum yang diakibatkan dari variasi suhu yang berbeda. Perbedaan suhu *HIPing* terhadap benda uji mengakibatkan kepadatan/kekompakan terhadap material berbeda-beda. Seperti yang terlihat pada gambar 9 diatas tingkat laju keausan tertinggi yaitu terdapat pada suhu *HIPing* 450 °C dengan laju keausan 0.00095 g/s. dengan ditingkatnya suhu *HIPing* sebesar 475 °C laju keausan yang didapat juga semakin menurun sebesar 0.0008 g/s hal ini disebabkan karena ikatan antar serbuk akan semakin padat dan saling mengikat seiring dengan meningkatkan suhu *HIPing*. Sedangkan laju keausan

terendah terdapat pada suhu *HIPing* optimum 525 °C dengan tingkat laju keausan yaitu 0.0005 g/s disebabkan karena adanya hubungan jarak difusi antar atom meningkat dan semakin berdekatan. Serbuk yang berdifusi didalam *sludge* akan membentuk *nitride* yang keras dan stabil, sehingga dengan semakin banyaknya difusi antar atom/ikatan atom yang terjadi akan mengakibatkan peningkatan kepadatan/kekompakan serta mengakibatkan laju keausan akan semakin menurun.

**Tabel 2.** Hasil penimbangan spesimen

| Variasi suhu (°C) | Spesimen         | Ws (g)             | Wsb (g)            | Wb (g)       | Ps (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------------------|
| 450 °C            | A1               | 97.80              | 69.04              | 10.26        | 2.50                    |
|                   | A2               | 97.83              | 68.13              | 10.26        | 2.44                    |
|                   | A3               | 97.92              | 69.28              | 10.26        | 2.51                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>97.85</b>       | <b>68.81666667</b> | <b>10.26</b> | <b>2.4833333</b>        |
| 475 °C            | B1               | 97.93              | 68.10              | 10.26        | 2.44                    |
|                   | B2               | 97.94              | 71.59              | 10.26        | 2.67                    |
|                   | B3               | 97.95              | 68.75              | 10.26        | 2.48                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>97.94</b>       | <b>69.48</b>       | <b>10.26</b> | <b>2.53</b>             |
| 500 °C            | C1               | 96.32              | 71.00              | 10.26        | 2.70                    |
|                   | C2               | 94.96              | 69.66              | 10.26        | 2.67                    |
|                   | C3               | 97.61              | 68.18              | 10.26        | 2.45                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>96.29666667</b> | <b>69.61333333</b> | <b>10.26</b> | <b>2.6066667</b>        |
| 525 °C            | D1               | 97.94              | 71.96              | 10.26        | 2.70                    |
|                   | D2               | 97.21              | 70.11              | 10.26        | 2.60                    |
|                   | D3               | 97.92              | 69.75              | 10.26        | 2.54                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>97.69</b>       | <b>70.60666667</b> | <b>10.26</b> | <b>2.6133333</b>        |

Keterangan :

Ws = Berat sampel di luar air (g)

Wsb = Berat sampel dan keranjang di dalam air (g)

Wb = Berat keranjang di dalam air (g)

• **Perhitungan Porositas**

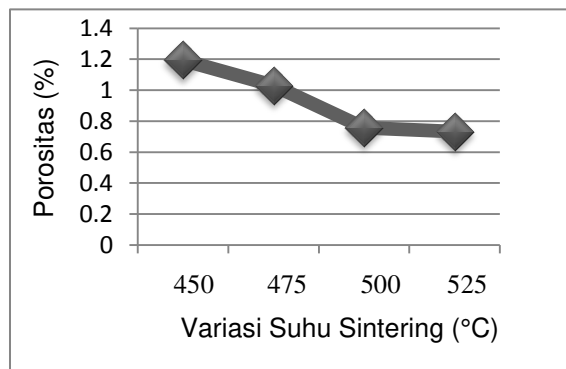
Porositas dapat diperoleh dengan mensubstitusikan Tabel 1 dan 2 ke persamaan (3)

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Porositas

| Variasi suhu (°C) | Spesimen         | Apparent Density ps (g/cm <sup>3</sup> ) | True Density pth | Presentase porosity (%) |
|-------------------|------------------|--|------------------|-------------------------|
| 450 °C            | A1               | 2.50                                     | 2.82             | 1.13                    |
|                   | A2               | 2.44                                     | 2.82             | 1.35                    |
|                   | A3               | 2.51                                     | 2.82             | 1.10                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>2.4833333</b>                         | <b>2.82</b>      | <b>1.193333333</b>      |
| 475 °C            | B1               | 2.44                                     | 2.82             | 1.35                    |
|                   | B2               | 2.67                                     | 2.82             | 0.53                    |
|                   | B3               | 2.48                                     | 2.82             | 1.21                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>2.53</b>                              | <b>2.82</b>      | <b>1.03</b>             |
| 500 °C            | C1               | 2.70                                     | 2.82             | 0.43                    |
|                   | C2               | 2.67                                     | 2.82             | 0.53                    |
|                   | C3               | 2.45                                     | 2.62             | 1.31                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>2.6066667</b>                         | <b>2.82</b>      | <b>0.766666667</b>      |
| 525 °C            | D1               | 2.70                                     | 2.82             | 0.43                    |
|                   | D2               | 2.60                                     | 2.82             | 0.78                    |
|                   | D3               | 2.54                                     | 2.82             | 0.99                    |
|                   | <b>Rata-rata</b> | <b>2.6133333</b>                         | <b>2.82</b>      | <b>0.733333333</b>      |

Hasil perhitungan persentase porositas kemudian di plot dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.

Dari gambar 4 secara umum terjadi penurunan presentase porositas disetiap kenaikan suhu *sintering*. Ini terjadi karena semakin tinggi suhu *sintering* maka jumlah pori dari material uji akan semakin sedikit yang mengakibatkan persentasenya menurun, jika dilihat dari hasil pengujian persentase porositas terdapat nilai hasil maximum dan minimumnya.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Suhu *Sintering* Terhadap Porositas.

Dari hasil pengujian porositas spesimen pada suhu 450°C presentase porositasnya tinggi yaitu 1.193 %, karena sebagian besar serbuk duralumin belum mengalami perekatan yang signifikan dalam tahap proses pelunakan, sehingga kemampuan alir (*flowability*) serbuk untuk mengisi ruang kosong antar partikel serbuk masih rendah sehingga terjadi pori antar partikel meningkat.

Pada suhu 475°C terjadi penurunan porositas yang cukup tinggi yaitu sebesar 1.03 % dari suhu 450 °C. penurunan porositas ini terjadi karena viskositas butiran serbuk semakin mengecil, akibatnya kemampuan alir serbuk untuk mengisi rongga-rongga antar partikel serbuk semakin besar, namun kemampuan butiran serbuk untuk menahan beban dari luar semakin mengecil, sehingga ketika diberikan tekanan 50 Mpa pada spesimen uji terjadi pengecilan pori.

Kenaikan suhu *sintering* dari 500°C - 525°C persentasenya sudah tidak terlalu mengalami penurunan porositas yang berlebihan jika dilihat dari hasil persentase

porositasnya yaitu : 0.757 % ke 0.733, karena tidak begitu terjadi pengecilan dimensi pori-pori yang mencolok. Pada suhu yang optimum yaitu 525 °C menyebabkan terjadinya penurunan peresentase porositas terendah disebabkan telah terbentuknya batas butir halus (*grain boundary*) antar

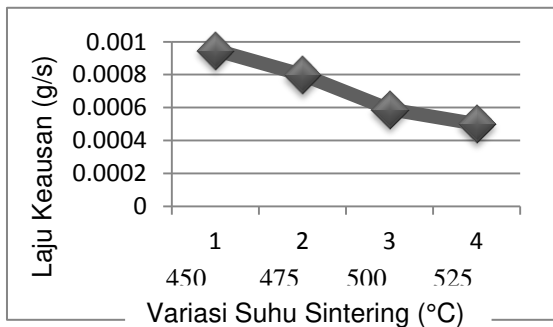
partikel didaerah *neck* seperti yang terlihat pada Gambar 4 diatas.

• **Perhitungan Keausan**

Laju keausan dapat diperoleh dengan dihitung Menggunakan rumus persamaan (4)

**Tabel 4.** Data hasil perhitungan laju keausan benda uji

| Variasi suhu (°C)  | Pengujian 1 (g/s) | Pengujian 2 (g/s) | Pengujian 3 (g/s) | Pengujian 4 (g/s) | Rata-rata Laju Keausan (g/s) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 450 <sup>o</sup> C | 0.001             | 0.0008            | 0.001             | 0.001             | 0.00095                      |
| 475 <sup>o</sup> C | 0.002             | 0.0004            | 0.0004            | 0.0004            | 0.00080                      |
| 500 <sup>o</sup> C | 0.0006            | 0.0006            | 0.0011            | 0.00006           | 0.00059                      |
| 525 <sup>o</sup> C | 0.0005            | 0.0005            | 0.0006            | 0.0006            | 0.00050                      |



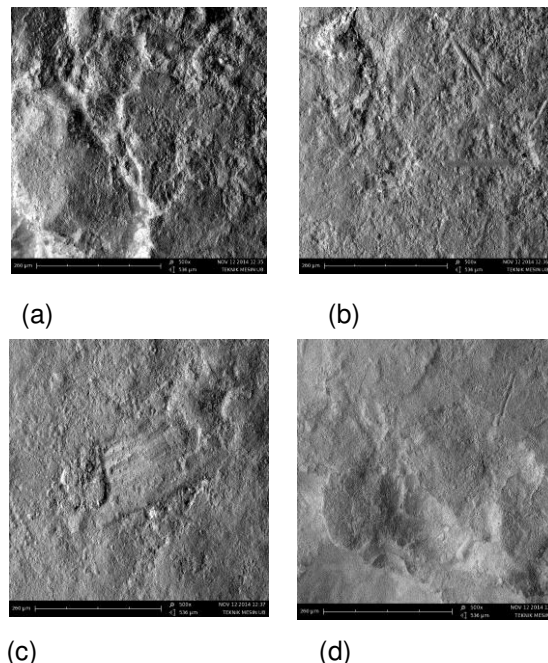
**Gambar 5.** Grafik Hubungan Suhu Sintering Terhadap Laju Keausan.

Dari hasil foto SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya suhu sintering cenderung mengakibatkan permukaan spesimen semakin halus/rata seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan hasil pengamatan mikrostruktur pada bagian atas permukaan spesimen. Secara umum terlihat bahwa semakin tinggi suhu HIPing mengakibatkan permukaan spesimen terlihat halus/ homogen.

Pada dasarnya kehomogenan distribusi Al-Cu akan sangat berpengaruh pada kualitas sifat mekaniknya. Dalam tahap awal proses sintering atom-atom akan bergerak untuk memperbanyak jumlah kontak antar partikel. Kondisi ini kemudian terus mengalami perbaikan seiring kenaikan suhu sintering dan selama *holding time*. Semakin homogen

distribusi partikel, akibat suhu sintering akan mengakibatkan porositas cenderung menurun yang berimbas pada kepadatan yang diperoleh sampel.



**Gambar 6 :** Hasil Pengamatan foto SEM pada material duralumin (*Al/Cu*). (a) Suhu 450 °C, (b) Suhu 475 °C, (c) Suhu 500 °C, (d) Suhu 525 °C

Pada suhu minimum yaitu 450°C menyebabkan permukaan spesimen terlihat tidak rata/kasar dikarenakan ikatan antar serbuk masih rendah dan jika dihubungkan

dengan hasil persentase porositas/pori pada suhu ini mengalami persentase sangat tinggi. Pada suhu 475°C ikatan antar partikel sudah mengalami peningkatan yang ditandai dengan permukaan spesimen terlihat halus/rata jika dibandingkan dengan sebelumnya.

Pada suhu optimum 525 °C permukaan spesimen terlihat rata dan halus. Pada tahap ini terjadi pengurangan jumlah pori yang sangat signifikan sehingga mengakibatkan kepadatan bertambah, hal ini diketahui dari hasil persentase porositas dan laju keausan menurun.

Perbedaan permukaan sampel akibat variasi suhu *HIPing* menyebabkan kekuatan mekaniknya berubah. Seperti yang terlihat pada hasil perhitungan porositas dan laju keausan.

#### KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa data serta pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Suhu *HIPing* mengakibatkan terjadinya difusi antar partikel sebak sehingga mengakibatkan kepadatannya bertambah. Semakin meningkatnya suhu *HIPing* persentase porositasnya semakin menurun. Dimana pada suhu *HIPing* minimum 450°C tingkat persentase porositasnya yaitu :1.193 % sedangkan pada suhu *HIPing* maximum 525°C persentase porositasnya menurun menjadi : 0.733 %.
2. Semakin meningkatnya suhu *HIPing* laju keausan akan semakin menurun. Pada suhu *HIPing* minimum 450°C laju keausannya : 0,00095 g/s dan pada suhu *HIPing* maximum 525°C laju keausannya 0,00050 g/s. Semakin meningkatnya suhu *HIPing*, maka mikrostruktur spesimen uji akan semakin baik. Hal ini ditandai dengan permukaan spesimen uji yang semakin rata seiring kenaikan suhu *HIPing*.

#### DAFTAR FUSTAKA

- [1] Shi, Zhongliang. 2001. The Oxidation of SiC Particle and Its Interfacial Characteristics in Al-Matrix Composites. *Journal of Material Science* 36. Pp. 2441 – 2449. Kluwer Academic Publisher.
- [2] Winterbottom, W, L., 2000, *Semi-Solid Forming Applications : High Volume*

*Automotive Product*, Metallurgical Science And Technology, Vol. 18No 2, p. 5-10.

- [3] Polymear, Ian 2006. *Light Alloys: From traditional Alloys to Nanocrystals*. Edition. Elsevier.
- [4] Henry, Dr.1982. *Hand Book of Powder Metallurgy*. Second Edition.
- [5] Thomas, O. *Jurnal Nasional, Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi, Surabaya FTI-ITS*, 2007.
- [6] German, R. M. 1984. *Powder Metallurgy Science*. USA: The Pennsylvania State University.
- [7] Heine, Richard W. 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- [8] Pease, Leander F. III. 2005. *A Quick Tour of Powder Metallurgy*. Powder-Tech Associates.
- [9] Taylor, R.P., McClain, S.T. & Berry, J.T., "Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurement Using Archimedes Principle". *International Journal of Cast Metals research*, 1999, Vol. 11, 247-25.
- [10] Yuswono. 2002. *Pengaruh Kandungan Inklusi dan Porositas Terhadap Kegagalan Produk Kabel Tembaga Melalui Pengerjaan Drawing Kawat*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan.
- [11] Sundararajan T, S. Kuroda, F. Abe, *Effect of Thermal Spray on The Microstructure and Adhesive Strength of High Velocity Oxy Fuel Sprayed Ni-Cr Coatings on 9 Cr-1 Mo Steel*, *Journal of Metallurgical and Materials*, Vol 35A (2004) 3187-3199.
- [12] Bayram Ali, Agah Uguz, & Murat Ula.. (1999). Effects of microstructure and notches on the mechanical properties of dual-phase steels. *Materials Characterization* 43:259-269.