

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi yang sangat pesat ini khususnya dalam bidang manufaktur membutuhkan suatu material dengan sifat mekanis yang sangat baik (ringan dan kuat). *Metal Matrix Composite* (MMC) dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menjawab tantangan ini. MMC dapat menggabungkan sifat – sifat unggul dari material untuk menghasilkan suatu material baru dengan sifat yang lebih baik MMC memiliki beberapa keuntungan dibanding proses teknologi yang lain yaitu memiliki kekuatan yang lebih seragam dari berbagai arah, dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material, ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik, tahan pada temperatur yang lebih tinggi, berat yang lebih ringan, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah karena berkurangnya jumlah komponen dan baut-baut penyambung.

Dalam aplikasinya matriks yang paling banyak digunakan dalam komposit berbasis logam adalah logam yang memiliki densitas yang rendah yaitu aluminium. Dalam keadaan murni aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin, namun untuk meningkatkan sifat mekanik dari aluminium umumnya dicampur dengan logam lain sehingga membentuk logam paduan (Djaprie, 1960:63). Salah satu paduan yang sering digunakan pada aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik adalah tembaga (Cu). Nama lain dari paduan antara aluminium dan tembaga adalah duralumin. Dimana duralumin mempunyai beberapa kelebihan antara lain, mempunyai ketahanan korosi yang baik, sifat ketangguhan patah dan ketahanan lelah yang sangat tinggi dan dapat diberi perlakuan panas.

Pembuatan MMC meliputi beberapa proses diantaranya adalah *diffusion bonding*, *liquid phase sintering*, *squeeze infiltration*, *stir casting* dan metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) (Prader, 2000). *Powder metallurgy* merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Namun pada penelitian ini menggunakan

proses pemadatan sekaligus proses pemanasan dalam waktu yang bersamaan, sehingga dapat mempersingkat proses produksi.

Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari proses *powder metallurgy* diantaranya adalah komponen dapat dibuat sampai tingkat ukuran yang teliti tanpa *finishing*. Keuntungan lainnya komposisi yang dikehendaki lebih teliti dari pada pengecoran, serta mampu memproduksi paduan logam yang tidak dapat bercampur dalam keadaan cair. Material yang dipakai dalam metalurgi serbuk relatif tidak ada yang terbuang jadi dapat menghemat material. Proses pengerjaan cepat dan pada bentuk yang sederhana dapat dilakukan dengan satu kali proses.

Penerapan teknologi *powder metallurgy* dalam industri otomotif (*bushing, cylinder liner, brake disc, engine piston*, dan peralatan-peralatan lain) di Indonesia masih kurang optimal. Hal ini dapat dilihat dari total produksi komponen otomotif dalam negeri yang masih rendah yaitu sebanyak 200 produk per tahun. Jumlah ini masih kalah apabila dibandingkan dengan Thailand yang sudah memiliki 1.500 produk per tahun industri komponen (<http://www.bppt.go.id/>).

Bushing berfungsi untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Bushing* termasuk dalam klasifikasi bantalan luncur yang terjadi antara permukaan bantalan dengan permukaan yang ditumpu berupa gerak luncur (*sliding*). Produk yang akan dibuat pada penelitian ini adalah *bushing* berbentuk silinder dengan bentuk yang cukup rumit. Pada dunia Industri hal utama yang lebih diutamakan untuk pembuatan produk yaitu bentuknya dibanding sifat. Hal ini dikarenakan sifat dari produk tersebut dapat diperbaiki seiring berjalannya waktu.

Suatu *bushing* yang baik adalah *bushing* yang mempunyai sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, keausan) yang baik. *Bushing* yang mempunyai distribusi kekerasan yang baik karena dilihat dari fungsinya untuk menumpu poros berbeban sehingga adanya beban dan gaya dari berbagai arah yang mengakibatkan material tersebut lelah dan mudah patah. Akan tetapi, terkadang *bushing* yang dihasilkan tidak sesuai dengan apa yang kita inginkan atau dengan kata lain tidak memiliki sifat mekanik yang baik. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu produk dalam hal ini *bushing powder metallurgy* adalah temperatur *sintering*. Semakin tinggi temperatur *sintering* maka distribusi kekerasannya akan meningkat, namun nilai porositas semakin menurun. Dapat dilihat dari

diagram fasa Al-Cu, apabila komposisi Al 95% dan komposisi Cu 5% maka temperatur *sintering* antara 450°C -530°C. Dari sinilah peneliti ingin mencoba memvariasikan temperatur *sintering* pada proses *powder metallurgy* karena dengan adanya pemberian panas pada suatu cetakan akan memberikan efek pelunakan pada serbuk yang mengakibatkan butiran lebih homogen sehingga didapatkan distribusi kekerasan yang baik dan presentase porositas yang rendah.

Dalam hal ini peneliti memilih untuk memadukan alumunium dengan tembaga (Cu) atau yang lebih sering dikenal dengan duralumin sebesar 5% dari berat alumunium. Penambahan unsur tembaga dibawah 5,6% itu sendiri akan memperbaiki sifat mampu mesin, mampu tempa, dan keuletan yang baik sehingga mudah dibentuk pada alumunium paduan (Heine, 1990:293). Selain itu, dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan karena tembaga bisa memperhalus struktur butir. Selain itu temperatur merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk *powder metallurgy*. Untuk itu penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah “Bagaimana pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin?”

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang digunakan untuk mempermudah proses pencapaian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan difokuskan pada porositas dan distribusi kekerasan.
2. Spesimen atau produk yang diuji adalah produk yang tidak di *finishing*
3. Perpindahan panas yang terjadi tidak diukur.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Mengetahui pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin.
2. Mendapatkan *bushing* dengan nilai porositas dan nilai kekerasan yang baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan *powder metallurgy*.
2. Memberikan referensi tambahan bagi industri manufaktur yang memiliki masalah sama dengan penelitian ini.
3. Menambah referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai *powder metallurgy*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian oleh Rusianto (2009) bahwa aluminium serbuk untuk pembuatan *bushing* kompaksi tekanan yang dibutuhkan adalah 5400 Kg. Variasi suhu *pressing* T (suhu ruang) 100 °C, 200 °C, dan 300 °C. Proses yang digunakan yaitu pemanasan dan pengepresan dengan waktu yang bersamaan menggunakan alat cetakan *hot pressing powder metallurgy*. Pada pengujian kekerasan diketahui bahwa kekerasan *bushing* meningkat dan laju keausan menurun dengan semakin meningkatnya suhu *hot pressing*.

Fitria dan Waziz (2004) meneliti serbuk paduan Al-9% Si hasil pengikiran. Pembuatan spesimen dengan variasi tekanan kompaksi 300, 400 dan 500 MPa dan variasi suhu sinter 450°C, 500°C dan 550°C selama 2 jam dalam lingkungan gas argon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya tekanan kompaksi dan suhu sinter akan meningkatkan kekerasan dan densitas dari spesimen.

Wildan dkk (2005) meneliti pengaruh kandungan serbuk alumina terhadap kekerasan dan kekuatan bending komposit paduan Al-Si/Alumina. Dimana variasi komposisi serbuk alumina 0, 3, 6, 9, 12 dan 15 % berat. Setiap komposisi di-*mixing* dan *blending* selama 2 jam kemudian ditempa dengan metode *uniaxial pressing double action* dengan tekanan 500 MPa untuk menghasilkan *green body* berbentuk silinder (50x7x8) mm³ dan disinter pada suhu 550°C di lingkungan gas argon. Hasil penelitian menunjukkan penambahan partikel Al₂O₃ menurunkan densitas dari komposit paduan Al-Si.

2.2. Teori Dasar Powder Metallurgy

2.2.1. Pengertian Powder Metallurgy

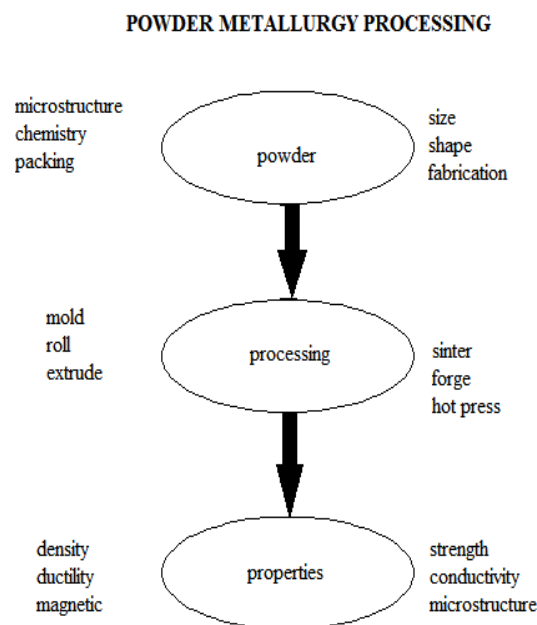
Powder Metallurgy adalah proses memproduksi benda kerja berbahan dasar serbuk logam, baik dengan satu unsur maupun beberapa unsur paduan. Dapat juga ditambahkan dengan unsur non logam ataupun unsur-unsur kimia dengan berbagai komposisi yang tidak mungkin dilakukan dengan proses lain.

Dalam *powder metallurgy* proses yang utama adalah proses pepadatan (*compacting*) dan proses *sintering* dapat dilihat pada gambar 2.1. Proses *sintering* adalah

proses dimana serbuk diubah menjadi padat dengan cara dilelehkan pada temperatur dibawah titik lelehnya.

Proses *powder metallurgy* merupakan salah satu dari pembentukan, yang mana metode pembentukan lainnya antara lain permesinan, pengecoran logam, penempaan, pengelasan dan lain sebagainya. Proses *powder metallurgy* memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lainnya. Kelebihannya antara lain:

1. Komponen dapat dibuat sampai tingkat ukuran yang teliti tanpa melalui proses *finishing*.
2. Komposisi yang dikehendaki lebih teliti daripada proses pengecoran logam.
3. Mampu memproduksi paduan logam yang tidak dapat bercampur dalam keadaan cair.
4. Material yang dipakai dalam *powder metallurgy* relatif tidak ada yang terbuang jadi dapat menghemat material.
5. Proses pekerjaan cepat.
6. Untuk benda kerja yang berbentuk sederhana dapat dilakukan dengan satu kali proses.
7. Biaya produksi untuk produksi massal relatif rendah.



Gambar 2.1 Proses *metallurgy* serbuk
Sumber : R. M. German, 1994: 18

2.2.2 Sifat Dasar Serbuk Logam

Sifat-sifat partikel serbuk yang menjadi pertimbangan dalam proses penekanan (*compacting*) dan *sintering* meliputi:

A. Ukuran partikel dan distribusinya

Ukuran partikel adalah suatu karakteristik yang penting dari serbuk logam. Salah satu cara untuk mengukur besarnya partikel adalah dengan melewatkan serbuk melalui saringan dengan ukuran tertentu. Ukuran partikel selalu dinyatakan dalam diameter, meskipun kenyataannya ada beberapa partikel yang tidak memiliki diameter yang sesungguhnya, sehingga dalam memberikan ukuran partikel selalu dinyatakan dengan ukuran rata-rata.

B. Komposisi Kimia

Komposisi kimia dari serbuk logam akan mempengaruhi proses pembentukan produk dan juga mempengaruhi sifat bentuk akhir dari produk.

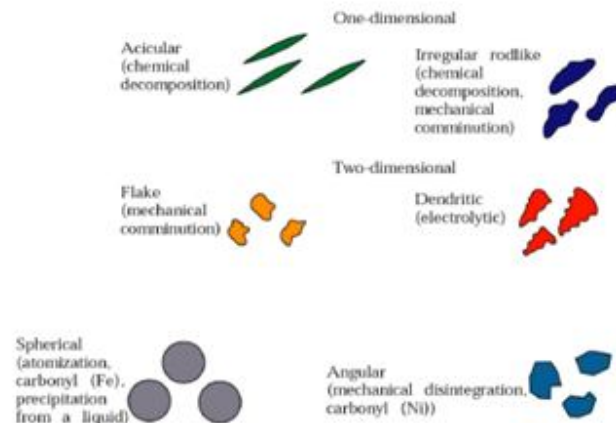
C. Karakteristik aliran

Kemampuan partikel serbuk untuk memenuhi cetakan disebut sifat mampu alir (*flowability*). Semakin baik mampu alirnya maka serbuk akan mengisi cetakan secara merata.

D. Bentuk partikel

Bentuk partikel tergantung dari jenis serbuk dan pemrosesan produk tersebut. Bentuk partikel ini mempengaruhi ukuran pori-pori yang terjadi pada permukaan. Beberapa macam bentuk partikel dapat dilihat pada gambar 2.2. Penjelasan sebagai berikut:

- ✓ *Spheroidal* yaitu partikel berbentuk bulat.
- ✓ *Irregular* yaitu partikel yang bentuknya tidak teratur.
- ✓ *Acicular* yaitu partikel yang mempunyai bentuk yang kasar.
- ✓ *Angular* yaitu partikel yang mempunyai sisi tajam dan agak kasar.
- ✓ *Flaky* yaitu partikel yang berbentuk pipih.
- ✓ *Dendritic* yaitu partikel yang mempunyai bentuk bercabang.



Gambar 2.2. Karakteristik Powder
Sumber : Paulus, 2007: 5

E. Kemampuan Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya. Waktu pemanasan yang dibutuhkan sesuai dengan jenis logam.

2.3. Proses Powder Metallurgy

2.3.1. Proses Pencampuran Serbuk

Apabila dua serbuk yang berbeda unsur dicampur untuk menghasilkan paduan, maka 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.

2.3.2. Compacting

Compacting adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compacting*) dan penekanan panas (*hot compacting*). *Cold compacting* yaitu memadatkan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 MPa untuk menghasilkan *green body*. Proses *cold pressing* terdapat beberapa macam antara lain:

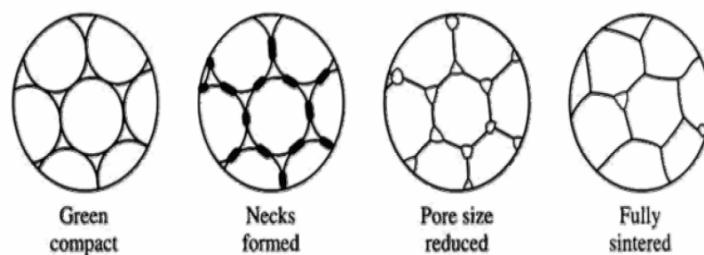
1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk.

2. *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperatur kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.
3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai *rolling mill*.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode *powder metallurgy*, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheisi, dan difusi yang merata antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi yang merata) dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari *pressing* disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses *sintering*.

2.3.3. *Sintering*

Pemanasan sampai temperatur tinggi disebut sinter. Pada proses sinter, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Dengan perkataan lain, proses sinter menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi dapat dilihat pada gambar 2.3. Disamping itu gas yang ada menguap. Temperatur sinter umumnya berada pada 0.7-0.9 dari temperatur cair serbuk utama. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan.



Gambar 2.3. Proses Difusi yang merata *Sintering*

Sumber : Murjito, 2009:8

2.4. Duralumin

Duralumin merupakan paduan antara aluminium dan tembaga. Duralumin memiliki sifat ringan, keuletan yang tinggi, dan juga sifat tahan korosi. Paduan ini dinamakan duralumin dikarenakan sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Untuk kepentingan penempaan, duralumin tidak boleh memiliki presentase tembaga lebih dari 5,6 % karena akan membentuk senyawa Al_2Cu dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293).

Pada proses *powder metallurgy* duralumin, yang digunakan dalam pengujian ini adalah temperatur 450°C, 470°C, 490°C, 510°C dan 530 °C. Mesin yang digunakan adalah mesin yang berfungsi selain sebagai pemanas juga sebagai penekan sehingga didapatkan produk memiliki sifat mekanik yang dibutuhkan.

2.4.1. Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara non ferro (Surdia, 2000:129). Aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahkan paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka diperoleh kekuatan mekanik yang meningkat dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus dan sebagainya.

2.4.1.1 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur-unsur paduan aluminium antara lain:

❖ Cooper (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dengan berat atom 63,55 sma dan jari-jari atom 1,275 Å. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu

unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat paramagnetik. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, namun *castability* rendah.

❖ Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dengan berat atom 28,0855 sma dan jari-jari atom 1,46 Å yang merupakan unsur terbanyak kedua di bumi.

❖ Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dengan berat atom 24,31 sma dan jari-jari atom 1,610 Å. Magnesium adalah elemen kedelapan yang membentuk 2 % berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut magnalium atau magnelium. Magnesium juga bersifat paramagnetic. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

❖ *Ferrous* (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dengan berat atom 55,482 sma dan jari-jari atom 1,421 Å. Fe merupakan logam transisi dan bersifat ferromagnetik. Penambahan Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam presentase kecil.

❖ Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dengan berat atom 54,938 sma dan jari-jari atom 1,35 Å. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

❖ *Zinc* (Zn)

Seng (*Zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dengan berat atom 65,39 sma dan jari-jari atom 1,390 Å. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam presentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

2.4.2 Sifat Umum dari Berbagai Jenis Paduan Al

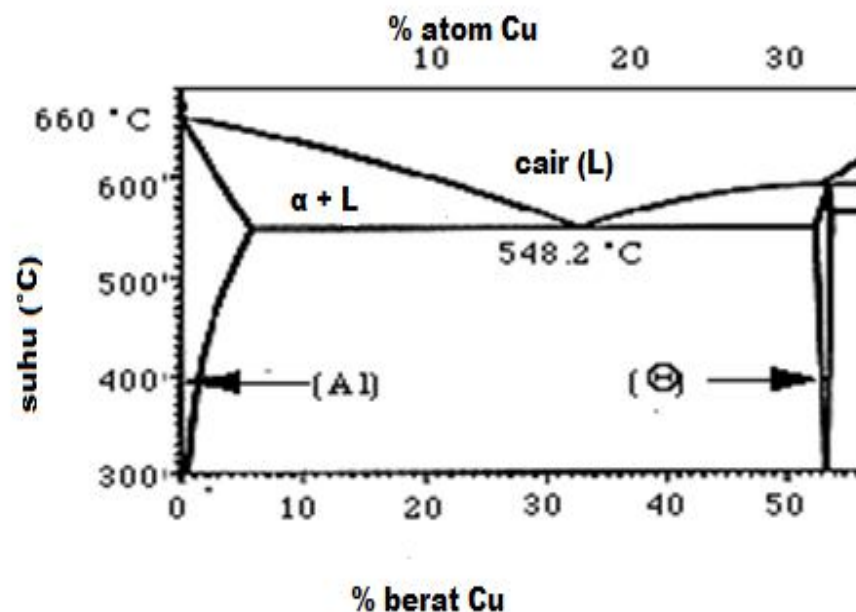
Berikut ini sifat-sifat umum dari berbagai jenis paduan aluminium yaitu:

- Jenis Aluminium Murni (seri 1xxx)

Jenis ini mengandung Al 99,9 %. Aluminium dalam seri ini memiliki sifat yang baik dan ketahanan karat, konduktivitas listrik, mampu las, dan mampu potong. Jenis aluminium ini kurang menguntungkan dari kekuatan yang rendah.

- Jenis Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diberikan perlakuan panas dengan melalui pengerasan endapan. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya (Heine, 1990: 294). Berikut diagram fase Al-Cu yang dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram Fasa Al-Cu
Sumber : Callister, 1997: 337

2.4.2. Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis 889 g/cm^3 . Mempunyai titik lebur $1070^\circ\text{C} - 1193^\circ\text{C}$. Tembaga sering digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki penghantar panas yang baik, mudah dibentuk serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Selain dalam paduan aluminium, unsur tembaga ini dapat memperhalus butiran sehingga meningkatkan kekerasan.

Tembaga ini sendiri juga bisa dipadukan dengan unsur lainnya. Sebagai unsur utama, tembaga bisa dipadukan dengan unsur lain dan dibedakan menjadi dua paduan yaitu:

1. Kuningan

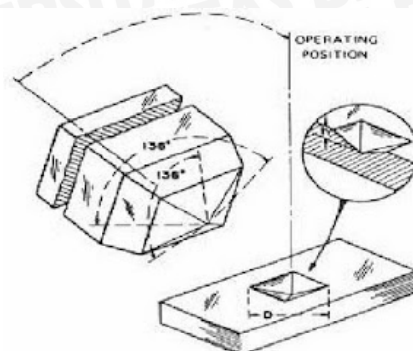
Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng, dan kuningan tegangan tinggi adalah paduan yang mengandung tembaga, aluminium, besi, mangan, nikel dan sebagainya dimana unsur-unsur tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya.

2. Perunggu

Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah, dan perunggu yang biasa dipakai mengandung kurang dari 15% timah (Surdia, 2000: 5). Paduan ini mempunyai sifat ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik pula.

2.5. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi permukaan, yang disebabkan oleh penusukan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu.



Gambar 2.5. Skematis Prinsip Indentasi dengan Metode Vickers
Sumber: Suherman, 1987: 27

Pengujian distribusi kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode pengujian Vickers. Pada metode pengujian Vickers digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar 2.5. Prinsip pengujiannya adalah hampir sama dengan metode Brinell yaitu pengujiannya menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi sehingga menghasilkan jejak berupa lingkaran. Namun pada pengujian Vickers, karena indenter yang digunakan berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material yang diuji dengan metode Vickers satuannya adalah VHN.

2.6. Porositas

Porositas adalah presentase formasi yang terisi oleh ruang berpori. Keporisan tergantung pada tingkatan *sintering*. Pada produk-produk tertentu keadaan berpori harus diamati, karena kepori sangat berhubungan erat dengan sifat-sifat dari produk yang dibuat, misalnya: kekuatan, perbandingan berat, daya pengisapan dan daya penahan arus listrik dan panas semuanya tergantung pada kepori suatu produk.

Besarnya porositas suatu medium adalah perbandingan antara besarnya rongga-rongga atau pori terhadap volume total keseluruhan dari medium tersebut perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen. Bila masing-masing rongga tersebut terhubung lebih dari satu pori-pori maka disebut dengan *inter-connected*, sedangkan untuk rongga yang

terhubung hanya dengan satu pori-pori yang lain disebut *dead end* dan untuk rongga yang tidak terhubung sama sekali dengan pori-pori yang lain disebut *isolated* (Iwan, 2009:17).

Secara matematis, tingkat porositas dari suatu medium dapat ditulis dengan menggunakan persamaan (De Nvers, 1991):

$$\psi = \frac{\text{Total Volume Sistem} - \text{Volume Solid dalam sistem}}{\text{Total Volume Sistem}} \quad (2-1)$$

Dari persamaan tersebut diatas, maka dapat diketahui jika volume solid pada sistem yang semakin besar maka presentase dari porositas (ψ) akan semakin kecil dan jika dalam sistem tersebut memiliki rongga pori-pori yang semakin banyak maka volume solid dalam sistem akan semakin kecil sehingga presentase porositas (ψ) akan semakin besar. Dengan semakin besarnya nilai presentase porositas maka kemampuan medium tersebut untuk dilewati oleh fluida juga akan semakin baik, sehingga dapat memberi pengaruh yang besar terhadap katilisasi hidrogen.

2.7. Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek: *rho*) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu objek yang sama massa totalnya dibagi volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-2)$$

Keterangan:

ρ = Kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)

m = Massa total benda (gr)

V = Volum benda (cm^3)

2.7.1 Macam Densitas

Di dalam pengukuran porositas yang terdapat dalam suatu produk digunakan perbandingan dua buah densitas, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True Density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya.

Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm^3).

Persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) \right\} + etc} \quad (2-3)$$

Dengan:

ρ_{th} = Densitas berat teoritis atau *True Density* (gr/cm^3).

ρ_{Al} , ρ_{Cu} , ρ_{Fe} , etc = Densitas berat unsur (gr/cm^3)

%Al, %Cu, etc = Presentase berat unsur (%)

- *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang diuji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagai berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-4)$$

Dengan:

ρ_s = Densitas berat sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3)

ρ_w = Densitas berat air (gr/cm^3)

W_s = Berat sampel di luar air (gr)

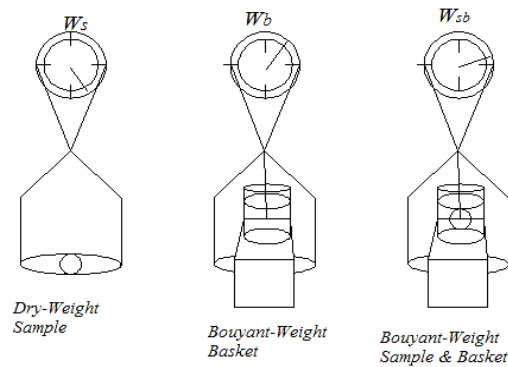
W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

2.7.2. Pengukuran Densitas menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung.

Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skema Piknometri
 Sumber : Taylor, 2000

Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = Pengukuran berat kering (*dry weight sample*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel (*Bouyant-Weight Sample & Basket*), dan W_b = pengukuran berat apung keranjang (*Bouyant-Weight Basket*). Pada gambar 2.6 pengukuran berat apung dibuat dengan menggabungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.7.3. Perhitungan Porositas

Perhitungan presentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000) yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (2-5)$$

Dengan:

$\%P$ = Presentase porositas (%)

ρ_s = Densitas berat sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3)

ρ_{th} = Densitas berat teoritis atau *True Density* (gr/cm^3)

2.8. Bushing

Bushing atau yang dikenal sebagai bantalan merupakan elemen atau bagian dari peralatan mesin yang dirancang agar dapat menahan beban yang diterimanya, khususnya

beban yang bergerak seperti poros sehingga putaran atau gerak bolak – baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Bushing* harus memiliki sifat mekanik yang baik agar poros dan elemen mesin yang lain dapat bekerja secara maksimal. Pada gambar 2.7 menunjukkan bentuk sebuah *bushing* (bantalan poros).



Gambar 2.7. *Bushing*

Sumber: Martin, 2009: 207

Dalam memilih bahan *bushing* yang perlu diperhatikan adalah :

1. Dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk dan tahan terhadap temperatur tinggi.
2. Tahan gesekan dan tahan aus.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Dapat menghantar panas.
6. Koefisien muai kecil.
7. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik.

Pemakaian *bushing* ini, antara lain *bushing* pada poros engkol, *bushing* pada mesin perkakas, *bushing* pada roda kereta api, *bushing* untuk penggunaan umum, dan masih banyak lagi sesuai dengan yang dibutuhkan.

2.9 Perpindahan Panas

Kalor dapat dipindahkan dengan tiga macam cara yaitu:

1. Pancaran (Radiasi)

Pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah

suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantara gelombang elektromagnet. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi kalor tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energi kalor yang disinarkan. Proses radiasi adalah fenomena permukaan. Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan.

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2-6)$$

Dimana σ adalah skala konstanta proporsional yang disebut konstanta Boltzman berharga $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Pada penelitian ini terjadi proses perpindahan panas secara radiasi dimana dalam dapur mesin *hot pressing* terjadi proses perapian. Sehingga api tersebut memancarkan kalor pada dinding cetakan dan kemudian merambat pada *bushing* (produk yang akan dibuat).

2. Aliran (Konveksi)

Aliran (konveksi) ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan suatu fenomena permukaan. Dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Suhu permukaan bahan akan berbeda dari sekelilingnya. Dalam hal ini dikatakan suhu permukaan adalah T_1 dan suhu udara sekeliling T_2 dengan $T_1 > T_2$. Jika suatu plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar maka udara akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas didekat plat itu. Peristiwa ini dinamakan konveksi alamiah.

Rumus untuk mengetahui laju perpindahan kalor konveksi:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2-7)$$

Dimana:

q = laju perpindahan kalor konveksi (W)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A = luas permukaan (m^2)

T_w = temperatur plat ($^\circ\text{C}$)

T_{∞} = temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

Dari penjelasan rumus diatas perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding dan fluida, dan luas permukaan A, besaran h disebut koefisien perpindahan kalor konveksi dan untuk mendapatkan nilai h dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi

Type of convection	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
Free convection of gases	25
Free convection of liquids	10-100
Free convection of gases	25-250
Forced convection of liquids	50-20000
Boiling and condensation	2500-100000

(Sumber : Holman 1991:26)

Pada penelitian ini selain terjadi proses perpindahan panas radiasi juga terjadi proses perpindahan panas konveksi dimana dinding benda kerja (bushing) dan dinding dapur mesin *hot pressing* terjadi pengangkutan kalor oleh media udara (fluida) yang berada di dapur tersebut.

3. Hantaran (konduksi)

Hantaran (konduksi) adalah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalori hanya terjadi di dalam bahan bahan hal tersebut. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.

Rumus untuk mengetahui laju perpindahan kalor konduksi:

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2-8)$$

Dimana:

q = laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = konduktivitas termal(W/m. $^{\circ}\text{C}$)

$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$

Sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor dengan sempurna. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya apabila diandaikan sebatang besi atau jenis logam lain yang salah satu ujungnya dikenakan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkut kalor di dalam bahan menurut proses perpindahan kalor konduksi.

Susunan molekul dan juga atom di dalam setiap bahan adalah berbeda. Untuk satu bahan berfase padat molekulnya tersusun rapat, berbeda dengan satu bahan berfase gas seperti udara. Molekul udara adalah renggang sekali. Tetapi dibandingkan dengan bahan padat seperti kayu, dan besi maka molekul besi adalah lebih rapat susunannya daripada molekul kayu. Bahan kayu terdiri dari gabungan bahan kimia seperti karbon, uap air, dan udara yang terperangkap sedangkan besi adalah besi. Hal tersebut data dilihat pada tabel 2.2.

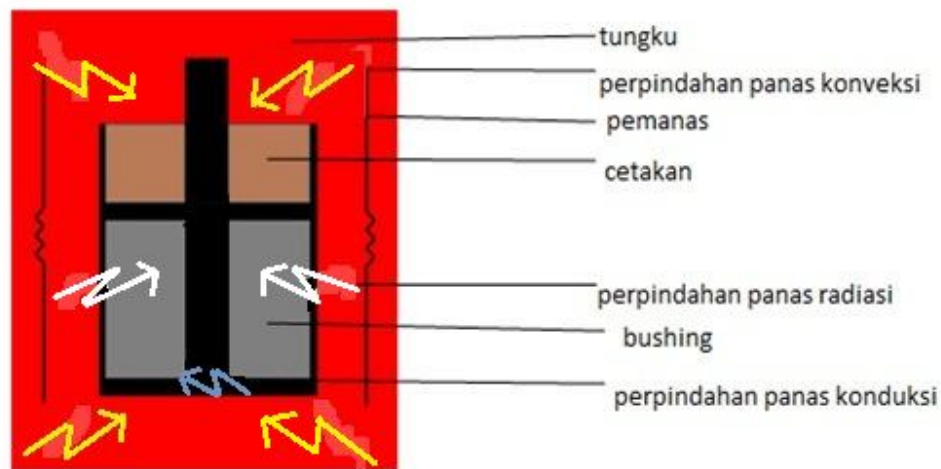
Tabel 2.2 : Konduktivitas Termal Beberapa Material pada Temperatur Ruang

Material	$K_1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
<i>Diamond</i>	2300
<i>Silver</i>	429
<i>Cooper</i>	401
<i>Gold</i>	317
Aluminium	237
<i>Iron</i>	80.2
<i>Mercury</i>	8.54
<i>Glass</i>	0.78
<i>Brick</i>	0.72
<i>Water</i>	0.613

<i>Human skin</i>	0.37
<i>Wood</i>	0.17
<i>Helium</i>	0.152
<i>Soft rubber</i>	0.13
<i>Glass fibr</i>	0.043
<i>Air</i>	0.026
<i>Urethane, rigid foam</i>	0.026

(Sumber : Cengel 2003 : 20)

Dalam penelitian ini pada benda kerja (*bushing*) memiliki lapisan-lapisan dinding, dilapisan-lapisan tersebutlah terjadi proses perpindahan panas secara konduksi. Arah energi kalor yang terjadi adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Selain itu terjadi perpindahan panas antara cetakan dengan mesin *press* yang paling bawah.



Gambar 2.8. Skema Perpindahan Panas pada *Powder Metallurgy*

Perpindahan panas yang terjadi pada proses *sintering* dan *compacting powder metallurgy* dapat dilihat pada gambar 2.8. Pada permukaan paling luar nilai kekerasannya lebih tinggi dikarenakan permukaan luar langsung bersentuhan dengan dapur pemanas. Diurutan kedua yaitu permukaan atas dilanjutkan dengan permukaan dalam karena pada permukaan tersebut tidak langsung menyentuh dapur pemanas.

2.10 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur *sintering* maka kekerasannya semakin tinggi karena pada saat proses *compacting* dan *sintering* akan mengakibatkan butiran serbuk menjadi padat sehingga menyebabkan porositas semakin rendah.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh. Dengan asumsi variabel yang konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium $\alpha\beta\gamma$ Landung Sari, Laboratorium Pengecoran Logam, Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Brawijaya. Adapun waktu penelitian dimulai pada bulan 7 Desember 2012 sampai 4 Januari 2013.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi temperatur *sintering* yaitu 450°C, 470°C, 490 °C, 510°C, dan 530 °C.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu:

- a. Distribusi Kekerasan
- b. Porositas

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

- a. Beratnya gram 40 gram
- b. Waktu penekanan 15 menit
- c. Beban penekanan 40 MPa

3.3. Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.3.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *hot pressing* digunakan untuk mengepres serbuk sehingga terbentuk spesimen yang diinginkan. Mesin ini juga berfungsi sebagai pemanas untuk memanaskan serbuk hingga meleleh.



3.1 Mesin *Hot Pressing*

2. Cetakan berfungsi membentuk spesimen



3.2 Cetakan

3. Alat Uji Kekerasan

4. Alat Uji Píknometri digunakan untuk uji porositas



3.3 Uji Píknometri

5. Palu digunakan untuk membantu proses pengeluaran spesimen dari cetakan
6. Timbangan Elektrik digunakan untuk menimbang berat serbuk yang akan digunakan
7. Penjepit baja digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.



3.4 Penjepit Baja

8. Tang memiliki fungsi sama dengan penjepit baja yaitu digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.
9. Sarung Tangan digunakan untuk melindungi tangan dari panasnya api maupun cetakan
10. Kayu digunakan membantu proses pengeluaran spesimen.



3.5 Kayu

11. Kuas

3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

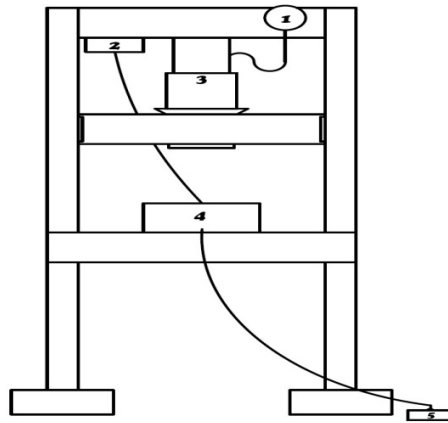
1. Serbuk paduan Al-Cu



3.6 Serbuk paduan Al-Cu

2. Grafit

3.4 Instalasi Penelitian

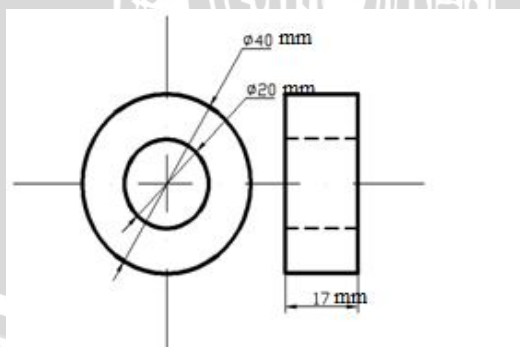


Gambar 3.7 Instalasi *Hot Pressing*

Keterangan:

1. *Pressure Gauge*
2. *Display Temperatur*
3. *Beban Penekan*
4. *Dapur Pemanas*
5. *Thermo regulator*

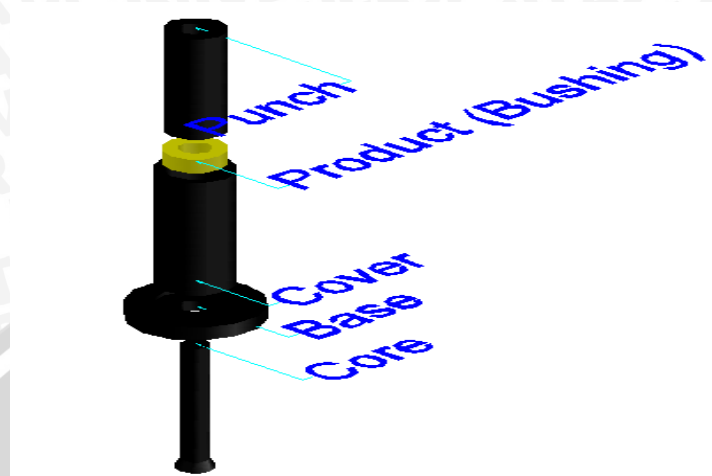
3.5 Dimensi Hasil *Powder Metallurgy*



Gambar 3.8 Rancangan Dimensi Hasil *Powder Metallurgy*

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Prosedur Percobaan



Gambar 3.9 Instalasi Cetakan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin dalam kondisi baik.
2. Timbang serbuk logam seberat 40 gr.
3. Letakkan *core* dan *base* menjadi satu susunan.
4. Letakkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *hot pressing*.
5. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga *core*, *base* dan *cover* menjadi satu susunan.
6. Masukkan serbuk logam ke celah antara *cover* dan *core*.
7. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover* sehingga *core*, *base*, *cover* dan *punch* menjadi satu susunan.
8. Berikan tekanan hingga 100 bar pada cetakan dengan menaik-turunkan tuas hidrolik pada mesin *hot pressing*.
9. Tunggu hingga temperatur mencapai 450°C, kemudian naikan tekanan hingga 400 bar.
10. Mulai *timer* dengan waktu 15 menit.
11. Jaga temperatur selama *holding time* dengan memutus/menyambung aliran listrik.
12. Setelah waktu habis, lepaskan penekan hidrolik dari cetakan.
13. Angkat cetakan dari tungku mesin *hot pressing* kemudian letakkan di papan untuk membalik spesimen
14. Lepaskan *cover* dari susunan *core* dan *base* kemudian lepaskan *punch* dari *cover*.

15. Balik *cover* kemudian pukul spesimen dengan kayu dan palu hingga spesimen agak turun.
16. Masukkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *hot pressing*.
17. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga menjadi susunan *core*, *base* dan *cover*.
18. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover*.
19. Ulangi poin 8 sampai poin 13.
20. Pukul *punch* dengan kayu dan palu sampai spesimen keluar dari dalam *cover*.

Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 20 dengan variasi temperatur yaitu 450°C, 470°C, 490 °C, 510°C,dan 530 °C .

- Spesimen kedua dilakukan dengan memberikan temperatur pada cetakan sebesar 470°C.
- Spesimen ketiga dilakukan dengan memberikan temperatur pada cetakan sebesar 490°C.
- Spesimen keempat dilakukan dengan memberikan temperatur pada cetakan sebesar 510°C.
- Spesimen kelima dilakukan dengan memberikan temperatur pada cetakan sebesar 530°C.

3.6.2 Prosedur Pengambilan Data dan Pengolahan Data

Dari hasil *powder metallurgy*, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai porositas dan nilai kekerasan. Langkah-langkah yang diambil sebagai berikut.

- a) Pengujian untuk mengetahui nilai porositas
 1. Mengambil spesimen hasil *powder metallurgy* dengan temperatur 450°C
 2. Melakukan proses penimbangan berat akhir spesimen
 3. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 2 pada spesimen *powder metallurgy* dengan temperatur 470°C, 490°C, 510°C,dan 530°C
 4. Melakukan proses pengujian porositas menggunakan peralatan *picnometry* pada semua spesimen
 5. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut
 6. Kesimpulan

b) Pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan

1. Mengambil spesimen hasil *powder metallurgy* dengan temperatur 450°C
2. Melakukan proses pemotongan spesimen hingga mendapatkan permukaan yang rata.
3. Kemudian melakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas gosok sampai didapatkan permukaan yang halus.
4. Dilakukan pengujian kekerasan.
5. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 pada specimen hasil *powder metallurgy* lainnya dengan temperatur yang berbeda yaitu 470°C, 490°C, 510°C, 530°C.
6. Melakukan pengambilan data seperti tabel

3.7. Rancangan Penelitian

- a) Rancangan penelitian dari pengaruh temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dapat dilihat dari tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Uji Kekerasan

Temperatur	Ulangan	Kekerasan Daerah titik uji		
		Tepi Luar	Tepi Dalam	Tepi Atas
450	1	HVL1	HVD1	HVA1
	2	HVL1	HVD1	HVA1
	3	HVL1	HVD1	HVA1
Jumah		HVL1	HVD1	HVA1
Rata - rata		HVL1/3	HVD1/3	HVA1/3
Rata-rata				
470	1	HVL2	HVD2	HVA2
	2	HVL2	HVD2	HVA2
	3	HVL2	HVD2	HVA2
Jumah		HVL2	HVD2	HVA2
Rata - rata		HVL2/3	HVD2/3	HVA2/3
Rata-rata				
490	1	HVL3	HVD3	HVA3
	2	HVL3	HVD3	HVA3
	3	HVL3	HVD3	HVA3

Jumah		HVL3	HVD3	HVA3
Rata - rata		HVL3/3	HVD3/3	HVA3/3
Rata-rata				
510	1	HVL4	HVD4	HVA4
	2	HVL4	HVD4	HVA4
	3	HVL4	HVD4	HVA4
Jumah		HVL4	HVD4	HVA4
Rata - rata		HVL4/3	HVD4/3	HVA4/3
Rata-rata				
530	1	HVL5	HVD5	HVA5
	2	HVL5	HVD5	HVA5
	3	HVL5	HVD5	HVA5
Jumah		HVL5	HVD5	HVA5
Rata - rata		HVL5/3	HVD5/3	HVA5/3
Rata-rata				

Keterangan:

1= Temperatur *sintering* 450(°C)

2= Temperatur *sintering* 470(°C)

3= Temperatur *sintering* 490(°C)

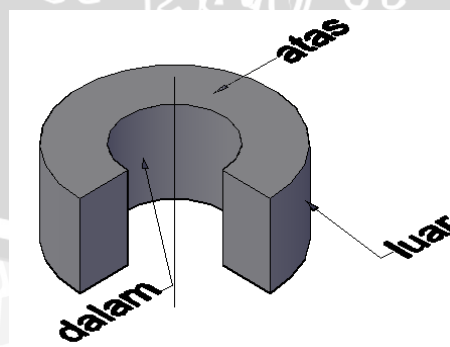
4= Temperatur *sintering* 510(°C)

5= Temperatur *sintering* 530(°C)

HVL= Nilai Kekerasan Tepi Luar

HVT= Nilai Kekerasan Tepi Atas

HVM= Nilai Kekerasan Tepi Dalam



Gambar 3.10 Bagian *Bushing* yang Diuji Kekerasannya

b) Rancangan penelitian dari pengaruh temperatur cetakan terhadap porositas

- Data penimbangan sampel dan keranjang (g)

Tabel 3.2 Data penimbangan sampel dan keranjang (g)

Temperatur(°C)	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb
450	1	As1	Ab1	Asb1
	2	As2	Ab2	Asb2
	3	As3	Ab3	Asb3
	Rata-rata	As	Ab	Asb
470	1	Bs1	Bb1	Bsb1
	2	Bs2	Bb2	Bsb2
	3	Bs3	Bb3	Bsb3
	Rata-rata	Bs	Bb	Bsb
490	1	Cs1	Cb1	Csb1
	2	Cs2	Cb2	Csb2
	3	Cs3	Cb3	Csb3
	Rata-rata	Cs	Cb	Csb
510	1	Ds1	Db1	Dsb1
	2	Ds2	Db2	Dsb2
	3	Ds3	Db3	Dsb3
	Rata-rata	Ds	Db	Dsb
530	1	Es1	Eb1	Esb1
	2	Es2	Eb2	Esb2
	3	Es3	Eb3	Esb3
	Rata-rata	Es	Eb	Esb

Keterangan :

A= Temperatur *sintering* 450(°C)

B= Temperatur *sintering* 470(°C)

C= Temperatur *sintering* 490(°C)

D= Temperatur *sintering* 510(°C)

E= Temperatur *sintering* 530(°C)

s = Berat sample di luar air (*sample*)

b = Berat sampel di keranjang di dalam air (*basket*)

sb = Berat keranjang di dalam air (*basket & sample*)

- Presentase Porositas

Tabel 3.3 Presentase Porositas

Pengulangan	Temperatur(°C)				
	450	470	490	510	530
1	A1	B1	C1	D1	E1
2	A2	B2	C2	D2	E2
3	A3	B3	C3	D3	E3
Rata-rata	A	B	C	D	E

Keterangan:

A= Temperatur *sintering* 450(°C)

B= Temperatur *sintering* 470(°C)

C= Temperatur *sintering* 490(°C)

D= Temperatur *sintering* 510(°C)

E= Temperatur *sintering* 530(°C)

3.8. Sumber Data

Sumber data penelitian terdiri atas sumber data primer dan data sekunder.

3.8.1. Data Primer

Data primer merupakan sumber data yang diperoleh langsung dari sumber asli. Data primer dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data primer yaitu metode penelitian eksperimental nyata.

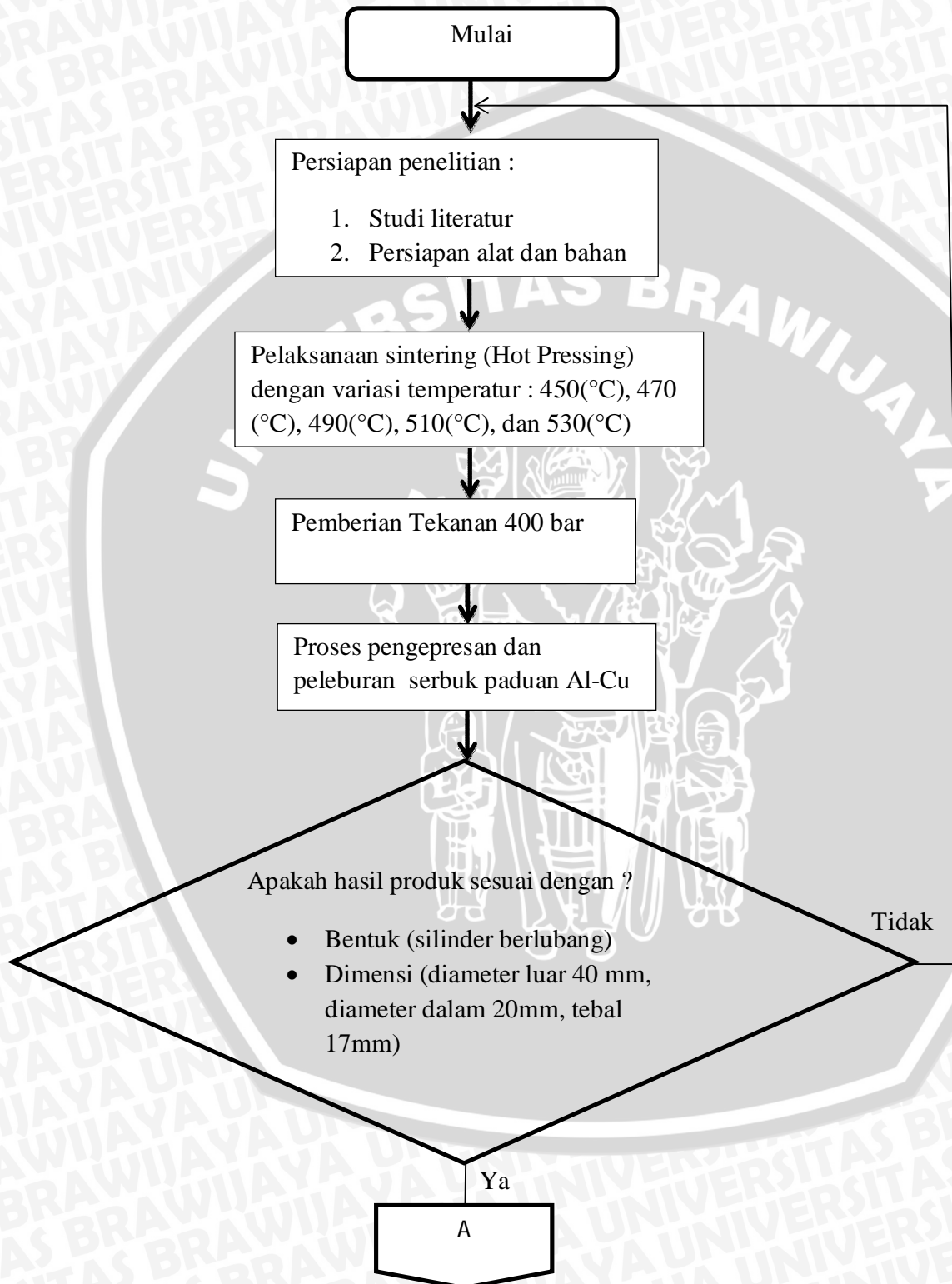
3.8.2. Data Sekunder

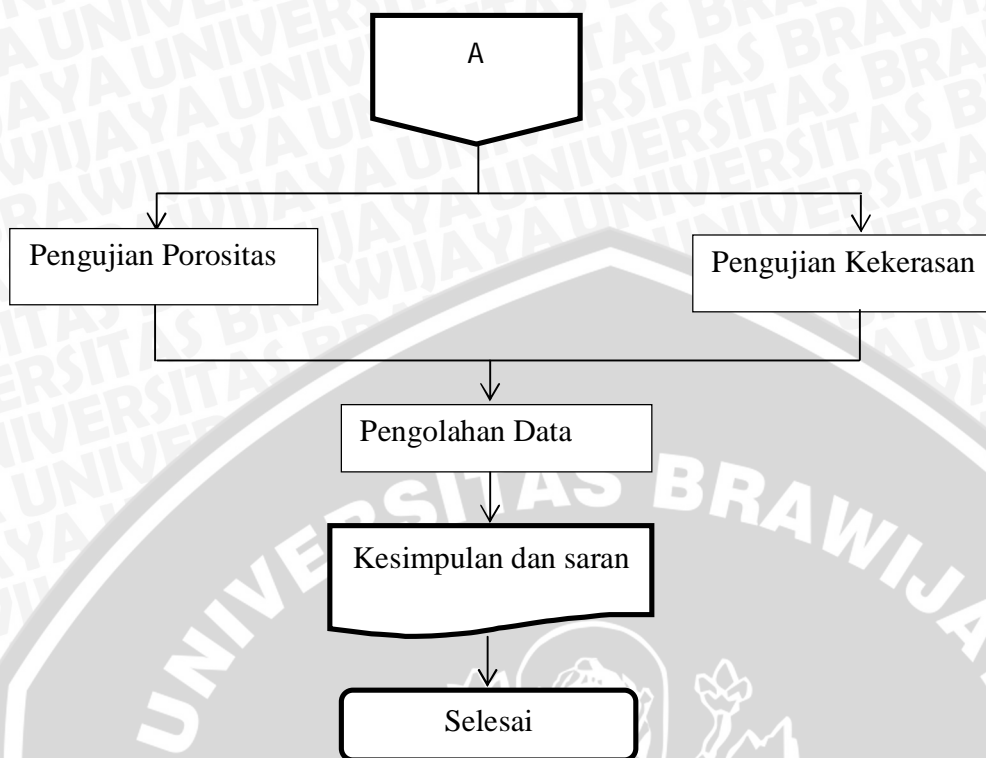
Data sekunder adalah data primer yang diperoleh dari pihak lain atau data primer yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan baik oleh pengumpul data primer atau oleh

pihak lain yang pada umumnya disajikan dalam bentuk tabel-tabel atau diagram-diagram. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data kandungan unsur pada duralumin oleh Febrienni Binarwati W.



3.9 Diagram Alir Penelitian





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1. Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan nilai kekerasan *Vickers* (VHN) seperti pada tabel 4.1. Dalam pengujian sampel yang diambil untuk tiap variasi temperatur *sintering* yaitu bagian atas, bagian dalam, dan bagian luar. Pada tiap bagian sampel masing-masing dilakukan tiga kali pengulangan di titik yang berbeda pada permukaan uji kekerasan. Nilai kekerasan diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan pada tiap sampel

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Temperatur(°C)	Ulangan	Kekerasan Daerah Titik Uji		
		A	B	C
450	1	55.73	46.64	49.53
	2	54.31	48.44	55.48
	3	52.54	45.43	51.03
Jumah		162.58	140.51	156.04
Rata - rata		54.19	46.84	52.01
51.0144				
470	1	60.07	51.84	50.04
	2	56.09	46.63	57.71
	3	54.09	49.63	54.54
Jumah		170.25	148.1	162.29
Rata - rata		56.75	49.37	54.09
53.4044				
490	1	59.33	52.71	55.37

	2	65.24	52	57.84
	3	70.43	45.72	55.24
Jumah		195	150.43	168.45
Rata - rata		65	50.14	56.15
57.0978				
510	1	69.24	54.89	68.75
	2	61.45	63.45	59.94
	3	67.93	54.66	61.3
Jumah		198.62	173	189.99
Rata - rata		66.21	57.67	63.33
62.4011				
530	1	65.86	66.73	64.94
	2	74.55	54.95	71.12
	3	65.13	54.88	68.09
Jumah		205.54	176.56	204.15
Rata - rata		68.51	58.85	68.05
65.1389				

4.1.2. Data dan Perhitungan Presentase Porositas

4.1.2.1. Perhitungan *True density*

Perhitungan *true density* menggunakan standar ASTM E252-84 rumus (2-3) di bawah ini:

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

dengan:

ρ_{th} = Densitas berat teoritis atau *True density* (gr/cm³)

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas berat unsur (gr/cm³)

$\%Al, \%Cu, \%Fe, etc$ = Presentase berat unsur (%)

dengan tahapan: a. Data densitas unsur diperoleh dari tabel unsur.

b.Data prosentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectrometer*.

Tabel 4.2 Densitas Unsur (g/cm³)

Densitas	Unsur (g/cm ³)											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
	2.7	2.33	7.87	8.89	7.3	1.81	7.14	7.15	8.9	4.51	11.33	7.29

Data hasil dihitung menggunakan rumus (2-3):

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

$$= \frac{100}{Total A} = \frac{100}{35.5159} = 2.815 \text{ g/cm}^3$$

4.1.2.2 Perhitungan *Apparent density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-4) dibawah ini:

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

dengan:

ρ_s = Densitas berat sampel atau *Apparent density* (gr/cm³).

ρ_w = Densitas berat air (gr/cm³).

W_s = Berat berat sampel di udara (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

Tabel 4.3 Data Penimbangan sampel dan keranjang (g)

Temperatur (°C)	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb

530	1	37,23	0,67	23,76
	2	37,21	0,67	24,01
	3	36,4	0,67	23,57
Rata-rata		36.9467	0.67	23.78
510	1	38,81	0,67	24,7
	2	38,52	0,67	24,7
	3	38,75	0,67	23,69
Rata-rata		38.6933	0.67	24.3633
490	1	37,66	0,67	23,97
	2	37,5	0,67	24,03
	3	36,56	0,67	23,51
Rata-rata		37.24	0.67	23.8367
470	1	36,56	0,67	23,17
	2	36,26	0,67	23,04
	3	37,51	0,67	23,89
Rata-rata		36.7767	0.67	23.3667
450	1	38,33	0,67	23,91
	2	38,73	0,67	24,19
	3	38,83	0,67	24,55
Rata-rata		38.63	0.67	24.2167

Sehingga diperoleh perhitungan *apparent density* sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data *Apparent density* (g/cm^3)

Pengulangan	Temperatur ($^{\circ}C$)				
	530	510	490	470	450
1	2.6245	2.6174	2.6142	2.5919	2.5319
2	2.6742	2.6499	2.6436	2.6022	2.5382
3	2.6877	2.6680	2.6536	2.6165	2.5890
Rata-rata	2.6621	2.6451	2.6371	2.6035	2.5530

Perhitungan densitas sampel menggunakan data pengulangan pertama dengan temperatur 530($^{\circ}C$), menggunakan rumus (2-4):

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

$$= 0.9968 \frac{37.23}{37.23 - (23.76 - 0.67)} = 2.624531 \text{ g/cm}^3$$

4.1.2.3 Presentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* dengan menggunakan rumus (2-5) sebagaimana berikut ini:

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

dengan:

$\%P$ = Presentase porositas (%)

ρ_s = Densitas berat sampel atau *Apparent density* (gr/cm^3).

ρ_{th} = Densitas berat teoritis atau *True density* (gr/cm^3).

Tabel 4.5 Data Persentase porositas (%)

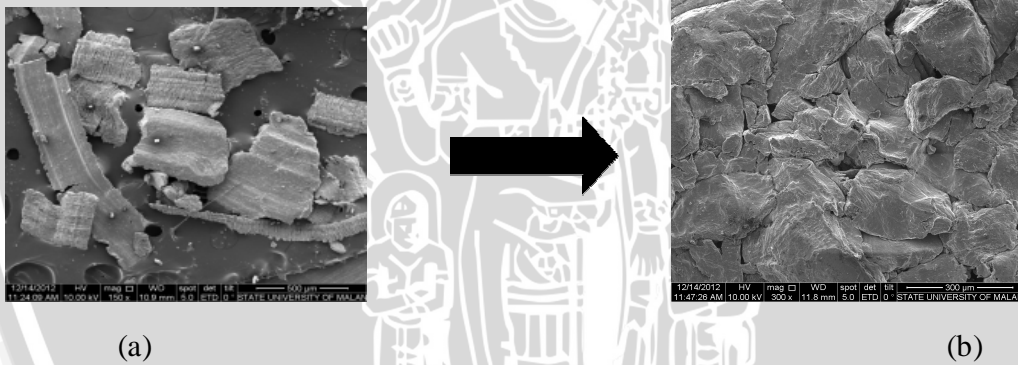
Pengulangan	Temperatur ($^{\circ}C$)
-------------	----------------------------

	530	510	490	470	450
1	6.7662	7.018	7.1343	7.9231	10.0546
2	5.0023	5.8658	6.0901	7.561	9.8329
3	4.5239	5.2201	5.77	7.051	8.028
Rata-rata	5.4306	6.0346	6.2927	7.5117	9.3052

Perhitungan presentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dengan temperatur 530(°C), menggunakan rumus (2-6):

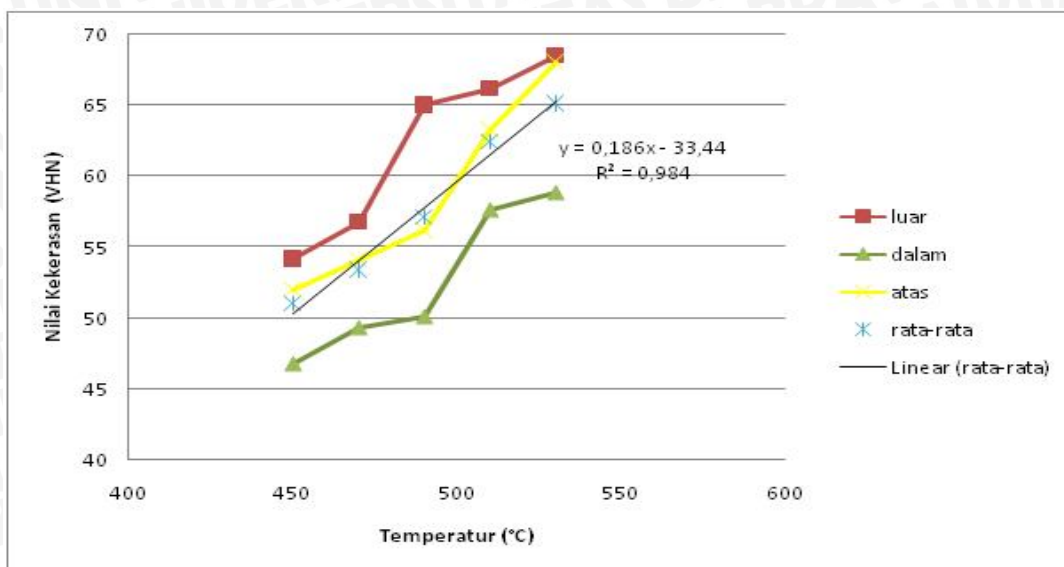
$$\begin{aligned} \% P &= \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \\ &= 1 - \frac{2.624531}{2.815} \times 100\% \\ &= 6.7662\% \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan



Gambar 4.1. (a) Hasil Foto SEM serbuk sebelum proses P/M. (b) Hasil Foto SEM serbuk setelah proses P/M.

Pada saat serbuk telah dilakukan proses P/M maka serbuk akan mengalami proses penyatuan antara serbuk satu dengan serbuk lainnya dapat dilihat pada gambar 4.1. Proses *compacting* dan *sintering* yang berperan penting sehingga serbuk tersebut dapat bersatu dan menjadi satu kesatuan membentuk sebuah produk (*bushing*).



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Temperatur *sintering* terhadap nilai kekerasan

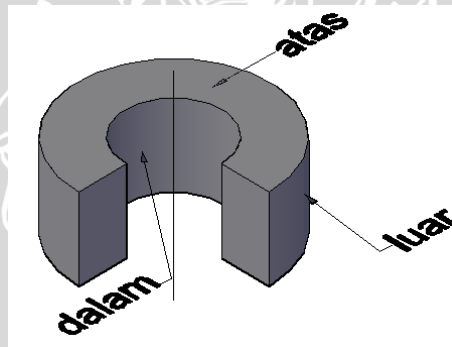
Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh temperatur *sintering* terhadap nilai distribusi kekerasan spesimen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai berkisar antara paling rendah 45.43 VHN dan nilai paling tinggi 74.55 VHN pada ketiga bagian (dalam, luar dan atas). Pada temperatur 450°C terlihat nilai distribusi kekerasan spesimen ialah 45.43 VHN- 55.73 VHN. Nilai ini semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur terlihat pada temperatur 470°C yaitu 46.63 VHN – 60.07 VHN. Berbeda dengan peningkatan temperatur 510°C-530°C yang relatif lebih besar dibanding dengan peningkatan nilai distribusi kekerasan dari temperatur 490°C-510°C.

Bagian luar memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada kekerasan pada bagian atas dan dalam yaitu pada temperatur 450°C, 470°C, 490°C, 510°C, dan 530°C masing-masing memiliki nilai kekerasan 54.19 VHN, 56.75 VHN, 65 VHN, 66.21 VHN, dan 68.51 VHN. Pada temperatur 470°C-490°C terlihat kenaikannya sangat tinggi dibanding pada perubahan variasi temperatur lainnya. Hal ini disebabkan Pada bagian luar lebih dahulu berinteraksi dengan bagian luar, maka laju pendinginan lebih cepat sehingga kekerasan lebih tinggi dibanding bagian lainnya.

Pada bagian atas memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding bagian luar yaitu pada temperatur 450°C, 470°C, 490°C, 510°C, dan 530°C masing-masing memiliki nilai kekerasan 52.01 VHN; 54.09 VHN; 56.15 VHN; 63.33 VHN; 68.05 VHN dan 68.84 VHN.

Pada temperatur 490°C -510°C terlihat kenaikan nilai kekerasannya sangat tinggi dibanding pada perubahan variasi temperatur lainnya. Pada pembuatan bushing bagian atas adalah bagian yang berhubungan langsung dengan punch, sedangkan bagian luar langsung berhubungan dengan dapur pemanas sehingga panas yang sampai lebih merata dibagian atas dibanding bagian luar. Sehingga laju pendinginan relatif lebih rendah dibanding bagian luar sehingga kekerasan lebih rendah dibanding bagian luar.

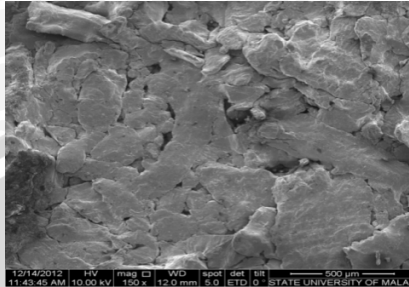
Pada bagian dalam memiliki nilai kekerasan yang paling rendah dibanding permukaan luar dan permukaan atas yaitu pada temperatur 450°C, 470°C, 490°C, 510°C, dan 530°C masing-masing memiliki nilai kekerasan 49.37 VHN; 50.14 VHN; 57.67 VHN; 58.85 VHN. Pada temperatur 490°C -510°C terlihat kenaikannya sangat tinggi dibanding pada perubahan variasi temperatur lainnya. Pada proses pendinginan bagian dalam akan lebih lambat dikarenakan bagian dalam terletak paling jauh dari dapur pemanas sehingga laju pendinginan berlangsung lebih lambat dibanding bagian atas dan bagian luar.



Gambar 4.3 Bagian *bushing* yang di uji kekerasannya

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai distribusi kekerasan per bagian permukaan memiliki nilai yang berbeda-beda. Di urutan pertama yang memiliki nilai distribusi kekerasan paling tinggi adalah bagian luar kemudian di urutan kedua bagian atas dan selanjutnya bagian dalam. Hal ini disebabkan pada bagian luar terjadi perpindahan panas secara langsung menyentuh tungku pemanas sehingga panas yang didapatkan lebih tinggi nilainya. Panas yang terjadi tersebut dapat membantu serbuk untuk melakukan proses *sintering* secara lebih maksimal sehingga kekerasan lebih tinggi. Sedangkan pada bagian atas dan bagian dalam perpindahan panas tidak secara langsung terjadi sehingga mengakibatkan serbuk tidak maksimal melakukan proses *sintering*nya sehingga nilai

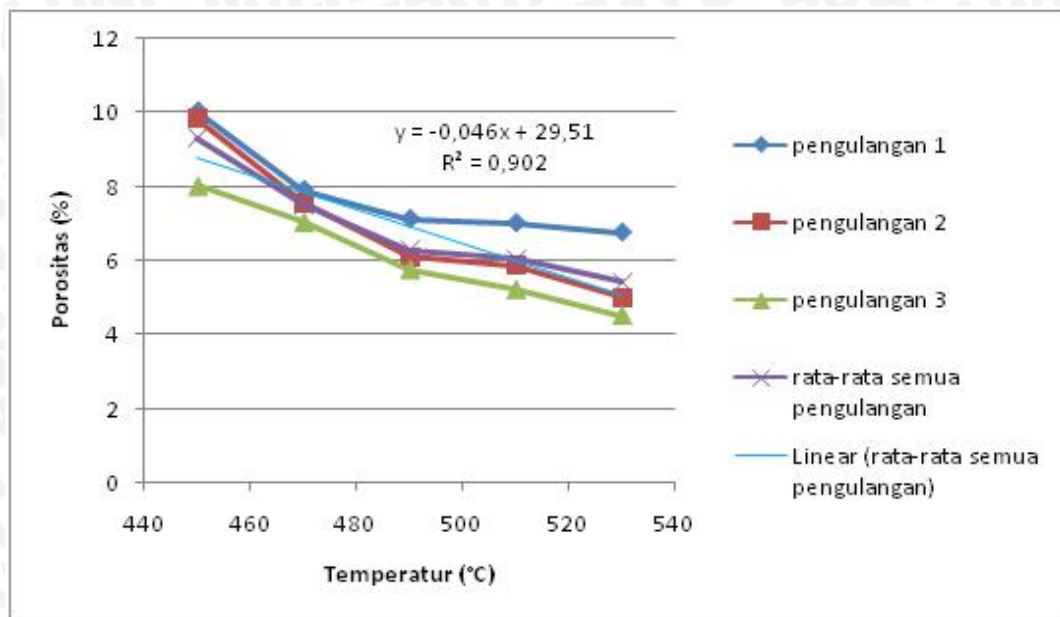
kekerasannya lebih rendah dibanding bagian luar. Akan lebih baik apabila untuk mencapai nilai kekerasan yang maksimal dilakukan proses *sintering* pada temperatur 490°C -510°C.



Gambar 4.4 Foto SEM Temperatur 490°C (Permukaan Atas)

Peningkatan yang paling rendah terlihat pada temperatur 450°C-470°C. Hal ini disebabkan dalam proses *sintering* dan penekanan yang diberikan. Dalam proses ini ukuran butir juga ikut berpengaruh, dikarenakan dengan ukuran butir yang semakin kecil maka akan semakin mudah butir tersebut untuk bergabung dengan butir yang lain. Pemberian tekanan pada proses *sintering* menyebabkan partikel aluminium dan partikel tembaga bergerak mengisi ruang kosong didalam campuran. Sehingga akan menghasilkan luas bidang kontak(*interface*) antara butir bertambah besar. Dan ikatan antar butir akan bertambah kuat.

Peningkatan temperatur mengakibatkan celah-celah udara yang berisi berbagai gas disekitar partikel menjadi berkurang dengan cara penguapan bahkan cenderung menghilang dan akan terisis oleh partikel-partikel, maka dihasilkan kerapatan atau *density* campuran yang akan semakin meningkat. Dengan demikian kekerasan dan sifat-sifat mekaniknya meningkat.



Gambar 4.5. Grafik Pengaruh Temperatur *Sintering* terhadap Presentase Porositas

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas spesimen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai berkisar antara paling rendah 4.5239% dan nilai paling tinggi 10.0546%. Pada temperatur 450°C terlihat presentase porositas 8.028% - 10.0546%. Presentase ini semakin menurun dengan meningkatnya temperatur terlihat pada temperatur 470°C yaitu 7.051%-7.9231%. Berbeda dengan penurunan temperatur 510°C-530°C yang relatif lebih besar dibanding dengan penurunan porositas dari temperatur 490°C-510°C.

Penurunan nilai porositas pada temperatur 450°C-470°C cenderung lebih rendah dibanding temperatur 470°C-490°C. Hal ini disebabkan semakin tingginya temperatur *sintering* maka butiran serbuk menjadi padat sehingga menurunkan nilai presentase porositas. Pada temperatur 490°C-510°C terjadi penurunan nilai presentase porositas cenderung rendah dibanding dengan temperatur lain dapat dikatakan penurunan nilai porositas stabil. Terbukti pada temperatur 490°C nilai rata-rata porositasnya 6.2927, sedangkan pada temperatur 510°C nilai rata-rata porositasnya 6.0346. Sehingga dapat diambil kesimpulan pada temperatur 490°C -510°C tidak terjadi penurunan porositas. Porositas semakin menurun pada temperatur 510°C -530°C. Berdasarkan penelitian ini

dapat disimpulkan pada temperatur 490°C - 510°C merupakan temperatur terbaik untuk dilakukan proses *powder metallurgy* pada *bushing* Duralumin.



Gambar 4.6. Porositas yang Terjadi pada Temperatur 490°C Permukaan Atas

Dapat dilihat pada gambar 4.6 bahwa porositas yang terjadi berupa lubang-lubang hitam pada permukaan. Dimana semakin tinggi suhu *sintering* maka semakin lunak butiran yang terbentuk sehingga luas kontak daerah yang bersentuhan semakin besar dan mengakibatkan celah yang terbentuk kecil antara satu butiran dengan butiran yang lainnya dan mengakibatkan porositas kecil.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap distribusi kekerasan dan porositas *powder metallurgy* pada *bushing duralumin*, dimana peningkatan temperatur *sintering* akan meningkatkan kekerasan spesimen pada proses *powder metallurgy*. Hal ini terbukti kekerasan minimum rata-rata didapatkan pada temperatur *sintering* 450°C sebesar 54.19 VHN sedangkan kekerasan maksimum rata-rata didapatkan pada temperatur *sintering* 510°C sebesar 68.51 VHN. Sedangkan semakin tinggi temperatur maka porositasnya semakin menurun. Hal ini terbukti porositas minimum rata-rata didapatkan pada temperatur *sintering* 530°C sebesar 5.43 % sedangkan porositas maksimum rata-rata didapatkan pada temperatur *sintering* 450°C sebesar 9.31 %.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yang lain dari paduan Aluminium hasil *powder metallurgy*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan sifat mekanik terutama kekerasannya antara Aluminium dan Tembaga dan Aluminium tanpa paduan dengan perlakuan yang sama.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variabel yang tidak terkontrol dalam penelitian ini, misalnya beban penekanan dan waktu penekanan.

LAMPIRAN 1

HASIL UJI KOMPOSISI PADUAN Al-Cu



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UT - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
 COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 5

No Laporan Report Nr	0436	Bahan Material	Aluminium
Pemakai Jasa Customer	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan Material Identity	Code : A
Alamat Address	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima Receiving Date	13 April 2012
No Kontrak Contract Nr	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar Standard	ASTM A751
Tanggal Uji Date of Test	18 April 2012	Mesin Uji Testing machine	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
A	0.405	0.442	5.29	0.043	0.159	0.108
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.011	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan

* ketidaktepatan bertangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2

** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM







FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA

Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 2 of 5


No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : B
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
B-15 <i>5.55-2.3</i>	0.408	0.443	5.55	0.062	0.214	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan:

* ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM







FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 3 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : C
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
C	0.434	0.436	5.79	0.036	0.205	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.005	<0.005**	0.010	0.002	<0.010**	Bal.

catatan:
 * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM







FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 4 of 5

No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
Pemakai Jasa	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan	Code : D
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
<i>Address</i>		<i>Receiving Date</i>	
No Kontrak	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar	ASTM A751
<i>Contract Nr.</i>		<i>Standard</i>	
Tanggal Uji	18 April 2012	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer*
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
D	0.416	0.429	5.45	0.038	0.240	0.107
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.010	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan

* ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2

** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012

Manajer Teknis

Laboratorium Uji

Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 5 of 5


No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : E
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
E	0.446	0.459	5.46	0.034	0.235	0.090
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	0.003	<0.010**	Bal.

catatan

- * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material



(Ahmad Ashari, ST)

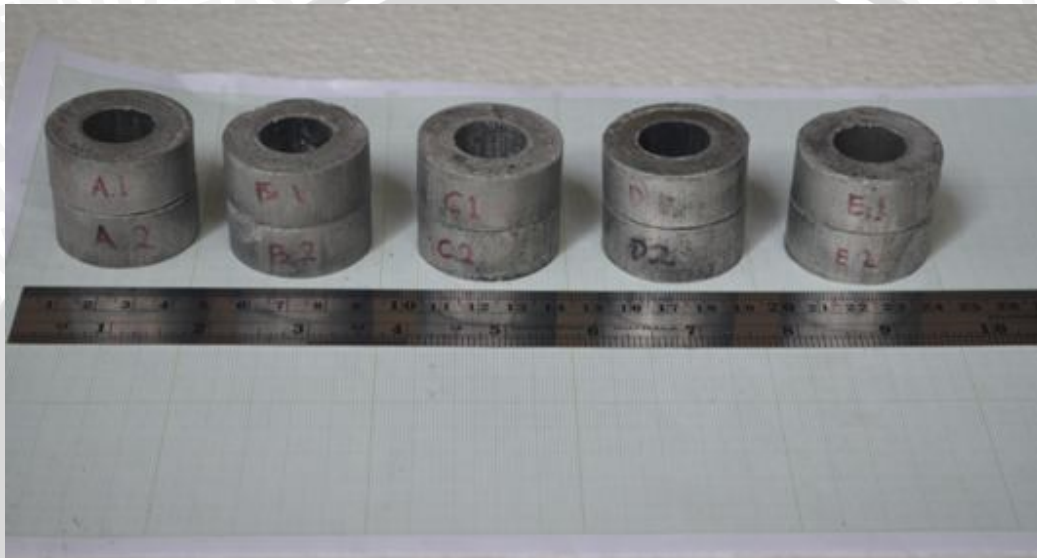
FF-25/LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



LAMPIRAN 2

FOTO BUSHING HASIL POWDER METALLURGY



LAMPIRAN 3

FOTO KEGIATAN PENELITIAN



Mesin Hot Pressing



Proses Penyusunan Cetakan



Proses Pemasukan Serbuk Ke Dalam Dapur Pemanas



Proses Pengujian Piknometri