

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada saat ini, perkembangan teknologi *Metal Matrik Composite* (MMC) semakin maju seiring dengan berkembangnya teknologi industri otomotif. Penggunaan baja sebagai bahan baku suku cadang dan komponen otomotif mulai digantikan dengan bahan komposit dimana memiliki sifat mampu bentuk dan ketahanan korosi yang baik. Metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*) merupakan salah satu metode pembuatan MMC yang paling banyak digunakan dalam pembuatan komponen otomotif karena menawarkan efisiensi bahan baku dan energi yang lebih efisien dibandingkan dengan metode produksi lainnya.

Penerapan teknologi MMC dalam industri otomotif di Indonesia, khususnya yang berbasis *powder metallurgy* masih belum optimal. Hal ini dapat dilihat dari jumlah produksi komponen otomotif dalam negeri yang masih rendah, yaitu sebesar 200 produk dibandingkan dengan Thailand yang sudah memiliki 1500 produk industri komponen otomotif. Padahal kebutuhan komponen otomotif dalam negeri, baik untuk kendaraan baru maupun untuk suku cadang cukup besar. (<http://www.bppt.go.id/>).

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.

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.

*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.

Suatu *bushing* yang baik adalah *bushing* yang mempunyai sifat mekanik yaitu kekuatan dan kekerasan yang tinggi namun mempunyai keausan yang rendah. *Bushing* harus mempunyai distribusi kekerasan yang tinggi karena dilihat dari fungsinya untuk menumpu poros berbeban sehingga adanya beban dan gaya dari berbagai arah tidak 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 bahan baku yang digunakan dalam *powder metallurgy*.

Pada paduan duralumin terdapat kelemahan pada produk yang dihasilkan, dikarenakan ketahanan korosi pada aluminium akan berkurang sehingga produk akan mudah terkorosi karena adanya rongga udara. Selain itu pada saat proses *compacting* serbuk duralumin membutuhkan *binder* agar pada saat proses *compacting* rongga antar butir serbuk duralumin dapat tertutup maksimal, sehingga tidak ada udara pada rongga antar butir serbuk duralumin yang dapat mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan.

Dalam hal ini peneliti memilih untuk memadukan paduan aluminium tembaga atau yang dikenal dengan Duralumin dengan komposisi tembaga (Cu) sebesar 5% dari berat aluminium, dengan Si. Dikarenakan Si dapat menghambat laju korosi pada duralumin. Selain itu Si dapat berfungsi sebagai *binder* yang mampu mengikat serbuk Al-Cu, serta Si merupakan unsur yang banyak ditemui di permukaan kerak bumi.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

### 1.3 Batasan Masalah

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

1. Pembahasan difokuskan pada 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 penambahan Si terhadap distribusi kekerasan *powder metallurgy* pada *bushing* duralumin.
2. Mendapatkan *bushing* dengan 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 Rusianto (2009) meneliti bahwa alumunium serbuk untuk pembuatan *bushing* kompaksi tekanan yang dibutuhkan adalah 5400 Kg. Variasi suhu *pressing* T (suhu ruang) 100°C, 200°C, 300°C pemanasan dan pengepresan menggunakan alat cetakan *hot pressing powder metallurgy*. Hasil penelitian menunjukkan presentase rata-rata porositas mengalami penurunan dengan meningkatnya temperatur kompaksi, dan berat jenis *bushing* mengalami kenaikan dengan meningkatnya suhu *hot pressing*. 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) mm<sup>3</sup> dan disinter pada suhu 550°C di lingkungan gas argon. Hasil penelitian menunjukkan penambahan partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menurunkan densitas dari komposit paduan Al-Si. Kekerasan optimal diperoleh pada komposit paduan Al-Si dengan kandugan 6% bert Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu sebesar 35 HV. Kekuatan bending optimal diperoleh pada komposit paduan Al-Si dengan kandungan 6% dan 9% berat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu sebesar 23 MPa.

Ika (2012) meneliti pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas dan distribusi kekerasan pada *bushing powder metallurgy* duralumin. Dimana variasi temperatur *sintering* 450°C, 470°C, 490 °C, 510°C dan 530°C dan beban penekanan 40 MPa selama 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka nilai distribusi kekerasannya juga semakin tinggi namun semakin tinggi temperatur nilai porositasnya semakin turun

## 2.2. Teori Dasar *Powder Metallurgy*

### 2.2.1. Pengertian *Powder Metallurgy*

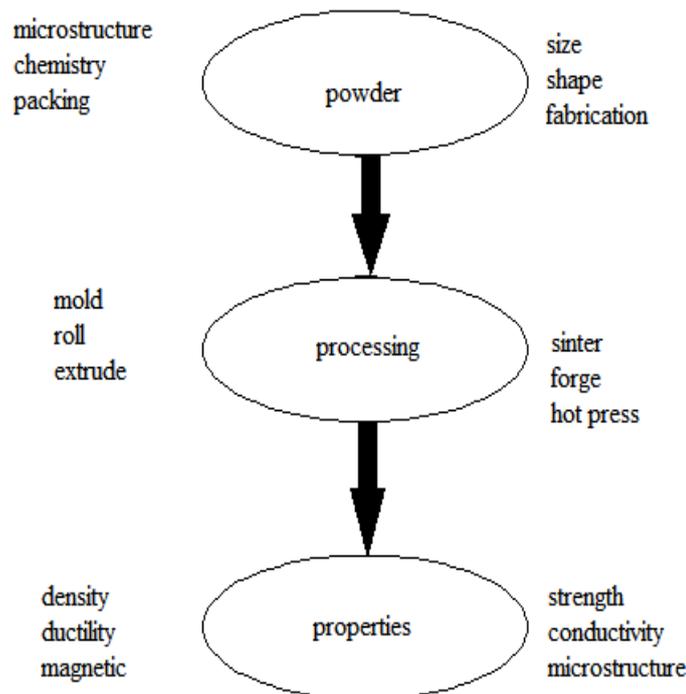
*Powder Metallurgy* adalah proses memproduksi benda kerja berbahan dasar serbuk logam, baik dengan satu unsur maupun beberapa unsur paduan. Dapat juga ditambahkan dengan unsur non logam ataupun unsur-unsur kimia dengan berbagai komposisi yang tidak mungkin dilakukan dengan proses lain.

Dalam *powder metallurgy* proses yang utama adalah proses pemadatan (*compacting*) dan proses *sintering*. 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.

## POWDER METALLURGY PROCESSING



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 melewati 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.

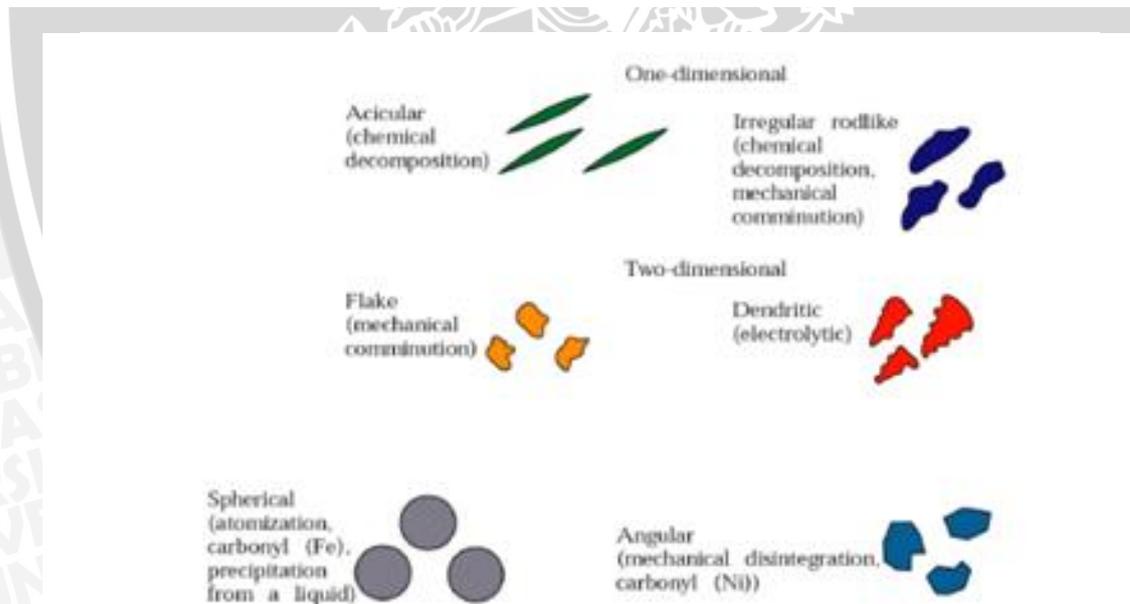
### C. Karakteristik aliran

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 dibawah ini:

- ✓ *Sphreroidal* 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 : R. M. German, 1994:63

### E. Kemampuan Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan. 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. Kualitas pencampuran sangat penting, Karena proses pencampuran tidak dapat diperbaiki pada proses-proses selanjutnya

Pada proses ini ada dua pencampuran yaitu *dry powder mixing* dan *mixing with binder and lubricants*. Pada *dry powder mixing* serbuk paduan dicampur dengan beberapa metode, antara lain: *diffusion*, *convection*, dan *shear*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan campuran serbuk yang rata. Pada *mixing with binder and lubricants* berfungsi agar campuran serbuk logam mempunyai pengikat agar ikatan antar butir logam semakin kuat.

### 2.3.2. Compacting

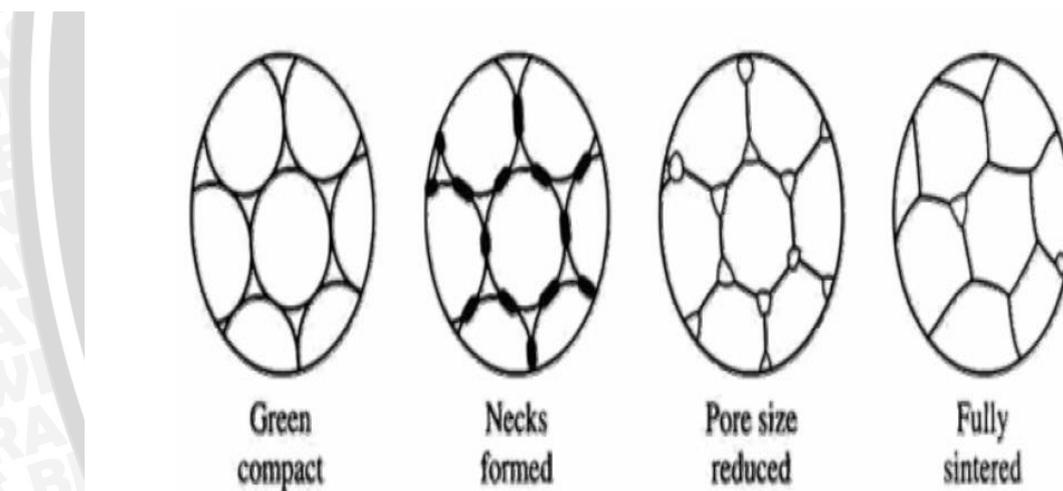
*Compacting* adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compacting*) dan penekanan panas (*hot compacting*). *Cold compacting* yaitu memadatkan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 MPa 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-koheksi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) 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. 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. Lingkungan sangat berpengaruh karena bahan mentah terdiri dari partikel kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu lingkungan harus terdiri dari gas reduksi atau nitrogen untuk mencegah terbantuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses sinter.



Gambar 2.3. Proses Difusi *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 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  $\text{CuAl}_2$  dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293).

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

#### 2.4.1. Alumunium

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

Alumunium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi logam oleh HC.Oersted tahun 1825, secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C.M.Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminum dari alumina dengan cara dari elektrolis dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses *Heroult Hall* masih dipakai unuk memproduksi alumunium. Penggunaan alumunium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara non fero (Surdia, 2000:129). Alumunium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahnya 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 alumunium 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 alumunium 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. Penambahan silikon pada aluminium akan meningkatkan sifat mampu tuang pada proses pengecoran, meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan serta berperan dalam penurunan keuletan dari paduan aluminium.
- **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 (<http://id.wikipedia.org/besi>). 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.
- **Nikel (Ni)**  
Nikel adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28. Memiliki sifat tahan korosi dan tahan oksidasi pada suhu yang tinggi. Paduan aluminium dengan nikel akan menghilangkan suatu sistem pengerasan pengendapan. Penambahan Ni dan Mn secara bersama-sama sangat efektif untuk memperbaiki keuletan aluminium.

- **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 alumunium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.
- **Chromium (Cr)**  
Penambahan *chromium* dapat memperbaiki ketahanan korosi, sifat mampu las, tahan panas dan tidak mudah teroksidasi. Namun demikian jumlah *chromium* terhadap alumunium yang berlebihan akan menurunkan sifat mampu bentuknya.
- **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

#### 2.4.1.2 Sifat Umum dari Berbagai Jenis Paduan Al

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

- **Jenis Alumunium Murni (seri 1xxx)**  
Jenis ini mengandung Al 99,9 %. Alumunium dalam seri ini memiliki sifat yang baik dan ketahanan korosi, konduktivitas listrik, mampu las, dan mampu potong. Jenis alumunium ini kurang menguntungkan dari kekuatan yang rendah.
- **Jenis Paduan Al-Cu (seri 2xxx)**  
Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku 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. Paduan alumunium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan dan memperpanjang usia benda akibat *fatigue*
- **Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)**  
Jenis paduan ini adalah jenis yang tidak dapat dilaku panas sehingga peningkatan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis alumunium murni ,

paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong, dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul daripada jenis aluminium murni.

- Jenis paduan Al- Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis paduan larut dalam keadaan cair dan tidak larut dalam keadaan padat. Sehingga paduan ini tidak dapat dilaku panas seperti paduan lainnya (seperti Al-Cu, Al-Mg, ataupun Al-Zn), namun jenis paduan ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik, dan mempunyai sifat penyusutan yang kecil.

- Jenis paduan Al- Mg (seri 5xxx)

Jenis ini termasuk yang dapat dilaku panas, mempunyai sifat yang baik dalam dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya yang baik. Selain itu paduan ini memiliki *machinability* yang baik.

- Jenis paduan Al- Mg-Si (seri 6xxx)

Jenis ini termasuk paduan yang dapat dilaku panas, dan mempunyai mampi sifat potong, daya tahan korosi yang baik *thermal expansion* yang rendah, serta sifat mampu lasnya yang baik

- Jenis paduan Al- Zn (seri 7xxx)

Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi diantara paduan lainnya. Dapat dilaku panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsure paduan lain. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara.

#### 2.4.2. Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis  $889 \text{ g/cm}^3$ . Yang mempunyai titik lebur  $1070^\circ\text{C} - 1193^\circ\text{C}$ . Tembaga sering digunakan dalam industri manufaktur dikarenakan memiliki sifat-sifat yang menguntungkan antara lain adalah mempunyai sifat 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. 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. China merupakan Negara pemasok silicon terbesar di dunia, dengan jumlah 4,6 juta ton (atau 2/3 produksi dunia), kebanyakan dalam bentuk ferrosilicon. Disusul kemudian oleh Rusia (610.000 ton), Norwegia (330.000 ton), Brasil (240.000 ton), dan Amerika Serikat (170.000 ton). (Wikipedia.org)

Silikon *metallurgical grade* adalah silikon yang dibuat secara komersial dengan mereaksikan silika dengan kayu, arang, dan batu bara pada sebuah perapian listrik menggunakan elektroda karbon. Pada suhu lebih dari 1900°C (3400°F). karbon dari bahan-bahan tadi dan silikon mengalami reaksi kimia  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$ . silikon cair pada bagian dasar tungku, yang kemudian dialirkan dan didinginkan. Silikon yang diproduksi melalui proses ini disebut *metallurgical grade* dengan tingkat kemurnian paling kecil 98%.

## 2.6. Ikatan

Ikatan adalah sebuah proses fisika yang bertanggung jawab dalam interaksi gaya tarik menarik antara dua atom atau molekul yang menyebabkan suatu senyawa diatomik atau poliatomik menjadi stabil.

- Ikatan Ion

Ikatan ion merupakan sejenis interaksi elektrostatik antara dua atom yang memiliki perbedaan elektro negativitas yang besar. Tidaklah terdapat nilai-nilai yang pasti yang membedakan ikatan ion dan ikatan kovalen, namun perbedaan

elektro negativitas yang lebih besar dari 2,0 biasanya disebut ikatan ion, sedangkan perbedaan yang lebih kecil dari 1,5 biasanya disebut ikatan kovalen. Ikatan ion menghasilkan ion-ion positif dan negatif yang berpisah. Muatan-muatan ion ini umumnya berkisar antara  $-3e$  sampai dengan  $+3e$

- Ikatan Kovalen

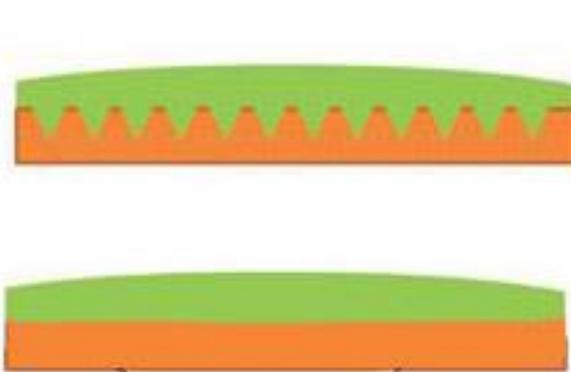
Ikatan kimia yang dikarakteristikan oleh pasangan electron yang saling terbagi (kongsi electron) diantara atom-atom yang berikatan. Singkatnya, stabilitas tarikan dan tolakan yang terbentuk diantara atom-atom ketika mereka berbagi electron dikenal sebagai ikatan kovalen.

- Ikatan Logam

Ikatan kimia yang terbentuk akibat penggunaan bersama electron-elektron valensi antar atom logam, senyawa yang terbentuk hasil dari ikatan logam dinamakan logam (jika semua atom adalah sama)

- Ikatan mekanik

Ikatan mekanik adalah jenis ikatan kimia yang ditemukan dalam struktur molekul mekanis bertautan seperti catenanes dan rotaxanes. Tidak seperti struktur molekul klasik, molekul saling bertautan terdiri dari dua atau lebih komponen yang terpisah yang tidak terhubung dengan (kovalen) ikatan kimia. Setiap komponen terkait dengan yang lain menghasilkan ikatan mekanis yang mencegah pemisahan tanpa pembelahan satu atau lebih ikatan kovalen. Ikatan mekanis adalah istilah yang relatif baru dan pada saat ini telah membatasi penggunaan dalam literatur kimia relatif terhadap obligasi yang lebih stabil, seperti kovalen, hidrogen, atau ikatan ion.



Gambar 2.4 Skema Ikatan Mekanik

Dengan kata lain ikatan mekanik terjadi akibat kekasaran permukaan yang mengakibatkan terjadinya ikatan. Seperti ditunjukkan oleh gambar 2.4 pada permukaan yang semakin kasar ikatan mekanik akan semakin kuat sedangkan pada permukaan yang halus ikatan mekanik tidak akan begitu kuat. Contoh ikatan mekanik yaitu pada proses pengecatan, bidang yang akan dicat permukaannya dibuat kasar agar cat bisa menempel dengan kuat.

- Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen bisa dikatakan sebagai dipol permanen yang sangat kuat seperti yang dijelaskan di atas. Namun, pada ikatan hidrogen, proton hidrogen berada sangat dekat dengan atom penderma elektron dan mirip dengan ikatan tiga-pusat dua-elektron seperti pada diborana. Ikatan hidrogen menjelaskan titik didih zat cair yang relatif tinggi seperti air, ammonia, dan hidrogen fluorida jika dibandingkan dengan senyawa-senyawa yang lebih berat lainnya pada kolom tabel periodik yang sama

## 2.7. Perpindahan Panas

Kalor dapat dipindahkan dengan tiga macam cara yaitu:

1. Pancaran (Radiasi)

Yang dimaksud dengan 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 foto dan juga 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.

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

## 2. Aliran (Konveksi)

Yang dimaksud dengan aliran ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan suatu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi 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 anas 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.

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)

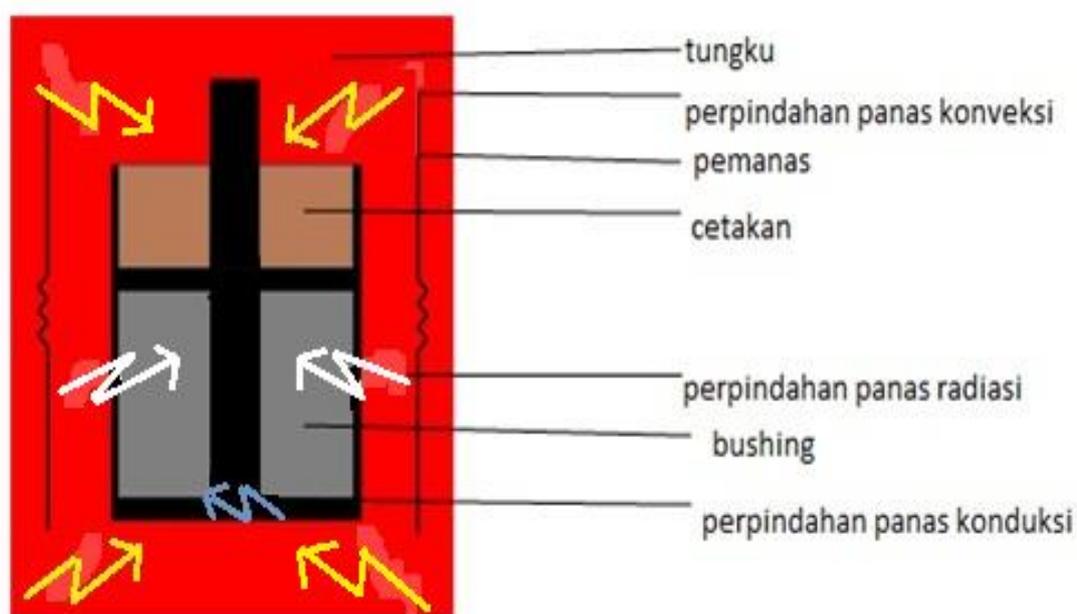
Konduksi adalah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalori hanya terjadi di dalam bahan bahan hal tersebut. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu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

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 bila 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 susunanya daripada molekul kayu. Bahan kayu terdiri dari gabungan bahan kimia seperti karbon, uap air, dan udara yang terperangkap sedangkan besi adalah besi.

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 2.5. Skema Perpindahan Panas pada *Powder Metallurgy*

## 2.8. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi permukaan, yang disebabkan oleh penusukan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Pengujian kekerasan sangat berguna sekali untuk

mengetahui kualitas suatu bahan yang akan dipergunakan pada produk – produk logam seperti komponen mesin. Beberapa metode pengujian kekerasan, yaitu:

1. Metode pengujian dengan pantulan

Metode pengujian ini biasa disebut dengan *schleroscope test*. Pengujian kekerasan pantulan menggunakan palu intan yang dapat dinaikkan pada ketinggian tertentu lalu dijatuhkan bebas pada permukaan logam yang halus. Ketinggian pemantulan setelah menyentuh permukaan itulah yang diukur. Semakin tinggi pantulan maka benda yang diuji memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula. Keuntungan dari metode ini adalah peralatan kecil dan penetrasi kecil sehingga tidak merusak bahan uji

2. Metode pengujian dengan Goresan

Metode pengujian ini dengan cara moh's yaitu meggoreskan beberapa mineral standar yang diketahui kekerasannya pada material yang akan diuji. Berikut beberapa mineral standar yang digunakan adalah gips, kalsit, apatite, fluorite, intan, kwarsa, dan titanium. Metode ini kurang diminati dikarenakan interval skalanya terlalu tinggi sehingga hasilnya kurang tepat. Logam pada umumnya mempunyai skala moh's 4-8.

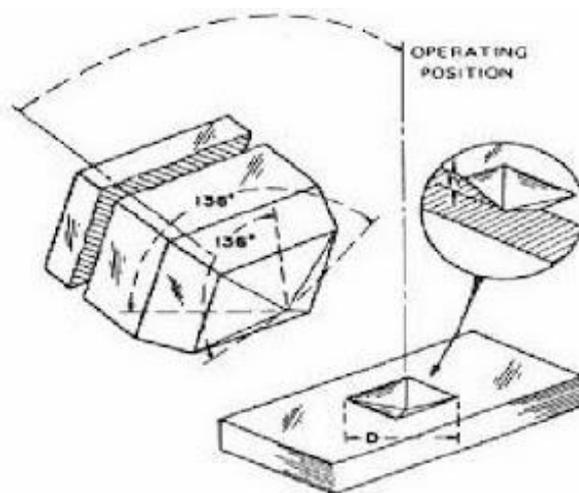
3. Metode pengujian dengan penekanan

Metode pengujian ini dibedakan menjadi empat berdasarkan bentuk indentornya yaitu kekerasan Brinell, Vickers, Rockwell, dan kekerasan mikro. Berikut ini akan diuraikan kelebihan dan kekurangan dari metode pengujian dengan penekanan.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pengujian Kekerasan dengan Metode Penekanan

Pengujian Kekerasan	Kelebihan	Kekurangan
Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cepat dan akurat</li> <li>▪ Data digunakan untuk material yang cepat geser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lebih mahal</li> <li>▪ Nilai kekerasannya ditentukan oleh manusia</li> </ul>
Brinell	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tidak dipengaruhi kekasaran permukaan</li> <li>▪ Digunakan untuk material yang keras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perhitungan kurang akurat</li> <li>▪ Penekanan tidak terpusat</li> <li>▪ Tidak bisa menguji benda yang sangat tipis</li> </ul>
Kekerasan Mikro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kekerasan terpusat dikarenakan indenter berbentuk piramida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digunakan pada benda yang sangat tipis</li> </ul>
Vickers	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umum untuk segala pengujian bahan</li> <li>▪ Dapat digunakan dalam segala material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengujian relatif lama</li> <li>▪ Persiapan yang hati-hati karena permukaan harus rata</li> </ul>

Sumber: Avner, 1995: 34



Gambar 2.6. Skematis Prinsip Indentasi Metode Vickers

Sumber: [http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/\(1\)%20jurnal-pak%20pri.pdf](http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/(1)%20jurnal-pak%20pri.pdf)

Pada metode pengujian Vickers digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar  $136^\circ$  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.

## 2.9. *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. Di bawah ini menunjukkan bentuk sebuah *bushing* (bantalan poros).



Gambar 2.7. *Bushing*

Dalam memilih bahan *bushing* yang perlu diperhatikan adalah :

1. Dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk, tahan terhadap beban yang berubah – ubah dan tahan terhadap temperatur tinggi.
2. Memiliki alur atau celah untuk pelumasan.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Dapat menghantar panas.
6. Koefisien muai kecil.
7. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik (Wikipedia,2010).

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.

### 2.10 Hipotesa

Semakin banyak Si yang ditambahkan maka distribusi kekerasan akan meningkat, hal ini kerana rongga udara antar butir semakin sedikit sehingga kekerasan akan semakin meningkat



## 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  $\alpha\beta$  Landung Sari, Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Brawijaya. Adapun waktu penelitian dimulai pada tanggal 09 November 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 jumlah Si yang ditambahkan adalah 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dari berat campuran yang digunakan.

$$W(\text{Si}) = 7,5\% \times 40 = 3 \text{ g}$$

$$W(\text{Al-Cu}) = 40 - 3 = 37 \text{ g}$$

##### 2. Variabel terikat

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

##### a. Distribusi Kekerasan

##### 3. Variabel terkontrol

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

- Berat campuran 40 gram
- Kadar Cu 3.5%
- Waktu penekanan 15 menit

- d. Beban penekanan 40 MPa
- e. Suhu proses *sintering* 530°C

### 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.



Gambar 3.1 Mesin *Hot Pressing*

2. Cetakan berfungsi membentuk spesimen



Gambar 3.2 Cetakan

3. Alat Uji Kekerasan
4. Palu digunakan untuk membantu proses pengeluaran spesimen dari cetakan
5. Timbangan Elektrik digunakan untuk menimbang berat serbuk yang akan digunakan
6. Penjepit baja digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.
7. Tang memiliki fungsi sama dengan penjepit baja yaitu digunakan untuk mengangkat cetakan dari dapur mesin *hot pressing*.
8. Sarung Tangan digunakan untuk melindungi tangan dari panasnya api maupun cetakan
10. Kayu digunakan membantu proses pengeluaran spesimen.
11. Kuas

### 3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Serbuk paduan Al-Cu



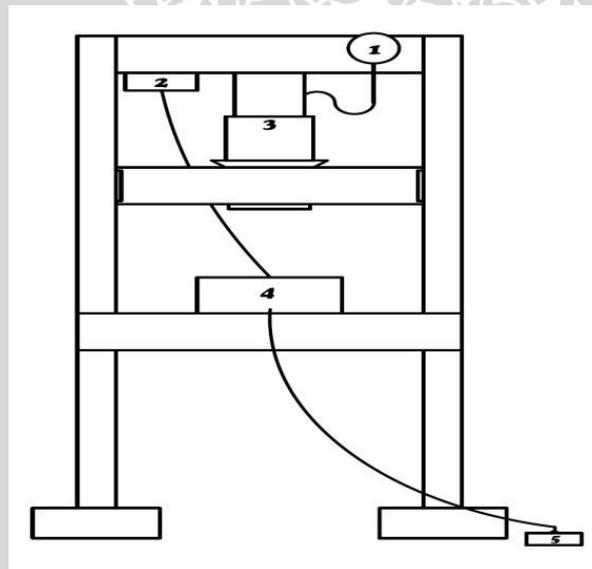
Gambar 3.3 Serbuk paduan Al-Cu

2. Si



Gambar 3.4 Si

### 3.4 Instalasi Penelitian

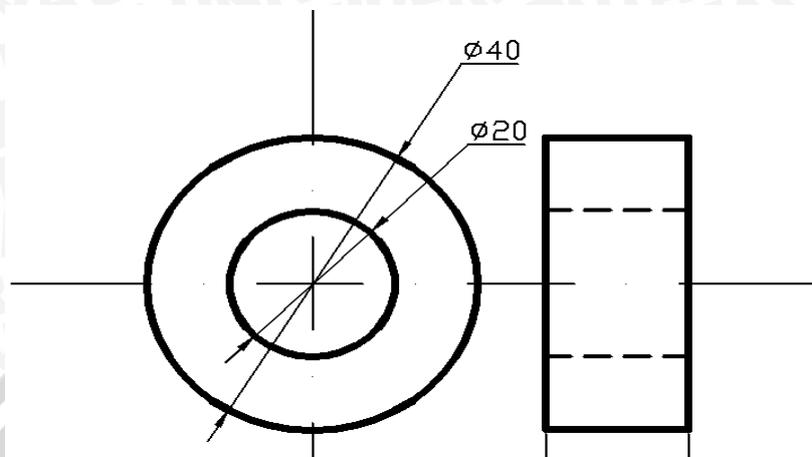


Gambar 3.5 Instalasi Alat Sintering

Keterangan:

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

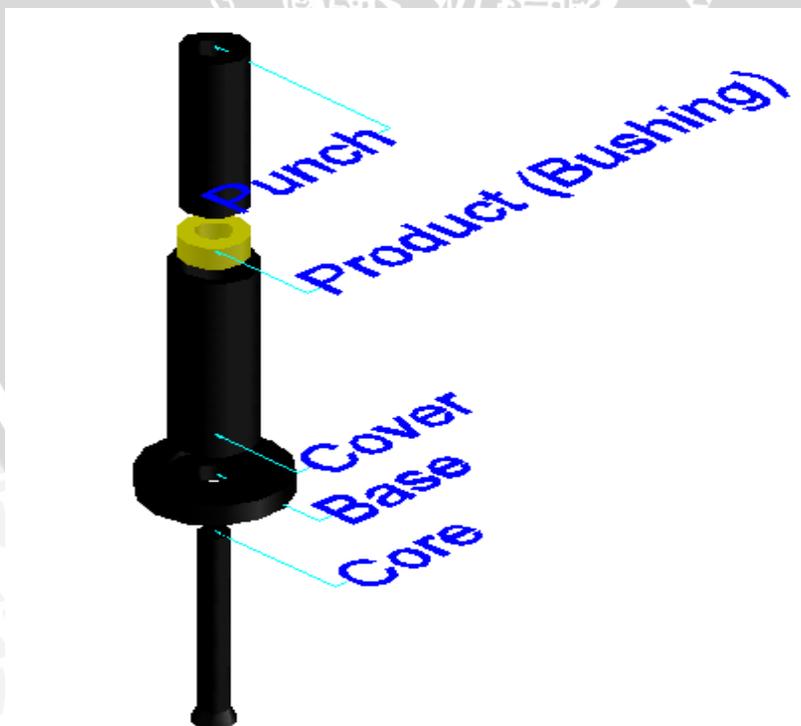
### 3.5 Dimensi Hasil *Powder Metallurgy*



Gambar 3.6 Rancangan Dimensi Hasil *Powder Metallurgy*

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Prosedur Percobaan



Gambar 3.7 Instalasi Cetakan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Persiapan peralatan pengujian serta pengecekan mesin dalam kondisi baik.
2. Timbang serbuk *duralumin* seberat 37g.
3. Timbang Si seberat 3g.
4. Campur serbuk *duralumin* dan Si menjadi satu
5. Letakkan *core* dan *base* menjadi satu susunan.
6. Letakkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *hot pressing*.
7. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga *core*, *base* dan *cover* menjadi satu susunan.
8. Masukkan serbuk logam ke celah antara *cover* dan *core*.
9. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover* sehingga *core*, *base*, *cover* dan *punch* menjadi satu susunan.
10. Berikan tekanan hingga 100 bar pada cetakan dengan menaik-turunkan tuas hidrolik pada mesin *hot pressing*.
11. Tunggu hingga temperatur mencapai 530°C, kemudian naikkan tekanan hingga 40 MPa.
12. Mulai *timer* dengan waktu 15 menit.
13. Jaga temperatur selama *holding time* dengan memutus/menyambung aliran listrik.
14. Setelah waktu habis, lepaskan penekan hidrolik dari cetakan.
15. Angkat cetakan dari tungku mesin *hot pressing* kemudian letakkan di papan untuk membalik spesimen
16. Lepaskan *cover* dari susunan *core* dan *base* kemudian lepaskan *punch* dari *cover*.
17. Balik *cover* kemudian pukul spesimen dengan kayu dan palu hingga spesimen agak turun.
18. Masukkan susunan *core* dan *base* ke dalam tungku mesin *hot pressing*.
19. Susun *cover* ke susunan *core* dan *base* sehingga menjadi susunan *core*, *base* dan *cover*.
20. Susun *punch* ke susunan *core*, *base* dan *cover*.
21. Ulangi poin 10 sampai poin 15.
22. Pukul *punch* dengan kayu dan palu sampai spesimen keluar dari dalam *cover*.

Ulangi prosedur poin 2 sampai poin 20 dengan variasi komposisi *duralumin* dan Si yaitu : 36g dan 4g, 35g dan 5g, 34g dan 6g.

- Spesimen kedua dilakukan dengan variasi komposisi *duralumin* dan Si 36g dan 4g.
- Spesimen ketiga dilakukan dengan variasi komposisi *duralumin* dan Si 35g dan 5g.
- Spesimen keempat dilakukan dengan variasi komposisi *duralumin* dan Si 34g dan 6g.

### 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.

Pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan

1. Mengambil spesimen hasil *powder metallurgy* dengan komposisi 7,5% Si
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 komposisi Si yang berbeda yaitu: 10%, 12,5%, dan 15%.
6. Melakukan pengambilan data seperti table

### 3.7 Rancangan Penelitian

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

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Uji Kekerasan Bagian Luar

Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata [VHN]
7,5	1	HVL	HVL
	2	HVL	
	3	HVL	
10	1	HVL	HVL
	2	HVL	
	3	HVL	
12,5	1	HVL	HVL
	2	HVL	
	3	HVL	
15	1	HVL	HVL
	2	HVL	
	3	HVL	

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan Uji Kekerasan Bagian dalam

Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata {VHN}
7,5	1	HVD	HVD
	2	HVD	
	3	HVD	
10	1	HVD	HVD
	2	HVD	
	3	HVD	
12,5	1	HVD	HVD
	2	HVD	
	3	HVD	
15	1	HVD	HVD
	2	HVD	
	3	HVD	

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Uji Kekerasan Bagian atas

Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata [VHN]
7,5	1	HVA	HVA
	2	HVA	
	3	HVA	
10	1	HVA	HVA
	2	HVA	
	3	HVA	
12,5	1	HVA	HVA
	2	HVA	
	3	HVA	
15	1	HVA	HVA
	2	HVA	
	3	HVA	

Keterangan:

1= Penambahan Si sebesar 7,5%

2= Penambahan Si sebesar 10%

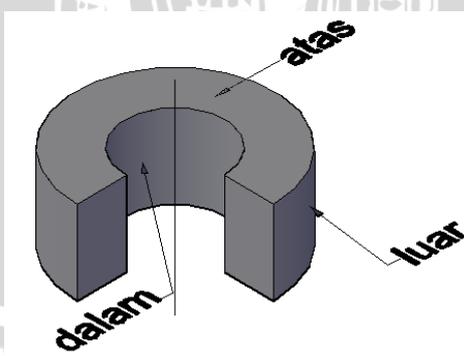
3= Penambahan Si sebesar 12,5%

4= Penambahan Si sebesar 15%

HVL= Nilai Kekerasan Tepi Luar

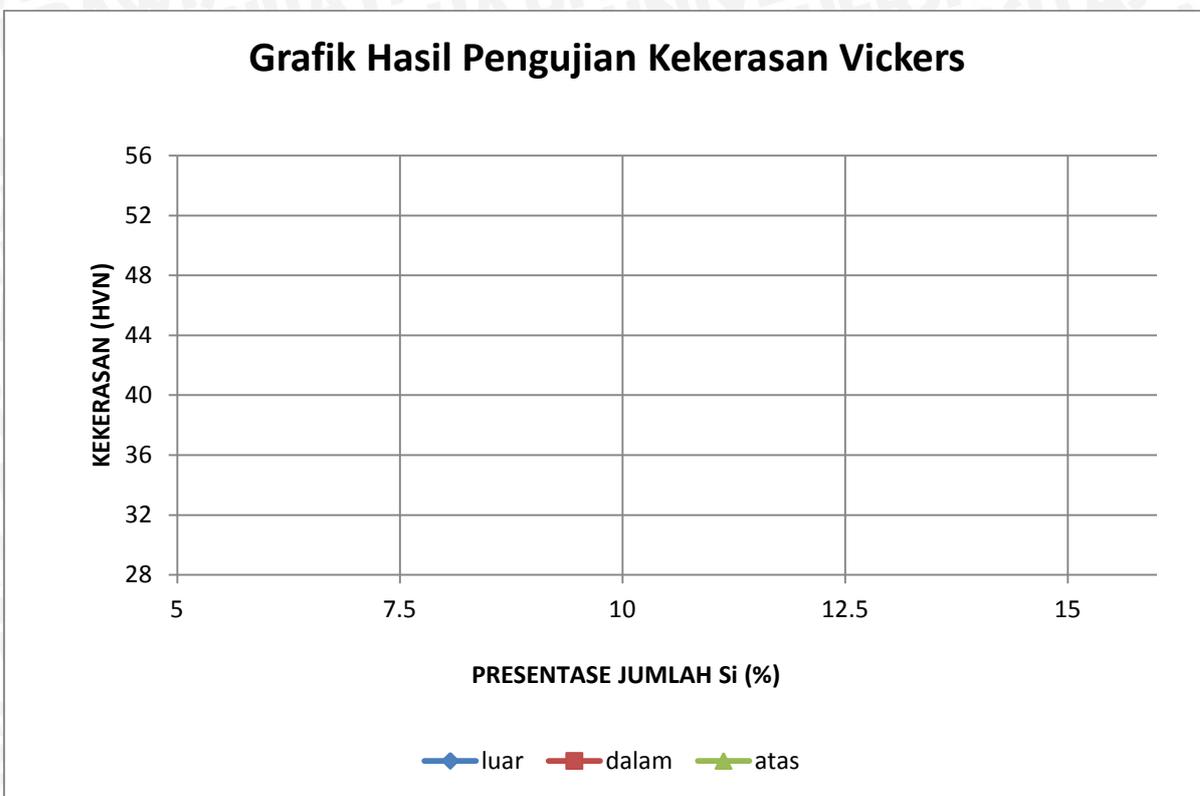
HVD= Nilai Kekerasan Tepi Dalam

HVA= Nilai Kekerasan Tepi Atas

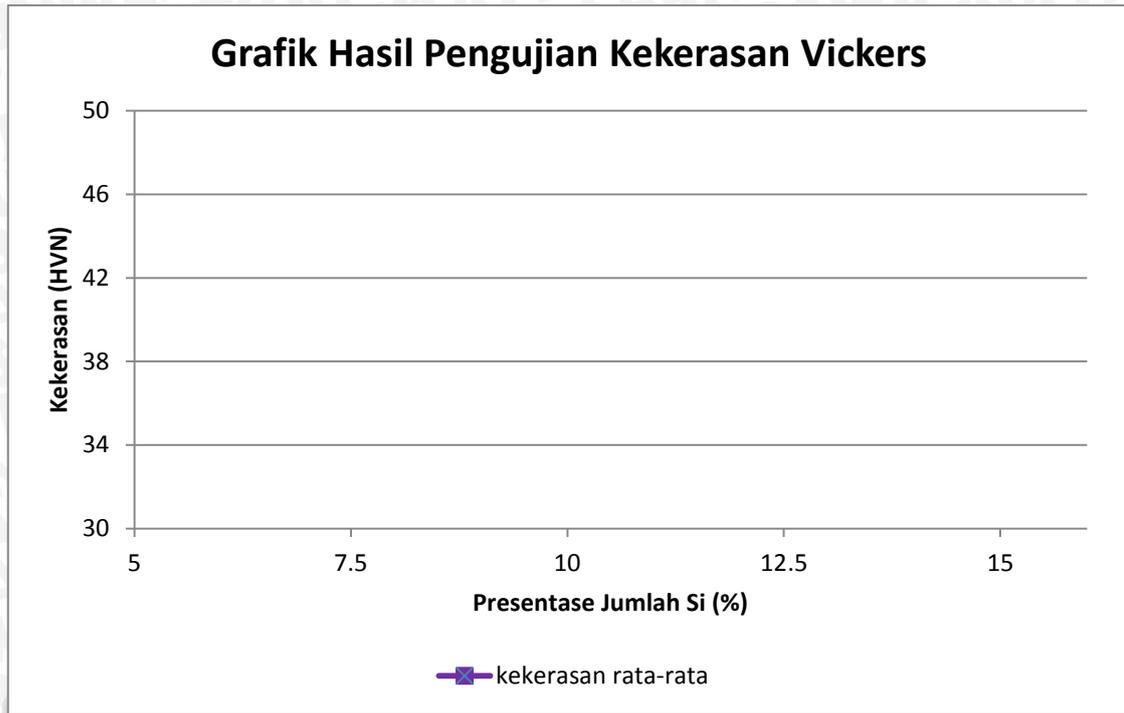


Gambar 3.8 Bagian *Bushing* yang Diuji Kekerasannya

Data tersebut akan diolah dan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam mengamati pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Adapun rencana grafik yang dibuat sebagai berikut:



Gambar 3.9 Contoh Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

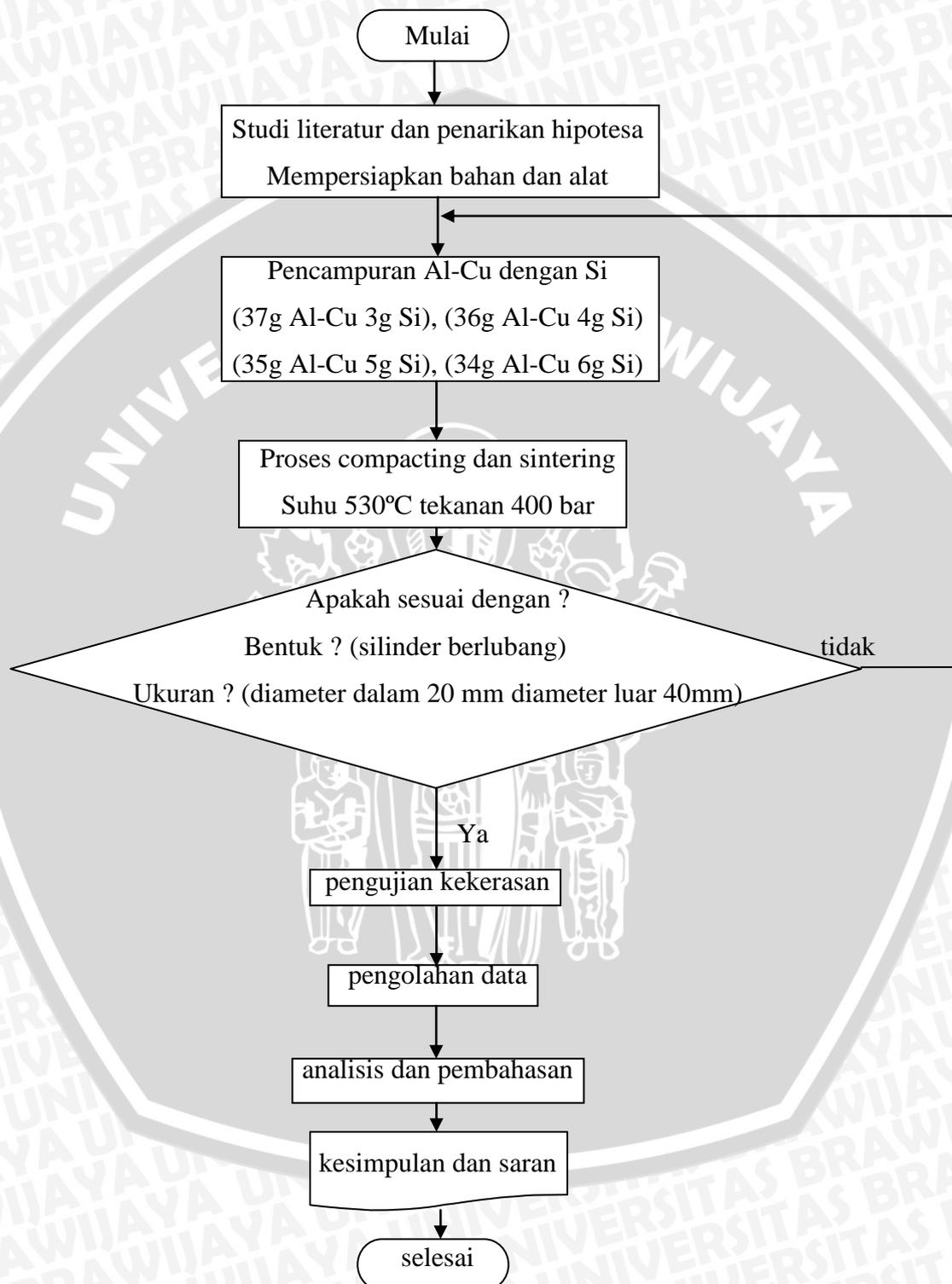


Gambar 3.10 Contoh Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Rata-rata



### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian (gambar 3.14) yang menunjukkan alur dari proses penelitian



## BAB IV

### DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Dan Perhitungan Hasil Pengujian

Dari pengujian yang sudah dilakukan, nilai kekerasan *Vickers* (VHN) terdapat pada tabel 4.1. dalam pengujian sampel yang diambil untuk setiap variasi berat Si yang ditambahkan yaitu kadar Si 7,5% , kadar Si 10%, kadar Si 12,5%. Dan kadar Si 15%. 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 setiap sampel.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Bagian Luar

Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata [VHN]
7,5	1	32.33	33.48
	2	30.13	
	3	37.98	
10	1	50.04	52.78
	2	54.48	
	3	53.84	
12,5	1	43.64	43.43
	2	42.9	
	3	43.74	
15	1	40.33	41.91
	2	41.24	
	3	44.17	

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Bagian Dalam

Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata [VHN]
7,5	1	27.18	29.81
	2	27.71	
	3	34.53	
10	1	48.93	45.17
	2	44.06	
	3	42.52	
12,5	1	41.51	40.46
	2	38.31	
	3	41.58	
15	1	36.17	39.3
	2	39.13	
	3	42.6	

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Bagian Atas

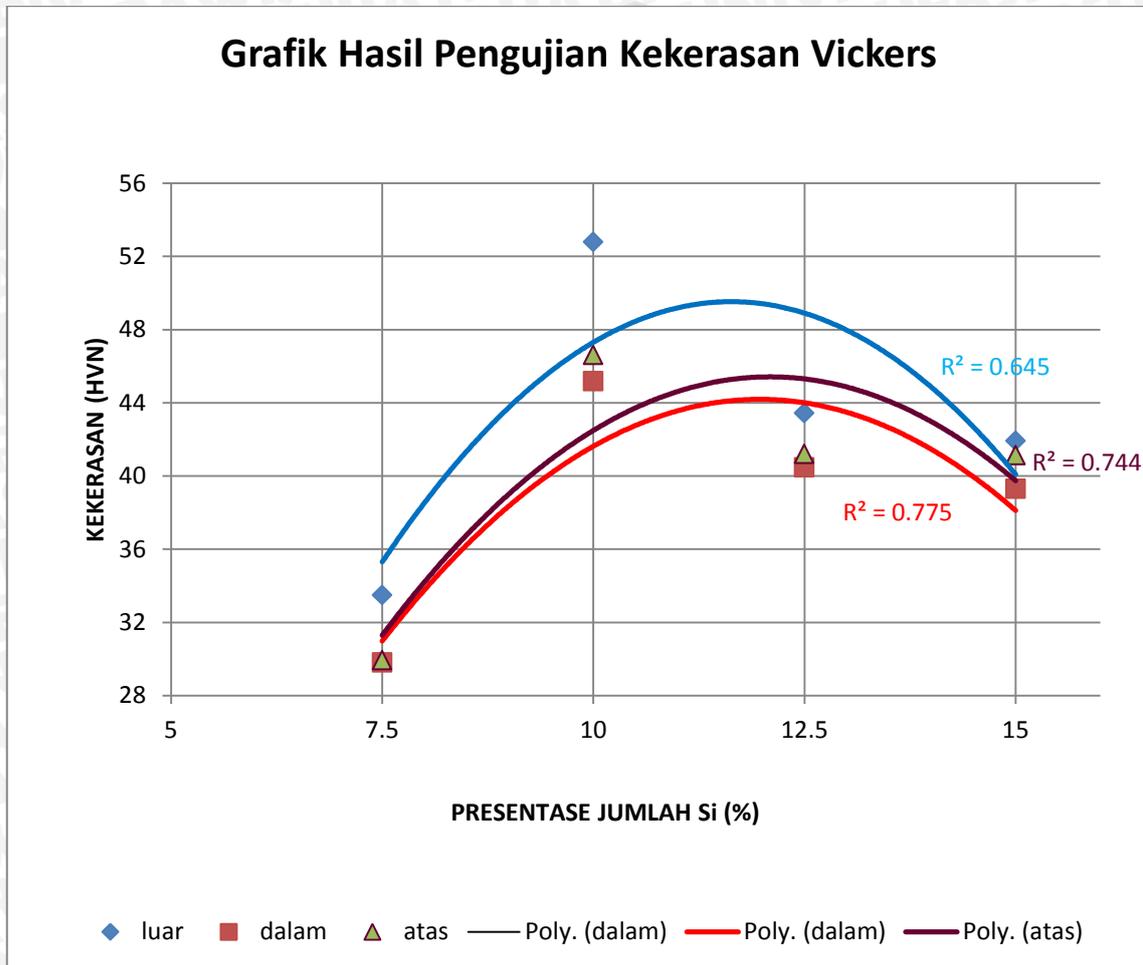
Kadar Si [%]	Pengulangan	nilai kekerasan [VHN]	kekerasan rata-rata [VHN]
7,5	1	29.33	29.93
	2	30.25	
	3	30.22	
10	1	52.49	46.61
	2	46.17	
	3	41.16	
12,5	1	43.54	41.19
	2	39.51	
	3	40.53	
15	1	40.39	41.12
	2	40.54	
	3	42.45	

Tabel 4.4. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Rata-rata Spesimen

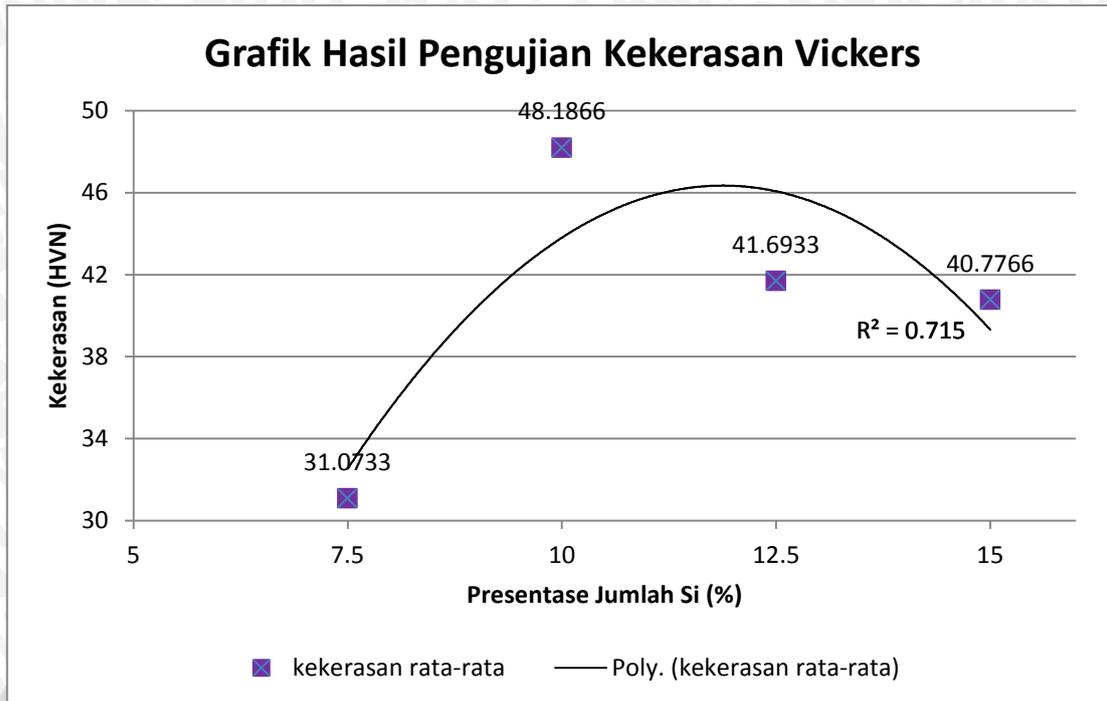
Kadar Si [%]	kekerasan rata-rata (VHN)
7.5	31.0733
10	48.1866
12.5	41.6933
15	40.7766

#### 4.2 Grafik Dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan didapatkan data dari pengujian distribusi kekerasan pada setiap bagian permukaan pada *Bushing* yang ditunjukkan pada gambar berikut:

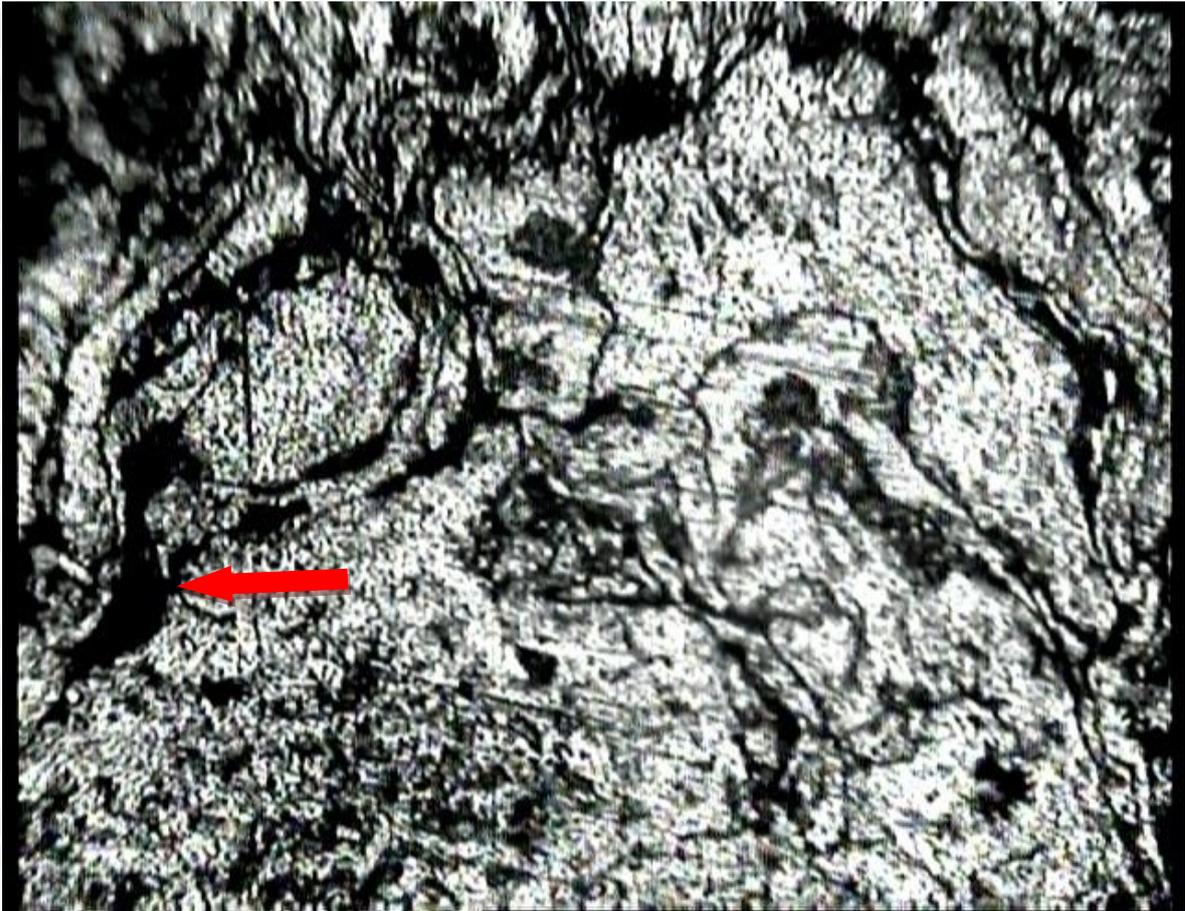


Gambar 4.1: Grafik Hasil Pengukuran Kekerasan *Vickers*



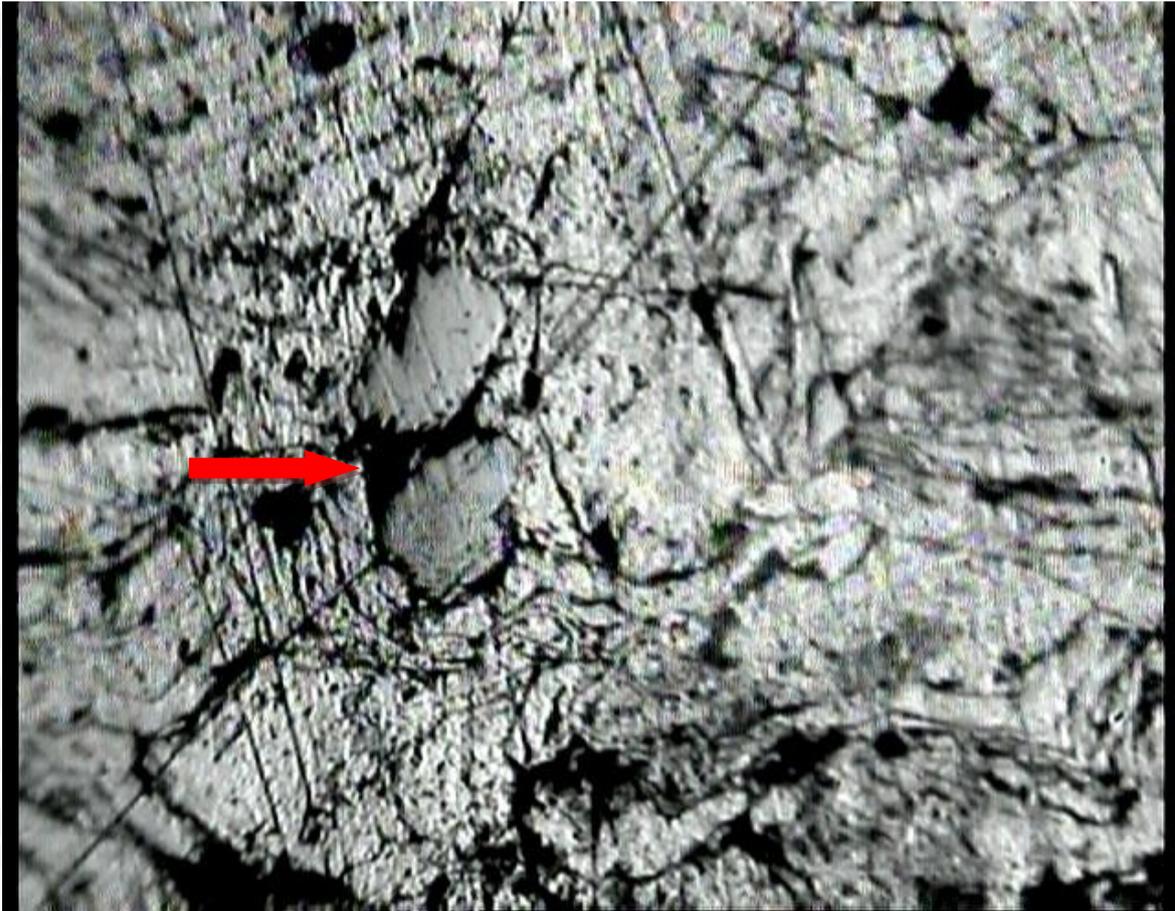
Gambar 4.2: Grafik Hasil Pengukuran Kekerasan *Vickers* rata-rata

Dari grafik di atas menunjukkan kekerasan pada jumlah Si 7.5% paling rendah yaitu 31.073 VHN. Hal ini bisa terjadi akibat Si belum mengikat secara sempurna serbuk duralumin sehingga nilai kekerasan didapat paling rendah. Pada gambar 4.3 juga terlihat butir duralumin yang belum terikat sempurna oleh Si sehingga menyebabkan kekerasan menjadi menurun.



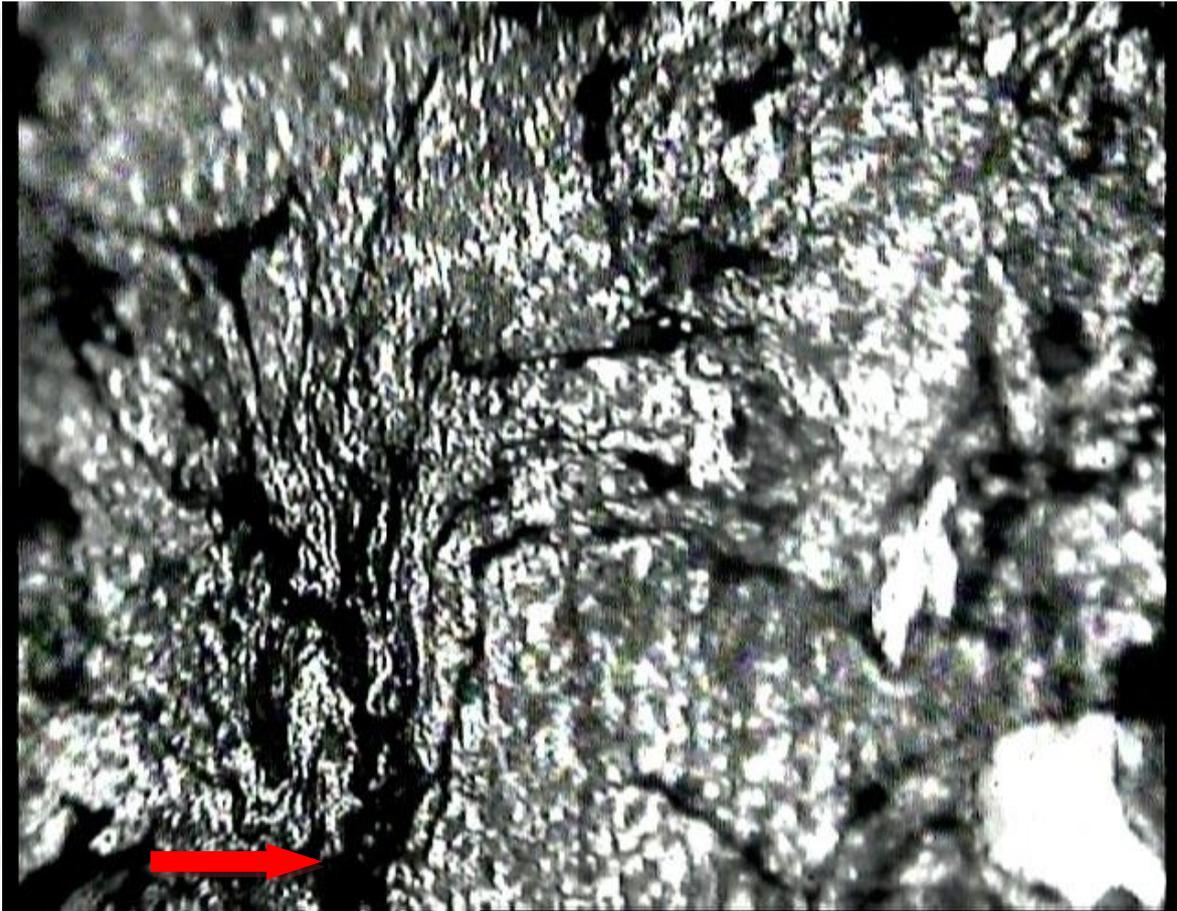
Gambar 4.3: Foto *Micro* Campuran Si 7.5% Pembesaran 100X

Pada campuran Si 10% mempunyai nilai kekerasan paling tinggi yaitu 48.186 VHN. Hal ini karena Si bisa mengikat serbuk duralumin secara optimal sehingga kekerasan yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.4, dimana batas butir terlihat lebih rapat. Hal ini mengakibatkan kekerasan meningkat.



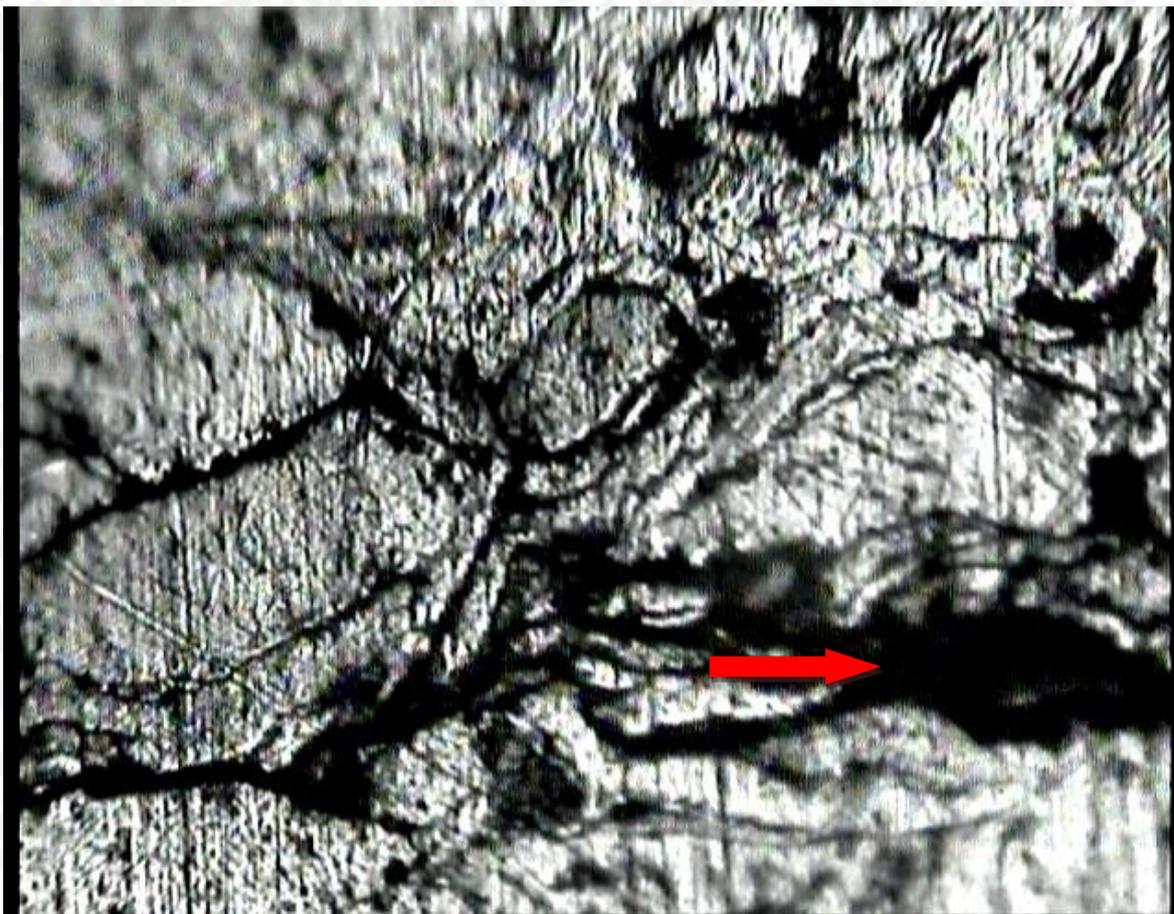
Gambar 4.4: Foto *Micro* Campuran Si 10% Pembesaran 100X

Pada campuran Si 12.5% kekerasan Menurun menjadi 41.693 VHN. Hal ini bisa terjadi karena jumlah Si pada campuran terlalu banyak sehingga Si yang seharusnya berfungsi sebagai pengikat serbuk duralumin menjadi pembatas pada butir sehingga batas butir semakin besar yang mengakibatkan kekerasan menjadi menurun. Pada gambar 4.5 terlihat batas butir yang terbentuk lebih lebar dari pada pada campuran Si sebesar 10%.

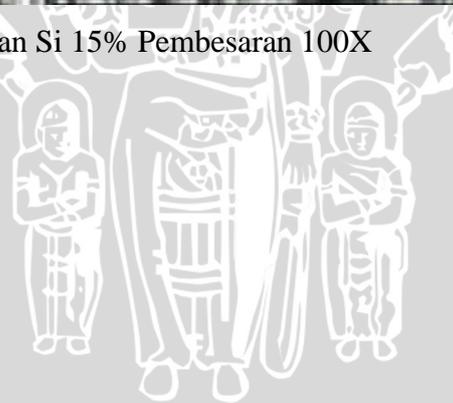


Gambar 4.5: Foto *Micro* Campuran Si 12.5% Pembesaran 100X

Pada campuran Si 15% kekerasan menurun menjadi 40.776 VHN. Hal ini bisa terjadi karena jumlah Si pada campuran terlalu banyak sehingga Si yang seharusnya berfungsi sebagai pengikat serbuk duralumin menjadi pembatas pada butir sehingga batas butir semakin besar yang mengakibatkan kekerasan menjadi menurun. Pada gambar 4.6 terlihat batas butir yang terbentuk lebih lebar dari pada pada campuran Si sebesar 10% dan 12.5%.



Gambar 4.6: Foto *Micro* Campuran Si 15% Pembesaran 100X



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa pembahasan pengaruh penambahan Si terhadap distribusi kekerasan *powder metalurgi* pada *bushing duralumin* dapat diambil kesimpulan bahwa dengan penambahan Si pada serbuk duralumin dapat meningkatkan distribusi kekerasan yaitu 31.07 VHN (7.5%), 48.18 VHN (10%), 41.69 VHN (12.5%) dan 40.77 VHN (15%). Pengaruh penambahan Si paling optimal yaitu pada Si sebesar 10% dari berat total campuran. Hal ini karena Si bisa mengikat serbuk duralumin secara optimal sehingga kekerasan yang dihasilkan juga semakin tinggi. Akan tetapi dengan semakin bertambahnya Si pada campuran kekerasan akan semakin menurun. Hal ini bisa terjadi karena jumlah Si pada campuran terlalu banyak sehingga Si yang seharusnya berfungsi sebagai pengikat serbuk duralumin menjadi pembatas pada butir sehingga batas butir semakin besar yang mengakibatkan kekerasan menjadi menurun.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan tentang pengaruh penambahan Si terhadap distribusi kekerasan *powder metalurgi* pada *bushing duralumin* adalah sebagai berikut:

1. Dari penelitian ini bisa dilanjutkan untuk tekanan dan temperatur sintering yang berbeda
2. Dari penelitian ini bisa dilanjutkan dengan penambahan material yang lain
3. Dari penelitian ini bisa dilanjutkan dengan pengujian yang berbeda