

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN TEMBAGA (Cu) DAN  
JENIS CETAKAN PADA PROSES PENGECORAN  
TERHADAP TINGKAT KEKERASAN  
PADUAN ALUMINIUM SILIKON (Al-Si)**



**SKRIPSI**

Oleh:

**SOLEH SETYAWAN**

K 2502055

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2006**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Balakang Masalah**

Bumi merupakan tempat yang diciptakan Tuhan Y.M.E untuk dijadikan tempat tinggal mahluk-mahluk-Nya, diantaranya: manusia, hewan, tumbuhan, dsb. Bumi diciptakan dengan kandungan sumber daya alam yang melimpah, banyak sekali potensi alam yang belum tergali keberadaannya. Selaras dengan itu berbagai upaya banyak dilakukan dalam memanfaatkan sumber daya alam agar menjadi barang-barang produksi yang bermanfaat bagi manusia. Pemanfaatan kekayaan alam digali dan dimanfaatkan tidak hanya sekarang, tetapi sejak perkembangan peradapan manusia. Perkembangan peradapan manusia menuntut supaya lebih maju dari sebelumnya.

Kemajuan teknologi pada era industrilisasi sekarang ini tentunya akan diikuti dengan permintaan akan kebutuhan barang-barang produksi dengan kualitas yang lebih baik. Sejalan dengan itu para ahli teknik telah melakukan berbagai penelitian untuk memperbaiki hasil produksi dengan memodifikasi sifat-sifat material.

Salah satu bidang teknologi tersebut adalah bidang pengolahan logam yang berupa proses produksi atau pengecoran, yang sampai saat ini banyak digunakan pada komponen-komponen produksi yang siap pakai. Sektor industri ini menangani pemanfaatan logam mulai dari pengolahan logam hingga barang jadi.

Logam merupakan unsur yang lebih dari separuhnya terdiri dari unsur-unsur kimia. Didalam teknik yang disebut logam tidak hanya unsur-unsur umum seperti besi, alumunium, tembaga, dll. Tetapi juga persenyawaan lain yang terdiri dari beberapa unsur bukan logam. Pada umumnya logam mempunyai sifat kuat, liat, keras, penghantar listrik, penghantar panas, serta mempunyai titik cair yang tinggi.

Secara teknis, Bahan teknik dapat digolongkan dalam kelompok logam, bukan logam dan komposit. Bahan logam diklasifikasikan manjadi dua bagian

yaitu logam besi (*ferro*) dan logam bukan besi (*non ferro*). Logam besi (*ferro*) yaitu logam yang kandungan utamanya besi ditambah unsur-unsur lain seperti karbon, sehingga mampu menghasilkan jenis paduan besi yang beragam, misalnya besi cor, baja dan baja paduan. Logam bukan besi (*non ferro*) yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi, misalnya tembaga, seng, alumunium, magnesium, timah, nikel, dll. Bahan bukan logam yaitu bahan yang di dalamnya tidak mengandung unsur-unsur logam, misalnya kayu, karet, plastik, dll. Sedangkan yang disebut komposit yaitu bahan yang tersusun logam dengan logam, logam dengan bukan logam, atau bahkan bukan logam dengan bukan logam lainnya. Bahan komposit biasanya digunakan untuk baling-baling pesawat terbang, poros as, papan ski dll.

Alumunium merupakan logam *non ferro* yang bahan dasarnya adalah bauksit dan kreolit. Melalui cara bayer diperoleh tanah tawas lalu tanah tawas direduksi menjadi alumunium melalui elektrolisa. Secara luas alumunium lebih ekonomis dibanding bahan baku teknik lainnya. Sehingga penggunaan alumunium terus meningkat dari tahun-ketahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan alumunium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi dan baja, dan urutan pertama untuk logam *non ferro*. Meningkatnya penggunaan logam ini karena alumunium memiliki beberapa kelebihan dibanding logam lain, diantaranya titik cair yang rendah, bobotnya ringan, tahan terhadap korosi, serta sebagai konduktor panas dan listrik yang baik. Berdasarkan kelebihan-kelebihan tersebut membuat alumunium banyak dipakai dalam berbagai bidang, misalnya pada bidang otomotif, konstruksi pesawat terbang, perlengkapan rumah tangga, pembangunan gedung, dll. Pada bidang otomotif alumunium digunakan untuk pembuatan torak, kepala silinder, pelek, dll.

Walaupun alumunium memiliki banyak kelebihan dibanding logam lainnya, tetapi di dalam aplikasi dibidang teknik alumunium masih memiliki kelemahan yaitu sifat mekanik alumunium kurang baik terutama pada kekerasan, batas cair, dan regangannya. Sehingga membuat alumunium murni tidak dapat dipakai sebagai bahan konstruksi. Tetapi apabila dicampur dengan sejumlah kecil elemen lain, maka kekuatan dan kekerasannya akan meningkat. Beberapa paduan

aluminium mempunyai kekuatan yang sama atau lebih dari baja lunak. Paduan-paduan ini digunakan untuk komponen-komponen yang dibebani.

Unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, silisium, mangan, magnesium, dan unsur-unsur lainnya. Dimana paduan aluminium tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu: jenis Al-murni, jenis Al-Cu, jenis Al-Cu-Si, jenis Al-Si, jenis Al-Si-Mg, jenis Al-Mg, jenis paduan Al tahan panas, dll. Paduan aluminium dengan silisium akan meningkatkan kemampuan tuang, aluminium dengan tembaga akan meningkatkan sifat mekanik, aluminium dengan magnesium akan menyebabkan paduan bertambah ringan serta meningkatkan ketahanan terhadap impac, dsb. Tetapi di dalam pemilihan bahan logam paduan aluminium yang digunakan dalam proses perencanaan mesin, masih sering dijumpai bahan yang tersedia mempunyai sifat-sifat yang kurang sesuai dengan harapan, misalnya kekerasannya, kekuatannya, keuletannya dsb. Sehingga diperlukan cara untuk dapat meningkatkan kekuatan paduan aluminium tersebut, diantaranya dengan penambahan unsur paduan yang sesuai, jenis cetakan yaitu cetakan pasir dan cetakan logam, pengkokohan, proses pengecoran dan perlakuan panas, sehingga dapat menghasilkan sifat-sifat logam paduan aluminium yang sesuai dengan harapan.

Logam paduan aluminium silikon merupakan logam yang banyak digunakan dalam perencanaan mesin. Logam ini merupakan logam paduan dengan silikon sebagai paduan utamanya. Logam paduan aluminium silikon merupakan logam yang memiliki sifat mampu cor dan mampu alir yang baik, mempunyai permukaan yang bagus, serta tanpa kegetasan panas. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, berat jenisnya ringan, koefisien pemuaiannya kecil, serta sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Pada titik eutektik  $577^{\circ}\text{C}$ , 11,7% Si sangat baik untuk paduan tuang karena titik cairnya rendah. Karena berbagai kelebihan tersebut maka paduan aluminium silikon banyak digunakan dalam bidang otomotif dan pengelasan. Pada bidang otomotif paduan ini digunakan sebagai piston, kepala silinder, pelek, dll. Di dalam aplikasi dibidang teknik logam paduan aluminium silikon masih memiliki sifat yang

kurang sesuai dengan harapan. Hal ini karena terjadinya retak regang justru terjadi pada logam paduan alumunium yang lebih tinggi mutu dan kekuatannya, misalnya keretakan yang terjadi pada piston. Keretakan yang terjadi pada beberapa konstruksi yang menggunakan paduan alumunium silikon tersebut disebabkan oleh kurang sesuainya sifat-sifat mekanis dari logam paduan alumunium silikon, seperti kekerasannya atau kekuatannya.

Salah satu cara untuk memperbaiki sifat paduan alumunium silikon adalah dengan menambah unsur-unsur logam lain, seperti magnesium, tembaga, mangan, seng, dll. Penambahan unsur tembaga yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan mekanik yang diinginkan. Dengan penambahan unsur tembaga pada paduan alumunium silikon kekerasannya akan meningkat, daya tahan korosi turun dan berat jenisnya akan meningkat sesuai dengan jumlah kandungan tembaga. Menurut Wahyudi (1997: 31) bahwa “Hasil coran yang baik dimulai dari paduan alumunium dengan kadungan tembaga sampai dengan 8% Cu”. Pembuatan paduan alumunium dapat dilakukan dengan melebur alumunium dan logam lain dalam proses pengecoran.

Proses pengecoran merupakan proses pencairan logam yang selanjutnya dituang kedalam cetakan dan dibiarkan membeku, sehingga akan terbentuk suatu model yang sesuai dengan model atau pola cetakan. Dalam hal ini proses pengecoran dan jenis cetakan yang tepat juga dapat membuat coran memiliki ketelitian dan kualitas yang tinggi. Jenis cetakan yang tepat dapat meningkatkan sifat mekanik logam yang dilebur. Ditinjau dari bahan cetakan, jenis cetakan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu jenis cetakan pasir dan jenis cetakan logam (permanen).

Jenis cetakan pasir yaitu jenis cetakan dengan menggunakan pasir sebagai bahan cetakan. Proses pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir ini sendiri tidak lain adalah menuangkan logam cair kedalam rongga dari cetakan pasir. Cetakan ini dibuat dengan jalan memadatkan pasir yang berupa pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Sedangkan untuk cetakan logam (permanen) adalah jenis cetakan dengan menggunakan logam sebagai bahan cetakan, sebagai bahan cetakan terutama dipakai besi cor paduan. Dimana proses

penuangannya adalah logam cair mengalir melalui pintu cetakan, sehingga pintu cetakan dibuat sedemikian rupa agar tidak mengganggu aliran logam cair.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dikaji dengan melakukan penelitian dengan judul “PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN TEMBAGA (CU) DAN JENIS CETAKAN PADA PROSES PENGECORAN TERHADAP TINGKAT KEKERASAN PADUAN ALUMINIUM SILIKON (AL-SI)”.

### **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat diidentifikasi berbagai permasalahan yang berkaitan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada logam paduan aluminium silikon (Al-Si). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada logam paduan aluminium silikon (Al-Si) adalah:

1. Proses pengecoran paduan aluminium silikon (Al-Si).
2. Variasi penambahan tembaga (Cu)
3. Penambahan unsur logam lain.
4. Jenis Cetakan pada proses pengecoran

### **C. Pembatasan Masalah**

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, maka Penelitian dibatasi permasalahannya pada :

1. Variasi penambahan tembaga (Cu).
2. Jenis cetakan pada proses pengecoran.
3. Tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).

### **D. Perumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah di atas diperlukan suatu perumusan masalah agar penelitian dapat dilakukan secara terarah. Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Adakah perbedaan pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si)?

2. Adakah perbedaan pengaruh jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si)?
3. Adakah interaksi antara variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si)?
4. Manakah tingkat kekerasan yang paling optimal akibat penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap paduan aluminium silikon (Al-Si)?

### **E. Tujuan Penelitian**

Suatu penelitian akan lebih mudah apabila mempunyai tujuan yang jelas. Maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
2. Mengetahui perbedaan pengaruh jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
3. Mengetahui interaksi antara variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
4. Mengetahui tingkat kekerasan yang paling optimal akibat penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap paduan aluminium silikon (Al-Si).

### **F. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan akan mempunyai manfaat praktis dan teoritis.

#### **1. Manfaat Praktis**

- a. Dapat membantu dalam usaha mendapatkan tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) setelah mengalami penambahan unsur tembaga (Cu) dan penggunaan jenis cetakan pada proses pengecoran.
- b. Membantu dalam usaha mengembangkan kemajuan teknologi bahan.



- c. Memberikan informasi mengenai bahan paduan alumunium silikon (Al-Si) kepada industri pengecoran.
- d. Sebagai bahan masukan dan informasi bagi Program Pendidikan Teknik Mesin, PTK, FKIP, UNS.

## 2. Manfaat Teoritis

- a. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuan di bidang pengecoran terutama pada bahan paduan alumunium silikon (Al-Si) dalam dunia industri.
- b. Sebagai pertimbangan dan perbandingan bagi pengembangan penelitian sejenis dimasa yang akan datang.
- c. Menambah pengetahuan bagi peneliti dan pembaca tentang pengaruh penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
- d. Menambah pengetahuan bagi peneliti dan pembaca tentang pengaruh jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Tinjauan Pustaka

##### 1. Produk Alumunium

###### a. Logam Alumunium

Alumunium merupakan unsur yang paling melimpah di bumi dan terdapatnya selalu berupa kombinasi dengan unsur lain. Alumunium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Logam ini ditemukan pada tahun 1872 oleh seorang kimiawan Jerman Friedrich Wohler. Alumunium secara industri dikembangkan pada tahun 1886 oleh Paul Heroult di Perancis dan C.M. Hall di Amerika. Secara terpisah mereka berdua telah berhasil memperoleh logam alumunium dari alumina dengan cara elektrolisa.

Untuk bahan-bahan pokok dalam menghasilkan alumunium antara lain bauksit dan kreolit. Bauksit mengandung 55-65% tanah tawas, 2-28% besi, 12-30% air, dan 1-8% asam silikat. Alumunium murni diperoleh melalui cara Bayer dimana bauksit dijernihkan menjadi tanah tawas murni, lalu tanah tawas direduksi hingga menjadi alumunium mentah, melalui elektrolisa lebur dengan kreolit sebagai bahan pelarut natrium alumunium fluorida ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) baru peleburan alih wujud menjadi alumunium murni. Umumnya alumunium mencapai kemurnian 99,85% berat. Alumunium dengan kemurnian 99,85% jika dielektrolisa kembali maka didapatkan alumunium dengan kemurnian 99,99% atau hampir mendekati 100%. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999: 134).

###### b. Sifat dan kegunaan alumunium

Alumunium adalah logam yang bersifat mudah dalam pengerjaannya. Hal ini karena alumunium bisa dikerjakan dalam berbagai bentuk baik dengan cara ditempa, dituang, dikerjakan dengan mesin, disolder, dikeraskan, dilas, ditarik, dll. Beberapa sifat alumunium adalah sebagai berikut: (1) Berat jenisnya 2,702  $\text{kg/dm}^3$ , (2) Titik cairnya 660°C, (3) Warnanya mengkilap, (4) Penghantar panas dan listrik yang baik, (5) tahan terhadap korosi, (6) *non magnetic*. (Alois Schonmetz dan Karl Gruber, 1985: 126).

Alumunium merupakan logam yang dapat dibuat menjadi bentuk yang bervariasi untuk proses pembuatan / pengolahan selanjutnya yaitu: lembaran, pelat, strip, batangan, pipa, kawat dan profil-profil. Karena kelebihan-kelebihan tersebut membuat alumunium memiliki banyak penggunaan dalam berbagai bidang, misalnya: untuk kontruksi peralatan dan pesawat, wadah pembuatan peralatan untuk masak, wadah penyimpanan dan pengangkutan untuk industri kimia, kedokteran, bahan makanan dan lain-lain. Di dalam elektronik alumunium digunakan sebagai penghantar untuk kondensor, kabel dan selubung kabel.

c. Logam Paduan Alumunium

Alumunium banyak digunakan secara luas sebagai bahan industri, juga dalam industri pengecoran logam. Alumunium merupakan logam non fero yang memiliki ketahanan korosi yang baik serta sebagai penghantar panas dan listrik yang baik pula. Tetapi dalam bidang teknik alumunium memiliki kelemahan yaitu kekerasan, batas cair dan regangannya rendah, sehingga menyebabkan alumunium murni tidak dapat dipakai sebagai bahan kontruksi. Pembuatan alumunium paduan merupakan salah satu solusi untuk mengurangi kelemahan tersebut. Unsur-unsur paduan alumunium adalah Cu, Si, Mg, Mn, akan memperbaiki sifat-sifat mekanik alumunium. (Sumanto, Sutrisna dan Subardi, tth).

Menurut Tata Surdia dan Kenji Chijiwa (1976: 42) mengatakan bahwa “Alumunium Sebagai logam murni dipakai sebagai paduan, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan mekanisnya, untuk mampu cornya dapat diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah Cu, Si, Mg, Mn, Ni dan sebagainya, yang dapat mengubah sifat-sifat paduan alumunium”.

Lebih lanjut Alois Schonmetz & Karl Gruber (1985: 128) mengatakan bahwa “Alumunium akan mengalami perbaikan bila dipadu dengan logam lain, seperti tembaga meninggikan kekerasan, magnesium kekuatan, silikon kesudian tuang dan logam pepadu lain adalah mangan, seng, nikel yang dapat mengakibatkan sifat yang dikehendaki dalam prosentase yang kecil”.

Berdasarkan bentuk paduannya maka paduan alumunium dapat dibedakan atas 2 kelompok yaitu:

1) Yang dapat dibentuk/ditempa/diramas (*wrought alloys*)

Paduan ini juga dibedakan atas paduan yang tidak bisa di *heat treatment* (*Non Heattreatable alloys*) dan paduan yang dapat di *heat treatment* (*Heattreatable alloys*). Paduan yang tidak bisa di *heat treatment* (*Non Heattreatable alloys*) merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang rendah. Contohnya: paduan Al-Mn dan Al-Mg. Untuk paduan yang dapat di *heat treatment* (*Heattreatable alloys*) merupakan paduan yang memiliki sistem pelarut yang terbatas dalam keadaan padat. Paduan ini digunakan untuk mendapatkan sifat yang optimum. Yang termasuk jenis ini contohnya: *Avial* (Al-Mg-Si) dan *duralumins* (Al-Cu-Mg).

2) Yang dapat dituang (*cast alloys*)

Paduan ini dapat dituang dengan baik dan memiliki kekuatan yang lebih rendah dari jenis paduan yang dapat dibentuk/diramas, tetapi lebih kuat dari alumunium murni. Yang termasuk jenis paduan ini contohnya: Al-Si dengan Si 8-14% atau Al-Mg dengan Mg 2-12%.

Berdasarkan sifat-sifat paduan alumunium dapat dijelaskan sebagai berikut :

1) Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Si

Paduan Al-Cu adalah paduan yang dapat diperlaku-panaskan. Paduan alumunium yang mengandung tembaga 4,5% memiliki sifat-sifat mekanis dan mampu mesin yang baik sedang mampu cornya agak jelek. Dengan melalui pengerasan endapan atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya hantar korosinya rendah bila dibanding dengan jenis paduan lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, oleh karena itu jenis paduan ini biasanya digunakan pada kontruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam pesawat terbang seperti *duralumin* dan *super duralumin*.

Paduan Al–Cu–Si dibuat dengan menambah 4-5%Si pada paduan Al–Cu untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian–bagian dari motor mobil, meteran dan rangka utama dari katup–katup.

#### 2) Paduan Al–Si dan Al–Si–Mg

Paduan Al–Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya, mempunyai permukaan yang bagus, tanpa kegetasan panas, memiliki sifat mampu cor dan ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisiennya kecil dan sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, karena sifat-sifatnya maka paduan ini banyak dipakai sebagai bahan untuk logam las dalam pengelasan logam paduan Al, baik pada paduan cor maupun paduan tempa. Selain itu pada paduan Al–Si yang dipadu dengan unsur-unsur lain banyak dipakai untuk benda-benda tuang untuk industri mobil, misalnya torak, kepala silinder, pelek dll.

Paduan Al–Si diperbaiki sifat mekanisnya dengan menambahkan Mg, Cu, dan Ni, selanjutnya diperbaiki dengan perlakuan panas. Paduan Al dengan Si 7-9% dan Mg 0,3-1,7% dikeraskan dengan pengerasan presipitasi dimana terjadi presipitasi  $Mg_2Si$ , sehingga sifat mekanisnya dapat diperbaiki. Paduan ini biasa digunakan untuk rumah tromol rem.

#### 3) Paduan Al–Mg

Paduan Al–Mg adalah paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Pada paduan Al–Mg sekitar 4% atau 10% mempunyai ketahanan korosi dan sifat mekanis yang baik serta memiliki kekuatan tarik di atas  $30 \text{ kg/mm}^2$  dan perpanjangan di atas 12% setelah perlakuan panas. Dalam paduan ini harus dihindari terhadap unsur–unsur pengotor seperti Cu dan Fe yang sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi. Paduan ini biasa dipakai untuk bagian dari alat–alat industri kimia, kapal laut, kapal terbang dan sebagainya.

#### 4) Paduan Al Tahan Panas

Paduan Y adalah paduan Al–Cu–Ni–Mg yang kekuatannya tidak berubah sampai  $200^\circ\text{C}$  dan sangat tinggi walaupun pada temperatur  $300^\circ\text{C}$ , sehingga paduan ini dipergunakan untuk torak dan tutup silinder.

Lo–Ex adalah paduan Al–Si–Cu–Ni–Mg yang mempunyai koefisien muai yang rendah dan kekuatan panasnya tinggi, sehingga ia dipakai untuk torak.

## 2. Paduan Alumunium Silikon (Al-Si)

G. L. J. Van Vliet dan W. Bath (1984: 146) Paduan Al-Si adalah sebuah paduan tuang yang sangat banyak digunakan, dengan kekuatan  $R_m = 200\text{N/mm}^2$ .

Suharto (1995: 224) Paduan alumunium silikon (Al-Si) merupakan paduan yang disebut *silumin* yaitu paduan yang Si-nya 8% hingga 14%. Paduan Al-Si merupakan paduan dengan silikon sebagai paduan utamanya, pada titik eutektik  $577^0\text{ C}$ , 11,7%Si sangat baik untuk paduan tuang karena titik cairnya rendah. Paduan ini mempunyai mampu tuang yang baik sehingga dapat dibuat produk coran dengan berbagai bentuk dengan sedikit perlakuan mesin. Paduan Al-Si yang dipadu dengan unsur-unsur lain sangat banyak digunakan pada benda-benda tuang untuk industri mobil, seperti piston, kepala silinder dan pelek. Paduan alumunium yang biasa digunakan untuk pembuatan piston adalah paduan alumunium yang memiliki kandungan utamanya silikon, seperti alumunium seri 4032. Paduan alumunium seri 4032 ini mengandung silikon 11-13,5%, paduan ini digunakan untuk piston mobil. Kebanyakan alumunium yang digunakan untuk pengecoran mengandung 12%Si dan 2,5%Cu, dimana paduan ini mempunyai kecairan dan mampu mesin yang baik. Pada paduan alumunium yang mengandung 12%Si dan 3%Cu dengan proses pengecoran yang dituang dengan cetakan logam mampu menghasilkan kekerasan sampai 95 HBN (Tata Surdia dan Kenji Chijiwa, 1976: 242).

Untuk meningkatkan kekuatan mekanis paduan Al-Si dapat dibuat dengan berbagai paduan dengan menambah unsur logam lain untuk memperoleh sifat-sifat yang lebih baik. Penambahan unsur logam lain harus sesuai dengan batas tertentu, sehingga tidak mengurangi sifat-sifat baik yang dimiliki paduan Al-Si.

Paduan Al-Si memiliki penggunaan yang luas dalam bidang teknik, hal ini karena memiliki sifat-sifat penting yang menyebabkan dipilihnya Al-Si sebagai paduan tuang. Sifat-sifat paduan Al-Si tersebut adalah sangat baik untuk paduan cor, dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak, memiliki permukaan yang bagus dan tanpa kegetasan, tahan terhadap korosi, berat jenisnya ringan, koefisien pemuaiannya kecil, sebagai penghantar listrik dan panas yang baik.

Paduan Al-Si adalah paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, hal ini karena paduan Al-Si mempunyai batas kelarutan padat yang sangat kecil, padahal perlakuan panas penting sekali untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Untuk meningkatkan sifat mekanik paduan Al-Si dapat dilakukan dengan menambah Mg, Cu, dan Ni selanjutnya diperbaiki dengan perlakuan panas. Penambahan unsur paduan seperti Mg, Cu dan Ni, membuat paduan aluminium silikon (Al-Si) memiliki respon yang baik terhadap perlakuan panas.

### 3. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni, dalam bentuk campuran-campuran dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam yang lain. Tembaga adalah logam yang mempunyai sifat lunak dan liat, penghantar panas dan listrik yang baik, memiliki kesiapan untuk membentuk campuran-campuran, lebih merata pada waktu pendinginan, dapat dikerjakan dalam keadaan panas maupun dingin, memiliki ketahanan terhadap efek-efek korosi dari udara melalui formasi dari suatu lapisan oksida karena terjadinya lapisan pelindung yang berwarna hijau, yaitu  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ , oleh sebab itu tembaga sangat berguna untuk pengerjaan perubahan bentuk dan antara lain dipergunakan untuk gelang paking. Kekuatan tarik tembaga kira-kira  $200 \text{ N/mm}^2$  lebih dari logam yang lain, tembaga mempunyai kekuatan-tarik yang lebih besar pada suhu yang lebih rendah (B.S. Anwir, 1994: 115).

Tembaga didapat di alam ini sebagai batuan, biasanya sebagai karbonat ( $\text{Cu CO}_3$ ) dan merupakan sulfida kompleks  $\text{Cu Fe S}_2$  dan  $\text{Cu Fe S}$ . Batuan-batuan tadi dihancurkan menjadi kecil-kecil kemudian diolah untuk memisahkan campuran-campuran di dalamnya. Tembaga dari bijih-bijih tembaga tersebut, antara lain: Koperkies ( $\text{CuFeS}_2$ ) yang mengandung  $\pm 34\%$  tembaga, Kilap tembaga ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) yang mengandung  $\pm 79\%$  tembaga, Malasit ( $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) yang mengandung  $\pm 57\%$  tembaga.



Tembaga merupakan logam yang berwarna merah dengan Struktur kristal FCC (*Face Cubic Centered*) dengan  $a = 3,607 \text{ \AA}$ . Titik cair/leburnya pada  $1083,4^\circ \text{ C}$ , berat jenisnya  $8900 \text{ Kg/m}^3$  dan *Ultimate strength*-nya 30 – 40 BHN.

Tembaga yang masih murni sukar dikerjakan dengan alat pemotong tapi mudah sekali diubah bentuk dalam keadaan dingin dengan ditempa, digiling atau diregangkan. Dengan pengerjaan dingin kekuatan tembaga murni akan meningkat kekuatannya sampai  $450 \text{ N/mm}^2$ . Tembaga yang telah mengeras akibat pemberian bentuk dalam keadaan dingin dapat dilunakkan kembali melalui pemijaran antara  $300\text{-}700^\circ \text{ C}$ . Tembaga mempunyai sifat mampu tuang yang jelek, karena tembaga dalam keadaan cair mudah sekali menyerap gas-gas terlarut, dimana pada waktu membeku gas-gas tersebut akan terlepas dan menyebabkan banyak rongga gas dan berpori.

Tembaga (Cu) merupakan logam *non ferro* yang banyak digunakan sebagai unsur paduan di dalam alumunium. Tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan lelah (*fatig*).

Menurut B.H. Amstead (1997: 71) mengatakan bahwa “Tembaga sebagai unsur paduan alumunium dalam jumlah tertentu akan menambah kekuatan dan kekerasannya”.

Lebih lanjut Wahyudi (1997: 31) mengatakan bahwa “Hasil coran yang baik dimulai dari paduan Al-Cu sampai dengan 8%Cu”.

Penambahan tembaga pada alumunium seri 1100 dengan kandungan tembaga 0,2%Cu memiliki kekerasan sebesar 23 HBN, kemudian pada penambahan tembaga antara 3,9 %-5 %Cu kekerasannya meningkat sampai 45 HBN, seperti pada alumunium seri 2014.

Tembaga pada intinya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasannya pada paduan alumunium terutama dilingkungan yang panas, sehingga paduan alumunium yang mengandung tembaga biasa digunakan sebagai piston, seperti piston yang digunakan pada pesawat terbang. Penambahan tembaga pada alumunium dapat mengurangi ketahanan korosi dan kemampuan tuang paduan alumunium.



Penambahan tembaga pada paduan alumunium silikon akan membuat paduan ini memiliki respon yang baik terhadap perlakuan panas. Penambahan tembaga terhadap paduan alumunium silikon dapat memberikan kekerasan pada saat panas. Paduan alumunium yang mengandung unsur tembaga di atas batas kelarutannya akan bersenyawa dengan alumunium membentuk endapan  $\text{CuAl}_2$  yang bersifat keras dan rapuh. Setelah perlakuan panas sifat ini akan menjadi liat dan tidak rapuh, hal ini karena endapan  $\text{CuAl}_2$  akan terlarut pada temperatur perlakuan panas tercapai dan akan terbentuk kembali sifat yang lebih homogen dan lebih merata pada waktu pendinginannya.

Menurut Parker, R. Earl (1967: 71) bahwa “Penambahan tembaga pada alumunium silikon yang baik sampai dengan 11%Cu”. Penambahan tembaga antara 9%–11%Cu pada alumunium silikon dengan silikon antara 3,5%–4,5%Si memiliki kekerasan sebesar 100 HBN, seperti pada alumunium seri 138.

#### 4. Pengecoran Logam

Proses pengecoran merupakan proses pencairan logam yang selanjutnya dituangkan kedalam rongga cetakan dan dibiarkan membeku, sehingga akan terbentuk suatu model yang sesuai dengan bentuk dan pola cetakan. Proses pengecoran ini adalah proses yang memberikan fleksibilitas dan kemampuan yang tinggi sehingga merupakan proses dasar yang penting dalam pengembangan industri (Suardi, 1987: 35).

Menurut Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa (1976: 2) mengatakan bahwa “Pengecoran logam adalah menuangkan secara langsung logam cair yang didapat dari biji besi kedalam cetakan”. Sedangkan coran itu sendiri menurut Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa (1976: 2) menyebutkan bahwa “Coran adalah logam yang dicairkan, dituang kedalam cetakan, kemudian didinginkan dan membeku”.

Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa (1976: 2) Untuk membuat coran, harus dilakukan proses-proses seperti : pencairan logam, pembuatan cetakan, persiapan, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembongkaran dan pembersihan coran.

a. Dapur Peleburan

Untuk mencairkan logam bermacam-macam tanur dipakai. Umumnya kupola atau tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan untuk besi cor, tanur induksi frekuensi tinggi atau busur listrik dipergunakan untuk baja tuang dan tanur krusibel untuk peleburan coran paduan ringan seperti aluminium dan tembaga.

Dapur (tanur) yang biasa digunakan untuk melebur logam *non ferro* kebanyakan digunakan dapur Kowi dan reverberatory disamping menggunakan dapur listrik. Untuk dapur yang biasa digunakan untuk skala kecil adalah dapur kowi atau dapur krusibel, dapur ini terbuat dari bahan tanah liat yang digiling halus dan dicampur dengan grafit  $\pm 20\%$ . Dapur ini terbuat dari tanah liat yang tahan api dan kemudian dibentuk periuk. Sedangkan untuk skala yang lebih besar digunakan dapur reverberatory yang digunakan minyak, gas, dan kokas sebagai bahan bakar. Dapur kowi dengan bahan bakar kokas jarang digunakan karena kurang efisien. Hasil pembakaran bahan bakar akan memanaskan dinding krusibel, yang kemudian mengalirkannya ke logam yang akan dilebur, dengan demikian pembakaran tidak langsung kontak dengan logam. Untuk proses peleburan aluminium dengan dapur kowi dilakukan dengan mengisi sekrap kemudian logam baru dan paduan dasar. Untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan karena oksidasi, logam yang akan dilebur dipotong kecil-kecil baru kemudian dipanaskan atau dilebur.

b. Fluks

Fluks adalah bahan yang digunakan untuk membersihkan atau mengikat kotoran yang terjadi pada saat proses peleburan. Penambahan fluks sendiri dinamakan *fluxing*, pemberian fluks sendiri dilakukan setelah logam mencair. Selama pencairan logam, permukaan harus ditutup dengan fluks dan cairan diaduk dalam jangka waktu tertentu untuk mencegah unsur-unsur paduan. Menurut Tata Surdia dan Kenji Chijiwa (1976: 171) bahwa “penggunaan fluks kering 1% sampai 3% dapat mengurangi gas dan mencegah gelembung udara serta lubang jarum, disamping itu juga memperbaiki sifat-sifat mekanisnya”.

Tabel 1. Fluks untuk Peleburan Paduan Alumunium

Contoh campuran	Natrium heksafloro silikat	Kalsium heksafloro silikat	Magnesium khlorida	Kalsium fluorida	Natrium khlorida	Kalium khlorida	Kalium fluorida
1	50		50				
2	60		40				
3		60	40				
4			14	40	38	8	
5			60	5	17,5	17,5	
6			83,5		11		5,5

(Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa, 1976: 171)

c. Penuangan Dan Penyelesaian Benda Cor

Proses penuangan coran dilakukan dengan dikeluarkan logam cair dari tanur kemudian diterima dalam ladle dan dituangkan dalam cetakan. Dalam proses penuangan diperlukan pengaturan temperatur penuangan, hal ini karena temperatur penuangan banyak sekali mempengaruhi kualitas coran, temperatur penuangan yang terlalu rendah menyebabkan pembekuan pendek, kecairan yang buruk dan menyebabkan kegagalan pengecoran. Selain itu dalam penuangan penting sekali dilakukan dengan cepat. Waktu penuangan yang cocok perlu ditentukan dengan mempertimbangkan berat dan tebal coran, sifat cetakan, dll. Untuk temperatur penuangan yang cocok pada brons-alumunium adalah 1220<sup>0</sup>C untuk coran yang tipis, 1150<sup>0</sup>C untuk coran yang berukuran sedang dan 1110<sup>0</sup>C untuk coran yang tebal. Setelah cetakan selesai dibuat, logam cair dituangkan kedalam cetakan dan akan dibongkar setelah suhu penanganan yang wajar (setelah benda cetakan membeku dan dingin). Untuk benda cor bukan besi akan lebih mudah dalam pembongkarannya, hal ini karena suhu penuangannya lebih rendah sehingga pasir umumnya tidak melekat pada coran, selain itu cocok digunakan untuk cetakan logam karena tidak merusak cetakan. Pembongkaran cetakan dilakukan dengan memukul saluran masuk dan saluran turun atau dipotong-potong dengan gergaji. Setelah cetakan dibongkar benda cor dibersihkan

dan menghilangkan cacat-cacat pada permukaan benda cor digerenda dan dihaluskan dengan diampelas.

Tabel 2. Titik Cair dan Temperatur Penuangan dari Paduan Aluminium

Paduan dan komposisinya	Temperatur mulai cair ( <sup>0</sup> C)	Temperatur penuangan ( <sup>0</sup> C)
Al 4,5Cu	521	700-780
Al 4Cu 3Si	521	700-780
Al 4,5Cu 5Si	521	700-780
Al 12Si	574	670-740
Al 9,5Si 0,5Mg	557	670-740
Al 3,5Cu 8,5Si	538	670-740
Al 7Si 0,3Mg	557	670-740
Al 4Cu 1,5Mg 2Ni	532	700-760
Al 3,8Mg	599	700-760
Al 10Mg	599	700-760
Al 12Si 0,8Cu 1,7Mg 2,5Ni	538	670-740
Al 9Si 3,5Cu 0,8Mg 0,8Ni	520	670-740

(Tata Surdia dan Kenji Chijiwa, 1976: 237)

## 5. Cetakan

Cetakan adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat cairan logam yang akan dibentuk oleh model. Pembuatan cetakan dalam proses pengecoran merupakan hal yang sangat penting sesuai dengan modelnya masing-masing.

Proses pembuatan cetakan dapat dilakukan dengan menggunakan tangan sampai mesin yang paling modern. Pembuatan cetakan dengan menggunakan tangan dilakukan apabila produksinya dalam jumlah yang kecil sedangkan untuk bentuk coran yang sulit dan dalam jumlah yang besar dapat dilakukan dengan menggunakan mesin.

Suhardi (1987: 35) Untuk jenis cetakan ditinjau dari bahan cetakan yang dipakai dibagi menjadi dua yaitu cetakan pasir dan cetakan logam (permanen).

a. Cetakan Pasir

Pengecoran dengan cetakan pasir adalah proses pengecoran dengan menggunakan pasir sebagai bahan yang digunakan untuk membuat cetakan. Proses pengecoran ini merupakan suatu proses yang paling dikenal dan dipakai. Proses ini sendiri tidak lain adalah menuangkan logam cair kerongga dari cetakan pasir, sehingga diperlukan bahan cetakan yang mampu menahan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur logam yang dituangkan. Cetakan ini dibuat dengan jalan memadatkan pasir yang berupa pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Pasir cetak harus lebih halus, karena untuk mendapatkan permukaan yang rata. Pasir cetak tidak perlu tahan panas yang tinggi karena suhu pengecoran untuk paduan aluminium rendah. Untuk memperkuat cetakan atau mempermudah operasi pembuatan cetakan, pasir dicampur dengan pengikat khusus misalkan: air-kaca, semen, resin fenol, resin furan atau minyak pengering. Untuk menghindari terjadinya oksidasi pada cairan paduan aluminium pada waktu penuangan, kadar air dalam cetakan harus serendah mungkin. Sehingga penuangan pasir kering adalah lebih baik untuk pengecoran dengan cetakan pasir.

Dalam pembuatan cetakan diperlukan pola yang digunakan untuk pembuatan cetakan benda coran, pola ini dibuat dengan menyerupai benda yang diinginkan, pola dibuat dari kayu, karena dengan kayu memudahkan pembuatan pola dan ongkos pembuatan yang murah. Kadang-kadang pola dibuat dari logam seperti magnesium, aluminium, maupun besi atau baja. Pola logam digunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda cor, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktifitas lebih tinggi.

Pola kayu adalah pola yang mudah dibuat, cepat pembuatannya dan murah harganya. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir. Kayu yang dipakai untuk pola adalah kayu seru, kayu aras, kayu pinus, kayu mahoni, kayu jati dan lain-lain. Pemilihan kayu menurut macam dan ukuran pola, jumlah produksi, dan lamanya pemakaian. Kayu yang kadar airnya lebih dari 14% tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan

kadar air dalam kayu. Selain pola kayu digunakan *resin epoksida* ataupun *resin polisterena* sebagai bahan untuk pola.

Dari berbagai macam *resin sintetis*, hanya *resin epoksida* yang banyak dipakai. Ia mempunyai sifat-sifat penyusutan yang kecil pada waktu mengeras, tahan aus yang tinggi, memberikan pengaruh yang lebih baik dengan menambah pengencer, dan dipakai untuk coran yang kecil. Untuk *resin polistirena* dipakai sebagai bahan untuk pola yang dibuang setelah dipakai dalam cara pembuatan cetakan yang lengkap. Resin ini tidak dapat menahan penggunaan yang berulang-ulang sebagai pola.

#### b. Cetakan Logam

Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa (1976: 248) Pengecoran dalam cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan logam seperti pada cetakan pasir. Proses penuangannya, logam cair mengalir melalui pintu cetakan, dimana tidak menggunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan. Pada umumnya logam cair dituangkan dengan penuh gaya berat walaupun kadang-kadang diperlukan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan. Sebagai bahan cetakan terutama dipakai besi cor paduan. Cara ini dapat membuat coran yang mempunyai ketelitian dan kualitas yang tinggi. Akan tetapi biaya pembuatan cetakan adalah tinggi sehingga apabila umur cetakan itu dibuat panjang, baru produksi yang ekonomis mungkin dilaksanakan.

Di dalam cetakan logam perlu memberikan bahan pelapis permukaan cetakan agar memudahkan proses pembebasan cetakan dan mengurangi keausan cetakan serta menurunkan kecepatan coran sehingga terhindar dari cacat-cacat. Bahan pelapis yang digunakan untuk melapisi permukaan cetakan logam adalah bahan anorganik yang bersifat tahan api, seperti tanah lempung atau grafit.

Untuk bahan yang digunakan sebagai bahan coran menurut (Tata Surdia dan Kenji Chijiiwa, 1976: 248) mengatakan bahwa “Bahan coran umumnya diambil dari paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium atau paduan tembaga serta paduan lain yang memiliki titik cair rendah”.

Cetakan logam merupakan cetakan yang dapat memberikan hasil coran dengan ketelitian ukuran coran yang sangat baik kalau dibanding pengecoran dengan cetakan pasir dan memiliki permukaan coran yang halus, menghasilkan struktur yang rapat serta sifat mekanis dan sifat tahan tekanan yang sangat baik. Secara metalurgi pengaruh pendinginan cetakan logam menghasilkan logam coran dengan butir-butir yang halus, sehingga memberikan kekuatan maksimum, hal ini karena semakin cepat pendinginannya maka semakin halus butir kristal dendrit sehingga semakin kuat baik kekerasan maupun kekuatan tariknya. Disamping itu kekurangan dari cetakan logam adalah tidak sesuai dengan jumlah produksi yang kecil karena biaya produksi yang mahal, sukar untuk membuat coran yang berbentuk rumit, pembuatan cetakan logam sukar dan mahal, ukuran benda kerja terbatas, serta tidak dapat dipakai untuk pengecoran baja.

Bahan yang lazim dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Biasanya dipakai besi cor kelabu karena sangat tahan aus, tahan panas, dan tidak mahal. Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, termasuk masa produksinya. Bila dibandingkan dengan pola kayu, pola logam lebih lama pembuatannya dan sulit dibetuk.

#### 6. Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si)

Pada Proses pengecoran alumunium sifat-sifat mekaniknya dapat dinaikkan dengan menambahkan unsur paduan logam lain, menentukan jenis cetakan, melakukan perlakuan panas dll. Salah satu sifat mekanis yang dimiliki alumunium adalah keras.

Mesin yang digunakan untuk penentuan kekerasan bahan adalah mesin uji keras. Mesin ini ada yang dijalankan dengan listrik dan ada juga yang dengan sistem mekanik.

Pengertian umum kekerasan ialah penolakan suatu bahan atau material melawan desakan suatu bahan lain (Alois Schonmetz dan Kral Gruber, 1985: 195). Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi.



Kemudian menurut Edih Supardi (1996: 41) Kekerasan adalah merupakan suatu tahanan dari bahan terhadap perubahan bentuk yang tetap.

Ada beberapa cara untuk mengukur kekerasan suatu material, diantaranya adalah:

a. Pengujian Kekerasan Brinell (HB)

Pengujian kekerasan Brinell adalah pengujian kekerasan material yang dilakukan dengan menekan sebuah bola baja atau logam yang sangat keras dengan garis tengah  $D$  (mm) ditekan ke dalam permukaan licin benda uji dalam sebuah mesin uji dengan suatu tekanan  $F$  (daN) yang dinaikan secara perlahan-lahan.

Menurut Edih Supardi (1996: 42). Penentuan kekerasan dengan cara Brinell dilakukan dengan menekan bola baja pada logam dengan beban tertentu.

Besar beban yang diberikan sangat tergantung pada besarnya diameter bola baja dan dinyatakan sebagai berikut :

$$P = k D^2$$

dimana:

$P$  : Beban

$k$  : Konstanta (lihat tabel 3 dan 4)

$D$  : Diameter bola baja penekan

(Sumber : Edih Supardi ,1996: 42)

Pada permukaan logam akan tinggal bekas penekanan. Setelah itu diameter bekas penekanan diukur dengan mikroskop ukur, maka harga kekerasan Brinellnya adalah beban dibagi luas bidang penekanan sebagai berikut :

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - Di^2})}$$

dimana:

$HB$  : Harga kekerasan Brinell (daN/mm<sup>2</sup>)

$F$  : Beban (kgf)

$D$  : Diameter bola baja (mm)

$Di$  : Diameter hasil penekanan (mm)

$\pi$  : 22/7 (konstanta)

h : Kedalaman penekanan (mm)

(Sumber : Edih Supardi ,1996: 42)

Tabel 3. Hubungan Beban dan Diameter Bola

Diameter Bola (mm)	Beban (kgf)					
	$30D^2$	$10D^2$	$5D^2$	$2,5D^2$	$1,25D^2$	$0,5D^2$
10	3000	1000	500	250	125	50
5	750	250	125	62,5	31,3	12,5
2,5	187,5	62,5	31,5	15,6	7,9	3,1

(Alois Schonmet & Karl Gruber, 1985: 196)

Tabel 4. Hubungan Bahan dan Beban

No	Nama bahan	Beban
1.	Besi dan baja	$F = 30D^2$
2.	Tembaga	$F = 10D^2$
3.	Alumunium	$F = 5D^2$
4.	Timah	$F = 2,5D^2$
5.	Timah hitam	$F = D^2$

(Edih Supardi, 1996: 43)

Tabel 5. Pedoman Pengukuran Kekerasan Brinell

$\frac{F}{D^2}$ (F dalam kgf)	30	10	5	2,5	1,25
Pencapaian HB	64-450	22-315	11-158	6-78	3-39
Lama pembebanan (dt)	15	30	30	120	180
Penerapan	Logam ferro	Logam non-ferro			
	Baja Baja tuang Besi tuang Logam Keras	Paduan Tembaga, Paduan Alumunium keras	Tembaga, Paduan alumunium	Bahan-bahan bantalan	Timbel dan Timah putih

(Van Vliet, G.L.J dan Both, W, 1984: 48)

Keterangan :

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1). Jarum penunjuk            | 5). Tuas penaik-penurun |
| 2). Tempat dudukan indentor   | 6). Tuas pengunci       |
| 3). Landasan tempat benda uji | 7). Tuas pengatur beban |
| 4). Batang mur                | 8). Tuas beban          |

- 1) Bola baja untuk kekerasan Brinell sampai 400HB.
- 2) Bola Hultgren untuk kekerasan Brinell sampai 600HB.
- 3) Bola Karbida wolfram untuk kekerasan Brinell sampai dengan 725HB.

b. Pengujian Kekerasan Vickers (HV)

Dalam uji kekerasan Vickres menggunakan penekanan berbentuk piramide intan yang dasarnya bujur sangkar. Beban normal: 3,5; 10; 30; dan 60 daN, lama pembebanan 30 detik. Semakin tipis benda uji, maka semakin kecil pula beban yang dipilih. Besar sudut antara permukaan-permukaan piramide yang saling berhadapan adalah  $136^0$ . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penekanan pada uji kekerasan Brinell. Pada sebagian besar uji kekerasan Brinell nilai  $d = 2,5 \text{ mm}$  dan  $5 \text{ mm}$ . Untuk penekanan intan digunakan nilai  $d = 0,375 D$ , yang menghasilkan  $136^0$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kekerasan HV dan HB hampir sama, sejauh untuk Brinell yang keadaannya normal.

Karena bentuk penekanan piramide, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramide intan. Angka penekanan kekerasan piramide intan didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan bekas penekanan. Pada penekanan praktisya bekas penekanan diukur dengan mikroskop ukur pada panjang diagonalnya.

Dampak tekan yang berbentuk bujur sangkar tersebut didalam mesin uji diperbesar dan ditampilkan dalam layar. Ukuran sisi-sisi miringnya dapat dibaca dengan sebuah alat ukur halus dengan ketepatan 0,001 mm. dari nilai rata-ratanya dan besar beban, dicari angka kekerasan dari tabel yang telah distandarisasi dalam DIN 50.133 (Alois Schonmet & Karl Gruber, 1985: 197).

Pengujian kekerasan Vickres ini dapat diterapkan pada bahan yang lunak (5HV) sampai bahan yang sangat keras (1500HV). Pengujian Vickres tidak tergantung pada besarnya beban. Hanya saja, besar beban yang digunakan menentukan apakah beban mikro (kurang dari 1 kg) atau beban makro (s/d 100 kg).

c. Pengujian Kekerasan Rockwell (HR)

Pengujian kekerasan Rockwell didasarkan pada kedalaman masuknya penekanan pada bahan uji. Makin keras bahan yang akan diuji, makin dangkal masuknya penekanan tersebut. Sebaliknya, makin dalam masuknya penekanan pada bahan uji maka bahan uji tersebut makin lunak.

Pengujian kekerasan Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda penguji yang berupa bola baja ataupun kerucut diamon. Benda penguji tersebut ditekankan pada permukaan material uji.

Pengujian kekerasan Rockwell cocok untuk semua material yang keras maupun yang lunak penggunaannya sederhana dan penekanannya dapat leluasa. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999: 31).

Cara pengoperasian alat uji kekerasan Rockwell adalah sebagai berikut: pertama-tama suatu beban pendahuluan dikenakan pada material uji, biasanya dengan pembebanan uji sebesar 10 daN dan kemudian petunjuk jam ukur disetel pada nol. Setelah itu, beban ditingkatkan menjadi 150 daN (beban tambahan 140 daN) sehingga tercapai kedalaman pembebanan terbesar. Kemudian beban tambahan 140 daN ditiadakan, namun beban awal 10 daN dipertahankan.

## **B. Kerangka Pemikiran**

Alumunium merupakan logam *non ferro* yang memiliki titik cair yang rendah, bobotnya ringan, tahan terhadap korosi, serta sebagai konduktor panas dan listrik yang baik. Alumunium banyak digunakan dalam berbagai bidang, baik dalam bidang otomotif, bangunan, kedokteran, kontruksi pesawat terbang, alat-alat rumah tangga, dan bidang-bidang yang lain. Namun demikian alumunium memiliki kelemahan yaitu kekerasan, batas cair, dan regangannya rendah, sehingga

menyebabkan aluminium murni tidak dapat dipakai sebagai bahan konstruksi. Tetapi sifat mekanik itu dapat ditingkatkan oleh beberapa hal, diantaranya dengan pembuatan aluminium paduan, jenis cetakan yaitu cetakan pasir dan cetakan logam, pengkokohan dan perlakuan panas. Unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, silisium, mangan, magnesium, dan unsur-unsur lainnya. Paduan aluminium dengan silisium akan meningkatkan kemampuan tuang, aluminium dengan tembaga akan meningkatkan sifat mekanik, aluminium dengan magnesium akan menyebabkan paduan bertambah ringan serta meningkatkan ketahanan terhadap impac, dsb.

Paduan aluminium silikon (Al-Si) termasuk jenis paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak, tanpa kegetasan panas, serta sangat baik untuk paduan cor. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaiannya kecil, serta sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Paduan aluminium silikon (Al-12%Si) mempunyai titik eutektik pada  $577^{\circ}\text{C}$ , komposisi ini sangat baik untuk paduan cor karena mempunyai temperatur titik cair yang rendah. Paduan aluminium silikon merupakan paduan yang banyak digunakan dalam bidang otomotif dan pengelasan. Pada bidang otomotif paduan ini digunakan sebagai piston, kepala silinder, pelek, dll. Dimana untuk penggunaan atau pemakaian tersebut dituntut paduan aluminium silikon yang memiliki kekerasan, kekuatan dan keuletan.

Dalam proses pengecoran tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) dapat ditingkatkan dengan menambah unsur logam lain seperti magnesium, tembaga, silisium, seng, mangan, dll. Penambahan tembaga yang sesuai pada paduan aluminium silikon dapat memberikan sifat mekanik yang diinginkan. Dengan penambahan tembaga pada paduan aluminium silikon kekerasannya akan meningkat, daya tahan korosi turun dan berat jenisnya akan meningkat sesuai dengan jumlah kandungan tembaga. Selain itu jenis cetakan yang digunakan dalam proses pengecoran dapat mempengaruhi kualitas coran.

Jenis cetakan yang digunakan dalam proses pengecoran dibedakan menjadi dua macam yaitu cetakan pasir dan logam.

Proses pengecoran dengan cetakan pasir adalah proses dengan menuangkan logam cair kedalam rongga dari cetakan pasir. Cetakan pasir mempunyai sifat mampu untuk dibentuk, tahan panas terhadap temperatur logam yang dituangkan, dapat dipakai berulang-ulang, secara metalurgi pengaruh pendinginan cetakan logam lebih lama, sehingga butiran kristal dendrit lebih kasar. Sedangkan untuk cetakan logam adalah jenis cetakan dengan menggunakan logam sebagai bahan cetakan, sebagai bahan cetakan terutama dipakai besi cor paduan. Dimana proses penuangannya adalah logam cair mengalir melalui pintu cetakan, dengan memasukkan cairan logam yang telah dilebur dengan menggunakan tekanan. Cetakan ini dapat memberikan ketelitian dan kualitas yang tinggi. Hal ini karena proses pendinginannya lebih cepat sehingga mampu menghasilkan butiran dendrit yang lebih halus, dimana butiran dendrit yang lebih halus mampu memberikan kekerasan yang lebih kuat. sehingga berpengaruh pula terhadap tingkat kekerasan logam paduan yang dicor.

### C. Hipotesis

Berdasarkan kajian teori dan kerangka pemikiran di atas, maka dapat dirumuskan suatu jawab sementara yang harus diuji kebenarannya yaitu:

1. Ada perbedaan pengaruh yang signifikan variasi penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
2. Ada perbedaan pengaruh yang signifikan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
3. Ada perbedaan pengaruh interaksi bersama yang signifikan variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).
4. Didapat tingkat kekerasan optimal dari interaksi variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran yang menghasilkan tingkat kekerasan yang paling optimal pada paduan aluminium silikon (Al-Si).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

##### **1. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di :

- a. Perusahaan pengecoran logam Mf Antik, Batur, Ceper, Klaten untuk proses pengecoran.
- b. Laboratorium Pengujian Bahan, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta untuk proses pengujian kekerasan.

##### **2. Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2006 – Oktober 2006, dengan jadwal penelitian sebagai berikut:

- a. Seminar proposal penelitian pada tanggal 31 Juli 2005
- b. Revisi proposal penelitian pada tanggal 1 - 5 Agustus 2006
- c. Perijinan penelitian pada tanggal 7 Agustus - 4 September 2006
- d. Pelaksanaan penelitian pada tanggal 9 - 20 September 2006
- e. Analisis data pada tanggal 21 - 26 September 2006
- f. Penulisan laporan penelitian pada tanggal 24 Agustus – 20 Oktober 2006.

#### **B. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen yaitu metode penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol (Sugiyono, 1999: 4). Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian dengan memaparkan secara jelas hasil eksperimen yang diperoleh dari sejumlah benda uji dalam bentuk angka-angka.

Rancangan penelitian yang digunakan adalah peneliti melakukan beberapa buah perlakuan dan ulangan yang sama dan kesimpulan yang dihasilkan



hanya menyangkut perlakuan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).

### C. Populasi dan Sampel

#### 1. Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini didefinisikan sebagai jumlah atau kesatuan individu atau orang maupun benda yang memiliki beberapa sifat yang sama dan kepadanya kesimpulan penelitian akan diberlakukan. (Sugiyono, 1999: 57) mengatakan bahwa “Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas; obyek/subyek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan”. Sedangkan (Suharsimi Arikunto, 1998: 108) mengatakan bahwa “populasi adalah keseluruhan obyek penelitian”. Populasi dalam penelitian ini adalah paduan aluminium silikon (Al-Si) yang dibuat melalui pengecoran logam di perusahaan pengecoran logam Mf Antik, Batur, Ceper, Klaten.

#### 2. Sampel Penelitian

Sampel adalah sebagian jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiyono, 1999: 57). Karena kesimpulan dari sampel akhirnya dikenakan pada populasinya maka harus ada syarat - syarat tertentu di dalam pemilihan sampel. Syarat utamanya adalah sampel harus menjadi cermin dari populasi, sampel harus merupakan populasi dalam bentuk kecil (*miniature population*). Dalam penelitian ini teknik pengambilan sampel digunakan adalah “*purposive sampling*” yaitu teknik penentuan sampel untuk tujuan tertentu saja (Sugiyono, 1999: 62). Suharsimi Arikunto (1998: 117) mengemukakan bahwa “teknik *purposive sampling* adalah sample dilakukan dengan cara mengambil subyek bukan didasarkan atas strata, random atau daerah tetapi didasarkan atas tujuan”.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium silikon (Al-Si) dengan kadar 12%Si dan dengan penambahan unsur tembaga 2%, 5% dan 8%. Jumlah sampel pada penelitian ini ada enam buah sampel paduan aluminium silikon (Al-Si) yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri dari tiga sampel paduan aluminium silikon (Al-Si) dengan penambahan unsur tembaga 2%, 5%, dan 8%, yang dicetak dengan menggunakan cetakan pasir dan kelompok yang kedua terdiri dari tiga sampel paduan aluminium silikon (Al-Si) dengan penambahan unsur tembaga 2%, 5% dan 8%, yang dicetak dengan menggunakan cetakan logam. Dari keseluruhan sampel akan diuji nilai kekerasannya dan dari setiap pengujian akan dilakukan empat kali replika yang nanti diambil rata-ratanya.

Sampel dalam penelitian ini berbentuk balok dengan ukuran panjang 30mm, lebar 30mm, dan tebal 10mm.

Gambar 4. Bentuk dan Ukuran Spesimen (Skala 1:1)

### **c. Teknik Pengumpulan Data**

#### **1. Identifikasi variabel**

Definisi variabel penelitian adalah sebagai obyek penelitian atau yang menjadi titik perhatian suatu penelitian (Suharsimi Arikunto, 1998: 96). Di dalam suatu variabel terdapat satu atau lebih gejala, yang mungkin pula terjadi dari berbagai aspek atau unsur sebagai bagian yang tidak terpisahkan. Dari pengertian tersebut secara garis besar variabel dalam penelitian ini ada tiga variabel, yang secara lengkap dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah himpunan sejumlah gejala yang memiliki berbagai aspek atau unsur, yang berfungsi mempengaruhi atau menentukan munculnya variabel lain yang disebut dengan variabel terikat. Munculnya atau adanya variabel ini tidak dipengaruhi atau tidak ditentukan oleh ada atau tidaknya variabel lain. Sehingga tanpa variabel bebas, maka tidak akan ada variabel terikat. Demikian dapat pula terjadi bahwa jika variabel bebas berubah, maka akan muncul variabel terikat yang berbeda atau yang lain.

Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah

- 1) Variasi penambahan tembaga 2%, 5% dan 8%.
- 2) Jenis cetakan pada proses pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah himpunan sejumlah gejala yang memiliki pula sejumlah aspek atau unsur didalamnya, yang berfungsi menerima atau menyesuaikan diri dengan kondisi lain, yang disebut dengan variabel bebas. Dengan kata lain ada atau tidaknya variabel terikat tergantung ada atau tidaknya variabel bebas.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah himpunan sejumlah gejala yang memiliki berbagai aspek atau unsur didalamnya, yang berfungsi untuk mengendalikan agar variabel terikat yang muncul bukan karena variabel lain, tetapi benar-benar karena variabel bebas yang tertentu. Pengendalian variabel ini dimaksudkan agar tidak merubah atau menghilangkan variabel bebas yang akan diungkap pengaruhnya.

Demikian pula pengendalian variabel ini dimaksudkan agar tidak menjadi variabel yang mempengaruhi / menentukan variabel terikat. Dengan mengendalikan pengaruhnya berarti variabel ini tidak ikut menentukan ada atau tidaknya variabel terikat.

Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- 1) Suhu pencairan logam 780<sup>0</sup>C.
- 2) Pencampuran logam pada saat mencair.
- 3) Pengadukan campuran dengan waktu 5 menit.
- 4) Cetakan logamnya dari besi cor paduan.
- 5) Cetakan pasirnya dari pasir yang mengandung tanah lempung.
- 6) Temperatur cetakan dengan temperatur ruangan.

## 2. Pelaksanaan Eksperimen

### a. Alat Eksperimen.

Dalam eksperimen ini alat yang digunakan adalah :

- 1) Dapur peleburan dan kelengkapannya.
- 2) Timbangan mikro.
- 3) Cetakan pasir.
- 4) Cetakan logam
- 5) Gergaji potong.
- 6) Mesin Frais.
- 7) Kikir.
- 8) Ampelas.
- 9) Jangka sorong.
- 10) Alat keselamatan kerja.
- 11) Mesin uji kekerasan Brinell.
- 12) Dan alat bantu yang lain.

### b. Bahan Eksperimen

Bahan eksperimen ini adalah paduan alumunium silikon dengan kadar silikon 12% dan tembaga 2%, 5% dan 8% yang berbentuk balok dengan panjang 30mm, lebar 30mm dan tebal 10mm.

### c. Tahap Eksperimen

### d. Urutan Langkah Eksperimen Yang Dilakukan Adalah Sebagai Berikut :

- 1) Mempersiapkan cetakan pasir dan cetakan logam.
- 2) Mempersiapkan bahan alumunium silikon dan tembaga 2%, 5% dan 8%.

- 3) Melebur bahan dilakukan dengan melebur alumunium silikon terlebih dahulu sampai mencair baru memasukkan tembaga agar lebur jadi satu untuk menghasilkan campuran yang homogen.
  - 4) Menuangkan cairan logam ke dalam cetakan pasir dan cetakan logam.
  - 5) Pembongkaran cetakan untuk mengambil spesimen.
  - 6) Pembentukan spesimen dengan gergaji mesin, mesin frais, mesin gerinda, kikir, dan amplas agar halus dan bersih.
  - 7) Memberikan tanda pada masing-masing kelompok spesimen dengan koding, agar memudahkan dalam pelaksanaan penelitian.
  - 8) Menyiapkan peralatan bantu penelitian untuk pengujian kekerasan Brinell.
  - 9) Melakukan pengujian kekerasan untuk masing-masing spesimen.
  - 10) Menganalisa data dari proses pengujian kekerasan.
  - 11) Memberi kesimpulan dari hasil analisa data tersebut.
- e. Cara Pengukuran kekerasan spesimen
- 1) Setelah membentuk dan menghaluskan spesimen, selanjutnya melakukan pengukuran kekerasan bahan dengan alat uji kekerasan Brinell.
  - 2) Persiapan benda uji.  
Benda uji yang digunakan adalah paduan alumunium silikon (Al-Si) yang berukuran : panjang 30 mm, lebar 30 mm, dan tinggi 10 mm.
  - 3) Dengan pertolongan besaran F dan D kemudian membaca besar beban dan diameter bola baja dalam  $\text{daN/mm}^2$  dari tabel. (Tabel 3, 4 dan 5).
  - 4) Menekankan sebuah bola baja atau logam yang sangat keras dengan garis tengah D (mm), menekankan ke dalam permukaan licin benda uji dalam sebuah mesin uji dengan suatu tekanan F (daN), kemudian menaikkan perlahan-lahan.
  - 5) Pada permukaan logam akan tinggal bekas penekanan. Setelah itu mengukur diameter bekas penekanan ( $D_i$ ) dengan mikroskop ukur.
  - 6) Menghitung besar kekerasan Brinell dalam  $\text{daN/mm}^2$ .

sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat

diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan-persoalan yang dibahas (Sudjana, 1989 : 1).

Pada penelitian ini untuk pengukuran kekerasan pada paduan aluminium silikon (Al-Si) digunakan desain eksperimen faktorial  $3 \times 2$ . Terdapat dua variabel bebas yang pada eksperimen yang disebut faktor. Faktor pertama pada penelitian ini adalah variasi penambahan Cu 2%, 5% dan 8%, sedangkan faktor kedua adalah jenis cetakan pasir dan jenis cetakan logam, sehingga pada eksperimen ini diperoleh desain eksperimen faktorial  $3 \times 2$ . Dengan demikian diperlukan enam perlakuan yang berbeda-beda, dimana setiap perlakuan dilakukan replikasi sebanyak empat kali. Dari eksperimen faktorial  $3 \times 2$  ini akan diperoleh data sebanyak 24 data.

Kombinasi perlakuan dilakukan dengan mengkombinasi masing-masing taraf pada faktor A dengan taraf-taraf pada faktor B. Faktor A (variasi penambahan tembaga), terdiri dari tiga buah taraf, yaitu 2%Cu, 5%Cu, dan 8%Cu. Faktor B (jenis cetakan), terdiri dari dua buah taraf yaitu jenis cetakan pasir dan jenis cetakan logam. Dengan demikian dapat diperoleh hasil eksperimen yang dapat dilihat dalam bentuk tabel. Berikut ini tabel pengumpulan data eksperimen  $3 \times 2$ .

Tabel 6. Desain Eksperimen Faktorial  $a \times b$

		Faktor A			Jumlah Keseluruhan	Rata-rata Keseluruhan
		Penambahan Tembaga				
Taraf		2%Cu	5%Cu	8%Cu		
Faktor B (Jenis Cetakan)	Cetakan Pasir	$Y_{111}$	$Y_{121}$	$Y_{131}$		
		$Y_{112}$	$Y_{122}$	$Y_{132}$		
		$Y_{113}$	$Y_{123}$	$Y_{133}$		
		$Y_{114}$	$Y_{124}$	$Y_{114}$		
	Jumlah	$J_{110}$	$J_{120}$	$J_{130}$	$J_{100}$	
	Rata-rata	$\bar{Y}_{110}$	$\bar{Y}_{120}$	$\bar{Y}_{130}$		$\bar{Y}_{100}$
	Cetakan Logam	$Y_{211}$	$Y_{221}$	$Y_{231}$		
$Y_{212}$		$Y_{222}$	$Y_{232}$			
$Y_{213}$		$Y_{223}$	$Y_{233}$			

		$Y_{214}$	$Y_{224}$	$Y_{234}$		
	Jumlah	$J_{210}$	$J_{220}$	$J_{230}$	$J_{200}$	
	Rata-rata	$\bar{Y}_{210}$	$\bar{Y}_{220}$	$\bar{Y}_{230}$		$\bar{Y}_{200}$
	Jumlah Keseluruhan	$J_{010}$	$J_{020}$	$J_{030}$	$J_{000}$	
	Rata-rata Keseluruhan	$\bar{Y}_{010}$	$\bar{Y}_{020}$	$\bar{Y}_{030}$		$\bar{Y}_{000}$

#### d. Sumber Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan hasil penelitian mengenai berapa besar tingkat kekerasan yang dinyatakan dalam tingkat kekerasan Brinell.

#### e. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini untuk menganalisis data digunakan analisis varian (Anava dua jalan). Namun sebelum dilakukan, terlebih dahulu dilakukan uji persyaratan analisa yaitu uji normalitas dan uji homogenitas.

##### 1. Uji Persyaratan Analisis Data

##### a. Uji Normalitas

Uji normalitas ini bertujuan untuk mengetahui apakah data pada variabel-variabel penelitian berasal dari data yang berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji normalitas *Liliefors*.

Adapun prosedur yang ditempuh dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1) Tentukan hipotesis

$H_0$  = Sampel berasal dari populasi berdistribusi normal.

$H_1$  = Sampel tidak berasal dari populasi berdistribusi normal.

2) Tentukan taraf nyata  $\alpha = 0,01$

3) Menentukan harga SD dengan rumus:



$$SD^2 = \frac{n \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2}{n(n-1)} \quad \text{Keterangan :}$$

SD : Simpangan baku atau *Deviasi Standar*

n : Jumlah baris

$Y_1^2$  : Jumlah keseluruhan kolom pangkat dua

$\sum Y_1^2$  : Hasil pangkat dua  $X_1^2$  kemudian dijumlahkan keseluruhan

4) Pengamatan  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  dijadikan bilangan  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  dengan

$$\text{menggunakan rumus : } Z_1 = \frac{Y_1 - \bar{Y}}{SD}$$

5) Statistik uji yang digunakan  $L = \text{maks. } [F(Z_i) - S(Z_i)]$

Dengan  $F(Z_i) = P(Z < Z_i) : Z \sim N(0,1)$ :

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknya } Z_1, Z_2, Z_3 = Z_i}{n}$$

6) Daerah kritik uji  $DK = \{L \mid L > L_{\alpha;n}\}$

$H_0$  ditolak apabila  $L_0 \text{ mak} > L$  tabel.

$H_1$  diterima apabila  $L_0 \text{ mak} < L$  tabel.

(Sumber: Budiyono, 2000 : 169)

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata atau untuk mengetahui apakah variansi-variansi dari sejumlah data sama atau tidak. Untuk menguji persyaratan homogenitas digunakan *Uji Bartlett*. Adapun prosedur yang harus ditempuh adalah sebagai berikut:

1) Tentukan Hipotesis

$$H_0 = S_1^2 = S_2^2 \dots = S_k^2 ; H^1$$

2) Tentukan taraf nyata  $\alpha = 0,01$

3) Menentukan tabel Uji *Bartlett*

Tabel 7. Harga-harga yang perlu untuk Uji *bartlett*

Sampel ke	Dk	1/Dk	$S_i^2$	$\text{Log } S_i^2$	(Dk) $\text{Log } S_i^2$
-----------	----	------	---------	---------------------	--------------------------

1	$N_1 - 1$	$1/(N_1 - 1)$	$S_i^2$	$\text{Log } S_i^2$	$(N_1 - 1) \text{Log } S_i^2$
2	$N_2 - 1$	$1/(N_2 - 1)$	$S_i^2$	$\text{Log } S_i^2$	$(N_2 - 1) \text{Log } S_i^2$
kekeliruan	$N_k - 1$	$1/(N_k - 1)$	$S_i^2$	$\text{Log } S_i^2$	$(N_k - 1) \text{Log } S_i^2$
Jumlah	$\Sigma(N_i - 1)$	$\Sigma(1/N_i - 1)$			$\Sigma(N_i - 1) \text{Log } S_i^2$

4) Untuk uji *Bartlett* digunakan statistik *Chi Kuadrat*

$$X^2 = (\text{Ln } 10) \{B - \Sigma(N_i - 1) \log S_i^2\};$$

Dimana:

$$B = \text{Koefisien } \textit{Bartlett} = (\log S^2) \Sigma(N_i - 1)$$

$$S^2 = \text{Variasi gabungan dari semua sampel} = \{\Sigma(N_i - 1) s_i^2 / \Sigma(N_i - 1)\}$$

$$S_i^2 = \frac{\Sigma Y_i^2 - ((\Sigma Y_i)^2 / N_i)}{N_i - 1}$$

$N$  = Jumlah baris

5) Daerah kritik (Daerah penolakan  $H_0$ )

$$H_0 \text{ ditolak apabila } Y^2 \geq Y_{t(1-\alpha)(k-1)}^2$$

$$H_0 \text{ diterima apabila } Y^2 \leq Y_{t(1-\alpha)(k-1)}^2$$

(Sumber: Sudjana, 2002 : 261)

## 2. Analisis Data

a. Uji Hipotesis dengan Anava Dua Jalan

Dalam penelitian ini untuk menguji hipotesis setelah diperoleh data dengan metode eksperimen yang berdistribusi normal dan memiliki varian yang homogen. Maka digunakan analisis varian dua jalan. Dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1) Menentukan hipotesis

a)  $H_{O1} : \sigma_A^2 = 0 ; H_{i1} : \text{ada salah satu perbedaan}$

b)  $H_{O2} : \sigma_B^2 = 0 ; H_{i2} : \text{ada salah satu perbedaan}$

c)  $H_{O3} : \sigma_B^2 = 0 ; H_{i3} : \text{ada salah satu perbedaan}$

2) Memilih taraf signifikan tertentu ( $\alpha = 0,01$ )

3) Menetapkan kriteria pengujian, yaitu :

- a)  $H_{01}$  diterima apabila  $F \leq F\alpha (a - 1, ab(n-1))$   
 $H_{01}$  ditolak apabila  $F \geq F\alpha (a - 1, ab(n-1))$
- b)  $H_{02}$  diterima apabila  $F \leq F\alpha (b - 1, ab(n-1))$   
 $H_{02}$  ditolak apabila  $F \geq F\alpha (b - 1, ab(n-1))$
- c)  $H_{03}$  diterima apabila  $F \leq F\alpha (a - 1)(b - 1, ab(n-1))$   
 $H_{03}$  ditolak apabila  $F \geq F\alpha (a - 1)(b - 1, ab(n-1))$

4) Menentukan besarnya F

Rumus-rumus yang digunakan untuk menganalisa data guna menentukan jumlah kuadrat (JK), derajat kebebasan (dk), mean kuadrat (KT) dan F observasi adalah :

$$\sum Y^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2, \text{ dengan } dk = abn$$

$J_{i00}$  = Jumlah nilai pengamatan yang ada dalam taraf ke i faktor A

$$= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$J_{j00}$  = Jumlah nilai pengamatan yang ada dalam taraf ke j faktor B

$$= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$J_{ij0}$  = Jumlah nilai pengamatan yang ada dalam taraf ke i faktor A dalam taraf ke J faktor B

$$= \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$J_{000}$  = Jumlah nilai semua pengamatan

$$= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2$$

$$R_y = \frac{J_{000}^2}{abn}, \text{ dengan } dk = 1$$

$A_y$  = Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk semua taraf faktor A

$$= bn \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i00} - \bar{Y}_{000})^2$$

$$= \sum_{i=1}^a \left( \frac{J_{000}^2}{bn} \right) - RY \text{ dengan } dk = (a - 1)$$

$B_y$  = Jumlah kuadrat (JK) untuk semua taraf faktor B.

$$= an \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i00} - \bar{Y}_{000})^2$$

$$= \sum_{i=1}^a \left( \frac{J_{000}^2}{n} \right) - RY \text{ dengan } dk = (b - 1)$$

$J_{ab}$  = Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk semua sel untuk daftar a x b.

$$= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{0j0} - \bar{Y}_{000})^2$$

$$= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \left( \frac{J_{0j0}^2}{n} \right) - RY$$

$AB_y$  = Jumlah kuadrat-kuadrat untuk interaksi antara faktor A dan faktor B.

$$= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{ij0} - \bar{Y}_{000} - \bar{Y}_{0j0} - \bar{Y}_{i00})^2$$

$$= J_{ab} - A_y - B_y \text{ dengan } dk = (a - 1)(b - 1)$$

$E_y$  =  $\Sigma Y^2 - R_y - A_y - B_y - AB_y$  dengan  $dk = ab(n - 1)$

A = Mean kuadrat untuk faktor A

$$= A_y / (a - 1)$$

B = Mean kuadrat untuk faktor B

$$= A_y / (b-1)$$

AB = mean kuadrat untuk A dan B.

$$= AB_y / (a - 1)(b - 1)$$

E =  $E_y / ab(n - 1)$

$$FA = \frac{A_y / dkA}{E_y / dkE} = \frac{KTA}{KTE}$$

$$FB = \frac{B_y / dkB}{E_y / dkE} = \frac{KTB}{KTE}$$

$$FAB = \frac{AB_y / dkAB}{E_y / dkE} = \frac{KTAB}{KTE}$$

Setelah perhitungan selesai, hasilnya dimasukkan ke dalam daftar anava sebagai berikut:

Tabel 8. Rangkuman Anava Dua Jalan.

Sumber Variasi	Derajat kebebasan (Dk)	Jumlah Kuadrat (JK)	Mean Kuadrat (MK)	F
Rata-rata perlakuan	1	$R_y$		
A	$a - 1$	$A_y$	$A_y/dkA$	KTA/KTE
B	$b - 1$	$B_y$	$B_y/dkB$	KTB/KTE
AB	$(a - 1)(b - 1)$	$AB_y$	$aby/dkAB$	KTB/KTE
Kekeliruan (E)	$ab(n - 1)$	$E_y$	$E_y/dkE$	
Jumlah	$abn$	$\Sigma Y^2$	-	-

Karena dalam penelitian ini ada tiga buah taraf faktor A dan dua buah taraf faktor B, yang semuanya digunakan dalam eksperimen, maka untuk menghitung statistik F, digunakan model tetap, yaitu:

$$Ha_1 \text{ dipakai } F = A/E$$

$$Ha_2 \text{ dipakai } F = B/E$$

5)

Keputusan uji:

- a).  $FA > Ft 1\%$   $\longrightarrow$   $Ha$  diterima
- b).  $FB > Ft 1\%$   $\longrightarrow$   $Ha$  diterima
- c).  $FAB > Ft 1\%$   $\longrightarrow$   $Ha$  diterima

(Sumber: Sudjana, 1989 : 109)

b. Komparasi Ganda Pasca Anava Dua jalan

Komparasi ganda pasca anava bertujuan untuk mengetahui rerata mana yang berbeda atau rerata mana yang sama. Dalam penelitian ini, komparasi ganda yang digunakan untuk tindak lanjut anava ada dua jalan adalah dengan memakai metode *Scheffe*. Langkah-langkah yang harus ditempuh pada metode *Scheffe* adalah sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi semua pasangan komparasi rataan yang ada.

- 2) Menentukan tingkat signifikansi  $\alpha = 1\%$
- 3) Mencari nilai statistik uji F dengan menggunakan formula:
  - a. Uji *Scheffe* untuk komparasi rata-rata antar baris.

$$F_{i-j} = \frac{(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)^2}{\text{RKG} \left[ \frac{1}{n \cdot i} + \frac{1}{n \cdot j} \right]}, \text{RKG} = E$$

$$\text{Daerah kritik uji (DK)} = \{F \mid F > (p - 1) F_{\alpha; p-1, N-pq}\}$$

- b. Uji *Scheffe* untuk komparasi rata-rata antar kolom

$$F_{i-j} = \frac{(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)^2}{\text{RKG} \left[ \frac{1}{n \cdot i} + \frac{1}{n \cdot j} \right]}, \text{RKG} = E$$

$$\text{Daerah kritik uji (DK)} = \{F \mid F > (q - 1) F_{\alpha; q-1, N-pq}\}$$

- c. Uji *Scheffe* untuk komparasi rata-rata antar sel pada kolom yang sama.

$$F_{ij-kj} = \frac{(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)^2}{\text{RKG} \left[ \frac{1}{n \cdot ij} + \frac{1}{n \cdot kj} \right]}, \text{RKG} = E$$

$$\text{Daerah kritik uji (DK)} = \{F \mid F > (pq - 1) F_{\alpha; pq-1, N-pq}\}$$

- d. Uji *Scheffe* untuk komparasi rata-rata antar sel pada baris yang sama

$$F_{ij-ik} = \frac{(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)^2}{\text{RKG} \left[ \frac{1}{n \cdot ij} + \frac{1}{n \cdot ik} \right]}, \text{RKG} = E$$

$$\text{Daerah kritik uji (DK)} = \{F \mid F > (pq - 1) F_{\alpha; pq-1, N-pq}\}$$

- 4) Menentukan keputusan uji untuk masing-masing komparasi ganda.
- 5) Mengambil kesimpulan keputusan uji yang ada.

Keterangan:

$F_{i-j}$  = Nilai  $F_{\text{obs}}$ , pada perbandingan baris ke  $i$  dan baris ke  $j$

$F_{ij-kj}$  = Nilai  $F_{\text{obs}}$ , pada perbandingan rata-rata pada sel ke  $ij$  dan baris ke  $kj$

$\bar{Y}_i$  = Rataan pada baris ke- $i$

$\bar{Y}_j$  = Rataan pada baris ke- $j$

$\bar{Y}_{ij}$  = Rataan pada sel  $ij$

- $\bar{Y}_{kj}$  = Rataan pada sel  $kj$   
RKG = E = Rataan kuadrat galat  
 $n \cdot I$  = Ukuran sampel baris ke- $i$   
 $n \cdot j$  = Ukuran sampel baris ke- $j$   
 $n \cdot ij$  = Ukuran sel  $ij$   
 $n \cdot kj$  = Ukuran sel  $kj$

(Sumber: Budiyo, 2000 : 209)

Uji *Scheffe* yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan uji *Scheffe* untuk komparasi rataan antar baris, komparasi rataan antar kolom, komparasi rataan antar sel pada kolom yang sama dan komparasi rataan antar sel pada baris yang sama. Hal ini dilakukan agar benar-benar diketahui tingkat perbedaan besarnya pengaruh masing-masing perlakuan terhadap kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si). Tingkat kekerasan optimal dihitung dari rerata sel, interaksi penambahan unsur tembaga dan jenis cetakan pada proses pengecoran.



## BAB IV HASIL PENELITIAN

### A. Deskripsi Data

Seperti yang diuraikan dalam Bab III, penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang melibatkan dua faktor yang disimbolkan dengan huruf A dan B. Faktor A adalah variasi penambahan tembaga (Cu) yaitu 2%, 5%, dan 8% pada paduan aluminium silikon (Al-Si). Sedangkan faktor B adalah Variasi Jenis cetakan yaitu cetakan pasir dan cetakan logam. Faktor A dan faktor B ini merupakan variabel bebas dan variabel terikatnya adalah tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si). Data diperoleh dari pengujian kekerasan dengan menggunakan mesin uji kekerasan Brinell pada paduan aluminium silikon (Al-Si) yang telah dicor. Data dapat dideskripsikan sebagai berikut :

Data dari keseluruhan hasil pengujian kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) yang diperoleh dari setiap sampel kemudian diambil reratanya, sehingga diperoleh enam data rerata hasil pengujian kekerasan. Secara umum hasil pengukuran kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) yang telah dicor dapat dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 10. Hasil Rata-Rata Pengukuran Kekerasan Paduan Aluminium Silikon (Al-Si).

Jenis Cetakan	Penambahan Tembaga (Cu)		
	2% Cu	5% Cu	8% Cu
Cetakan Pasir	86,40	90,77	93,38
Cetakan logam	92,98	99,73	107,76

Dari hasil rata-rata pada tabel 10 dapat diketahui bahwa, nilai rerata pada setiap sel berbeda sehingga dapat dikatakan bahwa variasi penambahan tembaga

dan jenis cetakan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si). Kekerasan terendah sebesar 86,40 HBN pada penambahan tembaga 2% Cu dengan menggunakan jenis cetakan pasir. Dan kekerasan tertinggi sebesar 107,76 HBN pada penambahan tembaga sebanyak 8% Cu dengan menggunakan jenis cetakan logam.

Pada Histogram di bawah, dapat diamati bahwa variasi penambahan Tembaga dan jenis cetakan menghasilkan tingkat kekerasan yang berbeda-beda pada setiap perlakuan. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada gambar 6.

Dapat dideskripsikan data hubungan kekerasan Brinell (HBN) dan variasi penambahan tembaga (Cu) dengan menggunakan cetakan pasir. Pada perlakuan tersebut terlihat bahwa kekerasan terendah adalah 86,40 HBN pada penambahan tembaga 2%. Untuk kekerasan 90,77 HBN dengan penambahan tembaga 5%. Sedangkan kekerasan tertinggi adalah 93,38 HBN pada penambahan tembaga 8%. Dilihat dari rata-rata hitung nilai kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar tembaga.

Dapat dideskripsikan data hubungan kekerasan Brinell (HBN) dan variasi penambahan tembaga (Cu) dengan menggunakan cetakan logam. Kekerasan terendah adalah 92,98 HBN pada penambahan tembaga 2%. Untuk paduan dengan kadar 5% dengan nilai kekerasan 99,97 HBN. Sedangkan kekerasan tertinggi adalah 107,76 HBN pada penambahan tembaga 8%. Dari Histogram tersebut juga dapat dilihat bahwa dari rata-rata hitung nilai kekerasan paduan

aluminium silikon (Al-Si) cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar tembaga.

Berdasarkan diskripsi data penelitian nilai kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) dapat disimpulkan bahwa penambahan tembaga dan jenis cetakan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda-beda. Penambahan tembaga 2% dengan cetakan pasir didapat nilai kekerasan paling rendah yaitu 86,4 HBN. Sedangkan kekerasan tertinggi adalah 107,76 HBN pada penambahan tembaga 8% dengan cetakan logam. Sehingga dalam perlakuan tersebut kekerasannya meningkat sekitar 21,36 HBN dari 86,4 HBN menjadi 107,76 HBN. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses optimal untuk paduan aluminium silikon (Al-Si) pada variasi penambahan tembaga 2% – 8% dan jenis cetakan yang berbeda antara cetakan pasir dan logam yaitu pada penambahan tembaga 8% dengan menggunakan cetakan logam.

## **B. Pengujian Persyaratan Analisis**

Karena penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen, maka data yang diperoleh sebelum dianalisa dengan uji Analisis Variansi Dua Jalan, maka dilakukan uji pendahuluan atau uji prasyarat yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas.

### 1. Uji Normalitas

Uji normalitas dipakai untuk menguji apakah data hasil penelitian yang didapatkan mempunyai distribusi yang normal atau tidak. Pengujian normalitas populasi dalam penelitian ini digunakan uji *Liliefors*, karena data yang diperoleh tidak dalam distribusi frekuensi data bergolong. Dengan cara mencari harga  $L_{obs} = \max |F(Z_i) - S(Z_i)|$  pada masing-masing kelompok perlakuan. Kemudian harga  $L_{obs}$  untuk setiap kolom dan baris dikonsultasikan dengan harga  $L_{tabel}$ . Dari daftar nilai yang tertulis pada tabel nilai kritis untuk Uji *Liliefors* dengan taraf signifikansi 1% dan dengan  $n = 8$  ( $L_{(0,01; 8)}$ ) diperoleh  $L_{tabel}$  sebesar 0.331. Dan pada

. taraf signifikansi 1% dan dengan  $n = 12$  ( $L_{(0,01; 12)}$ ) diperoleh  $L_{\text{tabel}}$  sebesar 0,275. Jika hasil perhitungan mendapatkan harga  $L_{\text{obs}}$  lebih kecil dari harga  $L_{\text{tabel}}$  maka data berdistribusi normal.

Adapun keputusan uji normalitas data selengkapnya tersebut dalam tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Normalitas Dengan Metode *Liliefors*.

Perlakuan	Data Hasil Uji	Keputusan
Kolom A <sub>1</sub>	$L_{\text{obs}} = 0,2454 < L_{(0,01; 8)} = 0,331$	Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Kolom A <sub>2</sub>	$L_{\text{obs}} = 0,2764 < L_{(0,01; 8)} = 0,331$	Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Kolom A <sub>3</sub>	$L_{\text{obs}} = 0,2910 < L_{(0,01; 8)} = 0,331$	Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Baris B <sub>1</sub>	$L_{\text{obs}} = 0,1571 < L_{(0,01; 12)} = 0,275$	Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Baris B <sub>2</sub>	$L_{\text{obs}} = 0,1597 < L_{(0,01; 12)} = 0,275$	Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal

Karena  $L_{\text{obs}}$  dari perlakuan tidak berada pada daerah kritik atau lebih kecil dari  $L_{\text{tabel}}$  maka  $H_0$  masing-masing perlakuan diterima. Jadi data hasil pengukuran kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si) dengan variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan dalam penelitian ini secara keseluruhan berasal dari populasi yang berdistribusi normal. Perhitungan selengkapnya ada pada lampiran 2.

## 2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata atau untuk mengetahui apakah variansi-variansi dari sejumlah populasi sama atau tidak. Pada penelitian ini untuk menguji homogenitas data digunakan metode *Bartlett*. Data pengambilan kesimpulan dengan taraf signifikansi 1 %. Untuk uji homogenitas (antar kolom dan antar baris) jika didapatkan harga  $X^2_{\text{hitung}}$  lebih besar dari harga  $X^2_{\text{tabel}}$  berarti data yang didapatkan berasal dari sampel yang tidak homogen. Namun bila didapatkan harga  $X^2_{\text{hitung}}$  lebih kecil dari harga  $X^2_{\text{tabel}}$  berarti data yang didapatkan berasal dari sampel yang homogen.

Adapun keputusan uji homogenitas data selengkapnya tersebut dapat dilihat dalam tabel 12.

Tabel 12. Hasil Uji Homogenitas Dengan Metode *Bartlett*

Sumber Variansi	$X^2_{hitung}$	$X^2_{tabel} (X^2_{(1-\alpha)(k-1)})$	Keputusan Uji
Kolom	4,146850	18,5	H <sub>0</sub> diterima
Baris	5,306269	24,7	H <sub>0</sub> diterima

Karena masing-masing sumber variansi memenuhi kriteria  $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$  sehingga  $X^2_{hitung}$  tidak terletak pada daerah kritik, maka H<sub>0</sub> diterima. Jadi populasi-populasi yang diperbandingkan mempunyai variansi-variansi yang sama atau dengan kata lain kedua sumber variansi berasal dari populasi yang homogen. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

### C. Pengujian Hipotesis

#### 1. Uji Hipotesis Dengan Anava Dua Jalan

Untuk menguji ada tidaknya perbedaan efek (pengaruh) beberapa perlakuan (faktor) terhadap variabel terikat maka dilakukan uji statistik dengan Anava Dua Jalan. Hasil pengujian analisis variansi dua jalan tersebut adalah sebagai indikator ada pengaruh perbedaan variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Si).

Kemudian untuk melihat besarnya pengaruh masing-masing variabel serta interaksi antara kedua variabel tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 13, yaitu tabel ringkasan hasil uji F untuk anava dua jalan sebagai berikut: (perhitungan selengkapnya terdapat pada lampiran 4).

Tabel 13. Ringkasan Hasil Uji F Untuk Anava Dua Jalan.

Sumber Variasi	Dk	JK	KT	Fobs	Fa	p
Rata-rata Perlakuan	1	217366,38				
Kolom (A)	2	473,47	236,73483	252,08	6,01	> 0,01
Baris (B)	1	596,70	596,70454	635,40	8,28	> 0,01
Interaksi (AB)	2	63,98	31,992462	34,06	6,01	> 0,01
Kekeliruan (galat)	18	16,90	0,9390931	-	-	-
Jumlah	24	218517,44	-	-	-	-

Keterangan :

- A : Variasi penambahan tembaga.  
 B : Jenis cetakan pada proses pengecoran.  
 AB : Pengaruh bersama (interaksi) antara variasi penambahan tembaga dan Jenis cetakan pada proses pengecoran.

Berdasarkan rangkuman hasil Uji F untuk anava dua jalan pada tabel 13, dapat diambil keputusan uji sebagai berikut :

- a. Perbedaan Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si) (Faktor A).

Berdasarkan tabel 13, menunjukkan bahwa  $F_{\text{observasi}} = 252,08$  dan  $F_{\text{tabel}} = 6,01$  sehingga  $F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$ . Jadi dapat disimpulkan ada perbedaan pengaruh antara variasi penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Jadi hipotesis pertama diterima.

- b. Perbedaan Pengaruh Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si) (Faktor B).

Berdasarkan tabel 13, menunjukkan bahwa  $F_{\text{observasi}} = 635,40$  dan  $F_{\text{tabel}} = 8,28$  sehingga  $F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$ . Jadi dapat disimpulkan ada perbedaan pengaruh jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Jadi hipotesis kedua dapat diterima.

- c. Interaksi Bersama Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si) (Faktor AB).

Berdasarkan tabel 13, menunjukkan bahwa  $F_{\text{observasi}} = 34,06$  dan  $F_{\text{tabel}} = 6,01$  sehingga  $F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$ . Jadi dapat disimpulkan ada interaksi bersama variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Jadi hipotesis ketiga dapat diterima.

- d. Tingkat Kekerasan Terbesar Dari Interaksi Antara Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Paduan Alumunium Silikon (Al-Si).

Berdasarkan tabel 13, menunjukkan bahwa tingkat kekerasan yang paling besar pengaruhnya adalah jenis cetakan pada proses pengecoran, hal ini ditunjukkan oleh nilai  $F_{\text{observasi}}$  yang paling besar adalah jenis cetakan pada proses pengecoran dengan nilai  $F_{\text{observasi}} = 635,40$ .

## 2. Hasil Komparasi Ganda Pasca Anava Dua Jalan

Setelah melakukan analisis dengan menggunakan analisis variansi dua jalan, maka untuk melihat perbedaan reratanya agar menjadi lebih jelas, dilanjutkan dengan uji komparasi ganda pasca anava. Komparasi ganda setelah anava yang dilakukan disini adalah dengan menggunakan uji *Scheffe* untuk analisis variansi dua jalan. Rataan masing-masing komparasi untuk komparasi ganda pasca anava dapat dilihat pada lampiran hasil perhitungan uji *Scheffe* untuk analisis variansi dua jalan dapat dilihat pada tabel 14, 15, 16 dan 17.

Tabel 14. Hasil Komparasi Rataan Antar Baris.

No	Sumber Perbedaan Antar Baris ( Jenis Cetakan )	$F_{\text{observasi}}$	$(p-1)F_{\alpha;p-1,N-pq}$	Kesimpulan
1	$F_{B1-B2}$	635,0866	8,28	Ada Perbedaan

Keterangan : Ada Perbedaan jika  $F_{\text{observasi}} > (p-1)F_{\alpha;p-1,N-pq}$ .

Tabel 15. Hasil Komparasi Rataan Antar Kolom.



No	Sumber Perbedaan Antar Kolom (Penambahan Tembaga)	$F_{\text{observasi}}$	$(p-1)F_{\alpha;q-1,N-pq}$	Kesimpulan
1	$F_{A1-A2}$	131,6743	12,02	Ada Perbedaan
2	$F_{A1-A3}$	504,2073	12,02	Ada Perbedaan
3	$F_{A2-A3}$	120,5521	12,02	Ada Perbedaan

Keterangan : Ada Perbedaan jika  $F_{\text{observasi}} > (p-1)F_{\alpha;q-1,N-pq}$ .

No	Jenis Cetakan dan Penambahan Tembaga	$F_{\text{observasi}}$	$(p-1)F_{\alpha;pq-1,N-pq}$	Kesimpulan
1	$F_{A1B1-A1B2}$	92,2090	21,25	Ada Perbedaan
2	$F_{A2B1-A2B2}$	170,9769	21,25	Ada Perbedaan
3	$F_{A3B1-A3B2}$	440,3917	21,25	Ada Perbedaan

Keterangan : Ada Perbedaan jika  $F_{\text{observasi}} > (p-1)F_{\alpha;pq-1,N-pq}$ .

Tabel 17. Hasil Komparasi Rataan Antar Sel Pada Baris Yang Sama.

No	Sumber Perbedaan Antar Kolom	$F_{\text{observasi}}$	$(p-1)F_{\alpha;pq-1,N-pq}$	Kesimpulan
	Penambahan Tembaga dan Jenis Cetakan			
1	$F_{A1B1-A2B1}$	40,6709	21,25	Ada Perbedaan
2	$F_{A1B1-A3B1}$	103,7605	21,25	Ada Perbedaan
3	$F_{A2B1-A3B1}$	14,5078	21,25	Tidak Ada Perbedaan
4	$F_{A1B2-A2B2}$	97,0351	21,25	Ada Perbedaan
5	$F_{A1B2-A3B2}$	465,2327	21,25	Ada Perbedaan
6	$F_{A2B2-A3B2}$	137,3259	21,25	Ada Perbedaan

Keterangan : Ada Perbedaan jika  $F_{\text{observasi}} > (p-1)F_{\alpha;pq-1,N-pq}$ .

Hasil perhitungan uji lanjut pasca anava dengan metode *Scheffe* menunjukkan bahwa tidak semua  $F_{\text{observasi}}$  lebih besar dari kriteria uji, sehingga

tidak semua kombinasi perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda (perbedaan yang signifikan) terhadap besarnya nilai kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).

- a. Dari tabel 14 dapat dilihat bahwa hipotesis nolnya ditolak. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa jenis cetakan yang berbeda memberikan efek pengaruh yang berbeda pula terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
- b. Dari tabel 15 dapat dilihat bahwa Pada semua variasi penambahan tembaga 2%, 5%, dan 8% berbeda pengaruhnya terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
- c. Dari tabel 16, Pada variasi pemakaian jenis cetakan dalam penambahan tembaga 2%, 5%, 8% berbeda pengaruhnya terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
- d. Dari tabel 17, dapat dilihat bahwa, penambahan tembaga 2% dengan jenis cetakan pasir berbeda pengaruhnya dengan 5% dan 8%, pada penambahan tembaga 5% dengan jenis cetakan pasir tidak berbeda pengaruhnya dengan penambahan tembaga 8%, pada penambahan tembaga 2% dengan jenis cetakan logam berbeda pengaruhnya dengan penambahan tembaga 5% dan 8%, terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
- e. Dari tabel 10, dapat disimpulkan bahwa interaksi pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) yang paling rendah adalah 86,40 HBN pada penambahan tembaga 2% dengan cetakan pasir, Sedangkan tingkat kekerasan yang paling tinggi adalah 107,76 HBN pada penambahan tembaga 8% dengan menggunakan cetakan logam. Sehingga dalam perlakuan tersebut kekerasannya meningkat sekitar 21,36 HBN dari 86,4 HBN menjadi 107,76 HBN.

#### **D. Pembahasan Hasil Analisis Data**

Dengan melihat hasil rerata, analisis variansi dan uji pasca anava dapat ditarik kesimpulan penelitian sebagai berikut :

1. Dari hasil rerata pada tabel 10 dapat diketahui bahwa, nilai rerata pada setiap sel berbeda sehingga dapat dikatakan bahwa variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si).
2. Secara umum variasi penambahan tembaga “berpengaruh” terhadap nilai kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Penambahan tembaga 8% mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan 5%, dan penambahan tembaga 5% mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan tembaga 2%, dengan berdasarkan tabel 13 dimana  $F_A$  lebih besar dari  $F_{tabel}$  pada taraf signifikansi 1 %. Hal ini disebabkan karena sifat tembaga sebagai unsur pepadu pada paduan alumunium dalam jumlah tertentu mampu meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Tembaga mampu meningkatkan kekerasan pada paduan alumunium karena tembaga memiliki kesiapan membentuk campuran yang baik, memiliki kemampuan melakukan pendinginan yang merata dan penambahan tembaga pada alumunium akan membentuk campuran paduan yang bersifat keras.
3. Secara umum jenis cetakan pada proses pengecoran “berpengaruh” terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Jenis cetakan logam mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan jenis cetakan pasir, dengan berdasarkan tabel 13 dimana  $F_B$  lebih besar dari pada  $F_{tabel}$  pada taraf signifikansi 1 %. Hal ini disebabkan karena jenis cetakan logam memiliki ketelitian ukuran yang sangat baik dibanding dengan cetakan pasir, strukturnya lebih rapat, permukaan coran lebih halus, oleh karena itu kekerasan hasil pengecoran dengan cetakan logam lebih baik bila dibandingkan dengan cetakan pasir.
4. Dari tabel 13 dapat dilihat bahwa pengaruh bersama (interaksi) antara variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap kekerasan paduan alumunium silikon adalah  $F_{AB}$  lebih besar dari pada  $F_{tabel}$  pada taraf signifikansi 1%, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ada perbedaan pengaruh bersama (interaksi) yang sangat signifikan antara variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap

kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Hal ini dapat dijelaskan bahwa Aluminium silikon yaitu paduan cor dengan mampu tuang yang paling baik sedangkan penambahan tembaga (Cu) mampu meningkatkan sifat mekanis benda cor baik kekuatan dan kekerasannya. Sedangkan hasil cor pada cetakan logam menunjukkan sifat mekanis yang lebih baik dan permukaan cor yang lebih halus dibandingkan cetakan pasir. Sehingga adanya tambahan tembaga pada paduan Al-Si mampu meningkatkan kekerasan benda cor terutama pada cetakan logam.

5. Tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) pada beberapa kondisi perlakuan ada yang mempunyai perbedaan dan ada yang tidak mempunyai perbedaan secara signifikan, hal ini dapat ditunjukkan dengan komparasi ganda pasca anava yang dilakukan dengan mempergunakan uji *Scheffe*. Untuk lebih lengkapnya lihat tabel 14, 15, 16, dan 17 beserta penjelasannya.
6. Tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) yang paling rendah adalah 86,40 HBN pada penambahan tembaga 2% dengan cetakan pasir. Berdasarkan tabel 10 yang merupakan rangkuman hasil perhitungan nilai kekerasan paduan alumunium silikon. Hal ini disebabkan karena pada penambahan tembaga 2% menghasilkan campuran tembaga yang kurang luas dibandingkan penambahan tembaga 5% dan 8%, sehingga kekerasannya lebih rendah. Sedangkan pada proses pengecoran tersebut jenis cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir, hal ini karena proses pengecoran dengan cetakan pasir menghasilkan pembekuan yang lebih lambat dibandingkan dengan cetakan logam. Pembekuan coran yang lambat akan menghasilkan bentuk endapan  $CuAl_2$  yang tidak merata dan serta bentuk struktur yang tidak halus, sehingga kekerasannya lebih rendah. Sedangkan tingkat kekerasan yang paling tinggi adalah 107,76 HBN pada penambahan tembaga 8% dengan menggunakan cetakan logam. Hal ini terjadi karena penambahan tembaga 8% menghasilkan campuran tembaga yang lebih luas dan lebih merata dibandingkan penambahan tembaga 2% dan 5%. Adanya penambahan tembaga pada paduan alumunium silikon (Al-Si) 8% akan terlarut dalam kristal alumunium secara merata dan lebih luas, sehingga akan terbentuk larutan

padat yang lebih homogen dan menghasilkan coran yang lebih keras bila dibanding dengan penambahan tembaga 2% dan 5%. Penggunaan cetakan logam pada pengecoran tersebut akan menghasilkan sifat yang lebih kuat dari pada cetakan pasir. Phenomena ini terjadi karena perbedaan besar butir dendrit, makin cepat pendinginan (cetakan logam) maka makin halus butir kristal dendrit dan makin keras.

7. Pada gambar 6 merupakan grafik hubungan antara variasi penambahan tembaga terhadap kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Grafik tersebut diperoleh berdasarkan hasil penelitian, pada grafik tersebut dapat diamati kekerasan yang paling rendah adalah pada penambahan tembaga 2% dengan cetakan pasir. Hal ini terlihat pada data penelitian bahwa kekerasan paduan alumunium yang paling rendah adalah 86,40 HBN. Dengan demikian dapat dikatakan tingkat kekerasan yang paling tinggi pada proses pengecoran paduan alumunium silikon (Al-Si) pada variasi penambahan tembaga 2%, 5%, 8% dan jenis cetakan pasir dan cetakan logam yaitu pada penambahan tembaga 8% dengan jenis logam.
8. Pada grafik tersebut juga dapat diamati kekerasan yang paling tinggi adalah pada penambahan tembaga 8% dengan menggunakan cetakan logam. Hal ini dapat terlihat dari data penelitian bahwa kekerasan yang paling tinggi adalah 107,76 HNB.
9. Mengacu pada hasil rerata hasil pengujian kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) pada penggunaan variasi penambahan tembaga yaitu 2%, 5% dan 8%, serta jenis cetakan pasir dan logam memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Dalam penelitian ini ketiga hipotesis diterima, artinya bahwa hipotesis tentang pengaruh variasi variasi penambahan tembaga dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan logam paduan (Al-Si) didukung oleh data. Jadi dalam penelitian ini semua hipotesis dapat diterima dalam taraf signifikan ditetapkan sebesar 1%.

## BAB V

### KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

#### A. Simpulan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada BAB IV dengan mengacu pada perumusan masalah, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara variasi penambahan tembaga (Cu) terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Hal ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa  $F_{obs} = 252,08$  lebih besar dari  $F_{tabel} = 6,01$  ( $F_{obs} > F_{tabel}$ ) pada taraf signifikansi 1 %.
2. Ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Hal ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa  $F_{obs} = 635,40$  lebih besar dari  $F_{tabel} = 8,28$  ( $F_{obs} > F_{tabel}$ ) pada taraf signifikansi 1%.
3. Ada perbedaan pengaruh interaksi bersama yang signifikan antara variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Hal ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa  $F_{obs} = 34,06$  lebih besar dari  $F_{tabel} = 60,1$  ( $F_{obs} > F_{tabel}$ ) pada taraf signifikansi 1 %.
4. Makin tinggi penambahan tembaga (Cu), tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Cu) makin tinggi, pada penambahan tembaga (Cu) 8% didapat tingkat kekerasan rata-rata 100,57 HBN.
5. Pemakaian jenis cetakan pasir dan jenis cetakan logam, didapat tingkat kekerasan yang terbaik adalah dengan cetakan logam. Pada pemakaian jenis cetakan logam didapat tingkat kekerasan rata-rata 100,15 HBN.
6. Tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) yang paling rendah adalah 86,40 HBN pada penambahan tembaga 2% dengan jenis cetakan pasir. Sedang kekerasan yang paling tinggi adalah 107,76 HBN pada penambahan tembaga 8% dengan jenis cetakan logam.



7. Jenis cetakan adalah yang paling dominan dalam meningkatkan nilai kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) bila dibandingkan dengan penambahan tembaga (Cu).

## **B. Implikasi**

Berdasarkan hasil penelitian yang didukung oleh landasan teori yang telah dikemukakan, tentang pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si), dapat diterapkan kedalam beberapa implikasi yang dapat dikemukakan sebagai berikut :

### **1. Implikasi Teoritis**

Di dalam penelitian ini menyelidiki pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Dengan variasi penambahan tembaga (Cu) maka akan mempengaruhi tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) pada setiap jenis cetakan yang berbeda. Tingkat kekerasan yang optimal untuk paduan alumunium silikon (Al-Si) yaitu pada penambahan tembaga 8% dengan jenis cetakan logam. Dari penelitian ini dapat dijadikan dasar pengembangan penelitian selanjutnya, yang relevan dengan masalah yang dibahas dalam penelitian ini. Disamping itu, sebagai bukti tingkat kekerasan logam paduan alumunium silikon (Al-Si) dipengaruhi oleh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran. Dan juga masih banyak dipengaruhi variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap variabel-variabel yang lain.

### **2. Implikasi Praktis**

Penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan menentukan besarnya penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran yang baik terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Hal ini juga dapat digunakan sebagai pertimbangan perusahaan untuk lebih mempertimbangkan penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap



tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si), Sehingga didapat tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) sesuai dengan yang direncanakan.

### C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dan implikasi yang ditimbulkan, maka dapat disampaikan saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik kalau mencoba memilih penambahan tembaga (Cu) diatas 8%, karena dalam penelitian ini penambahan tembaga (Cu) yang diambil belum merupakan penambahan yang optimal untuk mendapat tingkat kekerasan yang optimal juga.
2. Untuk menghasilkan tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) yang paling tinggi dapat dilakukan dengan memilih menggunakan jenis cetakan logam.
3. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis, sangat baik kalau dianalisa faktor-faktor atau variabel-variabel lain misal: sifat-sifat logam (keuletan, ketahanan korosi, keausan, kelenturan), proses pengecoran dan perlakuan panas untuk mendapatkan kekuatan mekanis yang diharapkan.
4. Selain hal diatas, bagi peneliti yang akan mengadakan peneletian yang relevan di masa mendatang diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam melakukan penelitian.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alois Schonmetz, Karl Gruber. 1985. *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*. Bandung: Angakasa.
- Anwir, B.S. 1994. *Ilmu Bahan Logam I*. Jakarta: Bhatara.
- Amstead, B.H., Myron L. Begemen dan Phillip F. Ostwald. 1997. *Teknologi Mekanik jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- ASMT Internasional. 1998. *Standar Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materils*. Annual Book of ASMT Standards Vo 03.01 Metal-Mechanical testing Tlabeled. Amirika Soceinty for Testing and Material. Danvers. USA. Hal. 107-144
- Budiyono. 2000. *Statistika Dasar Untuk Penelitian*. Surakarta: UNS Press.
- Martono Sri. F. X. 1980. *Bahan-Bahan Perkakas Potong*. Surakarta: Akademi Teknik Mesin Industri ST. Mikael Surakarta.
- Parker, R. Earl 1967. *Material Data Book*. Kalifornoa, Amirika: *The United States Of Amirica*.
- Subardi, Sutrisno, Sumanto. *Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Pada Aluminium (Al) Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro*. Jurnal Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta: Yogyakarta.
- Sudiby. B. 1983. *Ilmu Logam*. Surakarta: Akademi Teknik Mesin Industri ST. Mikael Surakarta.
- Sudjana. 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.

- 1989. *Desain Dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Tarsito.
- Sugiyono. 1999. *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung: Alfa Beta.
- Suhardi. 1987. *Ilmu Bahan (Buku Pegangan Kuliah)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- 1991. *Teknologi Mekanik I*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Suharsimi Arikunto. 1998. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Bina Aksara.
- Suharto. 1995. *Teori Dan Pengaturan Teknik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Supardi Edih. 1996. *Pengujian Logam*. Bandung: Angkasa.
- Tata Surdia, Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradya Paramita.
- Tata Surdia, Kenji Chijiwa. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Van Vliet, G. L. J., Both, W. 1984. *Teknologi Untuk Bangunan Mesin (Bahan-bahan I)*. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi. 1997. *Sifat Kuat Tarik Paduan Al-Cu-Si Dengan Cetakan Permanen (Logam) Dan Cetakan Pasir*. BULETIN IPT, No. 4 Vol. III Edisi Oktober/November 1997. Bandung: Hal 31-35.