

# **PENGARUH AGING TERHADAP KETAHANAN LELAH CORAN ALUMINIUM PADUAN**

## **TUGAS AKHIR**

**No. 438 / FT .USD/TM/Agustus/2004**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat**

**Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin**

**Program Studi Teknik Mesin**



**Diajukan oleh :**

**Nama : DONNY SETIAWAN**

**NIM : 995214052**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA**



**2004**

# **PENGARUH AGING TERHADAP KETAHANAN LELAH CORAN ALUMINIUM PADUAN**

## **Tugas Akhir**

Untuk memenuhi sebagian  
persyaratan mencapai derajat Sarjana S – 1

Program Studi Teknik Mesin

Jurusan Teknik Mesin



**Diajukan oleh :**

**Donny Setiawan**

**995214052**

**Kepada**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Sanata Dharma**

**Yogyakarta**

**2004**

**THE EFFECTS OF AGING ON THE FATIGUE  
ENDURANCE OF ALUMINIUM ALLOYS**

**TUGAS AKHIR**

**No. 438 / FT .USD/TM/Agustus/2004**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat**

**Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin**

**Program Studi Teknik Mesin**



**Diajukan oleh :**

**Nama : DONNY SETIAWAN**

**NIM : 995214052**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SANATA DHARMA**

**YOGYAKARTA**

**2004**

## Tugas Akhir

# PENGARUH AGING TERHADAP KETAHANAN LELAH CORAN ALUMINIUM PADUAN

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

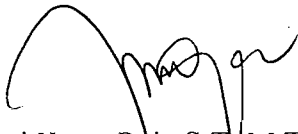
Nama : Donny Setiawan

NIM : 995214052

Telah Dipertahankan Didepan Dewan Penguji Pada : 22 Oktober 2004

### Susunan Dewan Penguji

Pembimbing



I Gusti Ketut Puja S.T., M.T.

Anggota



Ir. Kines Alapan M.T.



Budi Setyahandana S.T., M.T.



Budi Sugiharto S.T., M.T.



Wibowo Kusbandono S.T., M.T.

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk mencapai gelar S-1

Yogyakarta, Oktober 2004

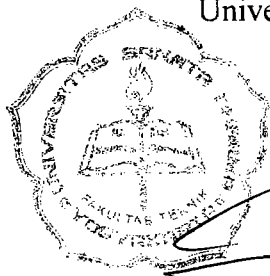
Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Mengetahui,

Dekan



Ir. Greg Heliarko, S.T., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.

### **Pernyataan**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 22 Oktober 2004

Donny Setiawan

MOTTO

*Ia menjadikan segala sesuatunya indah pada waktunya  
( Pengkothbah 3:11 )*

*Iman membuat segala sesuatu mungkin  
Kasih membuat segala sesuatu mudah  
Pengharapan membuat segala sesuatu berhasil  
( John C. Maxwell )*

*Jangaulah hendaknya kamu khawatir tentang apapun juga  
Tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah  
Dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur  
( Filipi 4 : 6 - 7 )*

*Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk:  
DIA yang memberikan keindahan dalam hidupku  
Papa  
Mama  
My Sister's  
& Someone out there*

## INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aging dengan temperatur  $190^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, 2,5 jam, 6 jam, dan 12 jam terhadap , kekerasan, struktur mikro, dan ketahanan lelah aluminium paduan. Komposisi kimia yang terkandung dalam aluminium ini adalah : 88,85% Al, 2,084% Cu, 2,37% Si dan unsur lain – lain sebesar 6,796%.

Pengujian bahan yang dilakukan adalah uji kekerasan, analisis struktur mikro, dan uji kelelahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk uji kelelahan diperoleh harga aman perancangan bahan pada batas ketahanan lelah, yaitu sebagai berikut : bahan tanpa perlakuan akan aman bila diberi beban maksimum 3 kg dengan tegangan  $5,971\text{ kg/mm}^2$ , bahan dengan perlakuan aging selama 12 jam akan aman bila diberi beban maksimum 2,75 kg dengan tegangan  $5,473\text{ kg/mm}^2$ . Dari data – data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa aluminium paduan yang telah mengalami aging selama 12 jam memiliki angka kekerasan Brinell tertinggi jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan, aging 1 jam, aging 2,5 jam, dan aging 6 jam. Sedangkan untuk uji kelelahan bahan tanpa perlakuan memiliki ketahanan lelah lebih baik dibandingkan dengan bahan aging 12 jam.

## ABSTRACT

This research is aimed to know the influence of aging with temperature 190° C during 1 hour, 2,5 hours, 6 hours, and 12 hours to hardness, micro structure, and fatigue testing of aluminium alloys. The chemical composition which implied in this aluminium are : 88,85% Al, 2,084% Cu, 2,37% The and other element equal to 6,796%.

The examination of materials which taken are hardness testing, micro structure analysis, and fatigue testing.

The result of this research indicate that fatigue test of endurance limit of scheme of materials at resilience boundary, that is as follows : materials without treatment will be safe when given 3 kg with tension 5,971 kg / mm<sup>2</sup>, materials with treatment of aging during 12 hours will be safe when given 2,75 kg with tension 5,473 kg / mm<sup>2</sup>. Of data - obtained data can be concluded that aluminium alloys which have received aging during 12 hours have highest number hardness of Brinell in comparison with without treatment, aging 1 hours, aging 2,5 hours, and aging 6 hours. While for fatigue test of materials without treatment have compared to better than fatigue resilience of materials of aging 12 hours.



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Yesus Kristus atas kasih dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini dengan baik. Tugas Akhir dengan judul “ THE EFFECTS OF AGING ON THE FATIGUE ENDURANCE LIMIT OF ALUMINIUM ALLOYS “, merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin di Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Greg Heliarko, S.T., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak I Gusti Ketut Puja, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulisan Tugas Akhir ini.
4. Dosen – dosen jurusan Teknik Mesin, atas ilmu pengetahuan selama penulis belajar.
5. Mas Martono dan mas Ronny, selaku Laboran Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
6. Papah, Mamah, Ci Santi, Ci Lydia, KoRudy, Ko Eko atas pengertian, motivasi, kehangatan cinta, dan ketulusan doa yang tak pernah berhenti untuk penulis.
7. Merry, terima kasih atas kasih sayang, dukungan dan doa yang selalu menyertai penulis (this work dedicated for you).
8. Sahabat – sahabatku di kos Tikala, Qote, Denny kuda, Ronnlbanez ( Thanks a lot for everything!!)
9. Anak – anak Angkatan 99 atas dukungan semangatnya.
10. Semua pihak yang telah membantu, memberi masukan serta kritikan selama penulis menyusun Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu kepada pihak, penulis sangat terbuka untuk semua saran, kritik yang membangun untuk

perbaiki Tugas Akhir ini. Akhirnya harapan penulis, Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak dan dapat dijadikan bahan kajian lebih lanjut.

Yogyakarta, Oktober 2004

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
INTISARI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv

### **BAB I PENDAHULUAN**

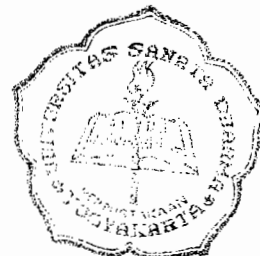
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penelitian.....	2

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1 Sejarah Aluminium.....	4
2.2 Sifat – Sifat Aluminium.....	4
2.2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium.....	5
2.2.2 Paduan Aluminium Utama.....	7
2.3 Paduan Aluminium Cor.....	17
2.4 Pengaruh Unsur Paduan Dalam Aluminium.....	18
2.5 Aging.....	20
2.6 Perubahan Sifat – Sifat Mekanis Yang Disertai Oleh Presipitasi.....	20

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Metodologi Penelitian.....	23
--------------------------------	----



3.2	Bahan dan Peralatan.....	24
3.2.1	Bahan.....	24
3.2.2	Peralatan.....	25
3.3	Proses Pengujian.....	25
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Paduan Aluminium.....	29
4.2	Pengujian Tarik.....	29
4.3	Pengujian Kekerasan.....	30
4.4	Pengujian Kelelahan.....	33
4.5	Analisis Struktur Mikro.....	37
4.6	Analisis Fraktografi Patahan.....	40
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran.....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>46</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gb. 2.1	Diagram fasa Al – Si .....	9
Gb. 2.2	Perbaikan sifat- sifat mekanik oleh modifikasi paduan Al – Si.....	9
Gb. 2.3	Diagram fasa biner semu dari paduan Al-Mg <sub>2</sub> Si.....	13
Gb. 2.4	Pengaruh kadar Mg <sub>2</sub> Si pada kekuatan tarik paduan Al-Mg <sub>2</sub> Si.....	15
Gb. 2.5	Diagram fasa biner semu dari paduan Al-MgZn <sub>2</sub> .....	16
Gb. 2.6	Pengerasan dua tahap dari paduan Al - 4%Cu (Gayler).....	21
Gb. 2.7	Fasa presipitasi selama penuaan pada 130°C dan Pengerasan penuaan dua tahap paduan Al – Cu (Silcock).....	21
Gb. 2.8	Perubahan pada diagram tegangan – regangan disebabkan oleh presipitasi pada paduan Al – 2%Cu (R. J. Price & Kelly: Acta Met. 12 (1964), 159)...	22
Gb. 3.1	Diagram alir pelaksanaan penelitian.....	23
Gb. 3.2	Specimen Uji Kelelahan.....	24
Gb. 3.3	Pemantulan cahaya pada benda.....	28
Gb. 4.1	Grafik Tegangan Tarik.....	30
Gb. 4.2	Grafik Kekerasan Brinell.....	32
Gb. 4.3	Diagram SFD dan BMD.....	34
Gb. 4.4	Kurva S – N hasil pengujian lelah material mula – mula dan perlakuan aging 12 jam.....	36
Gb. 4.5	Struktur mikro bahan mula – mula. ....	37
Gb. 4.6	Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 1 jam.....	38
Gb. 4.7	Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 2,5 jam.....	38
Gb. 4.8	Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 6 jam.....	39
Gb. 4.9	Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 12 jam.....	39
Gb. 4.10	Penampang patahan kelelahan specimen tanpa perlakuan, pembebanan 6,5 kg dengan siklus 78251. ....	40
Gb. 4.11	Penampang patahan kelelahan specimen tanpa perlakuan, pembebanan 3,5 kg dengan siklus 2.177.675. ....	41
Gb. 4.12	Penampang patahan kelelahan specimen aging 12 jam, pembebanan 6,5 kg dengan siklus 14.471. ....	41

Gb 4.13	Penampang patahan kelelahan specimen aging 12 jam, pembebanan 3 kg dengan siklus 2.142.906. ....	42
Gb 4.14	Ilustrasi skematis penampakan permukaan patah dari suatu perpatahan lelah lengkung putar. ....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi paduan aluminium cor.....	6
Tabel 2.2	Klasifikasi paduan aluminium tempaan.....	6
Tabel 2.3	Klasifikasi perlakuan bahan.....	7
Tabel 2.4	Sifat – sifat mekanik paduan Al – Cu – Mg.....	8
Tabel 2.5	Kekuatan tarik panas paduan Al – Si – Ni – Mg.....	11
Tabel 2.6	Sifat-sifat mekanik paduan Al-Mg.....	13
Tabel 2.7	Sifat- sifat mekanik paduan Al-Mg <sub>2</sub> -Si.....	15
Tabel 2.8	Sifat-sifat mekanik paduan 7075.....	17
Tabel 2.9	Pengaruh unsur paduan terhadap aluminium.....	17
Tabel 2.10	Sifat – sifat mekanis paduan aluminium cor menurut Aluminium Association.....	18
Tabel 3.1	Tabel penggunaan penetrator untuk uji kekerasan Brinell.....	26
Tabel 4.1	Komposisi Kimia Paduan Aluminium Cor.....	29
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Tarik.....	30
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kelelahan Specimen Tanpa Perlakuan.....	35
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kelelahan Dengan Aging 12 jam.....	35

---

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Dari waktu ke waktu, manusia termotivasi untuk berkembang dengan mengadakan berbagai penelitian, termasuk penelitian mengenai bahan industri. Penelitian mengenai bahan sebenarnya telah dilakukan sejak jaman prasejarah.

Dituntut oleh perkembangan jaman dan teknologi yang semakin maju, maka dalam menciptakan sebuah produk perlu adanya pertimbangan yang mantap dan memperhatikan sifat mekanik suatu bahan.

Berdasarkan hal ini, dicoba untuk melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Aging Terhadap Ketahanan Lelah Coran Aluminium Paduan”.

Disini penulis mengambil paduan aluminium sebagai obyek penelitian antara lain merupakan logam ringan, tahan terhadap korosi, mudah dibentuk, dan penggunaannya semakin meluas dalam berbagai bidang.

Kelelahan suatu bahan seringkali menjadi penyebab kerusakan pada suatu proses produksi karena perkiraan umur bahan yang salah. Hal ini perlu dicegah karena akan sangat mengganggu siklus kerja produksi maupun siklus kerja mesin. Analisa kelelahan sendiri membutuhkan waktu yang lama dan juga teliti karena prosesnya tidak sederhana.

Sifat – sifat yang dimiliki suatu logam dapat diperbaiki dengan suatu perlakuan panas, dengan ataupun tanpa penambahan unsur paduan lain. Penelitian ini untuk mengetahui perubahan sifat paduan aluminium dalam hubungannya dengan perlakuan panas dengan penambahan unsur lain yaitu : Cu, dan Si.



## 1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh aging terhadap kekerasan Al – Cu – Si
2. Mengetahui pengaruh aging terhadap perubahan struktur mikro Al – Cu – Si
3. Mengetahui pengaruh aging terhadap ketahanan lelah Al – Cu – Si

## 1.3. Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, diberikan batasan – batasan agar dalam penulisan dapat terarah dan sistematis. Direncanakan paduan aluminium akan diuji sebelum dan sesudah perlakuan panas. Perlakuan panas yang dipakai adalah Aging pada suhu  $190^{\circ}\text{C}$  dengan waktu yang berbeda ( 1 jam, 2 ½ jam, 6 jam, 12 jam) untuk mencari tingkat kekerasan tertinggi dan diuji kelelahan.

---

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Sejarah Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted. Tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non fero. Produksi aluminium tahunan di dunia mencapai 15 juta ton pada tahun 1981.

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama – sama, memberikan juga sifat – sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb.

#### 2.2 Sifat – sifat Aluminium

Keunggulan aluminium dibandingkan dengan logam lain dapat dilihat dari sifat – sifat yang dimilikinya, antara lain seperti dibawah ini :

- a. Sifat utama adalah kerapatan yang rendah. Berat aluminium hanya sepertiga dari berat baja, berat jenis aluminium  $2700 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan berat jenis baja sebesar  $7700 \text{ kg/m}^3$ , kekuatan tarik :  $90 \text{ MPa} - 120 \text{ MPa}$ , tegangan luluh :  $34 \text{ MPa}$ , kekerasan 23 BHN dan modulus elastis (E) sebesar  $70.000 \text{ N/mm}^2$ .

- 
- b. Aluminium dan sebagian besar paduannya memiliki sifat tahan korosi yang baik.
  - c. Aluminium adalah penghantar listrik yang baik. Sifat ini dan kualitas dasar lainnya memungkinkan penggantian tembaga oleh aluminium dalam banyak situasi.
  - d. Aluminium adalah logam non magnetik.
  - e. Aluminium adalah logam tidak beracun dan tahan air. Kualitas yang membuatnya digunakan dalam industri makanan dan pengemasan sejak awal penggunaannya.
  - f. Aluminium dapat ditempa dan mudah dikerjakan dengan proses manufaktur dan pembentukan yang biasa, tahan panas dan penghantar panas.

### 2.2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standard oleh berbagai Negara. Paduan aluminium diklasifikasikan menjadi dua kelompok umum, yaitu :

a). *Paduan aluminium tuang cor (cast aluminium alloys)*

1. Paduan dengan perlakuan panas (heat treatable alloys)
2. Paduan tanpa perlakuan panas (non heat treatable alloys)

b). *Paduan aluminium tempa (wrought treatable alloys)*

1. Paduan perlakuan panas (heat treatable alloys)
2. Paduan tanpa perlakuan panas (non heat treatable alloys)

Sistem penandaan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3.

**Tabel 2.1 Klasifikasi paduan aluminium cor**

Seri Paduan	Unsur Paduan Utama
1XXX	Al $\geq$ 99%
2XXX	Cu
3XXX	Si + Cu atau Mg
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Tidak digunakan
7XXX	Zn
8XXX	Sn

( Sumber : Smallman R.E, 1991, *Metalurgi Fisik Modern, Edisi Keempat, Jakarta*)

**Tabel 2.2 Klasifikasi paduan aluminium tempaan**

Standar AA	Standar Alco terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010 – 2029	10S – 29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003 – 3009	3S – 9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030 – 4039	30S – 39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050 – 5086	50S – 69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061 – 6069	50S – 69S	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070 - 7079	70S – 79S	Zn merupakan unsur paduan utama

( Sumber: Surdia T, Saito S : *Pengetahuan Bahan Teknik, hal 135*)

**Tabel 2.3 Klasifikasi perlakuan bahan**

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan n = 2 ( ¼ keras), 4 (1/2 keras), 6 ( ¾ keras), 8 ( keras), 9 ( sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh ( hanya untuk coran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan ( tanpa perlakuan pelarutan )
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

( Sumber: *Surdia T, Saito S : Pengetahuan Bahan Teknik, hal 136*)

### 2.2.2 Paduan Aluminium Utama

#### 1. Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Sebagai paduan coran dipergunakan paduan yang mengandung 4- 5% Cu. Ternyata dari fasanya paduan ini mempunyai daerah luas dari pembekuannya, penyusutan yang besar, resiko besar pada kegetasan panas dan mudah terjadi retakan pada coran. Adanya Si sangat berguna untuk mengurangi keadaan itu dan penambahan Ti sangat efektif untuk memperhalus butir. Dengan perlakuan panas T6 pada coran dapat dibuat bahan yang mempunyai kekuatan tarik kira- kira 25 kgf/mm<sup>2</sup>

Sebagai paduan Al – Cu – Mg paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh

penuaan pada temperatur biasa setelah pelarutan, paduan ini ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan Al yang kuat yang dinamakan duralumin. Duralumin adalah paduan praktis yang sangat terkenal disebut paduan 2017, komposisi standarnya adalah Al, 4% Cu, 0,5% Mg, 0,5% Mn. Paduan dimana Mg ditingkatkan pada komposisi standar dari Al, 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn dinamakan paduan 2024, nama lamanya disebut duralumin super. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang jelek, jadi apabila ketahanan korosi yang khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alklad.

**Tabel 2.4 Sifat – sifat mekanik paduan Al – Cu – Mg**

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan mulur (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan Brinell	Batas leleh (kgf/mm <sup>2</sup> )
17S (2017)	O	18,3	7,0	-	12,7	45	7,7
	T4	43,6	28,1	-	26,7	105	12,7
A17S (A2017)	T4	30,2	16,9	27	19,7	70	9,5
R317	Setelah dianil	42,9	24,6	22	-	100	-
24S (2024)	O	18,9	7,7	22	12,7	42	-
	T4	47,8	32,3	22	28,8	120	-
	T36	51,3	40,1	-	29,5	130	-
14S (2014)	O	19,0	9,8	18	12,7	45	-
	T4	39,4	28,0	25	23,9	100	-
	T4	49,0	42,0	13	29,5	135	-

(Sumber: Surdia T, Saito S : Pengetahuan Bahan Teknik, hal 137)

## 2. Paduan Al – Mn

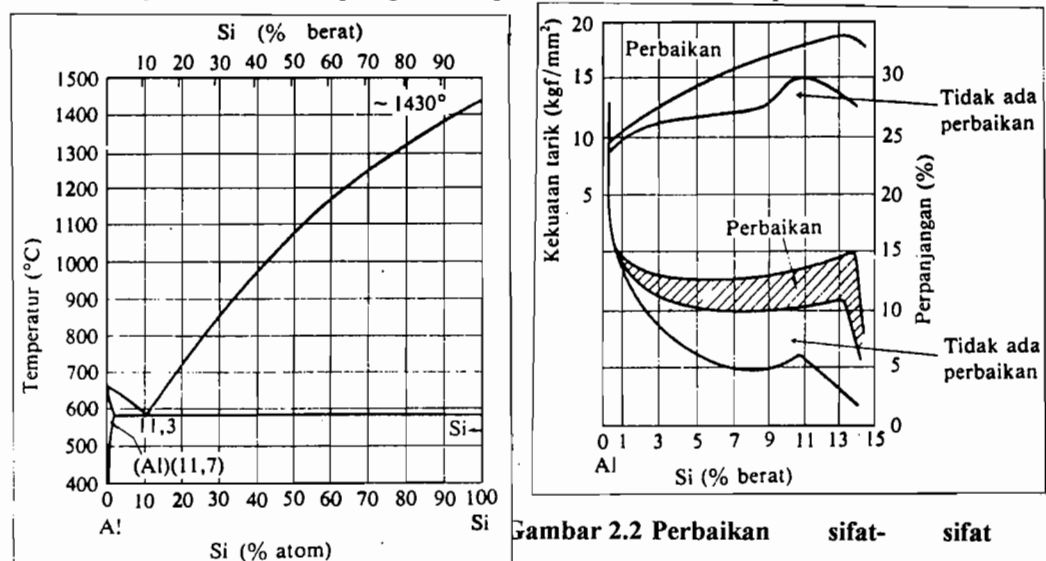
Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi, dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Dalam

diagram fasa Al – Mn yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah  $Al_6Mn$  (25,3 %Mn), sistem ortotorombik  $a = 6,498 \text{ \AA}$ ,  $b = 7,552 \text{ \AA}$ ,  $c = 8,870 \text{ \AA}$ , dan kedua fasa mempunyai titik eutektik pada  $658,5^\circ\text{C}$ , 1,95% Mn. Kelarutan padat maksimum pada temperatur eutektik adalah 1,82% dan pada  $500^\circ\text{C}$  0,36%, sedangkan pada temperatur biasa kelarutannya hampir 0.

Sebenarnya paduan Al-1,2%Mn dan Al-1,2%Mn-1,0%Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang dipergunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas.

### 3. Paduan Al - Si

Gb. 2.1 menunjukkan diagram fasa dari sistem ini. Ini adalah tipe eutektik yang sederhana yang mempunyai titik eutektik pada  $577^\circ\text{C}$ , 11,7%Si, larutan padat terjadi pada sisi Al. karena batas kelarutan padat sangat kecil maka pengerasan penuaan sukar diharapkan.



Gambar. 2.1 Diagram fasa Al – Si

Gambar 2.2 Perbaikan sifat-sifat mekanik oleh modifikasi paduan Al - Si

Kalau paduan ini didinginkan pada cetakan logam, setelah cairan logam diberi natrium fluorida kira – kira 0,05 – 1,1% kadar logam natrium, tampaknya temperatur eutektik meningkat kira – kira  $15^\circ\text{C}$ , dan komposisi eutektik bergeser ke daerah kaya Si kira – kira pada 14%. Hal ini biasa terjadi pada paduan hipereutektik seperti 11,7 – 14% Si, Si mengkristal

---

sebagai kristal primer, tetapi karena perlakuan yang disebut di atas Al mengkristal sebagai kristal primer dan struktur eutektiknya menjadi sangat halus. Ini dinamakan struktur yang dimodifikasi. Sifat-sifat mekaniknya sangat diperbaiki yang ditunjukkan pada Gb. 2.2. fenomena ini ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921 dan paduan yang telah diadakan perlakuan tersebut dinamakan silumin.

Paduan Al-Si sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan bagus sekali, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran, sebagai tambahan, paduan Al-Si mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan sebagai penghantar panas yang baik untuk listrik dan panas. Karena mempunyai kelebihan yang mencolok, paduan ini sangat banyak disukai. Paduan Al-12%Si sangat banyak dipakai untuk paduan cor cetak. Tetapi dalam hal ini modifikasi tidak perlu dilakukan. Sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Umumnya dipakai paduan dengan 0,15-0,4%Mn dan 0,5%Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan dan dituakan dinamakan silumin  $\gamma$ , dan yang hanya ditemper saja dinamakan silumin  $\beta$ . Paduan yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas, bahan ini biasa dipakai untuk torak motor.



**Tabel 2.5 Kekuatan tarik panas paduan Al – Si – Ni – Mg**

Paduan	Perlakuan	Temperatur uji (°C)	Sifat – sifat mekanik		
			Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan mulur (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Alcoa 32S Al-12,5Si-1, Mg- 0.9%Cu-0.9Ni (untuk dibentuk)	T6: 510-521°C, 4jam dicelup dingin di air,160- 174°C, 6-10 jam penuaan	24	39,2	32,2	8
		204	11,2	7,7	30
		316	4,2	2,5	60
		371	2,5	1,4	120
Alcoa A 132 Al- 12Si-2,5Ni- 1,2Mg-0,8Cu (untuk dicor cetak)	T551: 168- 174°C, 14-28 jam dianil, tanpa perlakuan pelarutan	24	25,2	19,6	0,5
		204	16,1	9,5	2,0
		316	7,7	3,5	8,0
Alcoa D 132 A- 9Si-3.5Cu- 0.8Mg-0.8Ni (untuk dicor cetak)	T5: 204°C, 7-9 jam dianil, tanpa perlakuan pelarutan	24	25,2	19,6	1,0
		204	14,4	9,1	5,0
		316	6,3	4,2	20,0
		371	3,9	2,8	40,0

(Sumber: Surdia T, Saito S : *Pengetahuan Bahan Teknik*, hal 138)

Koefisien pemuai termal dari Si sangat rendah, oleh karena itu paduannya pun mempunyai koefisien yang rendah apabila ditambah Si lebih banyak. Berbagai cara dicoba untuk memperhalus butir primer Si, dan telah dikembangkan paduan hipereutektik Al-Si sampai 29%Si. Dalam hal ini penghalusan kristal primer Si yang dijelaskan di atas tidaklah efektif tetapi dengan penambahan P oleh paduan Cu-P atau penambahan fosfor klorida (PCl<sub>5</sub>) untuk mencapai presentasi 0,001%P, dapat tercapai penghalusan kristal primer dan homogenisasi. Paduan Al-Si banyak dipakai sebagai elektroda untuk pengelasan yaitu terutama yang mengandung 5%Si.

#### 4. Paduan Al-Mg

Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam yaitu  $Al_3Mg_2$ . Sel satuannya merupakan hexagonal susunan rapat (*cph*) tetapi juga ada dilaporkan bahwa sel satuannya merupakan kubus berpusat muka (*fcc*) rumit. Titik euteiknya adalah  $450^{\circ}C$ , 35%Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektiknya adalah 17,4%Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai kira-kira 1,9%Mg, jadi kemampuan penuaan dapat diharapkan. Secara praktis penambahan Mg tidaklah banyak, pengerasan penuaan yang berarti tidak diharapkan. Senyawa  $\beta$  mempunyai massa jenis yang rendah dan mudah teroksidasi, oleh karena itu biasanya ditambahkan sedikit flux dari Be, sebagai contoh 0,004%.

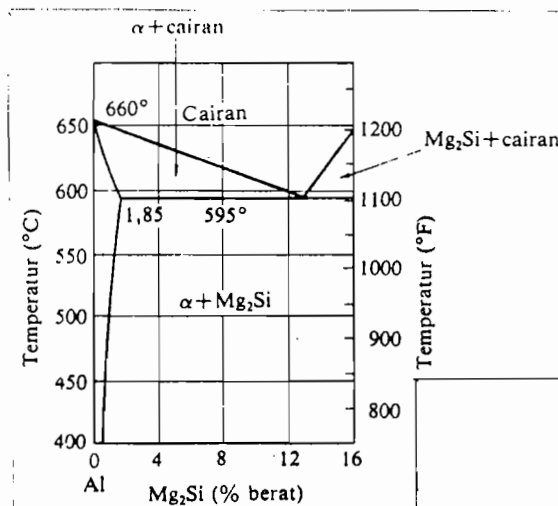
Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik, sejak lama disebut hidronalium dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu sangat memberikan pengaruhnya. Maka perlu perhatian khusus terhadap tercampurnya unsur pengotor.

Paduan dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, dan paduan 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan 5056, adalah paduan yang paling kuat dalam system ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas, oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG. Tabel 2.6 menunjukkan sifat- sifat mekanis paduan tempaan Al- Mg.

**Tabel 2.6 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Mg.**

Paduan	Keadaan	Sifat – sifat mekanik					
		Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan mulur (0,2%) (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan Brinell	Batas lelah 5x10 <sup>8</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )
5052 (Al- 2,5Mg- 0,25Cr)	O H38	21,9	8,4	30	12,7	45	12,0
		28,8	25,3	8	16,9	85	13,4
5056 (Al- 5,2Mg- 0,1Mn- 0,1Cr)	O H18	29,5	15,5	35	18,3	-	14,1
		43,6	40,8	6	23,2	-	15,5

(Sumber: Surdia T, Saito S : Pengetahuan Bahan Teknik, hal 139)



Gambar. 2.3 Diagram fasa biner semu dari paduan Al-Mg<sub>2</sub>Si

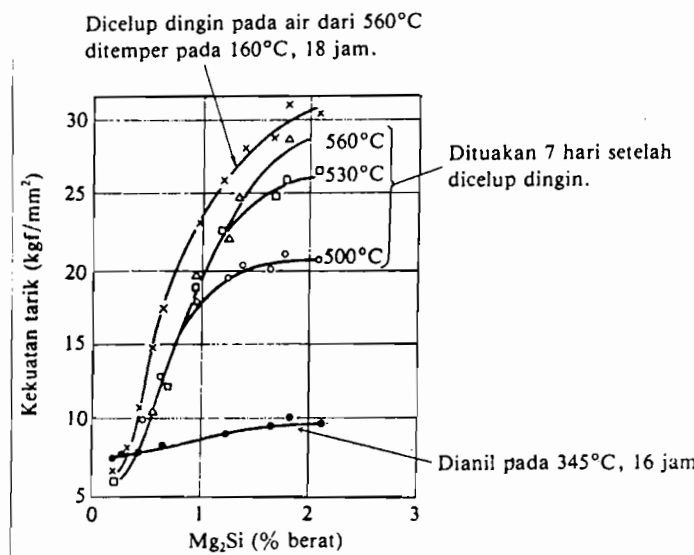
### 5. Paduan Al-Mg-Si

Kalau sedikit Mg ditambahkan kepada Al, pengerasan penuaan sangat jarang terjadi, tetapi apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat

---

dikeraskan dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Hal ini disebabkan karena senyawa  $Mg_2Si$  berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Gb. 2.3 menunjukkan diagram fasa paduan Al- $Mg_2Si$ . Yang berasal dari kelarutan yang menurun dari  $Mg_2Si$  terhadap larutan padat Al dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 5053, 6063, dan 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dsb, dan sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa. Mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstrusi dan tahan korosi, dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Paduan 6063 banyak dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi. Karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hambatan listrik, maka dipergunakan untuk kabel tenaga. Dalam hal ini pencampuran dengan Cu, Fe dan Mn perlu dihindari karena unsur-unsur itu menyebabkan tahanan listrik menjadi tinggi.

Gb. 2.4 menunjukkan hubungan antara kekuatan setelah penuaan dan kadar  $Mg_2Si$ . Pada temperatur biasa cukup untuk dapat dikeraskan dengan penuaan akan tetapi pengerasan maksimum dapat dicapai dengan jalan perlakuan pelarutan pada  $500^{\circ}C$ , pencelupan dingin dan ditemper pada  $160^{\circ}C$  selama 18 jam. Selanjutnya Tabel 2.7 menunjukkan contoh perlakuan panas dan sifat-sifat mekanik untuk paduan sistem ini.



Gambar.2.4 Pengaruh kadar Mg<sub>2</sub>Si pada kekuatan tarik paduan Al-Mg<sub>2</sub>Si

Tabel 2.7 Sifat- sifat mekanik paduan Al-Mg<sub>2</sub>-Si

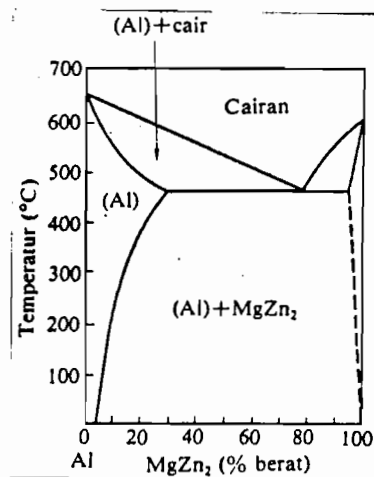
Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan mulur (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan Brinell	Batas lelah (kgf/mm <sup>2</sup> )
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	38,0	15	21,0	95	9,5
6063	T5	19,0	14,8	12	11,9	60	6,7
	T6	24,6	21,8	12	15,5	73	6,7
	T83	26,0	24,6	11	15,5	82	-

(Sumber: Surdia T, Saito S : Pengetahuan Bahan Teknik, hal 140)

#### 6. Paduan Al-Mg-Zn

Seperti telah ditunjukkan pada gb 2.3 aluminium menyebabkan keseimbangan biner semu dengan senyawa antar logam MgZn<sub>2</sub>, dan kelarutannya menurun apabila temperatur turun. Telah diketahui sejak lama bahwa paduan sistem ini dapat dibuat keras sekali dengan penuaan setelah perlakuan pelarutan. Tetapi sejak lama tidak dipakai sebab mempunyai sifat getas oleh retakan korosi tegangan. Di jepang pada permulaan tahun 1940, Igarashi dkk mengadakan studi dan berhasil dalam

pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira- kira 0,3% Mn atau Cr, dimana butir kristal padat diperhalus, dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat paduan tersebut dinamakan ESD, Extra Superior Duralumin. Selama perang dunia II di Amerika Serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan. Yaitu suatu paduan yang terdiri dari : Al-5,5% Zn- 2,5% Mn- 1,5% Cu- 0,3% Cr- 0,2% Mn, sekarang dinamakan paduan 7075. paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi di antara paduan- paduan lainnya, sifat- sifat mekaniknya ditunjukkan pada tabel 2.8. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara. Disamping itu penggunaannya menjadi lebih penting sebagai bahan konstruksi.



Gambar. 2.5 Diagram fasa biner semu dari paduan Al-MgZn<sub>2</sub>

Keterangan : ++ Sangat meningkatkan

+ Meningkatkan

- Menurunkan

0 Tidak berpengaruh

**Tabel 2.10 Sifat – sifat mekanis paduan aluminium cor menurut Aluminium Association**

Paduan	Komposisi rata – rata (%)	Proses pembentukan	Perlakuan panas	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	Regangan (%)
295.0	4,5 Cu – 1 Si	Cetakan pasir	T6	165	250	5
308.0	5,5 Si – 4,5 Cu	Cetakan pasir	F	90	150	1
356.0	7 Si – 0,3 Mg	Cetakan pasir	T6	160	230	1,5
390.0	17 Si – 4,5 Cu – 0,6 Mg	Tekanan	T6	270	280	<0,5
			T5	290	310	1
413.0	12 Si – 1,3 Fe	Tekanan	F	160	280	3
712.0	5,8 Zn – 0,6 Mg – 0,5 Cr – 0,2 Ti	Cetakan Pasir	F	130	200	5

(Sumber : Suroto. A, Sudiby.B, *Ilmu Logam Metalurgi*, ATMI Surakarta)

#### 2.4 Pengaruh Unsur Paduan Dalam Aluminium

Berikut ini beberapa unsur yang biasa ditambahkan pada aluminium dan pengaruhnya :

##### A. Si ( Silikon )

1. Memperbaiki sifat mampu cor.
2. Meningkatkan ketahanan terhadap korosi.
3. Memperbaiki karakteristik coran.

4. Menurunkan penyusutan coran.
5. Menurunkan ketahanan terhadap beban kejut.
6. Hasil cor akan rapuh jika kandungan Si terlalu tinggi.

B. Cu ( Tembaga )

1. Meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik dan sifat mampu mesin.
2. Menurunkan ketahanan korosi, keuletan bahan, dan sifat mampu bentuk.

C. Mg ( Magnesium )

1. Meningkatkan sifat mampu cor, sifat mampu mesin, kekuatan mekanis, ketahanan korosi, ketahanan pada beban kejut dan menghaluskan butiran kristal.
2. Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil cor.

D. Fe ( Besi )

1. Mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan.
2. Menurunkan sifat mekanis dan kekuatan tarik.
3. Menimbulkan bintik keras dan cacat porositas pada hasil cor.

E. Zn ( Seng )

1. Meningkatkan sifat mampu cor, sifat mampu mesin, keuletan, kekuatan terhadap beban kejut dan mempermudah pembentukan.
2. Menurunkan ketahanan korosi dan mengurangi pengaruh baik dari unsur besi, dan bila kadar Zn terlalu tinggi dapat menimbulkan cacat rongga udara.

Perlakuan panas dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Perlakuan panas secara mekanis

Logam hanya mengalami proses pemanasan dan pendinginan

2. Perlakuan panas secara kimia

Ada bahan – bahan kimia yang ditambahkan pada logam dengan tujuan mengeraskan permukaan logam tersebut.



## 2.5 Aging

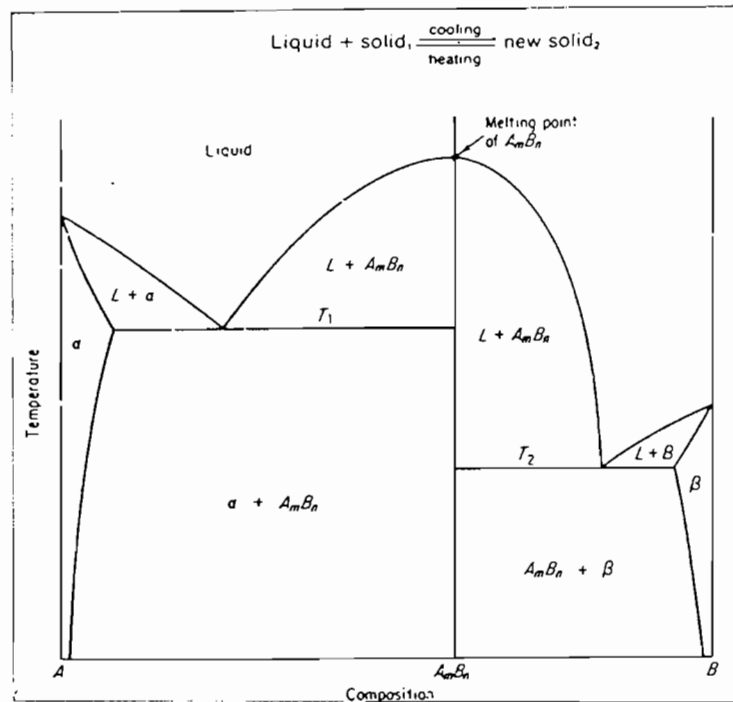
Aging yaitu proses pemanasan kembali logam menurut waktu pada suhu yang tidak terlalu tinggi untuk menghilangkan dislokasi akibat presipitasi partikel dengan deformasi partikel sehingga paduan mengalami penguatan.

Proses aging bertujuan untuk mengeraskan dan membentuk keseragaman struktur bahan. Bahan dipanaskan sampai pada temperatur hampir menyentuh titik ubah. Kemudian dibiarkan dengan waktu tertentu. Kekerasan dan keseragaman struktur dapat diperoleh tergantung pada lamanya proses pemanasan. Pendinginan dilakukan pelan – pelan dengan suhu kamar.

Ada 2 macam aging, yaitu:

- a). Natural Aging, yaitu aging pada temperatur kamar ( Room Treatment )
- b). Artificial Aging, yaitu aging pada temperatur antara 15% s/d 25% dari perbedaan temperatur kamar dan temperatur solution heat treatment.

Ada 2 metode utama untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada paduan, yaitu : pengerjaan dingin dan perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang terpenting untuk paduan non logam adalah pengerasan penuaan atau pengerasan presipitasi. Dalam menerapkan perlakuan panas ini, diagram kesetimbangan harus menunjukkan daya larut padat parsial, dan kemiringan garis solvus harus . seperti itu, yang ada daya larut lebih besar pada temperatur lebih tinggi dibanding pada temperatur lebih rendah. Kondisi ini diperlihatkan pada gambar 2.6. Sisi sebelah kiri dari diagram yang menyertakan suatu larutan padat  $\alpha$ . Komposisi campuran logam yang dapat pengerasan penuaan pada umumnya dipilih antara titik F yang berisi 20 persen B dan titik H yang berisi 10 persen B. Campuran logam yang paling dapat di tuakan dipilih komposisi yang sedikit kekiri dari titik F, walaupun efek pengerasan yang maksimum akan diperoleh oleh suatu campuran logam berisi 20% B.

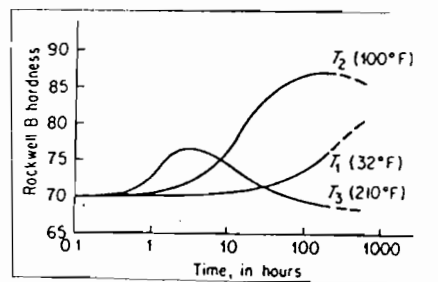


Gambar 2.6 Ilustrasi diagram fasa larutan padat

( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)

### 2.5.1 Proses Aging.

Campuran logam, setelah diquench, adalah suatu larutan padat lewat-jenuh dan dalam keadaan tidak stabil. Kecepatan di mana terjadinya presipitasi bervariasi dengan temperatur. Gambar 2.7 memperlihatkan efek dari tiga temperatur pada kurva aging dari suatu campuran logam besi. Pada temperatur rendah tingkat difusi menjadi sangat lambat sehingga presipitasi dapat dinilai tidak terjadi. Pada  $T_3$  pengerasan terjadi dengan cepat, tetapi efek pelunakkan juga dipercepat, ini menghasilkan suatu kekerasan maksimum yang lebih rendah. Temperatur yang tepat sepertinya adalah  $T_2$ , di mana pengerasan maksimum terjadi dalam lamanya waktu aging yang layak. Campuran logam, di mana timbulnya presipitasi, berlangsung pada suhu-kamar- sehingga memperoleh kekuatan maksimum setelah 4 atau 5 hari pada suhu-kamar- dikenal sebagai *natural-aging alloys*.

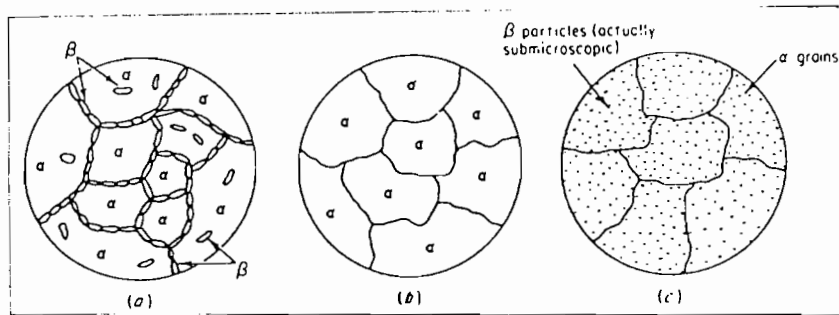


Gambar 2.7 Efek temperatur pada kurva aging selama pengerasan presipitasi. Kurva untuk 0.06% baja karbon.

( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)

Campuran logam yang memerlukan pemanasan dengan menaikkan temperatur untuk meningkatkan kekuatan maksimumnya, adalah *artificial-aging alloys*. Tingkat rata-rata dan peningkatan penguatan tergantung campuran logamnya ( lihat tabel 6-2).

Studi yang berikut sudah menuju suatu pemahaman yang lebih lengkap tentang proses pengerasan penuaan. Memperkuat suatu campuran logam yang dapat di aging tidaklah tergantung kepada adanya suatu presipitasi saja. Itu ada kaitannya juga dengan adanya distribusi yang seragam pada suatu percepatan penyebaran presipitasi *submicroscopic* dan penyimpangan struktur oleh partikel itu sebelum mencapai suatu ukuran kelihatan. Mikrostruktur dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Struktur Mikro dari Paduan 85A-15B. (a) Setelah pendinginan pelan – pelan. (b) setelah pemanasan dan pendinginan cepat. (c) Setelah Aging.  
( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)

Tabel 2.11 Efek Aging Pada Paduan Aluminium 2014 ( 3,5% – 4,5% Cu)

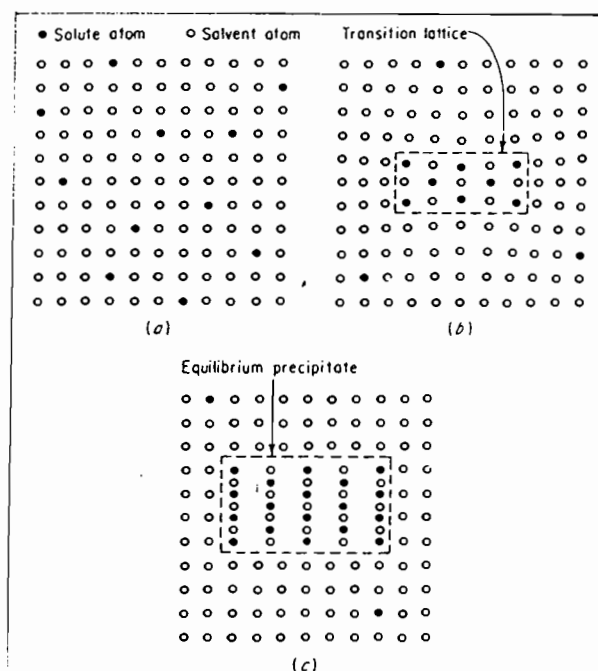
Alloy and Condition	Ultimate Strength (psi)	Yield Strength (psi)	Elongation % in 2 in	BHN 500 kg 10 mm	Shear Strength (psi)
Annealed Solution-treated	27.000	14.000	18	45	18.000
Naturally aged Solution-treted	62.000	42.000	20	105	38.000
Artificially aged	70.000	60.000	13	135	42.000

( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)

Ada beberapa teori tentang pengerasan presipitasi, yang paling berguna adalah *coherent lattice theory*. Setelah perlakuan larutan dan quenching, campuran logam dalam suatu kondisi lewat-jenuh, dengan pembagian atom secara acak dalam struktur kisi-kisi, gambar 2.8a. Selama suatu masa inkubasi, sisa atom cenderung untuk berpindah tempat ke *crystallographic*, membentuk kelompok atau embrio

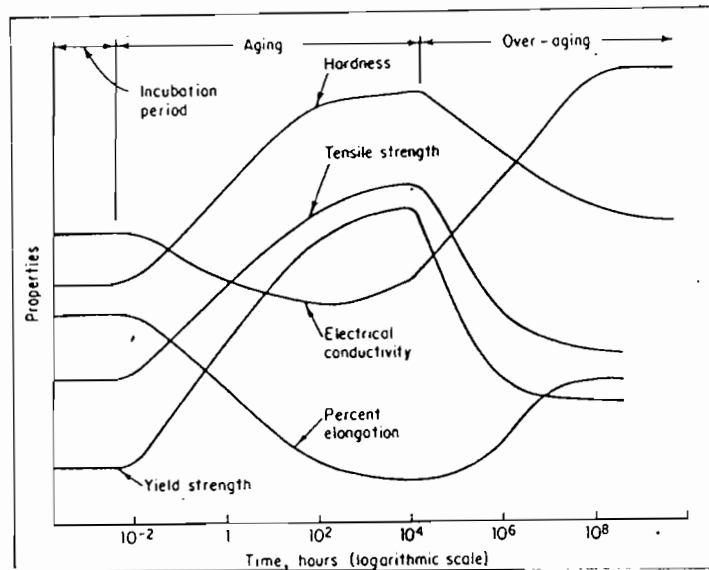
presipitasi. Selama aging, sekelompok ini membentuk suatu struktur antara, atau kisi-kisi transisi, menjaga kelekatan dengan struktur kisi-kisi matriks itu. Efek waktu aging ditunjukkan pada gambar 2.9.

Aging tidak mempunyai efek yang sama pada semua campuran logam. Dalam beberapa campuran logam perubahan pada kekerasan dan kekuatan mungkin kecil; di pihak lain perubahan mungkin terjadi lebih besar. Ini bukan dikarenakan dengan jumlah yang lebih dari batas kejenuhan, tetapi efek dari presipitasi kisi-kisi.



Gambar 2.9 Tingkatan Dalam Formasi dari Kesetimbangan Presipitasi. (a) Larutan padat lewat jenuh. (b) Transisi atom – atom dengan larutan padat. (c) Kesetimbangan presipitasi yang diperlukan pada larutan padat

( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)



Gambar 2.10 Efek waktu aging pada bahan

( Sumber : Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill, Tokyo, Japan.)

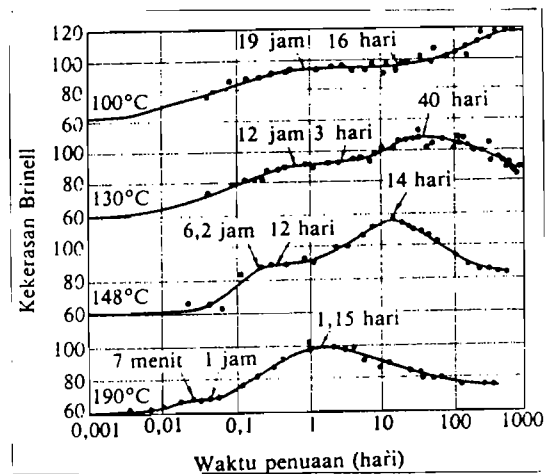
## 2.6 Perubahan sifat – sifat mekanis yang disertai oleh presipitasi

Gambar 2.11 menunjukkan perubahan kekerasan terhadap waktu penuaan kalau paduan 4%Cu – Al dituakan setelah perlakuan pelarutan pada temperatur yang bersangkutan.

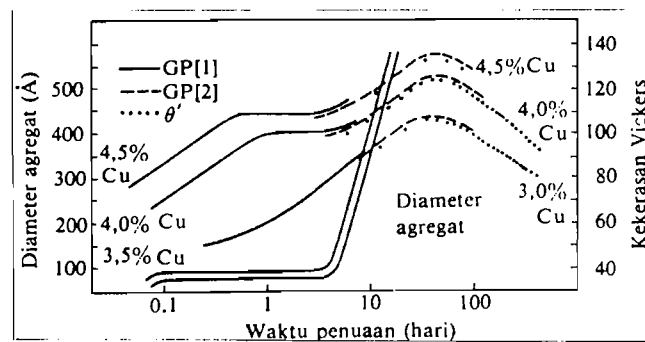
Penuaan pada temperatur biasa selesai dengan satu tahap perubahan, tetapi pada temperatur diatas  $100^{\circ}\text{C}$  terjadi dua tahap pengerasan. Fasa – fasa memberikan sumbangan terhadap pengerasan adalah GP [1],  $\theta''$ , GP [2],  $\theta'$  Cu-Al<sub>2</sub>. Fasa  $\theta$  - Cu – Al<sub>2</sub> yang kasar tidak memberi sumber sumbangan terhadap pengerasan. Gambar 2.12 menunjukkan hasil identifikasi fasa – fasa pada kondisi simultan dari pengamatan kekerasan sinar X. Telah dijelaskan bahwa pengerasan tahap pertama disebabkan oleh GP [1], perubahan tahap kedua oleh GP [2] dan oleh fasa antara yang halus yaitu presipitasi  $\theta''$ . Pengerasan dua tahap tersebut diatas juga terdapat pada sistem Al – Mg<sub>2</sub>Si dan sistem Al – Cu – Mg.

Pada tahap terakhir dari presipitasi fasa antara dan apabila telah terjadi presipitasi fasa keseimbangan, paduan menjadi lunak kembali, hal ini dinamakan penuaan lebih.

Sesuai dengan perubahan kekerasan, sifat mekaniknya pun berubah. Gambar 2.13 menunjukkan perubahan pada kurva tegangan – regangan.

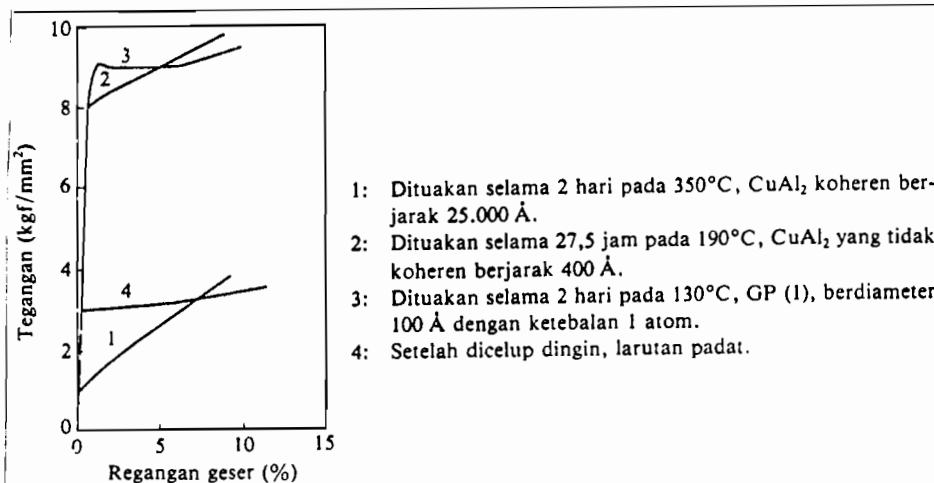


Gambar 2.11 Pengerasan dua tahap dari paduan Al - 4%Cu (Gayler)



Gambar 2.12 Fasa presipitasi selama penuaan pada 130°C dan pengerasan penuaan dua tahap paduan Al – Cu (Silcock)





Gambar 2.13 Perubahan pada diagram tegangan – regangan disebabkan oleh presipitasi pada paduan Al – 2%Cu (R. J. Price & Kelly: Acta Met. 12 (1964), 159)

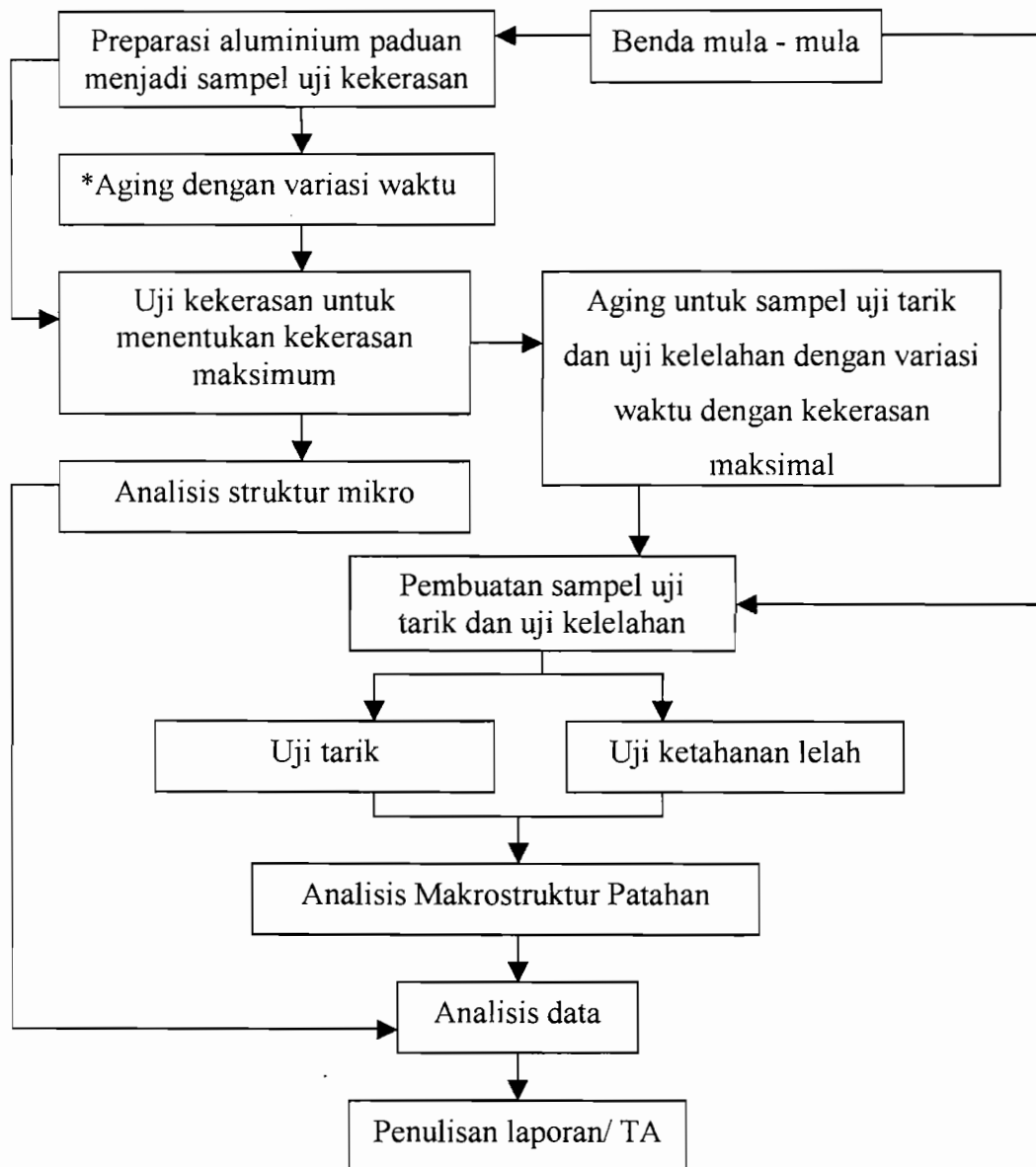
Pada umumnya kalau pengerasan terjadi, tegangan mulur dan kekuatan tarik meningkat sedangkan perpanjangan menurun. Sejalan dengan itu dengan memanfaatkan perlakuan penuaan yang sesuai akan didapat material yang sangat kuat.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 METODOLOGI PENELITIAN



\* Variasi waktu aging (jam) : 1, 2½, 6, 12

Gambar 3.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian

## 3.2 BAHAN DAN PERALATAN

### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan sebagai specimen uji kelelahan adalah paduan aluminium, diperoleh dari KRIPTON GAMA JAYA, Industri Cor Logam Matras dan suku cadang. Analisis komposisi kimia dari tes komposisi laboratorium BATAN, yakni : 88,85% Al, 2,084% Cu, 2,37% Si dan unsur lain – lain sebesar 6,796%.

Specimen uji kelelahan dibuat dengan mesin bubut, kemudian permukaannya diperhalus dengan amplas secara bertahap, dengan menggunakan amplas 400 *mesh*, 800 *mesh* dan 1000 *mesh*. Selanjutnya sebelum diuji, specimen tersebut dicelup oli, hal ini dimaksudkan agar tidak aluminium tidak teroksidasi oleh udara luar.( gambar 3.2)

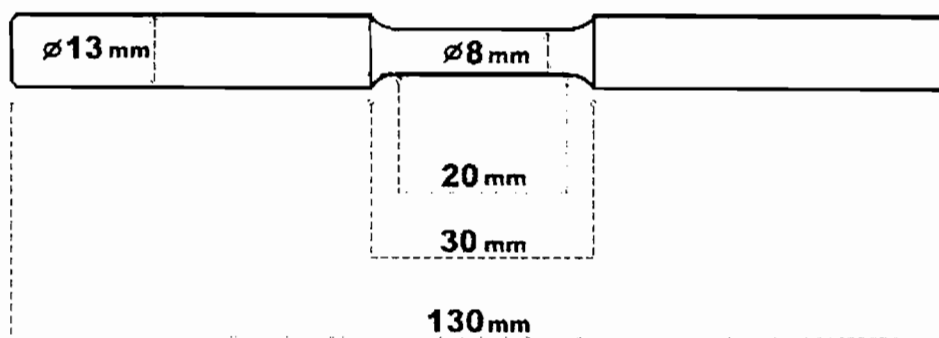
Standarisasi ukuran benda uji disesuaikan dengan permesinan yang dipakai, yakni :

D = diameter luar specimen uji = 13 mm

d = diameter ukur specimen uji = 8 mm

l = panjang ukur = 20 mm

L = panjang keseluruhan = 130 mm



Gambar 3.2. Specimen Uji Kelelahan

### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Mesin uji kelelahan “ *Rotary Bending Fatigue Testing Machine* “, milik Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin USD.
- b. Mesin uji kekerasan “ *Brinell Hardness Tester MOD 100 MR* “, milik Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin USD.
- c. Mesin uji tarik, milik Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin USD.
- d. Kamera Nikon FM 2 dengan film ASA 100, untuk memperlihatkan bentuk patahan secara mikro.

### 3.3 PROSES PENGUJIAN

#### 1. Pengujian Tarik

Pada uji tarik, ujung – ujung specimen uji dijepit dengan kuat dan salah satu ujungnya dihubungkan dengan alat pengukur beban, sedangkan ujung yang satu lagi dengan alat penarik. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur berdasarkan nilai pembebanan yang ada dibanding dengan luas penampang perpatahannya. Pengujian tarik disini bertujuan untuk mengetahui tegangan elastis bahan, sehingga dari sini dapat ditentukan nilai pembebanan awal yang harus diambil untuk pengujian kelelahan.

#### 2. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Brinell dilakukan untuk mengetahui homogenitas komposisi dan nilai kekerasan bahan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui secara pasti pengaruh yang timbul akibat kondisi tersebut terhadap proses pengujian kelelahan. Pengujian kekerasan ini diketahui dengan mengukur diameter bekas injakan indentor bola baja dengan pembebanan yang telah ditentukan. Pengukuran diameter injakan dengan menggunakan loop, dimana sebelum diukur bahan diletakkan pada bidang yang datar sehingga dalam pengukurannya bahan uji tidak miring, kemudian diameter ukur yang

didapat digunakan untuk mencari nilai kekerasan bahan, dengan menggunakan persamaan :

$$\text{BHN} = \frac{\text{Gaya bekerja pada penetrator (kg)}}{\text{Luas penampang bekas injakan (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{BHN} = \frac{P}{\frac{\pi}{2} \times D \times \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \left( \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Dengan :

P = gaya yang bekerja pada penetrator

D = diameter penetrator (mm)

d = diameter bekas injakan atau penekanan (mm)

Saat uji kekerasan Brinell, dalam prakteknya perlu diperhatikan beban tekan (P), diameter bola dan jenis logam yang diuji. Diameter penetrator yang digunakan tergantung pada tebal benda uji seperti tebal sebagai berikut :

**Tabel 3.1 Tabel penggunaan penetrator untuk uji kekerasan Brinell**

Tebal benda uji (mm)	Diameter penetrator
1 - 3	D = 2,5
3 - 6	D = 5
>6	D = 10

BHN rata - rata	$P / D^2$	Bahan
160	30	Baja, besi cor
160 - 180	10	Kuningan, logam campur Cu
80 - 20	5	Aluminium, tembaga

Diameter penetrator D(mm)	$P / D^2 = 5$	$P / D^2 = 10$	$P / D^2 = 30$
	Gaya (kg)		
2,5	31,25	62,5	187,5
5	125	250	750
10	500	1000	3000

Sumber : Surdia T, Chijiwa K : *Teknik Pengecoran Logam*, hal 205

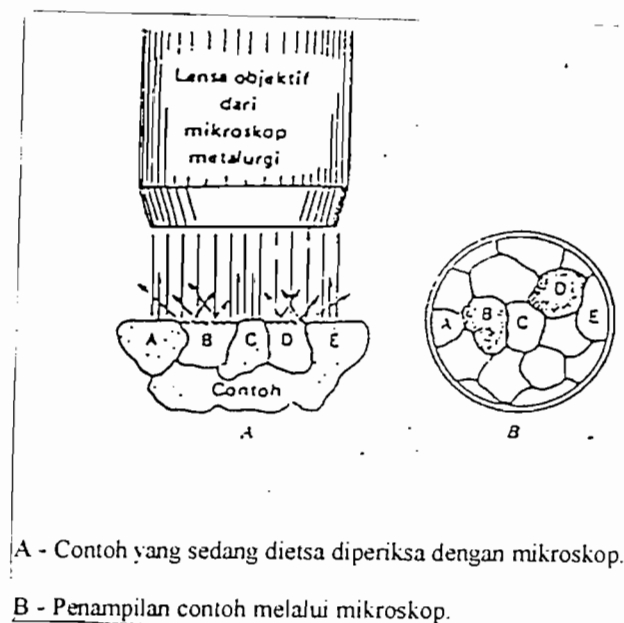
### 3. Pengujian Kelelahan

Specimen uji, yakni paduan aluminium dipasangkan pada cekam pada mesin “ *Rotary Bending* “. Pemasangan yang dilakukan sebisa mungkin center, hal ini untuk menghindari terjadinya konsentrasi tegangan pada satu sisi saat pembebanan berlangsung. Kemudian me – reset *digital counter*, sebelum mesin dioperasikan dan proses pembebanan dijalankan. Untuk selanjutnya ditunggu sampai specimen uji mengalami perpatahan dan mencatat berapa siklus putaran yang tertera ( pada *digital counter* ) pada saat specimen patah. Pengujian kelelahan ini dilakukan dengan mesin *Hung Ta Rotary Bending Fatigue Machine* untuk semua spesimen uji dengan variasi beban sampai dengan kondisi aman siklus pada suhu kamar.

#### 4. Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian ini peneliti akan mengamati sifat – sifat logam sesudah perlakuan panas. Struktur benda uji sangat dipengaruhi oleh riwayat perlakuan panas. Struktur sifat dari paduan benda uji dan bagian yang cacat dapat diamati dengan menggunakan mikroskop.

Bila cahaya yang dipantulkan masuk kedalam lensa mikroskop, permukaan tampak dengan jelas. Bila berkas dipantulkan dan tidak mengenai lensa, daerah itu akan nampak hitam. Batas butir akan tampak seperti mengelilingi setiap butir dan cahaya tidak dipantulkan kedalam lensa, jadi batas butir tampak seperti garis – garis hitam. Pada gambar 3.2 dibawah ini akan tampak arah pemantulan cahaya.



Gambar 3.3 Pemantulan cahaya pada benda

Sumber : Amstead B.H, Ostwald P.F, Begeman M.L : *Teknologi Mekanik*, hal 23

#### 5. Pengamatan Makrostruktur Patahan

Specimen yang telah diteliti, yang mengalami perpatahan selanjutnya difoto (makro) dengan perbesaran tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk menjelaskan kondisi patahan riil dengan kondisi patah

dari referensi yang ada, selanjutnya perpatahan akan dijelaskan kemudian.  
Pemotretan dilakukan dengan perbesaran 8,3x

---

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Paduan Aluminium

Bahan Al sebagai sampel penelitian belum diketahui komposisi paduannya, sehingga dilakukan pengujian komposisi kimia di BATAN Yogyakarta. Dari hasil pengujian komposisi kimia diketahui struktur paduan sebagai berikut :

**Tabel 4.1      Komposisi Kimia Paduan Aluminium Cor**

Unsur	Presentase
Al	88,85
Cu	2,084
Si	2,37
Unsur lain	6,37

#### 4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan adalah untuk mendapatkan data – data untuk menentukan beban awal pada pengujian kelelahan nantinya. Karena pada pengujian ini benda uji yang dipergunakan mempunyai penampang melintang yang berbentuk lingkaran, maka rumus yang dipakai untuk mencari tegangan adalah:

$$\sigma = F_{patah} / \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

dengan :

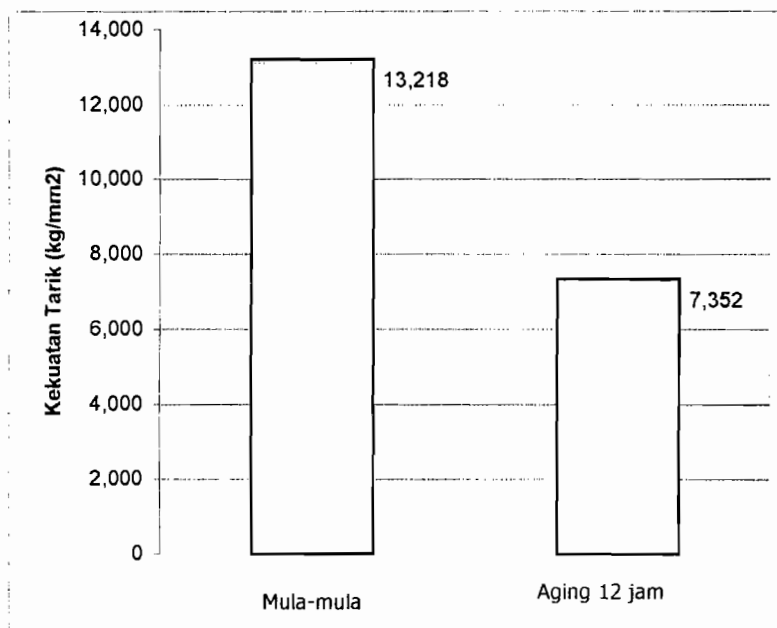
d = diameter benda uji (mm )

Data – data dari pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.2



**Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik**

No	Perlakuan	D ( mm )	F <sub>patah</sub> ( kg )	$\sigma$ ( kg/mm )
1	Tanpa Perlakuan	8	664,1	13,218
2	Aging 12 jam	8	369,4	7,352

**Gambar 4.1. Grafik Pengujian Tarik**

Dari nilai tegangan tersebut maka dapat diketahui nilai pembebanan awal pada pengujian kelelahan. Untuk selanjutnya dengan acuan beban ini atau beban lebihnya ( sepanjang rasional ) dapat dilaksanakan pengujian kelelahan pada specimen uji yang telah tersedia sampai didapat data – data yang lengkap, untuk selanjutnya data tersebut ditelaah berdasarkan referensi yang ada.

#### 4.3 Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan disajikan dalam gambar 4.1. pengujian dilakukan pada 8 specimen dengan 3 titik pembebanan untuk setiap specimennya dalam keadaan sesuai dengan perlakuan aging. Setiap perlakuan disediakan 2 specimen uji kekerasan.

---

Data hasil pengujian kekerasan

I. \*Specimen 1 mula - mula

d1 = 2,11 mm      BHN = 68,8

d2 = 2,42 mm      BHN = 51,8

d3 = 2,13 mm      BHN = 68,8

\*Specimen 2 mula - mula

d1 = 2,00 mm      BHN = 76,2

d2 = 2,06 mm      BHN = 71,7

d3 = 2,12 mm      BHN = 67,5

Rata – rata BHN = 67,4

II. \*Aging 1 jam specimen 1

d1 = 1,90 mm      BHN = 84,9

d2 = 1,97 mm      BHN = 78,7

d3 = 1,97 mm      BHN = 78,7

\*Aging 1 jam specimen 2

d1 = 2,00 mm      BHN = 76,2

d2 = 1,96 mm      BHN = 79,5

d3 = 1,96 mm      BHN = 79,5

Rata – rata BHN = 79,6

III. \*Aging 2,5 jam specimen 1

d1 = 1,95 mm      BHN = 80,4

d2 = 1,93 mm      BHN = 82,1

d3 = 1,93 mm      BHN = 82,1

\*Aging 2,5 jam specimen 2

d1 = 2,01 mm      BHN = 75,5

d2 = 2,03 mm      BHN = 73,9

d3 = 2,06 mm      BHN = 71,7

Rata – rata BHN = 77,6

IV. \*Aging 6 jam specimen 1

d1 = 2,11 mm      BHN = 68,1

d2 = 1,93 mm      BHN = 82,1

d3 = 1,87 mm      BHN = 87,7

\*Aging 6 jam specimen 2

d1 = 1,92 mm      BHN = 83,0

d2 = 1,78 mm      BHN = 97,2

d3 = 1,73 mm      BHN = 103,1

Rata – rata BHN = 86,9

V. \*Aging 12 jam specimen 1

d1 = 1,88 mm      BHN = 86,8

d2 = 1,88 mm      BHN = 86,8

d3 = 2,07 mm      BHN = 70,9

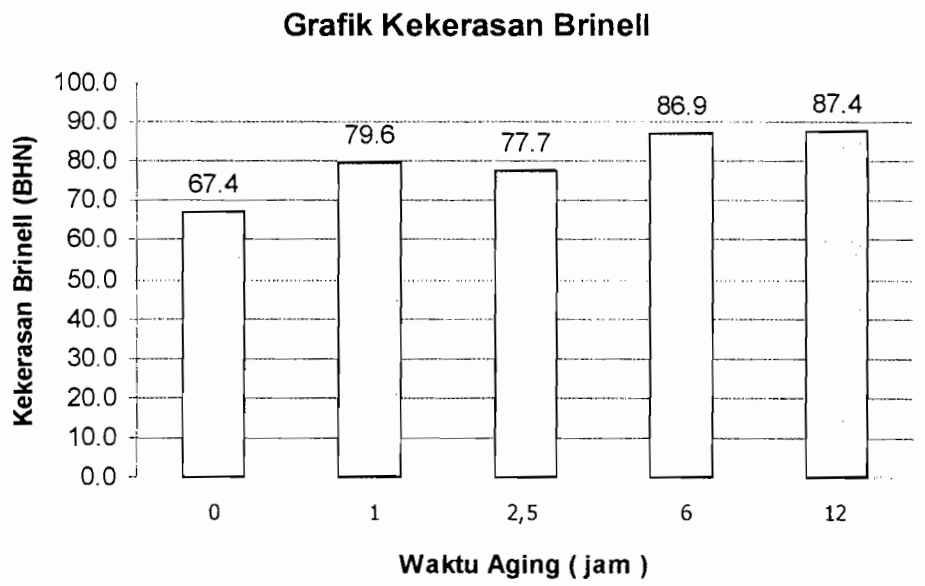
\*Aging 12 jam specimen 2

d1 = 2,85 mm      BHN = 89,7

d2 = 1,80 mm      BHN = 94,9

d3 = 1,80 mm      BHN = 94,9

Rata – rata BHN = 87,3



**Gambar 4.2. Grafik Kekerasan Brinell**

Menurut data diatas, dapat dikatakan bahwa bahan yang diuji memiliki tingkat homogenitas komposisi yang tidak merata, hal ini ditunjang dengan nilai kekerasan pada bahan yang tidak merata pula. Kondisi ini nantinya secara mikro akan mempengaruhi unjuk kerja dari kelelahan, terlebih untuk menentukan kekuatan lelah bahan, sekalipun specimen uji ini dibuat dalam dimensi dan pengerjaan permesinan yang sama.

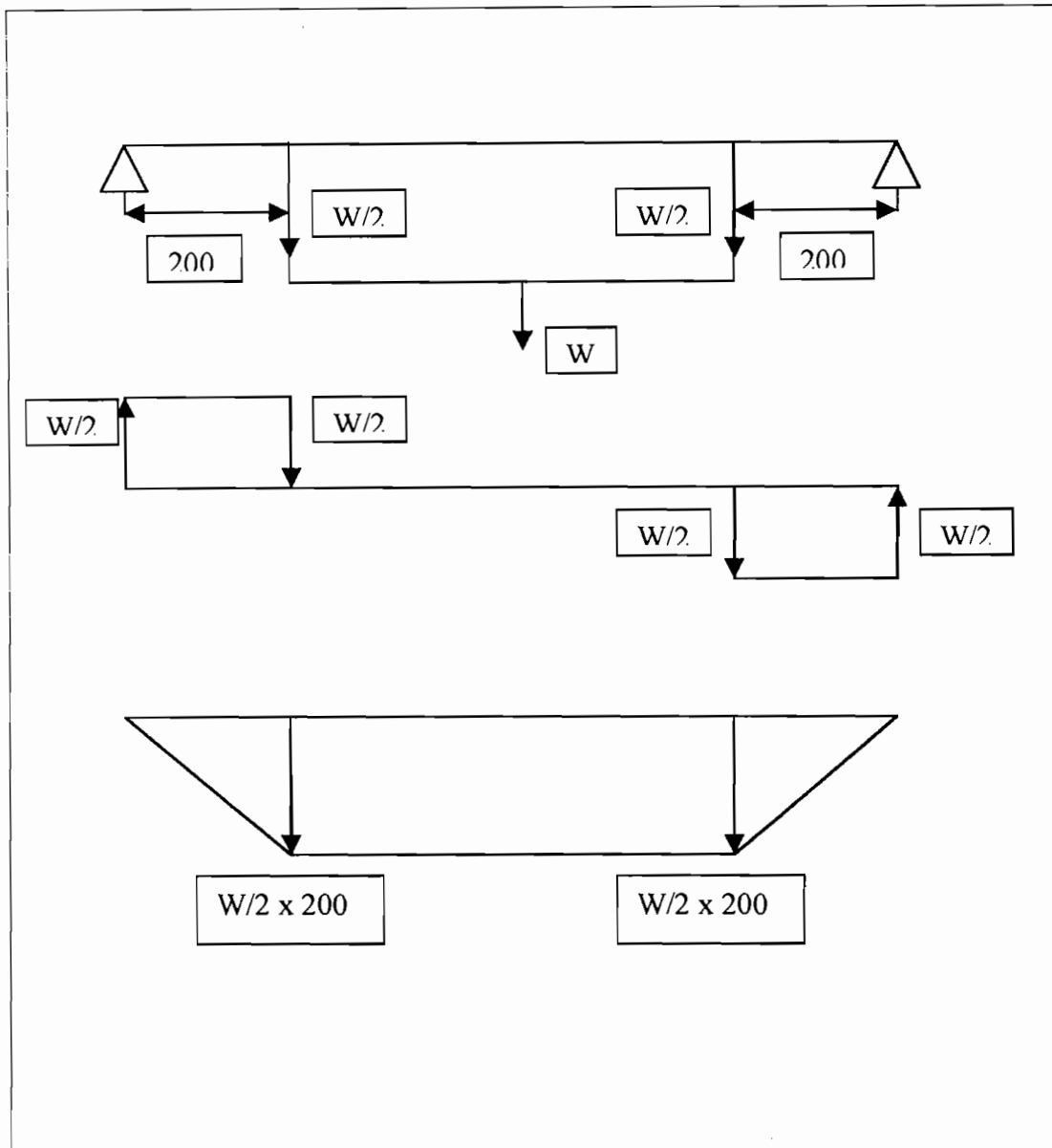
#### 4.4 Pengujian Kelelahan

Data hasil pengujian kelelahan disajikan kedalam tabel 4.3 dan gambar 4.2, yakni pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus (N) hingga terjadi kegagalan. Dari hasil perhitungan didapatkan harga pembebanan awal seharusnya, sebesar :

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times l}{\pi/32 \times d^3}$$

$$13,218 = \frac{\frac{W}{2} \times 200}{\pi/32 \times 8^3}$$

$$W = 6,6 \text{ kg}$$



Gambar 4.3 Diagram SFD dan BMD

Dengan titik acuan pembebanan tersebut atau pembebanan tertentu, biasanya specimen akan mengalami kegagalan lelah akibat proses pembebanan (overload).

Bahan mampu menahan siklus tegangan balik yang berulang tak terhingga jika besarnya tegangan lebih kecil dari tegangan batas yang

disebut sebagai batas ketahanan. (Sumber : Smallman R.E, Metalurgi Fisik Modern)

**Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kelelahan Specimen Tanpa Perlakuan**

No	W (kg)	D (mm)	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Jumlah Siklus (N)
1	6	8	11,942	67817
2	5,5	8	11,155	88962
3	5	8	9,952	118426
4	4,5	8	8,957	154367
5	4,25	8	8,459	412872
6	4	8	7,961	1507485
7	3,5	8	6,966	2177675
8	3*	8	5,971	2501452

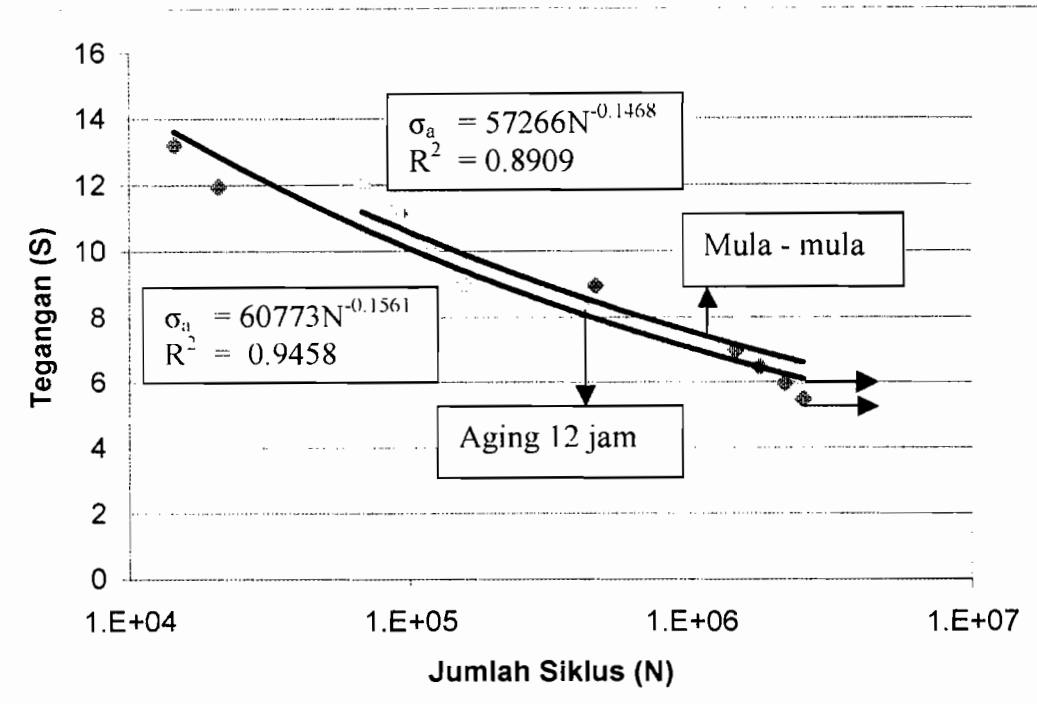
Ket \* = tidak patah

Dalam tabel diatas terdapat pengulangan pengujian dikarenakan kegagalan kelelahan. Hal ini disebabkan oleh adanya rongga udara atau cacat produksi.

**Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kelelahan Dengan Aging 12 jam**

No	W (kg)	D (mm)	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Jumlah Siklus (N)
1	6,5	8	13,218	14471
2	6	8	11,942	20743
3	5,5	8	11,155	91954
4	4,5	8	8,957	453655
5	3,5	8	6,966	1432778
6	3,25	8	6,468	1746670
7	3	8	5,971	2142906
8	2,75*	8	5,473	2500896

Ket \* = tidak patah



**Gambar 4.4 Kurva S – N hasil pengujian lelah bahan mula – mula dan perlakuan aging 12 jam**

Pada Gambar 4.4 disajikan kurva tegangan (S) vs siklus (N) hasil pengujian ketahanan lelah terhadap bahan mula – mula dan bahan dengan perlakuan aging 12 jam. Hubungan antara tegangan dan siklus pembebanan mengikuti persamaan Basquin, yaitu :

$$N \sigma_a^p = C \text{ atau } \sigma_a = C N^{-p}; C' = C^{1/p}$$

dengan N adalah jumlah putaran (siklus pembebanan),  $\sigma_a$  adalah tegangan serta  $p$  dan  $C$  adalah konstanta empiris material. Dari hasil pengujian didapat hubungan sebagai berikut:

- Bahan mula – mula  $\sigma_a = 57266N^{-0.1468}$
- Bahan dengan perlakuan aging 12 jam  $\sigma_a = 60773N^{-0.1561}$

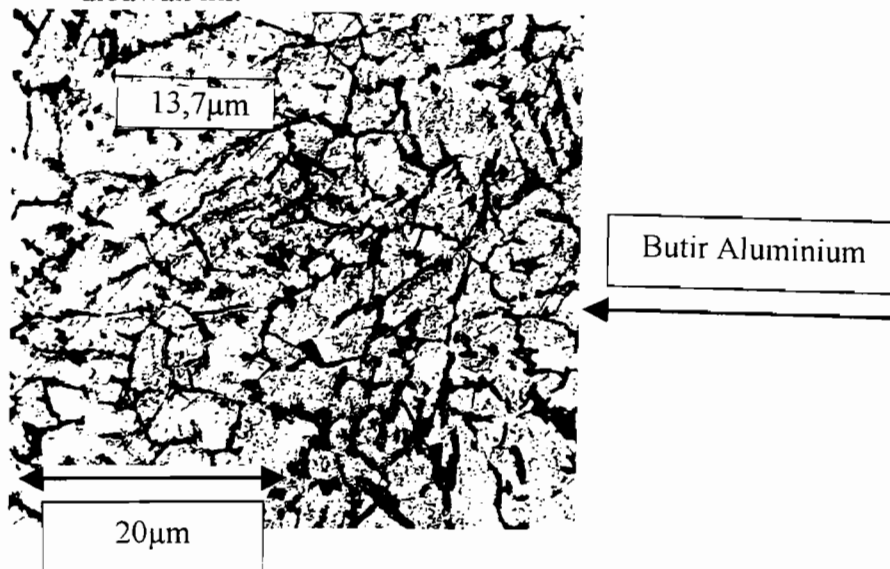
Dilihat dari kecenderungan kurva kelelahan menunjukkan bahwa ada perbedaan yang tidak signifikan antara bahan mula – mula dan bahan dengan perlakuan aging 12 jam, yaitu kurva untuk bahan mula – mula berada diatas kurva bahan dengan perlakuan aging 12 jam. Ini berarti ada penurunan ketahanan lelah bahan dengan perlakuan aging 12 jam. Penurunan yang terjadi yaitu sekitar 4,6%.

Bahan mampu menahan siklus tegangan balik yang berulang tak terhingga jika besarnya tegangan lebih kecil dari tegangan batas yang disebut sebagai batas ketahanan lelah.

Dikarenakan aluminium tidak mempunyai batas ketahanan lelah yang pasti maka batas jumlah siklus yang digunakan adalah  $2,5 \times 10^6$  siklus. Maka dalam penelitian ini, pada benda uji mula – mula tegangan lentur yang terjadi adalah  $5,971 \text{ kg/mm}^2$ , dan pada benda uji yang di aging 12 jam tegangan lentur yang terjadi adalah  $5,473 \text{ kg/mm}^2$ .

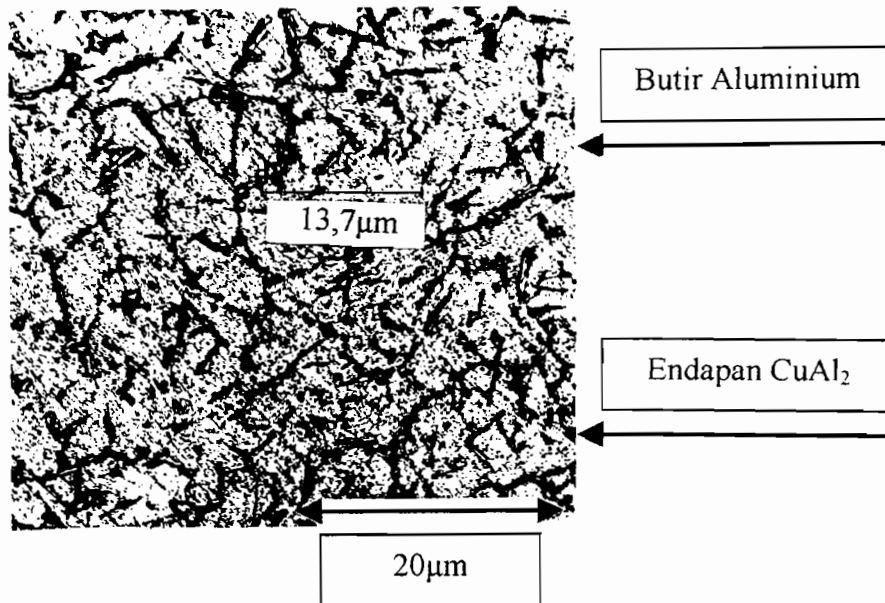
#### 4.5 Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro bahan disajikan pada gambar – gambar dibawah ini:

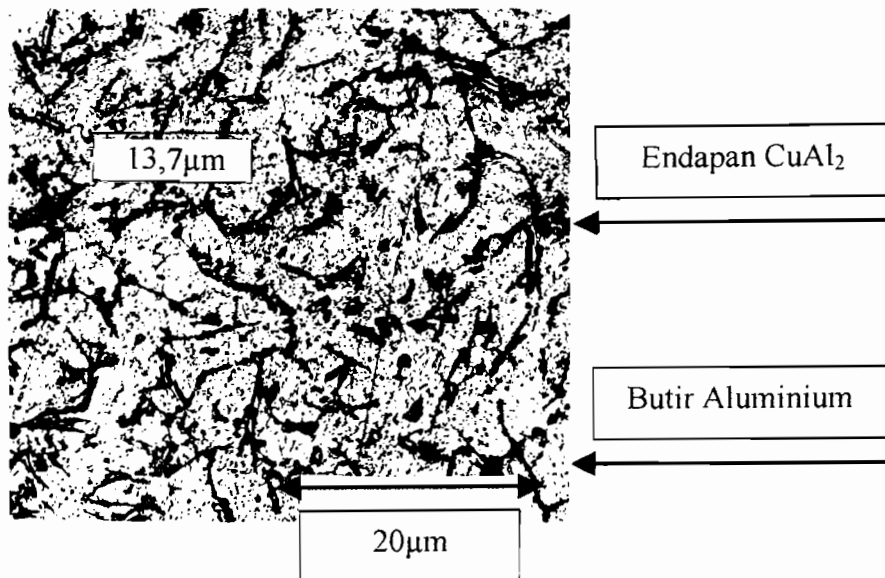


Gambar 4.5 Struktur mikro bahan mula – mula.

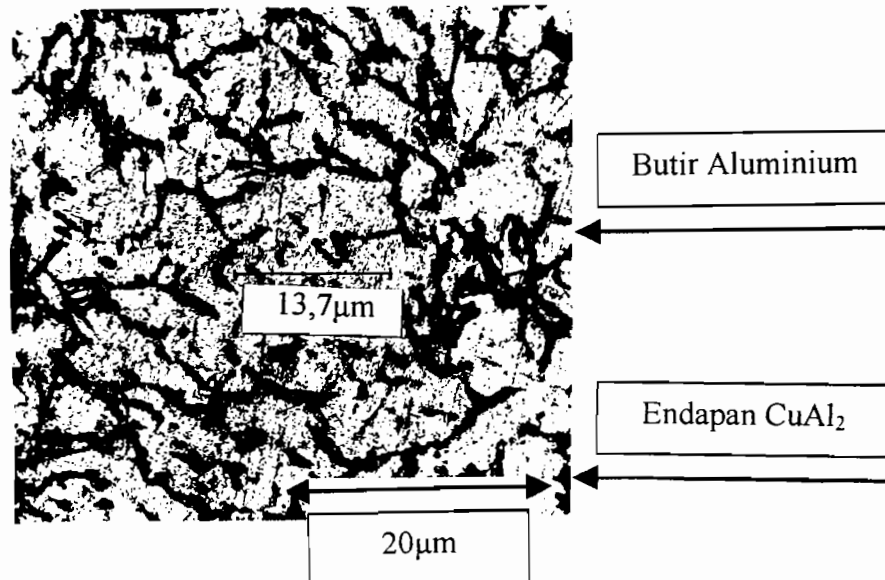




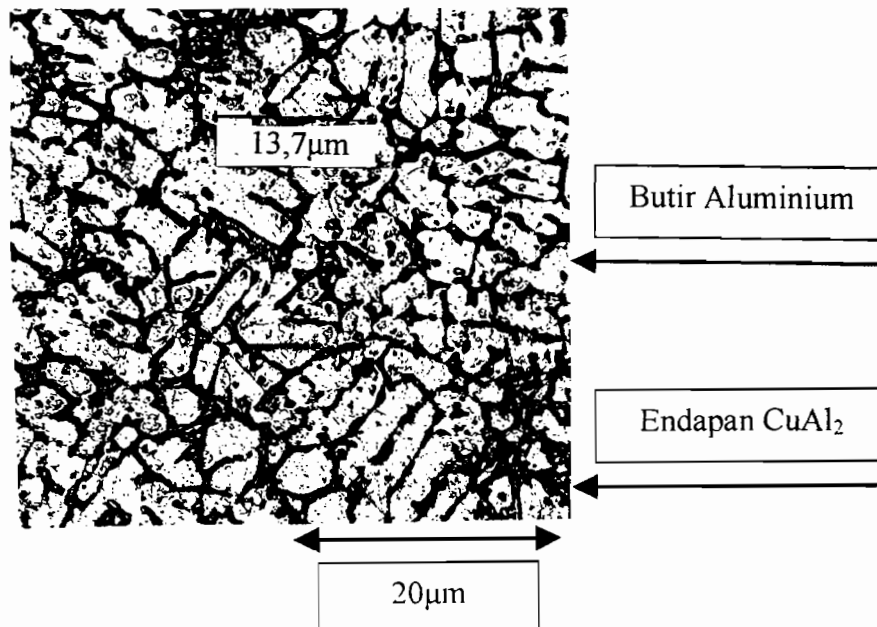
Gambar 4.6 Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 1 jam.



Gambar 4.7 Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 2,5 jam.



Gambar 4.8 Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 6 jam.



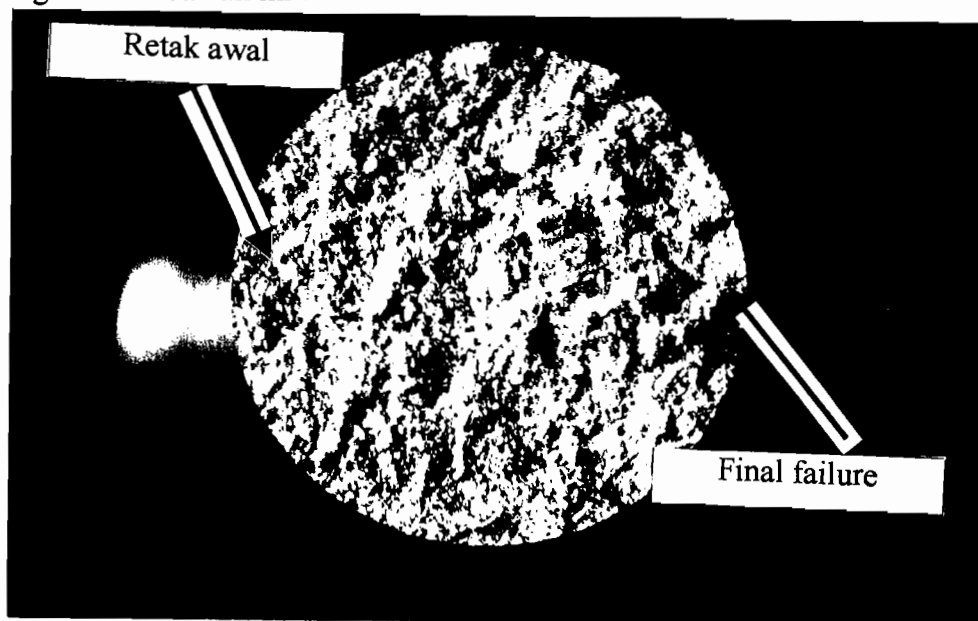
Gambar 4.9 Struktur mikro specimen dengan perlakuan aging 12 jam.

Pada gambar 4.5 sampai 4.9 disajikan hasil pengamatan struktur mikro, berturut – turut adalah struktur mikro bahan mula – mula, aging 1 jam, 2,5 jam, 6 jam, dan 12 jam. Dari gambar 4.5 disajikan gambar struktur mikro bahan mula – mula, terlihat bahwa batas butir aluminium cukup terlihat jelas. Butir – butir unsur aluminium terlihat masih besar, dan bintik – bintik endapan atau presipitasi terlihat masih sedikit.

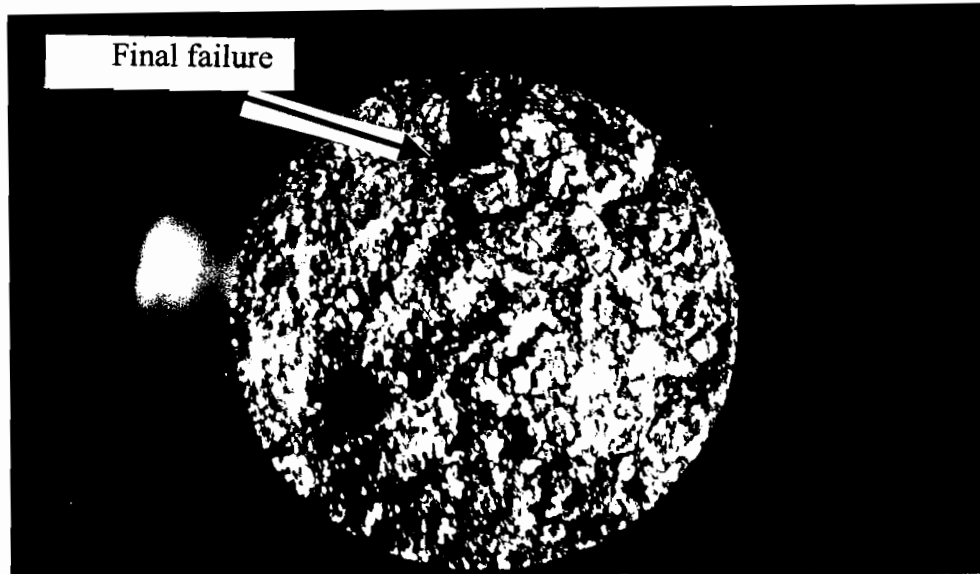
Sedangkan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7 terlihat batas butir unsur aluminium terlihat kabur. Ini dikarenakan dengan lamanya penahanan waktu aging 1 jam dan 2,5 jam. Hal ini berbeda dengan gambar 4.8, penahanan waktu aging ditingkatkan hingga 6 jam, batas butir terlihat jelas, dan mulai timbul bintik – bintik endapan atau presipitasi Cu dan Si. Batas butir terlihat paling jelas, paling halus, paling kecil dan bintik – bintik endapan atau presipitasi terlihat jelas dan banyak, dapat dilihat pada gambar 4.9. Ini disebabkan oleh penahanan aging hingga 12 jam. Disamping itu dengan adanya aging ini mempengaruhi tingkat kekerasan masing – masing bahan, semakin lama waktu penahanan tingkat kekerasan semakin tinggi, dan tingkat kekerasan yang paling tinggi adalah bahan dengan aging 12 jam.

#### 4.6 Analisis Fraktografi Patahan

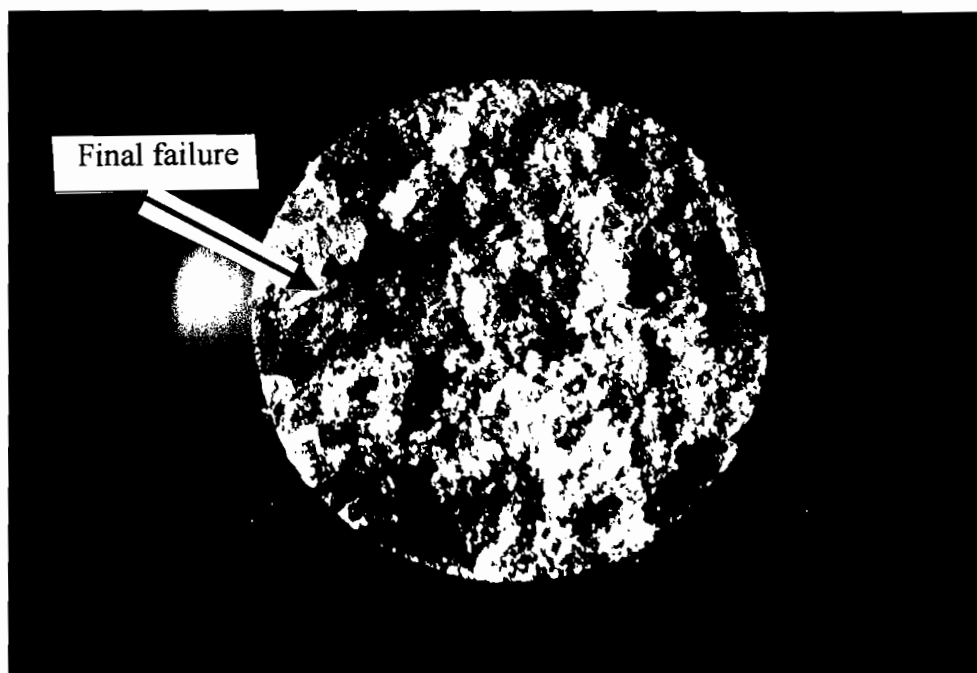
Hasil pengamatan fraktografi patahan diperlihatkan pada gambar – gambar dibawah ini :



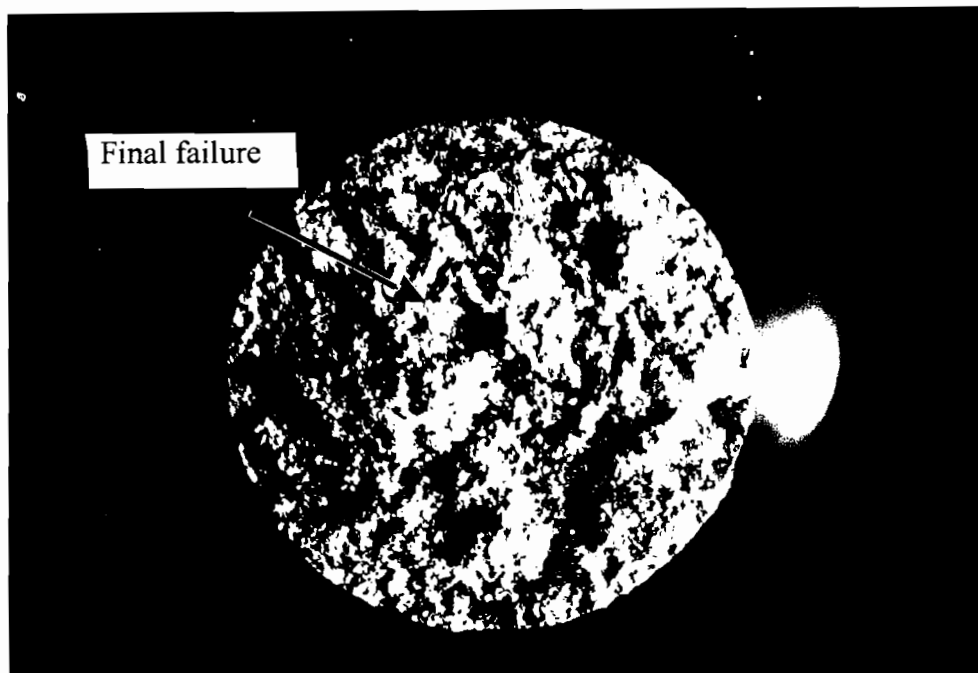
Gambar 4.10 Penampang patahan lelah specimen tanpa perlakuan, pembebanan 6,5 kg dengan siklus 78.251.



Gambar 4.11 Penampang patahan lelah specimen tanpa perlakuan, pembebanan 3,5 kg dengan siklus 2.177.675.

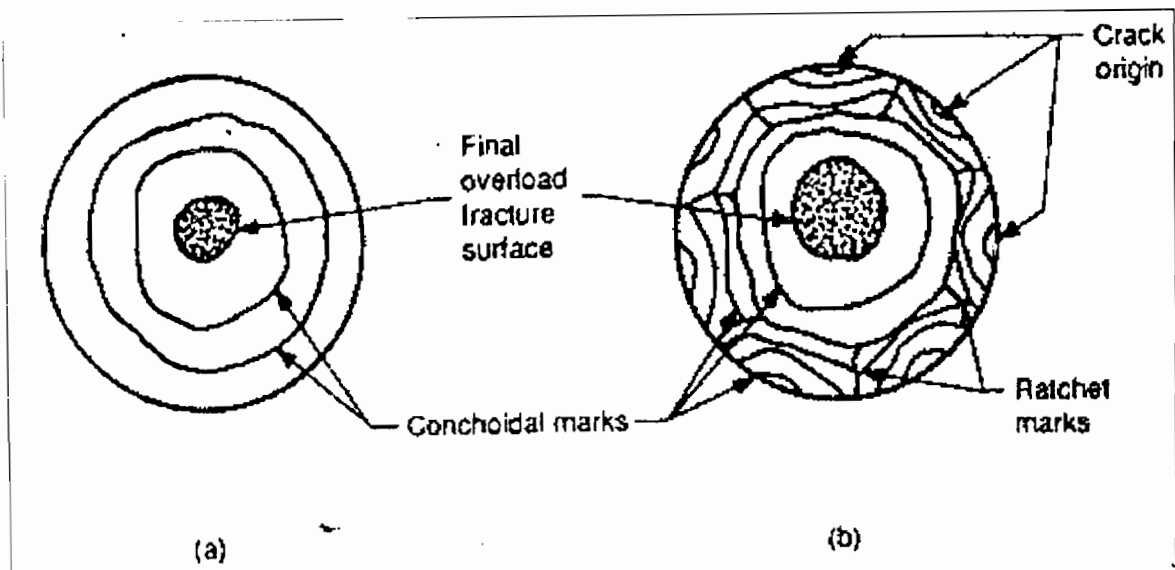


Gambar 4.12 Penampang patahan lelah specimen aging 12 jam, pembebanan 6,5 kg dengan siklus 14.471.



Gambar 4.13 Penampang patahan lelah specimen aging 12 jam, pembebanan 3 kg dengan siklus 2.142.906.

Pengamatan fraktografi patahan dilakukan pada permukaan patah hasil pengujian lelah. Pada gambar 4.10 dan 4.12, ditampilkan bentuk patahan bahan mula – mula dan aging 12 jam pada siklus rendah. Terlihat retak awal dimulai pada suatu titik di permukaan benda uji, yang kemudian merambat dan akhirnya patah pada titik yang bertolak belakang dengan titik dimana retak awal dimulai. Pada gambar 4.11, ditampilkan bentuk patahan bahan mula – mula pada siklus tinggi. Terlihat retak awal dimulai pada titik yang berbeda dalam satu bidang keliling. Seperti diilustrasikan dalam gambar 4.14a. Sedangkan pada gambar 4.13, terlihat retak dimulai pada titik yang berbeda dalam satu bidang keliling, dan berakhir pada pusat permukaan.



Gambar 4.14 Ilustrasi skematis penampakan permukaan patah dari suatu perpatahan lelah lengkung putar.

- (a) retak dimulai pada titik yang berbeda dalam satu bidang keliling
- (b) retak dimulai pada titik yang berbeda tetapi tidak pada satu bidang keliling

---

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari pengujian kelelahan yang telah dilakukan pada aluminium cor, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan waktu penahanan aging sampai dengan 12 jam meningkatkan kekerasan dari 67,4 BHN sampai 87,4 BHN.
2. Terjadi perubahan struktur mikro antara specimen mula – mula dengan specimen aging 12 jam. Semakin lama waktu penahanan aging hingga 12 jam membuat butiran unsur Al semakin mengecil. Sedangkan endapan atau presipitasi Cu dari Al semakin banyak.
3. Specimen dengan perlakuan aging, ketahanan lelehnya menurun dibandingkan dengan benda uji mula – mula, ini dibuktikan dengan kecenderungan kurva kelelahan menunjukkan bahwa ada perbedaan yang tidak signifikan antara bahan mula – mula dan bahan dengan perlakuan aging 12 jam, yaitu kurva untuk bahan mula – mula berada diatas kurva bahan dengan perlakuan aging 12 jam. Ini berarti ada penurunan ketahanan leleh bahan dengan perlakuan aging 12 jam. Penurunan yang terjadi yaitu sekitar 4,6%.

## 5.2 SARAN

1. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian kelelahan dengan variasi aging. Variasi aging hanya dilakukan untuk mencari tingkat kekerasan yang paling tinggi. Oleh sebab itu sebaiknya perlu dikembangkan lebih lanjut mengenai pengujian kelelahan dengan berbagai variasi waktu perlakuan aging.
2. Pengaturan temperatur pada penelitian ini dilakukan secara manual. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya perlu kecermatan yang tinggi agar deviasi temperatur tidak terlalu besar.
3. Proses pengujian kelelahan untuk mencari kondisi aman perancangan bahan telah didapat dari pengujian ini, hanya saja telaah lebih lanjut perlu dilakukan mengingat keterbatasan specimen uji dan minimumnya sarana dan pra – sarana pendukung pengujian ini.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Amstead, B. H., Ostwald, P.F., Begeman M. L., 1990, *Teknologi Mekanik*, alih bahasa oleh Sriati Djaprie, jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Avner, S.H., 1982, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2<sup>nd</sup> edition, McGraw Hill, Tokyo, Japan.
- Dieter, George E., 1988, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1, edisi ketiga, alih bahasa oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Dieter, George E., 1988, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 2, edisi ketiga, alih bahasa oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Smallman, R. E., 1991, *Metalurgi Fisik Modern*, edisi keempat, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Smallman, R. E., Bishop, R. J., 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, edisi keenam, Erlangga, Jakarta.
- Surdia, T., Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan keempat, PT. Pradnya Paramita, Bandung.
- Surdia, T., Chijiwa, K., 1996, *Teknik Pengecoran Logam*, cetakan ketujuh, Pt. Pradnya Paramita, Bandung.
- Suroto, A., Sudibyoy, B., *Ilmu Logam dan Metalurgi*, Akademi Teknik Mesin Industri, Surakarta.

# Lampiran

## HASIL ANALISIS BULK SAMPLE

Jumlah sampel : 1 buah (Aluminium pejal)  
Jenis Analisis : Analisis unsur Al, Si, Cu secara kuantitatif menggunakan APNC (Analisa Pengaktifan Neutron Cepat)

No	Unsur	Prosen Berat (% wt)
1	Cu	2,084
2	Al	88,85
3	Si	2,37
4	Lainnya	6,796

Yogyakarta, 14 April 2004



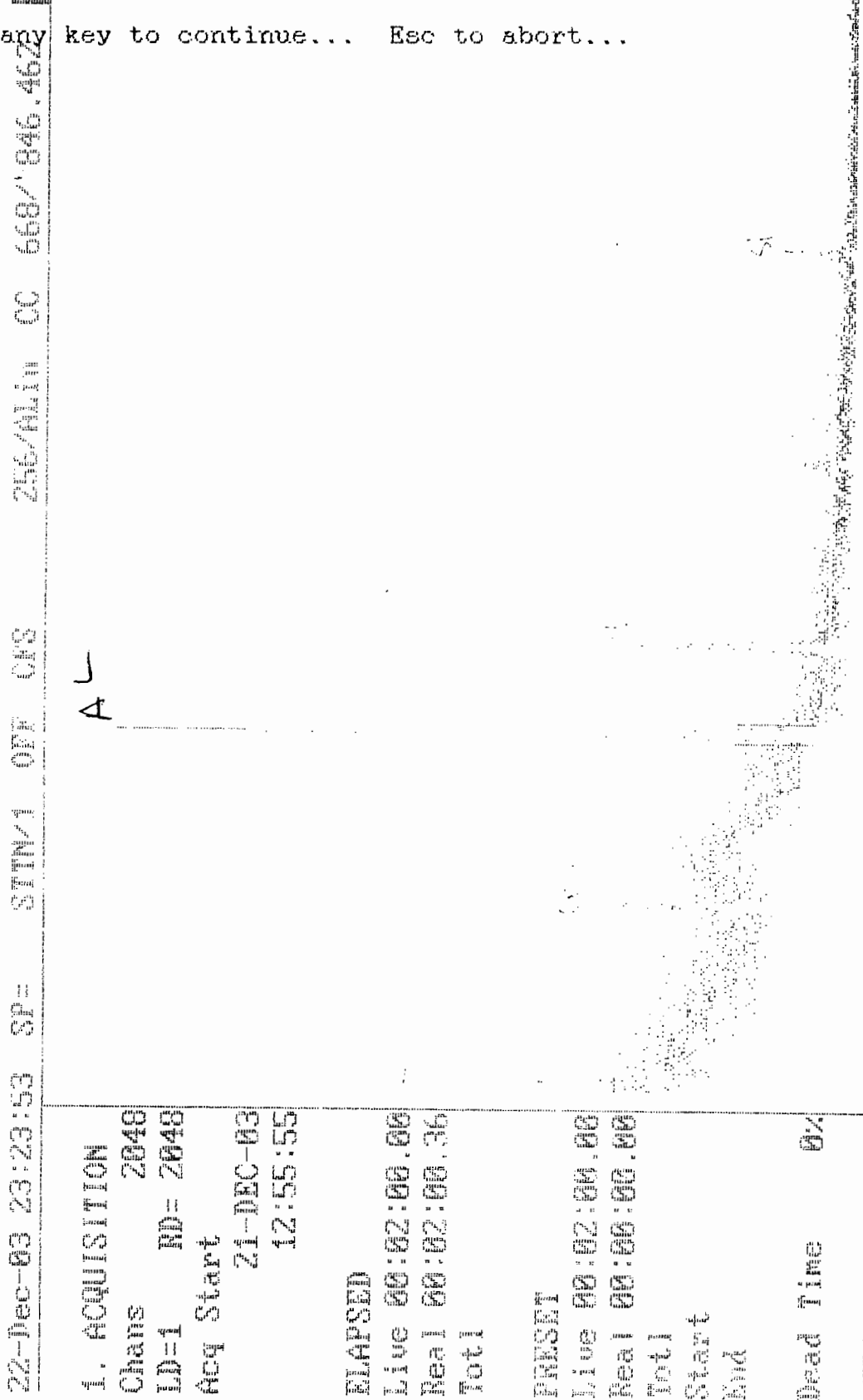
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, MSc. Eng

Configuration Name: STTN GROUP: 1  
 Sample Identification:  
 Ecal Zero: 136.5157 Ecal Slope: 1.08278 Ecal Quad: -0.00002992  
 EUnits: keV Start Channel: 1 End Channel: 2048

IG	ENERGY	AREA	BKGND	FWHM	FWTM	CHAN	LEFT	PW	CPS	%ERR
1	508.86	357	913	8.54	21.85	347.21	335	25	2.98	19.92
2	846.47	2072	574	10.08	22.48	668.01	649	37	17.27	3.79
3	1015.53	758	251	12.04	33.88	830.89	811	43	6.32	6.99
4	1366.78	137	144	12.02	34.89	1174.31	1155	43	1.15	26.27
5	1763.41	72	73	5.83	25.41	1570.69	1555	29	0.60	30.70

Enter any key to continue... Esc to abort...

Con:sem



22-Dec-03 23:23:53 SP= STTN/1 OFF CPS 256/Alin CC 668/846.46Z

1. ACQUISITION

Chan 2048

ID=1 ND= 2048

Acq Start

21-DEC-03

12:55:55

ELAPSED

Live 00:02:00.00

Real 00:02:00.36

Total

PRESENT

Live 00:02:00.00

Real 00:00:00.00

Total

Start

End

Dead Time 0%

*Handwritten note:* 668/846.46Z

Configuration Name: STTN GROUP: 1  
 Sample Identification:  
 Ecal Zero: 136.5157 Ecal Slope: 1.08278 Ecal Quad: -0.00002992  
 EUnits: keV Start Channel: 1 End Channel: 2048

EG	ENERGY	AREA	BKGND	FWHM	FWTM	CHAN	LEFT	PW	CPS	%ERR
1	508.66	4868	847	7.96	15.72	347.02	336	21	40.57	1.91

Enter any key to continue... Esc to abort...

22-Dec-03 23:29:22 SP= STN/1 0TR 0TS 1024/Min 00 348/ 509.700

1. ACQUISITION

Chan 2048

ID=1 MD= 2048

acq Start

21-DEC-03

13:00:07

RAISED

Live 00:02:00.00

Real 00:02:00.63

Totl

PRESET

Live 00:02:00.00

Real 00:00:00.00

Totl

Start

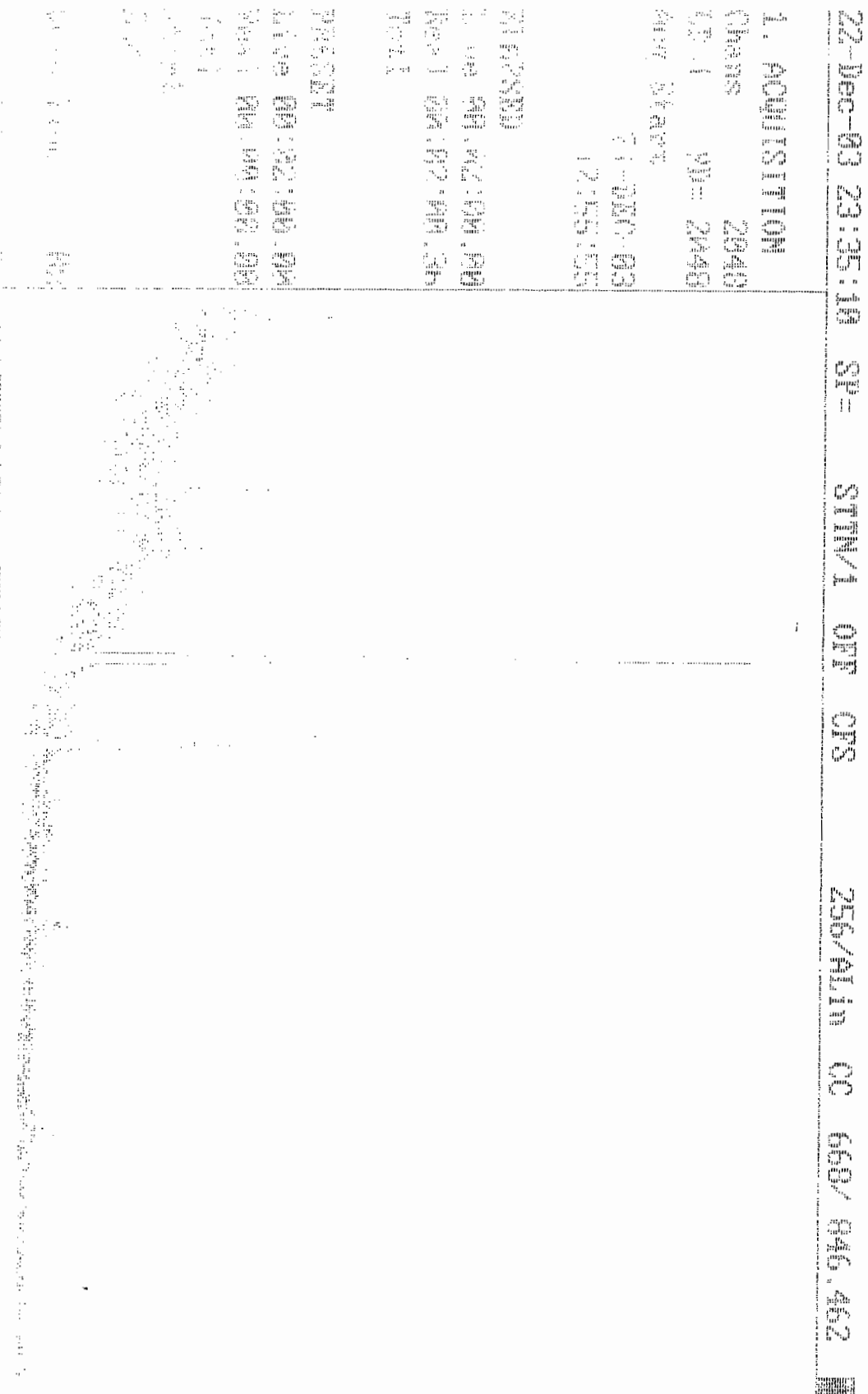
End

Dead Time 1%

Configuration Name: STTN    GROUP: 1  
 Sample Identification:  
 Ecal Zero: 136.5157      Ecal Slope: 1.08378      Ecal Quad: -0.00002992  
 EUnits: keV      Start Channel: 1      End Channel: 2048

EG	ENERGY	AREA	BKGD	FWHM	FWTM	CHAN	LEFT	PW	CPS	%ERR
1	847.15	347	194	7.24	20.97	888.85	657	27	5.40	6.39
2	1015.88	335	74	13.20	33.06	831.03	817	26	1.96	10.65

Enter any key to continue... Esc to abort...



AI

