

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya. (Surdia, 1992).

Pada tabel 1. Menunjukkan berbagai jenis unsur logam dan jumlah pada masing – masing unsur logam tersebut.

Tabel 1. Urutan Penggunaan Berbagai Jenis Pada Logam (Sonawan, dkk, 2003).

Unsur logam	Jumlah (ton)
Fe	700.000
Al	18.000
Cu	85.000
Zn	6.000
Pb	4.500
Cr	1.800

Unsur logam	Jumlah (ton)
Ni	600
Sn	250
Mg	250
Ti	40
Plastik	65.000

Aluminium murni sangat lunak, kekuatan rendah dan tidak dapat digunakan pada berbagai keperluan. Dengan memadukan unsur-unsur lainnya, sifat murni aluminium dapat diperbaiki. Adanya penambahan unsur-unsur logam lain akan mengakibatkan berkurangnya sifat tahan korosi dan berkurangnya keuletan dari aluminium tersebut. Dengan penambahan sedikit mangan, besi, timah putih dan tembaga sangat berpengaruh terhadap sifat tahan korosinya.

Aluminium merupakan bahan logam yang proses penambangan dan ekstraksinya cukup sulit bila dibandingkan dengan besi. Hal ini menjadi salah satu penyebab mengapa besi jauh lebih banyak dipakai dibandingkan aluminium. Selama 50 tahun terakhir, Aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifatnya yang ringan, tahan korosi kekuatan dan *Ductility* yang cukup baik. Aluminium paduan mudah diproduksi dan cukup ekonomis. Aluminium daur ulang yang paling terkenal adalah penggunaan Aluminium sebagai bahan pembuat pesawat terbang yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya, resistan terhadap korosi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksidasi ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksidasi ini mencegah terjadi oksidasi lebih jauh. Aluminium paduan dengan

tembaga kurang tahan terhadap korosi akibat reaksi Galvanik dengan paduan tembaga, beberapa penggunaan aluminium antara lain:

1. Sektor industri otomotif, untuk membuat bak truk dan komponen kendaraan bermotor.
2. Untuk membuat badan pesawat terbang.
3. Sektor pembangunan perumahan, untuk kusen pintu dan jendela.
4. Sektor industri makanan, untuk kemasan berbagai jenis produk.
5. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
6. Membuat *termit*, yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja di tempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.

Secara garis besar aluminium dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. *Wrought aluminium alloys*

*Wrought aluminium alloys* adalah paduan aluminium yang dapat mengalami pengerjaan panas (*heat treatment*) dan pengerjaan dingin (*cold working*), dengan kata lain paduan ini dapat mengalami deformasi plastis. Paduan aluminium yang diproduksi dalam bentuk *wrought* yaitu: *sheet*, *plate*, *extrusion*, *rod*, dan *wire* dan diklasifikasikan menurut unsur utama logam paduannya.

Tabel 2. Menunjukkan jenis aluminium dan unsur paduan darimasing – masing seri serta penamaannya.

Tabel 2. *Wrought Aluminium Alloys Group* (Sonawan, dkk, 2003).

Paduan	Seri Penamaan
Aluminium dengan kemurnian min. 99%	1xxx
Aluminium – Tembaga ( <i>Al - Cu</i> )	2xxx
Aluminium – Mangan ( <i>Al - Mn</i> )	3xxx
Aluminium – Silikon ( <i>Al - Si</i> )	4xxx
Aluminium – Magnesium ( <i>Al - Mg</i> )	5xxx
Aluminium – Magnesium - Silikon	6xxx
Aluminium – Seng ( <i>Zn</i> )	7xxx
Paduan lainnya	8xxx

Tabel 3. Menunjukkan klasifikasi aluminium paduan yang dapat dilakukan dengan cara penempaan untuk pengerjaannya, dan sudah disesuaikan pada standar seri serta paduan utamanya.

Tabel 3. Klasifikasi Paduan Aluminium Tempaan (Sonawan, dkk, 2003).

Standar	Standar alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5%
1100	2S	Al murni 99,0%
2010 – 2029	10S – 29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003 – 4039	3S – 39S	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> merupakan unsur paduan utama
7070 – 7079	70S – 79S	Zn merupakan unsur paduan utama

Berikut adalah penjabaran dari *Wrought aluminium alloys*:

a. *Duralumin* (juga disebut duraluminum, duraluminium atau dural).

Adalah nama dagang dari salah satu jenis paduan aluminium awal usia *Hardenable*. Unsur paduan utama adalah tembaga, mangan, dan magnesium. Sebuah setara modern yang umum digunakan jenis ini adalah paduan AA2024, yang mengandung tembaga 4,4%, 1,5% magnesium, mangan 0,6% dan 93,5% aluminium. Kekuatan luluh adalah 450 MPa, dengan variasi tergantung pada komposisi.

b. *Silumin*

Adalah material ringan, dan memiliki kekuatan paduan aluminium tinggi dengan kadar silikon sebesar 12%. Diantara keuntungan dari *silumin* adalah memiliki resistensi tinggi terhadap korosi, sehingga bermanfaat dalam lingkungan lembab. Penambahan silikon untuk aluminium juga membuat cairan kurang kental, yang bersama-sama dengan biaya murah (kedua elemen komponen relatif murah untuk mengekstrak), membuatnya menjadi paduan casting sangat bagus dibandingkan dengan logam murni. Hal ini juga digunakan pada motor 3 fasa untuk memungkinkan pengaturan kecepatan.

c. *Hidronallium*.

Paduan *Al-Mg*, sering disebut *Hidronalium*, merupakan paduan dengan tingkat ketahanan korosi yang paling baik dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya, selain itu paduan *Al-Mg* 5% merupakan *Non Heat-Treatable Alloy*. Sehingga dengan dilakukannya

proses *Solution Treatment* 300°C menurunkan kekerasan hingga 18,06%, kekuatan tarik 6,14% dan regangan 41,04 %.

Sebaliknya *Grain Refiner* memperbaiki sifat mekanisnya, dimana pada kondisi *As-Cast* meningkatkan kekerasan hingga 6,68%, kekuatan tarik 2,06% dan regangan 38,34%. Pada kondisi *Solution Treatment* 300°C meningkatkan kekerasan hingga 6,78%, kekuatan tarik 20,85% dan regangan 11,96%. Dan pada kondisi *Solution Treatment* 400°C meningkatkan kekerasannya hingga 16,28 % kekuatan tarik 8,44% dan regangan hingga 25,77 %.

Aluminium murni (99,5%) mengandung *Impurity*  $\pm$  0,4%, sehingga dapat dikatakan secara teoritis sebagai paduan dengan dasar aluminium super murni. Kekuatan tariknya pada keadaan biasa hampir dua kali lipat dari aluminium murni. Hal ini disebabkan karena adanya atom-atom besi dan silikon sebagai *impurity*. Secara komersial aluminium murni tidak termasuk paduan. Karena kandungan besi dan silikon berasal dari produksi aluminium sebagai bagian pengotor, jadi secara tidak sengaja ditambahkan. Paduan yang mengandung 0,5% -5,5% Mg atau 1,5% Mn, peningkatan kekuatan karena pengotoran kisi oleh atom-atom dalam larutan. Unsur-unsur yang disebut *Heterogenitas* yang dapat dilihat jelas dengan menggunakan mikroskop optik, yang terjadi dengan bertambahnya kandungan besi dan Mn hanya mempengaruhi kekuatan. Hal ini jelas karena endapan kasar pada

struktur *Wrought* sangat kecil mempengaruhi pergerakan dislokasi sepanjang bidang-bidang slip.

Matriks aluminium sekitar endapan dasar pada bidang-bidang kisi relatif tidak terdistorsi sehingga dislokasi dapat bergerak dengan bebas pada tempat tersebut di antara endapan. Sedangkan atom pada larutan dan endapan pada dispersi yang halus menimbulkan distorsi pada seluruh kisi, sehingga menghalangi pergerakan semua dislokasi. Kekuatan pada paduan *Non Heat-Treatable* akan bertambah dengan *Cold Hardening*, tapi elongasi akan menurun dengan drastis. Paduan ini memiliki aplikasi luas. Jika diperlukan paduan rendah sampai menengah maka lebih dipakai paduan ini daripada paduan *Heat-Treatable* atau aluminium murni, karena mudah difabrikasi dan tidak sensitif terhadap peralatan panas.

## 2. *Casting Alloys*

Paduan aluminium berupa *Casting Alloy* dikembangkan untuk memperbaiki kualitas pengecoran seperti *Fluidity*. Disamping itu tetap pula diperhatikan sifat-sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan dan ketahanan korosinya. Komposisi kimia *Casting Alloy* berbeda dengan *Wrought Alloy* demikian juga dengan penomorannya. Penambahan unsur silikon sebanyak 5–2% merupakan unsur pepadu utama pada *casting alloy* karena penambahan ini meningkatkan *Fluidity* aluminium cair, disamping meningkatkan kekuatannya. Penambahan magnesium sebanyak 0.3–1% dapat meningkatkan kekuatan terutama dengan mekanisme penguatan presipitasi.

tasi. Penambahan *copper* sebanyak 2% juga dapat meningkatkan kekuatan terutama untuk pemakaian pada temperatur tinggi.

## **B. Sifat-Sifat Aluminium**

Aluminium merupakan logam yang halus dan ringan, dengan rupa keperakan pudar, oleh karena kehadiran lapisan pengoksidaan yang nipis yang terbentuk apabila terkena udara. Aluminium tak bermagnet, dan tidak menghasilkan karat. Aluminium mempunyai kekuatan tegangan sebanyak 49 MPa dan 700 MPa setelah dibentuk menjadi *alloy*.

Warna aluminium dengan mudah dapat diidentifikasi dengan warna perak yang khas, Warnanya berubah menjadi kelabu muda akibat pembentukan oksidasi apabila diletakkan di udara. Lapisan ini pada waktu awal terbentuk adalah berpori dan dapat diberi warna dengan metode pengatodaan.

Oksidasi ini sangat ulet dan tahan panas. Temperatur lebur atau titik leleh aluminium murni adalah  $600^{\circ}\text{C}$  dan massa jenisnya adalah  $2.79\text{g/cm}^3$ . Aluminium memiliki sifat yang cukup tangguh pada temperatur yang sangat rendah, konduktivitas termal aluminium sekitar lima kali lebih baik dari baja karbon rendah. Konduktivitas aluminium adalah sekitar 60% dari tembaga, tahanan korosi aluminium sangat baik pada keadaan tertentu akibat lapisan tipis dari oksida pelindung yang menempel dengan sendirinya.

Tabel 4. Menunjukkan karakteristik dari berbagai jenis logam dan suhu titik cair dari masing – masing logam tersebut.

Tabel 4. Karakteristik Berbagai Logam (Sonawan, dkk, 2003).

Jenis logam	Sel satuan	Titik cair (°C)
Timah Hitam, Pb	Fcc	327
Seng, Zn	Hcp	419
Magnesium, Mg	Hcp	650
Aluminium, Al	Fcc	660
Tembaga, Cu	Fcc	1.083
Nikel, Ni	Fcc	1.453
Titanium, Ti	Hcp > 900 °C Bcc < 900 °C Bcc < 910 °C	1668
Besi, Fe	Fcc, 910 < Tc < 1.350 Bcc > 1.350 °C	1.535

Aluminium diperoleh dalam keadaan cair melalui suatu proses yang disebut elektrolisis, umumnya mencapai kemurnian 99,85%. Melalui proses elektrolisis kembali maka diperoleh aluminium dengan nilai kemurnian mencapai 99,99%. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian aluminium 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam waktu bertahun-tahun. Tabel 5. Menunjukkan sifat-sifat mekanik aluminium yang telah mendapatkan perlakuan dengan cara dibawah ini.

Tabel 5. Sifat-sifat Mekanik Aluminium ( Sonawan, dkk, 2003).

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	Danil	75% Dirol dingin	Danil	75% Dirol dingin
Kekuatan Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )	4.9	11.6	9.3	16.9
Kekuatan Mulur (0.2%)(Kg/mm <sup>2</sup> )	1.3	11.0	3.5	14.8
Perpanjangan	48.8	5.5	35	5
Kekerasan	17	27	23	44

Tabel 6. Menunjukkan penjabaran tentang sifat - sifat fisik aluminium.

Tabel 6. Sifat-sifat Fisik Aluminium( Sonawan, dkk, 2003).

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	99.0 – 99.996
Massa jenis (20°)	2.6989	2.71
Titik cair	660.2	653.657
Panas jenis (cal/g.°C) (100%)	0.2226	0.2297
Hantaran listrik (%)	64.94	59 (Dianil)
Tahanan listrik koefisien Temperatur(°C)	0.00429	0.0115
Koefisien pemuaian (20-100%)	$23.86 \times 10^{-6}$	$23.5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal, konstanta kisi	Fcc, a= 4.013 kX	Fcc, a= 4.04 kX

Note : Fcc (*face centered cubic*) = kubus berpusat muka  
kX = konstanta kisi

Aluminium memiliki hantaran listrik sebesar 65% dari hantaran listrik tembaga (*Cu*), tetapi massa jenisnya hanya sepertiganya sehingga memungkinkan untuk perluasan penampangnya, serta dapat digunakan untuk campuran kabel dan dalam berbagai kebutuhan dapat kita jumpai aluminium dalam bentuk lembaran seperti *aluminium foil*, dalam hal ini aluminium yang digunakan sebesar 99.0%. sedangkan untuk *reflector* yang memerlukan *refleksitas* yang tinggi juga untuk kondensor elektrolitik digunakan aluminium dengan kemurnian 99,99%.

### C. Aluminium dan Paduannya

Paduan Al di klasifikasikan dalam berbagai standard oleh berbagai negara di dunia. *Standard Aluminium Association (AA)* di Amerika menggunakan penandaan dengan empat angka sebagai berikut :

1xxx adalah Al Murni

2xxx adalah Al – Cu

3xxx adalah Al – Mn

4xxx adalah Al –Si

5xxx adalah Al – Mg

6xxx adalah Al – Mg – Si

7xxx adalah Al – Zn

Sebagai contoh paduan Al-Cu dinyatakan dengan angka 2xxx atau 2000, angka pada tempat kedua menyatakan modifikasi paduan. Jika angka kedua dalam penandaan ini menunjukkan nol, hal ini menyatakan paduan yang orisinal. Urutan angka 1 sampai 9 digunakan untuk menunjukkan modifikasi dari paduan orisinal, untuk paduan percobaan diberi penandaan awalan X. Dalam paduan Al perubahan yang berarti dari material disebabkan perlakuan panas, seperti 7075-T6.

#### 1. Paduan Al – Cu dan Al – Cu – Mg (seri 2000)

Mengandung 4% Cu dan 0.5% Mg dan paduan ini dinamakan duralumin. Salah satu duralumin adalah paduan 2017, komposisi standarnya adalah aluminium dengan kandungan 4% Cu, 0.5% Mg, 0.5% Mn. Paduan yang ditingkatkan magnesiumnya dari komposisi standar, yaitu aluminium dengan kandungan 4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.5% Mn yang disebut paduan 2024. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang tidak baik, jadi apabila ketahanan korosi diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni

atau paduan Al yang tahan korosi, material yang telah dilapisi tersebut disebut Al *clad*.

## 2. Paduan Al – Mn (seri 3000)

Mn (mangan) adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi, dan digunakan untuk membuat paduan yang tahan korosi. Paduan aluminium dengan kandungan 1.2% Mn dan 1% Mg disebut paduan 3003 yang dipergunakan sebagai paduan tahan korosi.

## 3. Paduan Al – Si (seri 4000)

Paduan Al – Si sangat baik kecairannya dan cocok untuk paduan coran. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang rendah dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Material ini biasa dipakai untuk torak motor dan sebagai filler las (setelah dilakukan beberapa perbaikan komposisi).

## 4. Paduan Al – Mg (seri 5000)

Mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik, dengan kandungan 2–3% Mg (magnesium) mempunyai sifat mudah ditempa, diroll dan diekstrusi. Paduan 5056 merupakan paduan yang paling kuat dalam seri ini. Paduan 5083 yang dianil adalah paduan dengan 4.5% Mg, sifatnya kuat dan mudah dilas, digunakan sebagai tangki LNG.

#### 5. Paduan Al - Mg – Si (seri 6000)

Paduan ini mempunyai kekuatan yang kurang baik sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya. Tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan lain-lain. Salah satu paduan seri 6000 adalah 6063 yang banyak digunakan untuk rangka konstruksi.

#### 6. Paduan Al – Zn (serie 7000)

Yaitu suatu paduan yang terdiri dari aluminium, 5.5% Zn, 2.5% Mn, 1.5% Cu, 0.3% Cr, 0.2% Mn ini dinamakan paduan 7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini kebanyakan untuk bahan konstruksi pesawat terbang, selain itu banyak digunakan sebagai bahan konstruksi (Agus Rohimat, 1993).

### **D. Aluminium Daur**

Aluminium daur adalah aluminium yang dipadukan dengan logam lain yang memiliki keterikatan senyawa atom satu sama lain. Paduan logam tersebut berguna untuk meningkatkan kekuatan dari aluminium yang bersifat lunak dan tidak tahan terhadap panas. Jumlah dan distribusi penyebaran partikel penguat komposit matriks logam sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanis dari komposit. Penambahan jumlah partikel yang tersebar belum tentu mampu meningkatkan kekerasan dari komposit. Untuk itu perlu diketahui jumlah fraksi partikel yang tersebar secara optimal pada logam sehingga akan diperoleh kekerasan yang optimal.

Cor ulang yang dilakukan pada aluminium dapat menyebabkan kekerasan meningkat dan ketangguhan menurun, serta porositasnya bertambah. Porositasnya ini tentunya akan mengurangi kekuatan dari aluminium cor, akan tetapi disamping itu, dikemukakan bahwa porositasnya dalam kondisi tertentu akan memperbaiki karakteristik tribologi logam karena membentuk reservoir bagi pelumas dan memudahkan untuk bersirkulasi sehingga menghasilkan pelumasan yang lebih baik.

## **E. Pengecoran**

Pengecoran dapat diartikan membuat komponen dengan cara menuangkan bahan yang telah dicairkan ke dalam cetakan. Bahan ini dapat berupa *Metal* ataupun *Non-Metal*. Untuk mencairkan bahan digunakan *Furnace* (dapur kupola).

*Furnace* adalah sebuah dapur dimana dilengkapi dengan *Heater* (pemanas), bahan dapat dicairkan sampai titik cair dan dapat ditambahkan campuran bahan seperti : chrom, silikon, titanium, aluminium dan lain-lain agar bahan menjadi baik sesuai dengan yang kita kehendaki.

Kebanyakan logam cair yang dituangkan menggunakan pengaruh gaya berat, walaupun kadang-kadang dipergunakan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan. Pengecoran dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu:

### **1. Pengecoran sentrifugal.**

Adalah suatu metode pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair mendapat gaya sentrifugal

yang kemudian cairan logam tersebut akan mengeras. Contoh pembuatan pipa.

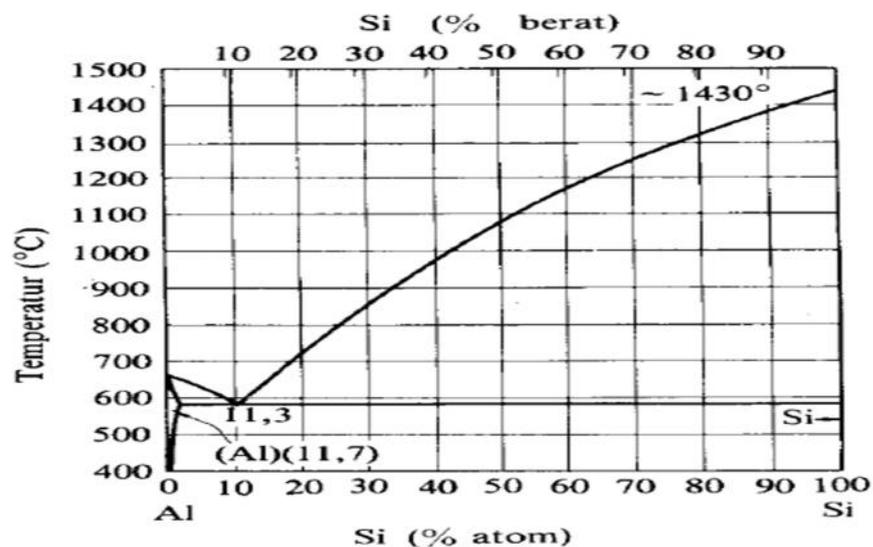
## 2. Pengecoran cetak.

Adalah suatu cara pengecoran dimana logam cair ditekan ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi. Coran tipis dapat menggunakan metode ini.

## 3. Pengecoran tekanan rendah.

Adalah suatu cara pengecoran diberikan tekanan yang sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer pada permukaan logam dalam tanur, tekanan ini mengakibatkan mengalirnya logam cair ke atas melalui pipa ke dalam cetakan.

## F. Diagram Fasa



Gambar 1. Diagram Fasa Al- Si (pengetahuan bahan teknik 1999).

Gambar 1 memperlihatkan diagram fasa dari sistem Al-Si. Tampak fasa yang ada untuk semua paduan Al-Si pada rentang suhu 300°C-1500°C, gambar sebelah kiri, dan pada rentang 400°C-1400°C gambar sebelah kanan untuk

berbagai macam variasi komposisi. Pada diagram fase di atas, (struktur kristal fcc) dan (struktur kristal bcc) digunakan untuk menunjukkan dua fasa yang berbeda masing-masing digunakan untuk menunjukkan fasa Al dan Si. Dari diagram fase di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 98% Al dan 2% Si dipanaskan secara perlahan dari suhu ruang hingga 1500°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung adalah:

Suhu ruang hingga 550°C = +  
 550°C hingga 600°C =  
 600°C hingga 660°C = + cairan (*liquid*)  
 660°C hingga 1500°C = cairan (*liquid*)

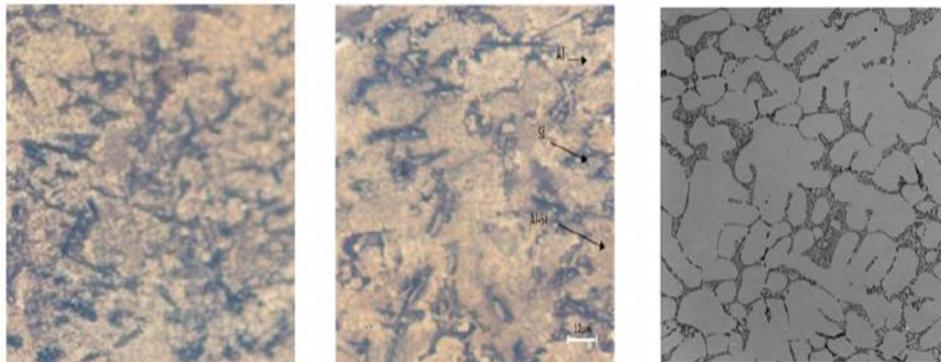
Kristal tunggal terbentuk hanya pada fase liquid. Jadi dari analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa kristal tunggal terbentuk dengan mengkombinasikan Al dan Si masing-masing sebesar 98% dan 2%, kemudian dipanaskan pada rentang suhu kira-kira antara suhu kamar sampai 700°C, hingga terbentuk fasa liquid. Setelah itu, untuk memisahkan komponen kristal tunggal (kemungkinan terbesar, didapatkan kristal tunggal Al dengan perbandingan 98:2) dapat dilakukan proses sintesis.

Polikristal merupakan material yang memiliki banyak kristal dengan batas butir (*grain boundary*) yang menyertainya serta memiliki orientasi yang acak. Dari analisa diagram fase di atas, dapat diketahui bahwa untuk membentuk polikristal dari campuran Al dan Si, dapat diperoleh melalui paduan komposisi Al dan Si masing-masing 98% dan 2% dengan suhu sintering pada

rentang kira-kira pemanasan dari suhu ruang sampai suhu  $550^{\circ}\text{C}$ . Sehingga pada kondisi ini akan didapatkan akan dua fase secara bersamaan yaitu fase dan .

Polikristal terorientasi adalah polikristal yang memiliki spin (*domain*) searah. Hal ini dapat diperoleh, dengan memberikan *magnetic field* pada material polikristal. Hingga pada akhirnya akan didapatkan polikristal yang memiliki spin (*domain* searah). Arah spin pada material polikristal dapat dilihat melalui AFM (*Atomic Force Microscope*). Polikristal terorientasi, dapat kita temukan pada fasa ( +L) atau ( +L), jadi jika kita mengkombinasikan komponen Al:Si 98%:2% maka dapat kita sinterring dari rentang suhu antara suhu kamar sampai kira-kira pada suhu  $660^{\circ}\text{C}$ .

### G. Struktur mikro Al – Si



(a) (b)(c)

Gambar 2. Menunjukkan perbedaan hasil strukturmikro, (a) sebelum *remelting* (b) setelah *remelting* (c) Strukturmikro paduan hypoeutectic (1.65-12.6 % Si). 150X (ASM International, 2004).

Dari gambar 2. Menunjukkan bahwa dari hasil strukturmikro hasil pengecoran aluminium tipe ADC 12. Unsur Si tersebar tidak merata dan didominasi oleh Al itu sendiri, hasil ini sekaligus menjawab mengapa pada uji komposisi

kimia unsur Si jumlah komposisinya turun dari 11% menjadi 10,5% dan Al menjadi naik dari 84,68% naik menjadi 85,33% unsur Si mengalami penurunan sedangkan pada unsur Al mengalami kenaikan yang terkandung pada material ADC 12 setelah dilakukan *remelting* dengan suhu 700°C.

Hal ini bias dilihat smakin berkurangnya fasa Si dan bertambahnya unsur Al pada material ADC 12 yang ditunjukkan pada hasil strukturmikro tersebut, dari perbandingan sebelum *diremelting* dan setelah *diremelting* kemudian dengan standar ASM internasional 2004. Bahwa dari bahan yang digunakan untuk penelitian ini setelah dilakukannya pengujian strukturmikro yang paling mendominasi adalah unsur Al, penyebaran Al yang merata dibandingkan dengan unsur Si dan unsur – unsur lainnya. (Samsudi Raharjo dkk, 2011)

## H. Uji Tarik

Kekuatan tarik dapat diartikan sebagai daya tahan suatu material terhadap tegangan yang berusaha untuk memisahkan. Kekuatan tarik berhubungan dengan modulus elastisnya. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah (Tony F, 2005).

Perpanjangan dapat dinyatakan dalam persen (%) yang merupakan perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal sebelum penari-

kan. Kekuatan tarik dan *Elongation* dapat diketahui dengan pengujian, diantaranya dengan uji tarik, uji tekuk, uji geser dan pengujian lainnya (Badaruddin, 2003).

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk memeriksa kualitas suatu produk yang dihasilkan berdasarkan standar spesifikasi. Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *Plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *Ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), *Modulus Elastisitas* bahan ( $E$ ), ketangguhan dan keuletan spesimen yang diuji tarik (Dowling, 1999).

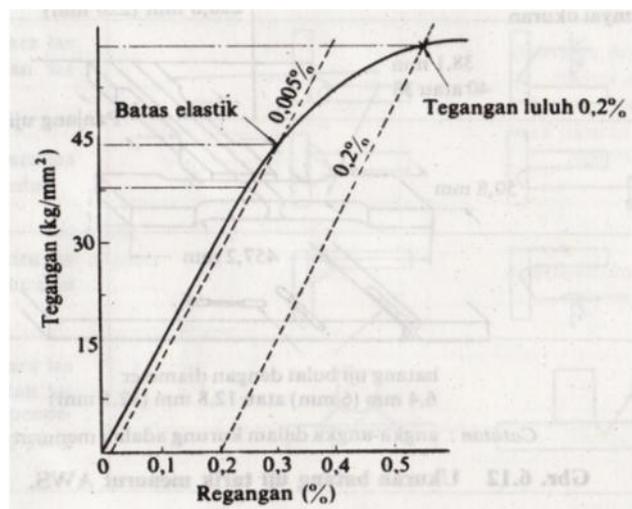
Alat pengujian tarik *Universal Testing Machine* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*) (Dowling, 1999). Titik *Yield Point* sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas *Elastic* dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%.

Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan. (Wiryosumarto, 1996).

Dari gambar 4. Kurva ini menunjukkan kekuatan luluh dan modulus elastisnya dapat ditentukan dan besar beban dalam pengujian ini disebut kekuatan tarik maksimum. Setelah spesimen patah panjang akhir dan *Cross-Sectional area* digunakan untuk menghitung persentase *Elongation* dan pengurangan luas.



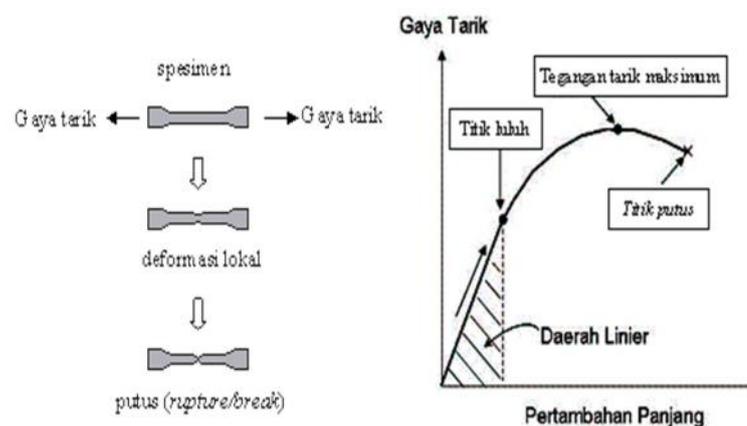
Gambar 4. Batas Elastik dan Tegangan Luluh (Wiryosumarto, 1996).

Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastis menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, dimana titik awal saat terjadinya deformasi plastik sukar ditentukan secara teliti. Tegangan luluh, biasanya didefinisikan sebagai tegangan luluh offset adalah tegangan yang dibutuhkan un-

tuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan Tegangan luluh offset ditentukan dengan mengukur perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis sejajar dengan elastis offset regangan tertentu, pada umumnya garis offset diambil sebesar 0,2 % atau 0,05 %.

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi diseluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahatersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada gambar 5 kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gambar 5. Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.

#### Hukum Hooke (*Hooke's Law*)

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut: rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah penambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

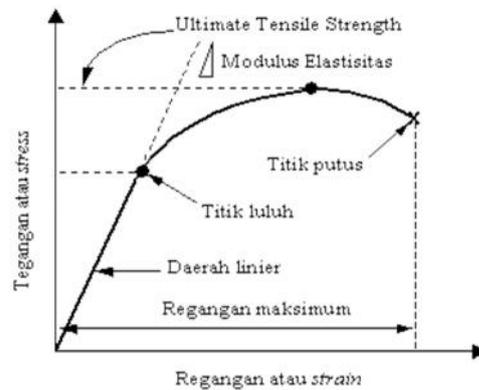
Stress:  $= F/A$       F: gaya tarikan, A: luas penampang

Strain:  $= L/L$       L: penambahan panjang,

L: panjang awal, hubungan antara stress dan strain dirumuskan:  $E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$

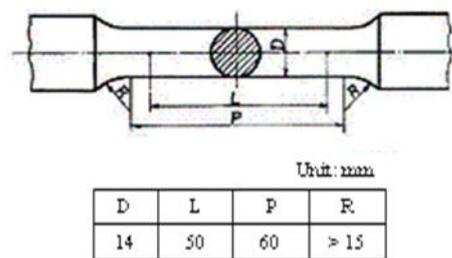
Untuk memudahkan pembahasan, gambar 5.kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan penambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan gambar 5.yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. *E* adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan ( ) dan regangan ( ) selalu tetap. *E* diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau

“*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurvaSS (*SS curve*).

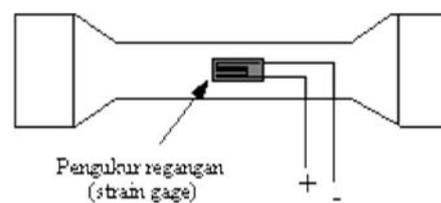


Gambar6. Kurva tegangan-regangan

Bentuk bahan yang diuji, untuk logam biasanya dibuat *spesimen* dengan dimensi seperti pada gambar 7.berikut.



Gambar 7. Dimensi spesimen uji tarik ASTM E8

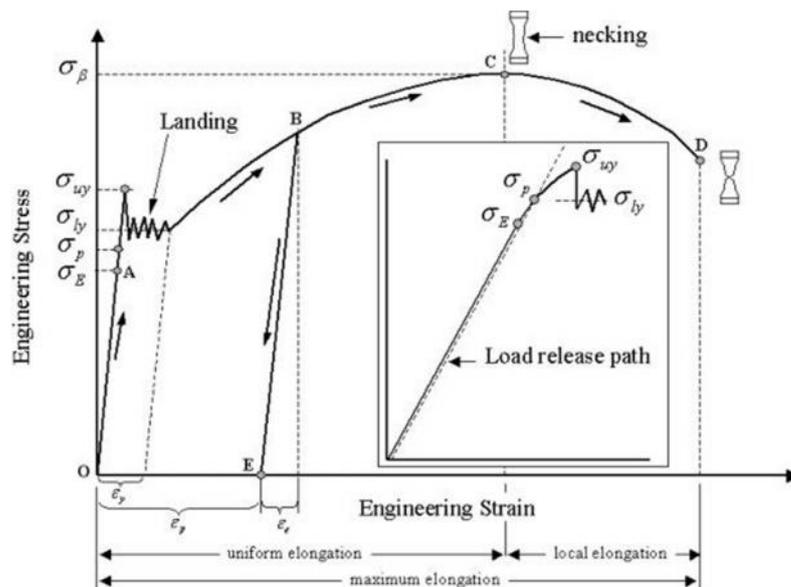


Gambar 8. Ilustrasi pengukur regangan pada spesimen

Perubahan panjang dari spesimen dideteksi lewat pengukur regangan (*strain gage*) yang ditempelkan pada spesimen seperti diilustrasikan pada gambar.7 Bila pengukur regangan ini mengalami perubahan panjang dan penampang, terjadi perubahan nilai hambatan listrik yang dibaca oleh detektor dan kemudian dikonversi Menjadi Perubahan Regangan.

### Detail Profil Uji Tarik Dan Sifat Mekanik Logam

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Profil data hasil uji tarik

Kita akan membahas istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada gambar. Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai dari titik O sampai D sesuai dengan arah panah dalam gambar (<http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/>).

Proses pengujian tarik mempunyai tujuan utama untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji adalah bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah atau dengan memberikan gaya tarik pada salah satu ujung benda dan ujung benda yang lain diikat (Dieter George E. Djaprie Sriati 2000).

Penarikan gaya terhadap bahan akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Kemungkinan ini akan diketahui melalui proses pengujian tarik. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran-butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepasnya ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Penyusunan butiran kristal logam yang diakibatkan oleh adanya penambahan volume ruang gerak dari setiap butiran dan ikatan atom yang masih memiliki gaya elektromagnetik, secara otomatis bisa memperpanjang bahan tersebut. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah grafik tegangan regangan, parameter kekuatan dan keliatan material pengujian dalam persen perpanjangan, kontraksi atau reduksi penampang patah, dan bentuk permukaan patahannya.

## **I. Uji Struktur Mikro**

Analisa mikro adalah suatu analisa mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus *metallography*. Dengan ana-

lisa mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat dipengaruhi dari mikro struktur logam dan paduannya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji. Pengamatan *metallography* dengan *mikroskop optik* dapat dibagi dua, yaitu *metallography* makro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10-100 kali dan *metallography* mikro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali. Adapun gambar alat uji foto mikro dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar10. Alat Uji Foto Mikro (*Mikroskop optik*)

Gambar diatas adalah alat uji struktur mikro, yang fungsinya untuk mengambil gambar dari spesimen yang di uji dengan ukuran 200 x perbesaran (*metallography*). Sebelum melakukan percobaan *metallography* terhadap suatu material, terlebih dahulu harus ditentukan material logam apa yang akan diuji. Sebaiknya harus ada data pembanding antara data mikro struktur yang di dapat dari percobaan dengan data mikro struktur yang sebenarnya dari sua-

tu material yang dijadikan benda uji. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam percobaan *metallography* ini adalah sebagai berikut:

#### 1. *Cutting* (Pemotongan)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap *representatif*. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya.

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, dan EDM (*Electric Discharge Machining*). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi dua yaitu teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda dan teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed diamond saw*. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang

jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses pemotongan, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

## 2. *Mounting*

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dan lain-lain. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*media mounting*).

## 3. *Grinding* (Pengamplasan)

Sampel yang baru saja dipotong, atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan *mesh*. Urutan pengamplasan harus dilakukan dari nomor *mesh* yang rendah (hingga 150 *mesh*) ke nomor *mesh* yang tinggi (180 hingga 600 *mesh*). Ukuran *grit* pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan. Hal yang harus diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemidahan geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro

sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah 450 atau 900 terhadap arah sebelumnya.

#### 4. *Polishing* (Pemolesan)

Setelah diampelas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidak teraturan sampel. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel. Tahap pemolesan dimulai dengan pemolesan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus.

#### 5. *Etching* (Etsa)

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

a. Etsa Kimia

Merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati. Contohnya antara lain: *nitrid acid* / nital (asam nitrit + alkohol 95%), *picral* (asam picric + alkohol), *ferric chloride*, *hydroflouric acid*, dan lain-lain. Perlu diingat bahwa waktu etsa jangan terlalu lama (umumnya sekitar 4-30 detik), dan setelah dietsa, segera dicuci dengan air mengalir lalu dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan alat pengering.

b. Elektro Etsa (Etsa Elektrolitik)

Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektro etsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu-pengetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk *stainless steel* karena dengan etsa kimiasusah untuk mendapatkan detil strukturnya (Yefri Chan, 2010).