

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang di pilih berdasarkan kombinasi sifat masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum di campur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun (**Gibson, 1994**). Dari campuran/gabungan dua material tersebut maka akan menghasilkan sifat mekanik dan sifat fisik yang berbeda dari material penyusunnya. Bentuk (dimensi) dan struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula terjadi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (**Prasetyo, 2006**).

##### 2.1.1 Penyusun Komposit

*Matriks* adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi (pecahan) volume terbesar (dominan) yang berfungsi sebagai pemisah serat, mentransfer tegangan keserat, dan perekat (pengikat) dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal. Bahan matriks yang digunakan harus *Ductility* lebih tinggi dari pada penguat. Memiliki modulus elastisitas (kekakuan) lebih rendah dari pada penguat. Mempunyai ikatan yang bagus antara matriks dan penguat. membentuk ikatan koheren, permukaan *matriks*/serat, menjadikan bahan lebih ringan. melindungi serat. Memisahkan serat. Melepas ikatan. Tetap stabil setelah proses manufaktur. (**Fahmi & Zainuri. M, 2011**).

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutnya : Matriks (Penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *Interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain). Secara struktur mikro, material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalan) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya, karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan penguat.

Serat/Penguat (*Reinforcement*). Salah satu bagian utama dari komposit adalah reinforcement (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

Syarat terbentuknya komposit, yaitu : adanya ikatan permukaan antara matriks dan penguat. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi.

Dalam material komposit gaya adhesi-koheisi terjadi melalui 3 cara : Interlocking antar permukaan → Ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel. Gaya elektrostatis → Ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara atom yang bermuatan (ion). Gaya vanderwalls → Ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan antar partikel.

Kualitas ikatan antar matriks dan penguat dipengaruhi oleh beberapa variable, antara lain : Ukuran partikel, rapat jenis bahan yang digunakan, fraksi volume material, komposisi material, bentuk partikel, kecepatan dan waktu pencampuran, penekanan (kompaksi), pemanasan (sintering).

Karakteristik dan sifat komposit dipengaruhi matrial penyusunnya. Interaksi antar unsur-unsur penyusun komposit yaitu serat dan matriks sangat berpengaruh terhadap kekuatan ikatan antar muka. Kekuatan ikatan antarmuka yang optimal antara matriks dan serat merupakan aspek yang penting dalam penunjukan sifat-sifat mekanik komposit (**Gibson, 1994**).

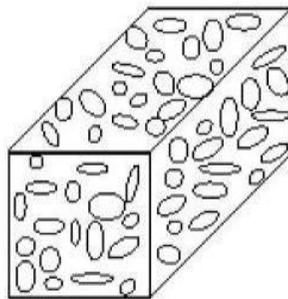
**Tabel 2.1.** Keuntungan dan kerugian dari Komposit (**Mochtar, dkk, 2007**).

NO	KELEBIHAN	KEKURANGAN
1	Berat berkurang	Biaya bertambah untuk bahan baku dan fabrikasi
2	Rasio anatar kekuatan atau rasio kekakuan dengan berat tinggi	Sifat-sifat bidang melintang lemah
3	Sifat-sifat yang mampu beradaptasi, kekuatan atau kekauan dapat beradaptasi terhadap pengaturan beban	Kekerasan rendah
4	Lebih tahan terhadap korosi	Matrik dapat menimbulkan degradasi lingkungan
5	Kehilangan sebagian sifat dasar material	Sulit dalam mengikat
6	Ongkos manufaktur rendah	Analisa sifat-sifat fisik dan mekanik untuk efisiensi damping tidak mencapai konseus
7	Konduktivitas termal atau konduktivitas listrik meningkat atau menurun	

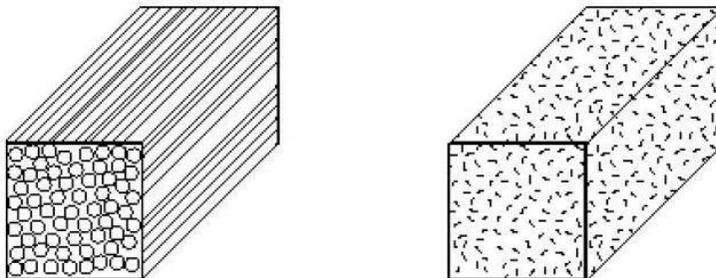
Komposit di bagi dari dua jenis material yang berbeda, yaitu pengikat matriks (pengikat) dan penguat (reinforcement). Matriks berperan sebagai media transfer ke beban penguat, menahan penyebaran retak dan melindungi penguat dari efek lingkungan serta kerusakan akibat benturan. Komposit mempunyai tiga jenis matriks,yaitu : *Polymer Matrix Composite* (PMC), *Metal Matrix Composite* (MMC),

---

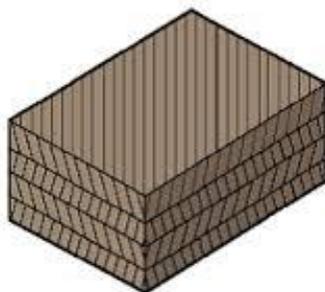
dan *Ceramic Matrix Composite* (CMC). Penguat merupakan unsur utama dalam struktur komposit yang berbahan mayoritas pembebanan yang di terima struktur komposit sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik bahan komposit seperti kekakuan, kekuatan dan sifat mekanik lainnya. Berdasarkan penguatnya di bagi menjadi tiga jenis yaitu *Particle Reinforced Composite* (PRC), *Fiber Reinforced Composite* (FRB), *Laminar Reinforced Composite* (LRC).



**Gambar 2.1** *Particle Reinforced Composite*



**Gambar 2.2** *Fiber Reinforced Composite*



**Gambar 2.3** *Laminar Reinforced Composite* (Sumber, Google)

### 2.1.2. *Metal Matrix Composite*

*Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan gabungan dua material yang diperkuat keramik berupa fiber atau partikel. Material ini dikembangkan pertama kali untuk industri pesawat, serta diikuti oleh industri lainnya. Material jenis ini mempunyai karakteristik keuletan yang tinggi, modulus elastis tinggi, sifat yang baik pada temperatur tertentu, katahanan aus baik, koefisien termal ekspansi rendah, titik lebur yang rendah serta densitas yang rendah. Material yang digunakan sebagai penguatnya antara lain fiber alumina, silicon karbide *whiskers*, dan partikel grafit. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8, memperlihatkan perbandingan kekuatan dan modulus young berbagai jenis logam dengan komposit. Nilai kekuatan modulus young komposit Al-SiC lebih tinggi dari paduan TI, baja, dan Al.

**Tabel 2.2.** Properti dari *Metal Matrix Composite* yang menggunakan berbagai tipe *reinforced*

<i>MMC type</i>	<i>Properties Strength</i>	<i>Young's modulus</i>	<i>High temperature properties</i>	<i>Wear</i>	<i>Expansion coefficient</i>	<i>Costs</i>
mineral wool: MMC	*	*	**	**	*	medium
discontinuous reinforced MMC	**	**	*	***	**	low
long fiber reinforced MMC: C fibers	**	**	**	*	***	high
other fibers	***	***	***	*	**	high

Secara prinsip yang kontinyu akan memberikan sifat mekanik yang lebih baik. Akan tetapi metode pembuatannya lebih mahal jenis *discontinuous* sehingga

---

sekarang dikembangkan komposit dengan *discontinuous reinforce*. Meskipun *discontinuous reinforce* tidak menghasilkan sifat yang sama dan cenderung lebih rendah, akan tetapi biaya yang dibutuhkan untuk metode ini relatif lebih rendah.

## 2.2. Alumunium

Alumunium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta memiliki sifat-sifat yang baik lainnya. Untuk meningkatkan sifat mekanisnya yaitu dengan menambahkan paduan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, secara satu-persatu atau bersama-sama, sehingga sifat-sifat baik lainnya meningkat seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian rendan. Material ini di pergunakan didalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi.

Alumunium mempunyai berat jenis 2,69 g/cm<sup>3</sup> dan titik leburnya 660°C. Dengan berat jenis yang rendah, alumunium sangat cocok sebagai bahan konstruksi, meskipun kekuatan dari alumunium murni agak rendah akan tetapi kekuatan itu dapat ditingkatkan dengan menambahkan unsur paduan pada aluminium tersebut (*alumunium alloy*) sehingga kekuatannya mendekati kekuatan yang dimiliki baja konstruksi, yaitu dengan menambahkan unsure paduan tembaga (Cu), silicon (Si), magnesium (Mn), nikel (Ni), dan sebagainya, yang dapat mengubah sifat-sifat mekanis alumunium.

Alumunium (Al) adalah unsur kimia dengan nomor atom 13 dan massa atom 26, 9815. Unsur ini mempunyai isotop alam : Al-27. Sebuah isomer dari Al-26 dapat meluruhkan sinar dengan waktu paruh 10<sup>5</sup> tahun. Alumunium berwarna putih keperakan, mempunyai titik lebur 659,7°C dan titik didih 2.057°C, serta berat jenisnya 2,699 gr.cm<sup>-3</sup> (pada temperatur 20°C). Termasuk dalam kelompok Boron dalam unsur kimia (Al-13) dengan massa jenis 2,7 gr.cm<sup>-3</sup>. Jari-jari atomnya adalah 117,6 pikometer (1x10<sup>-10</sup> m). Alumunium adalah unsur terbanyak ketiga yang ditemukan di bumi setelah oksigen dan silikon. Jumlahnya sekitar 7,6% dari berat kerak bumi. Aluminium mudah dilengkungkan dan dibuat mengkilat, serta larut dalam asam klorida dan asam sulfat berkonsentrasi di atas 10%, tetapi tidak larut dalam asam organik.

Alumunium ditemukan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted. Baru diakui secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1827. Sumber unsur ini tidak terdapat bebas, bijih utamanya adalah Bauksit. Penggunaan alumunium antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, fotografi serta

---

sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis (**Sudira dan Sato.1992**).

Terdapat beberapa sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik, diantaranya :

- Penghantar listrik dan panas yang baik (konduktor).
- Mudah difabrikasi.
- Ringan (besi  $\pm 8,1 \text{ gr/cm}^3$ ).
- Tahan korosi dan tidak beracun.
- Kekuatannya rendah, tetapi paduan (alloy) dari aluminium bisa meningkatkan sifat mekanisnya.

Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi bangunan dan ribuan aplikasi lainnya dimana logam yang mudah dibuat dan kuat, walau konduktivitas listriknya hanya 60% dari tembaga, tetapi aluminium bias digunakan sebagai bahan transmisi karena ringan. Aluminium murni sangat lunak dan tidak kuat, tetapi dapat dicampur dengan Tembaga, Magnesium, Silikon, Mangan, dan unsur - unsur lainnya untuk membentuk sifat-sifat yang menguntungkan. Campuran logam ini penting kegunaannya dalam konstruks mesin, komponen pesawat modern dan roket. Logam ini jika diuapkan di vakum membentuk lapisan yang memiliki reflektivitas tinggi untuk cahaya yang tampak dan radiasi panas. Lapisan ini menjaga logam dibawahnya dari proses oksidasi sehingga tidak menurunkan nilai logam yang dilapisi. Lapisan ini digunakan untuk memproteksi kaca teleskop dan masih banya kegunaan lainnya. Banyaknya penggunaan aluminium dalam kehidupan sehari-hari baik itu dalam rumah tangga maupun industri akan membuat limbah aluminium semakin banyak. Jika hal ini tidak di tangani dengan cepat maka limbah ini akan memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan, limbah aluminium dapat mencemari tanah dan juga air. Oleh karena itu perlu dilakukan daur ulang (recycle) dari limbah aluminium, hasilnya dapat digunakan dalam keperluan rumah tangga maupun dalam pembuatan material teknik. Daur ulang adalah proses untuk menjadikan suatu bahan bekas menjadi bahan baru dengan tujuan mencegah adanya sampah yang sebenarnya dapat menjadi sesuatu yang berguna mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Daur ulang adalah salah satu strategi pengelolaan sampah padat yang terdiri atas kegiatan pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian dan pembuatan produk/material bekas pakai, dan komponen utama dalam manajemen sampah modern dan bagian ketiga dalam proses hierarki sampah 3R (Reuse, Reduce, dan Recycle) (**Sudira dan Sato.1992**).

---

**Tabel 2.3.** Karakteristik Aluminium

Sifat-sifat	Alumunium murni tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20° C (sat. 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )	2.698
Titik cair (°C)	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20°-100°C(10 <sup>-6</sup> /K)	23.9
Konduktifitas panas 20°- 400°C (W/(m K)	238
Tahanan listrik 20°C ( 10 <sup>-8</sup> KΩ m)	2,69
Modulus elastisitas (Gpa)	70,5
Modulus kekakuan (Gpa)	26,0

**Sumber : ( Yuda Surya Irawan, 2013)**

## **2.2.1 Klasifikasi Penggolongan Alumunium**

### **2.2.1.1 Alumunium Murni**

Alumunium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 Mpa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium di padukan dengan logam lain.

### **2.2.1.2 Alumunium Paduan**

Secara umum penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa kristal atau granula dalam logam. Namun kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan.

### **2.2.2 Standart dan Kodifikasi Alumunium**

Pengkodean alumunium tempa berdasarkan *Internasional Alloy Designation System* adalah sebagai berikut :

- a) Seri 1000 merupakan alumunium murni dengan kandungan minimum 99,00% alumunium berdasarkan beratnya.

- b) Seri 2000 merupakan paduan dengan tembaga. Terdiri dari paduan bernomor 2010 hingga 2029.
- c) Seri 3000 merupakan paduan dengan mangan. Terdiri dari paduan bernomor 3003 hingga 3009.
- d) Seri 4000 merupakan paduan dengan silikon. Terdiri dari paduan bernomor 4030 hingga 4039.
- e) Seri 5000 merupakan paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086.
- f) Seri 6000 adalah paduan dengan silikon dan magnesium. Terdiri dari paduan nomor 6061 hingga 6069.
- g) Seri 7000 adalah paduan dengan seng. Terdiri dari paduan dengan nomor 7070 hingga 7079.
- h) Seri 8000 adalah paduan dengan lithium.

Perlu diperhatikan bahwa pengkodean aluminium untuk keperluan penempatan seperti di atas tidak berdasarkan pada komposisi paduannya, tetapi berdasarkan pada sistem pengkodean yang terdahulu, yaitu system alcoa yang menggunakan urutan 1 sampai 79 dengan dengan akhiran S, sehingga dua digit di belakang setiap kode pada pengkodean di atas diberi angka sesuai urutan alcoa terdahulu. Pengecualian ada pada paduan magnesium dan lithium.

Pengkodean untuk aluminium cor berdasarkan *Aluminium Association* adalah sebagai berikut :

- a) Seri 1xx.x adalah aluminium dengan kandungan minimal 99% aluminium.
- b) Seri 2xx.x adalah paduan dengan tembaga.
- c) Seri 3xx.x adalah paduan dengan silikon, tembaga, dan magnesium.
- d) Seri 4xx.x adalah paduan silikon.
- e) Seri 5xx.x adalah paduan dengan magnesium.
- f) Seri 7xx.x adalah paduan dengan seng.
- g) Seri 8xx.x adalah paduan dengan lithium.

Perlu diperhatikan bahwa pada digit kedua dan ketiga menunjukkan presentase aluminiumnya, sedangkan digit terakhir setelah titik adalah keterangan apakah aluminium dicor setelah dilakukan pelelehan pada produk aslinya, atau dicor segera setelah aluminium cair dengan paduan tertentu. Ditulis hanya dengan dua angka, yaitu 1 atau 0.

### **2.2.3. Sifat Mekanik dan Fisik Aluminium**

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut.

---

Alumunium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan alumunium oksida di permukaan logam alumunium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan alumunium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi alumunium.

**Tabel 2.4.** Sifat fisik alumunium

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Sifat Fisik	
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm <sup>3</sup>
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	933,47 K, 660,32 °C, 1220,58 °F
Titik didih	2792 K, 2519 °C, 4566 °F
Kalor jenis (25 °C)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik (20 °C)	28,2 nΩ m
Konduktivitas termal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian termal (25 °C)	23,1 μm/m K
Modulus Young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Mohs	2,75
Kekerasan skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan skala Brinell	245 Mpa

Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/aluminium>

### 2.3 Proses Pengecoran

Pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan bahan/bahan benda kerja yang relative mahal dimana pengendalian kualitas benda kerja dimulai sejak bahan masih dalam keadaan mentah, komposisi unsur serta kadarnya dianalisis agar diperoleh suatu sifat bahan sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang direncanakan namun dengan komposisi yang homogen serta larut dalam keadaan padat.

Untuk menghasilkan hasil cor yang berkualitas maka diperlukan pola yang berkualitas tinggi, baik dari segi konstruksi, dimensi, material pola, dan kelengkapan lainnya. Pola digunakan untuk memproduksi cetakan. Pada umumnya, dalam proses pembuatan cetakan, pasir cetak diletakan disekitar pola yang dibatasi rangka cetak kemudian pasir dipadatkan dengan cara ditumbuk sampai kepadatan tertentu. Pada lain kasus terdapat pula cetakan yang mengeras/menjadi padat sendiri karena reaksi kimia dari perekat pasir tersebut. Pada umumnya cetakan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian atas (cup) dan bagian bawah (drag) sehingga setelah pembuatan cetakan selesai pola akan dapat dicabut dengan mudah dari cetakan.

### 2.3.1 Gravity Die Casting

Pengecoran dalam cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir. Metode ini berbeda dengan pressure die casting, dimana tidak dipergunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan. Sebagai bahan cetakan terutama dipakai bahan cetakan terutama dipakai baja khusus, atau besi cor paduan. Cara ini dapat membuat coran yang mempunyai ketelitian dan kualitas tinggi. Akan tetapi biaya pembuatan cetakan adalah tinggi sehingga apabila umur cetakan logam itu dibuat panjang, baru produksi yang ekonomis mungkin dilaksanakan. Sebagai bahan coran umumnya diambil paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium atau paduan tembaga, tetapi akhir akhir ini pengecoran paduan besi yang mempunyai titik cair tinggi telah dilakukan secara giat melalui pengembangan bahan cetakan dan teknik-teknik pengecoran.

Cairan logam yang dituangkan dengan metode gravity die casting akan mengalami pendinginan yang lebih cepat. Oleh karena itu beberapa persoalan timbul yaitu bagaimana mengatur proses pembekuan. Dapat dikatakan bahwa coran yang mempunyai kualitas dan ketelitian tinggi, bias dibuat dengan jalan pengaturan komponen dan temperature logam cair, bahan, ketebalan tinggi bahan pelapis dan temperature cetakan. Selain itu, dapat ditentukan siklus operasi dengan efisiensi hasil yang tinggi. Berbagai macam sifat dari cetakan logam diperlukan, yaitu ketahanan aus yang baik, mampu mesin yang baik, pemuai termis rendah, ketahanan leleh pada temperature tinggi dan sebagainya. Perlu juga member bahan pelapis permukaan (coating) pada cetakan agar memudahkan proses pembebasan cetakan dan mengurangi keausan cetakan serta menurunkan kecepatan pendinginan logam cair sehingga terhindar dari cacat - cacat. Bahan yang dipergunakan untuk cetakan ini adalah besi cor yang mempunyai kualitas baik yang mengandung fosfor dan sedikit belerang. Kalau cetakan ini dikerjakan setelah diadakan pelunakan yaitu untuk menghilangkan tegangan, maka diperoleh cetakan logam yang mempunyai ketelitian tinggi. Umur cetakan umumnya beberapa puluh ribuan kali pengisian kalau dipakai untuk membuat coran dari besi cor. (Surdia, 2006).

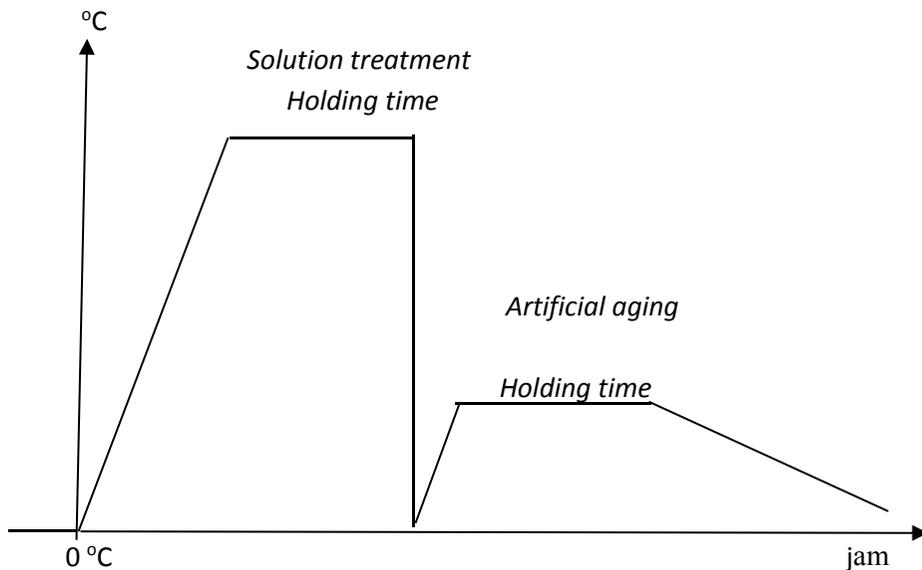
### 2.4 Abu Dasar Batubara

Abu dasar batubara (*bottom ash*) merupakan sisa hasil proses pembakaran batu bara, yang merupakan limbah meningkat setiap tahunnya, sehingga diperlukan penanggulangan, karena dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara (tekMIRA, 2010). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 5% - 15% abu dasar, sedangkan sisanya sekitar 85% - 95%. Abu dasar mempunyai partikel lebih besar dan lebih berat dari pada abu terbang, sehingga abu dasar akan

---

jatuh pada dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dengan cara di semprot dengan air untuk kemudian di buang dan dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagai pasir. Sifat kimia, fisik, dan mekanik dari abu batubara tergantung tipe batubara, asal, ukuran, Teknik pembakaran, ukuran *boiley*, proses pembuangan, dan metoda penaggulangan (Talib, 2009). Berdasarkan (CIRCA, 2010), secara umum abu batubara dapat digunakan sebagai lapisan *base* atau *sub-base* pada jalan, agregat dalam beton dan aspal, material timbunan, pengontrol es dan salju, bahan dasar klinker semen, dan reklamasi.

## 2.5 Perlakuan Panas T6 Pada Alumunium



**Gambar 2.4** Grafik waktu & temperature perlakuan panas T6

Perlakuan panas T6 untuk meningkatkan kekerasan dari paduan alumunium mempunyai 3 tahapan proses (gambar 2.8)

- a) *Hardening*.
- b) *Quenching*.
- c) *Artificial aging (precipitation heat treatment)*.

Heat Treatment ( perlakuan panas ) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada *elektrik terance* ( tungku ) pada temperature rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang

---

masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah.

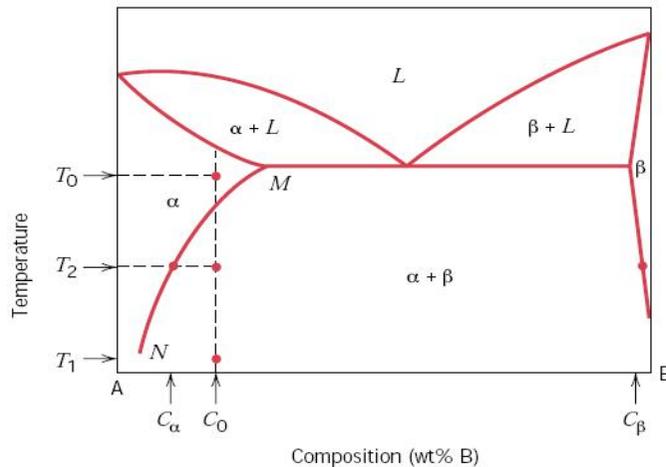
Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan - bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperature sangat menentukan.

Penemperan keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan alumunium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*). Melalui penuaan keras, logam paduan alumunium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Dahulu orang menyebut penuaan keras dengan sebutan pemuliaan atau penuaan keras karena penemperan keras pada logam paduan alumunium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja.

Paduan alumunium yang dapat ditua keraskan atau diage hardening dibedakan atas paduan alumunium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan dingin dan paduan alumunium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

### **2.5.1 Tahap Perlakuan Panas Pelarutan**

Tahap pertama dalam proses agehardening yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam alumunium dalam dapur pemanas dengan temperature 550°C - 560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (**Schonmetz,1990**). Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa - fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2.4 dimana logam paduan alumunium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai emperatur T1. Pada temperature T1 fase logam paduan alumunium akan berupa Kristal campuran  $\alpha$  dalam larutan padat. Padat temperatur T1 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



**Gambar 2.5** Diagram fase pemanasan logam paduan

### 2.5.2 Tahap Pengejutan / Pendinginan (*Quenching*)

*Quenching* merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *agehardening* logam yang di *quenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau hardenability yang relative rendah seperti logam paduan aluminium.

Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperature pemanas ( $505^\circ\text{C}$ ) ke temperature yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperature ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan pada thomogen yang terbentuk pada *olution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya.

Pada tahap *quenching* kan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperature biasa atau temperature ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperature ruang untuk membentuk *zona Guinier-Preston* (ZonaGP). *Zona Guinier-Preston* (ZonaGP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat *agregasi* atom adas atau pengelompokan atom padat. (Tata Surdia dan Shinroku Saito,1991).

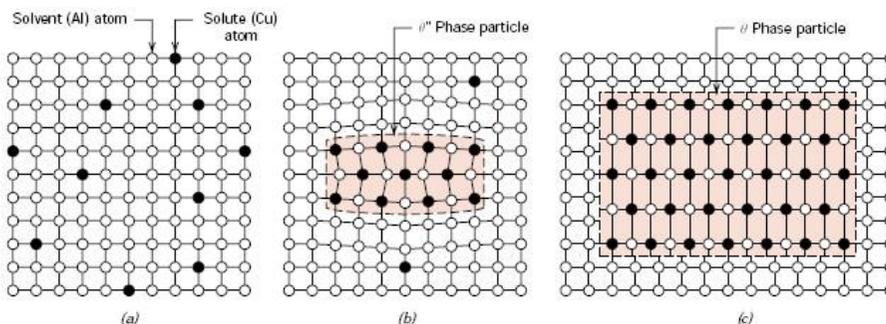
### 2.5.3 Tahap Penuaan (*Aging*)

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *agehardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *agehardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperature ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *agehardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperature antara 100°C - 200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. (Schonmetz,1990).

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperature *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperature saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), dibawah temperature pengkristalan atau diatas temperature pengkristalan logam paduan aluminium. (Schonmetz,1990). Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 200°C.

Pengambilan temperature *artificial aging* pada temperature antara 100°C-200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan.



**Gambar 2.6.** (a) *super saturated solute solution*, (b) fasa  $\theta'$  mulai terbentuk *precipitate Al-Cu*, (c) fasa keseimbangan  $\theta$  *Al-Cu*

---

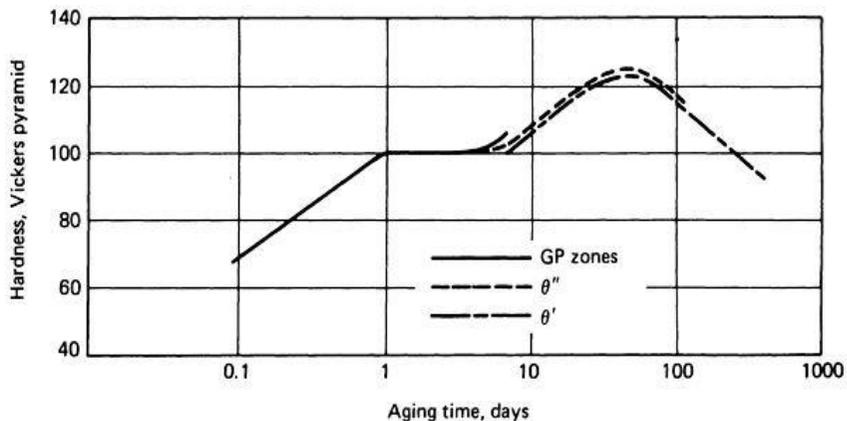
a) Fasa  $\theta'$

Kalau paduan aluminium dinaikkan temperature *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperaturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur Kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa  $\theta'$ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa  $\theta''$ . Terbentuknya fasa  $\theta''$  ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa  $\theta''$  ini berjala sangat lambat.

b) Fasa  $\theta$

Apabila temperature dinaikkan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa  $\theta''$  berubah menjadi fasa  $\theta$ . Jika fasa  $\theta$  terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak. Sementara waktu penahanan dari proses *agehardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging*.

Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati. Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *super saturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.7



**Gambar 2.7** Hubungan antara lamanya waktu (*aging*) dengan kekuatan dan kekerasan paduan aluminium (**Smith,1995**).

Dalam kurva penuaan tersebut, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *underaged*, maka mulai terbentuk zona *presipitat* zona [GP1] dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peakaged*.

Pada daerah *peakaged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona [GP2] dan fasa antara yang halus (fasa  $\theta'$ ). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan aluminium optimal. Apabila setelah mencapai *peakaged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *overaged*. Pada daerah *overaged* ini akan didapatkan fasa  $\theta$ .

## 2.6. Uji Kekerasan

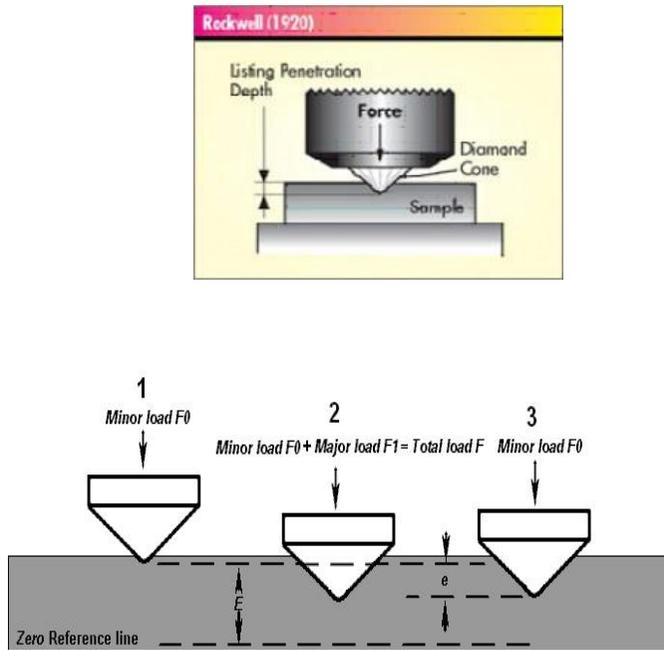
Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut ketika diaplikasikan suatu gaya, kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastitas, kekuatan tensile, *ductility*, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. yang paling umum adalah metode brinell, vickers, dan rockwell.

Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 65 skla brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan atau diberi perlakuan termal atau fisik.

### 2.6.1. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* dijelaskan pada gambar 4, yaitu pada langkah 1 benda uji ditekan oleh indenter dengan beban minor (*Minor Load* F<sub>0</sub>) setelah itu ditekan dengan beban mayor (*major Load* F<sub>1</sub>) pada langkah 2, dan pada langkah 3 beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah minor load dimana pada kondisi 3 ini indenter ditahan seperti kondisi pada saat total load F yang terlihat pada Gambar 2.8.

---



**Gambar 2.8.** Pengujian *Rockwell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

Untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* dijelaskan pada gambar 4, yaitu pada langkah 1 benda uji ditekan oleh indenter dengan beban minor (*Minor Load F0*) setelah itu ditekan dengan beban mayor (*major Load F1*) pada langkah 2, dan pada langkah 3 beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah minor load dimana pada kondisi 3 ini indenter ditahan seperti kondisi pada saat total load  $F$  yang terlihat. Besarnya *minor load* maupun *major load* tergantung dari jenis material yang akan di uji.

Dibawah ini merupakan rumus cara mencari besarnya kekerasan dengan metode *Rockwell*.

$$HR = E - e$$

Dimana :

F0 = Beban Minor(*Minor Load*) (kgf).

F1 = Beban Mayor(*Major Load*) (kgf).

F = Total beban (kgf).

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002 mm.

E = Jarak antara indenter saat diberi minor load dan zero reference line yang untuk tiap jenis indenter berbeda-beda.

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode *hardness*.

Tabel *Rockwell* berikut merupakan skala yang dipakai dalam pengujian *Rockwell* skala dan range uji dalam skala *Rockwell*.

**Tabel 2.5. Rockwell Hardness Scales**

<b>Scale</b>	<b>Indentor</b>	<b>F0 (kgf)</b>	<b>F1 (kgf)</b>	<b>F (kgf)</b>	<b>E</b>	<b>Jenis Material Uji</b>
<b>A</b>	<i>Diamond cone</i>	10	50	60	100	<i>Extremely hard materials, tugsen carbides, dll</i>
<b>B</b>	<i>1/16" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll</i>
<b>C</b>	<i>Diamond cone</i>	10	140	150	100	<i>Hardened steels, hardened and tempered alloys</i>

---

<b>D</b>	<i>Diamond cone</i>	10	90	100	100	<i>Annealed kuningan dan tembaga</i>
<b>E</b>	<i>1/8" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Beryllium copper, phosphor bronze, dll</i>
<b>F</b>	<i>1/16" steel ball</i>	10	50	60	130	<i>Aluminium sheet</i>
<b>G</b>	<i>1/16" steel ball</i>	10	140	150	130	<i>Cast iron, aluminium alloys</i>
<b>H</b>	<i>1/8" steel ball</i>	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah
<b>K</b>	<i>1/8" steel ball</i>	10	140	150	130	Sama dengan H scale
<b>L</b>	<i>1/4" steel ball</i>	10	50	60	130	Sama dengan H scale
<b>M</b>	<i>1/4" steel ball</i>	10	90	100	130	Sama dengan H scale
<b>P</b>	<i>1/4" steel ball</i>	10	140	150	130	Sama dengan H scale
<b>R</b>	<i>1/2" steel ball</i>	10	50	60	130	Sama dengan H scale
<b>S</b>	<i>1/2" steel ball</i>	10	90	100	130	Sama dengan H scale

Kesalahan dalam pengujian kekerasan *rockwell* disebabkan beberapa faktor yaitu :

- a) Benda Uji.
- b) Operator.
- c) Mesin Uji *Rockwell*.

Pengujian kekerasan benda dengan metode *rockwell* memiliki beberapa kelebihan antara lain :

- a) Dapat digunakan untuk bahan yang sangat keras.
- b) Dapat dipakai untuk batu gerinda sampai plastik.
- c) Cocok untuk semua material yang keras dan lunak.

Selain memiliki kelebihan Pengujian kekerasan benda dengan metode *rockwell* memiliki beberapa kekurangan antara lain :

- a) Tingkat ketelitian rendah.
- b) Tidak stabil apabila terkena guncangan.
- c) Penekanan bebannya tidak praktis.

## 2.7. Uji Tarik

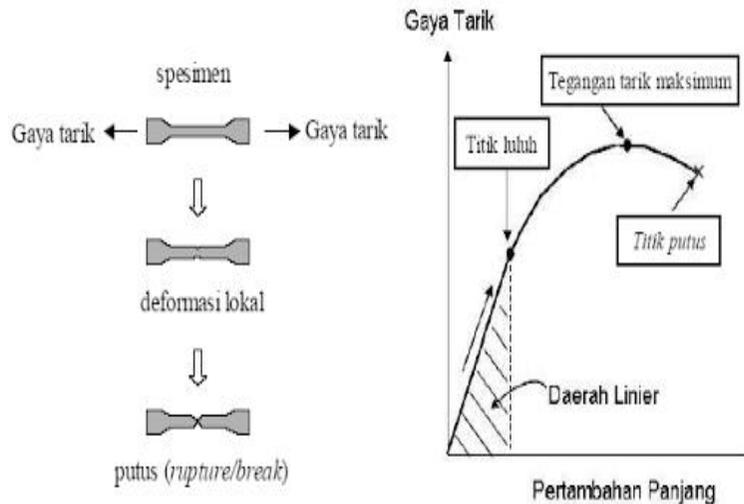
Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [Askeland, 1985]. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut 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.

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus

---

menarik suatu bahan sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



**Gambar 2.9** Gambaran singkat uji tarik dan datanya.

Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah grafik tegangan regangan, parameter kekuatan dan keliatan material pengujian dalam prosen perpanjangan, kontraksi atau reduksi penampang patah, dan bentuk permukaan patahannya. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula-mula benda uji. (George E. 1996: 298).

Tegangan dirumuskan :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan nominal (kg/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Gaya tarik aksial (kg)

$A_0$  = Luas penampang normal (mm<sup>2</sup>)

Regangan dirumuskan :

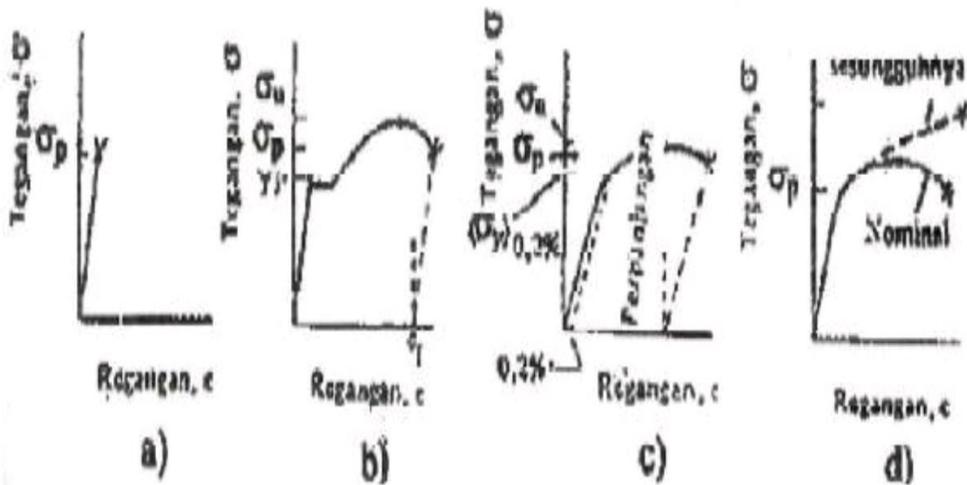
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = Regangan (%)

$\Delta L$  = Perubahan panjang (mm)

$L_0$  = Panjang awal benda uji (mm)



**Gambar 2.10** Diagram tegangan dan regangan (a). Bahan tidak ulet, tidak ada deformasi plastis, (b). Bahan ulet dengan titik luluh. (c). Bahan ulet tanpa titik luluh yang jelas. (d). Kurva tegangan. (George E. 1996: 299).

### 2.7.1 Kekuatan Tarik

Definisi kekuatan tarik adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan, kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile*

*Strength/ UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji :

$$Su = Pmax/Ao$$

Keterangan :

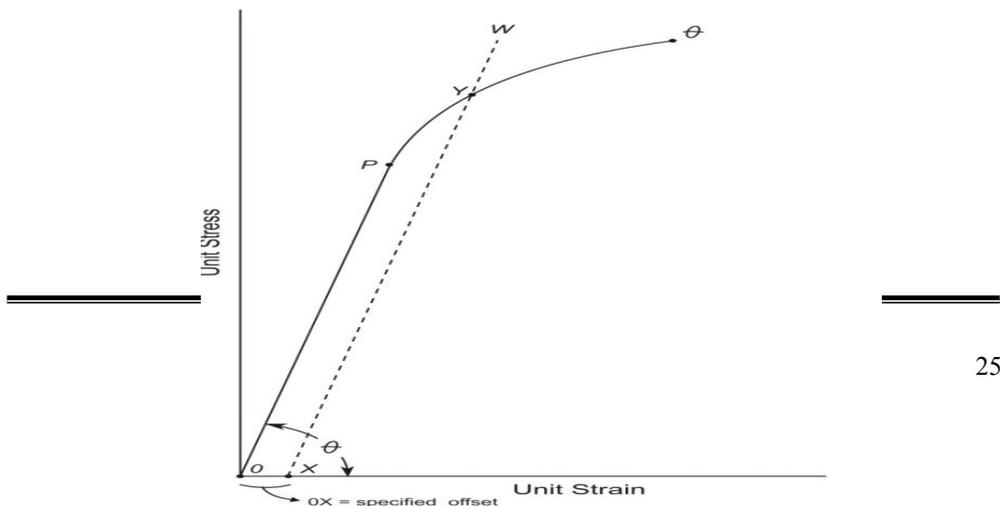
$Su$  = Kuat tarik ( $kg/mm^2$ )

$Pmax$  = beban tarik maximum (kg)

$Ao$  = luas penampang batang uji mula-mula ( $mm^2$ )

UTS/kekuatan tarik ini sering dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan - perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini (sekarang ada kecenderungan untuk mendasarkan perhitungan kekuatan pada dasar yang lebih rasional yaitu yield point/yield strength).

Kekuatan elastik menyatakan kemampuan untuk menerima beban/tegangan tanpa berakibat terjadinya deformasi plastik (perubahan bentuk yang permanen). Kekuatan elastis ini ditunjukkan oleh titik yield (besarnya tegangan yang mengakibatkan terjadinya yield). Untuk logam-logam yang ulet memperlihatkan terjadinya yield dengan jelas, tentu batas ini mudah ditentukan, tetapi untuk logam – logam yang lebih getas dimana yield dapat dicari dengan menggunakan offset method. Harga yang diperoleh dengan cara ini dinamakan offset yield strength (kekuatan luluh). Dalam hal ini yield dianggap mulai terjadi bila sudah timbul regangan plastik sebesar 0,2 % atau 0,35 % (tergantung kesempatan). Secara grafik, offset yield strength dapat dicari dengan menarik garis sejajar dengan garis elastik dari titik regangan 0,2 % atau 0,35 % hingga memotong kurva. Titik perpotongan ini menunjukkan yield. (lihat gambar 2.12).



**Gambar 2.11** Penentuan yield dengan offset method

Kekuatan elastis ini penting sekali dalam suatu perancangan karena tegangan yang bekerja pada suatu bagian tidak boleh melebihi yield point/strength dari bahan, supaya tidak terjadi deformasi plastis