

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2. Aluminium

2.1 Sejarah Aluminium

Aluminium diambil dari bahasa Latin: *alumen*, *alum*. Orang-orang Yunani dan Romawi kuno menggunakan *alum* sebagai cairan penutup pori-pori dan bahan penajam proses pewarnaan. Pada tahun 1787, Lavoisier menebak bahwa unsur ini adalah Oksida logam yang belum ditemukan. Pada tahun 1761, de Morveau mengajukan nama *alumine* untuk basa *alum*. Pada tahun 1827, Wohler disebut sebagai ilmuwan yang berhasil mengisolasi logam ini. Pada tahun 1807, Davy memberikan proposal untuk menamakan logam ini Aluminium, walau pada akhirnya setuju untuk menggantinya dengan *Aluminium*. Nama yang terakhir ini sama dengan nama banyak unsur lainnya yang berakhir dengan “ium” [Callister, 2007].

Pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara Industri tahun 1886, Paul Heroul di Prancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah baja dan besi, yang tertinggi diantara logam *non ferrous*. Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan

penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat yang baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Material ini sangat banyak dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi, peralatan rumah tangga dan sebagainya (Surdia, T. dan Saito, S., 1992).

Aluminium adalah logam yang terbanyak di dunia. Logam 8 % dari bagian pada kerak bumi. Boleh dikatakan setiap negara mempunyai persediaan bahan yang mengandung aluminium, tetapi proses untuk mendapatkan aluminium dari kebanyakan bahan itu masih belum ekonomis. Aluminium pertama kali dibuat dalam bentuk murni oleh Oersted, pada tahun 1825, yang memanaskan ammonium klorida NH_4Cl dengan amalgam kalium-raksa (Surdia, T. dan Saito, S., 1992).

Tahun 1854, Henri Sainte-Claire Deville membuat aluminium dari natrium-aluminium klorida dengan jalan memanaskan dengan logam natrium. Proses ini beroperasi selama 35 tahun dan logamnya dijual dengan harga \$ 220 per kilogram. Tahun 1886 Charles Hall mulai memproduksi aluminium dengan skala besar seperti sekarang, yaitu melalui elektrolisis alumina di dalam kriolit (Na_3AlF_6) lebur. Pada tahun itu pula, Paul Heroult mendapat hak paten dari Prancis untuk proses serupa dengan proses Hall. Pada tahun 1893, produksi aluminium menurut cara Hall ini sudah sedemikian meningkat, sehingga harganya sudah jatuh menjadi \$ 4,40 per kilogram (Ir. Tata Surdia M.S. Met. E). Industri ini berkembang dengan baik, berdasarkan suatu pasaran yang sehat dan berkembang atas dasar penelitian mengenai sifat-sifat aluminium dan cara-cara pemakaian yang ekonomis bagi bahan itu (Austin, G.T., 1990).

2.2 Sifat-sifat Aluminium

Semua sifat-sifat dasar aluminium, tentu saja, dipengaruhi oleh efek dari berbagai elemen aluminium paduan. Unsur-unsur paduan utama dalam pengecoran aluminium paduan dasar adalah tembaga, silikon, magnesium, seng, kromium, mangan, timah dan titanium. Aluminium dasar paduan mungkin secara umum akan ditandai sebagai sistem eutektik, mengandung bahan intermetalik atau unsur-unsur sebagai fase berlebih. Komposisi unsur paduan aluminium akan menaikkan dan meningkatkan sifat mekanik bahan paduan hasil pengecoran industri kecil. Tingkat penyebaran unsur yang lebih merata juga menyebabkan keseragaman dan kekerasan permukaan akan lebih baik (Aris, 2014). Teknik untuk meningkatkan sifat mekanis (mechanical properties) material sekrup aluminium dilakukan dengan metode perlakuan logam cair (solution treatment) dengan cara degassing dengan alat rotary degasser yaitu metoda yang digunakan untuk mengeluarkan gas H₂ yang terjadi pada saat aluminium dilebur (Aris, 2011). Memungkin juga perlakuan panas solution heat treatment 5050C pada pembentukan material Aluminium dapat meningkatkan kekerasan (Fuad, 2010). Dalam pembuatan material yang berbahan limbah Aluminium seperti prototipe piston dengan penambahan silikon karbida (SiC) dan magnesium menggunakan metode stir casting dan squeeze casting (Radimin, 2014).

Aluminium telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminium banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis. Adapun sifat-sifat aluminium antara lain sebagai berikut:

Aluminium telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminium banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis. Adapun sifat-sifat aluminium antara lain sebagai berikut[Kalpakjian, 1985] :

1. Ringan

Memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.

2. Tahan terhadap korosi

Sifatnya durabel sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.

3. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.

4. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

5. Konduktor panas

Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.

6. Memiliki ketangguhan yang baik

Dalam keadaan dingin dan tidak seperti logam lainnya yang menjadi getas bila didinginkan. Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada transportasi LNG dimana suhu gas cair LNG mencapai dibawah -150°C .

7. Mampu diproses ulang-guna

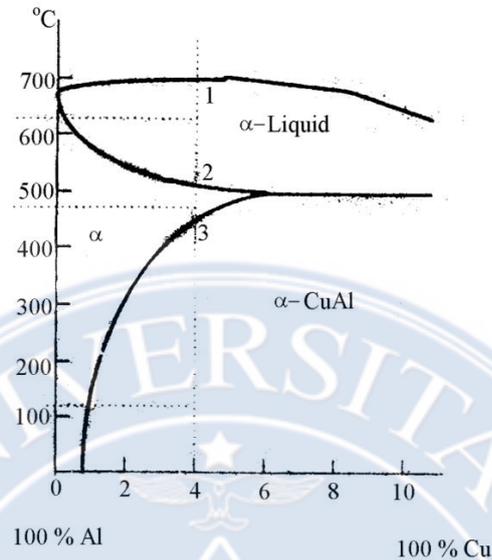
Mendaur ulang kembali melalui proses peleburan dan selanjutnya dibentuk menjadi produk seperti yang diinginkan. Proses ulang-guna ini dapat menghemat energi, modal dan bahan baku yang berharga.

- 1) Dapat diproses ulang.
- 2) Menarik.

2.3 Perlakuan Panas Aluminium Paduan

Perlakuan panas pada aluminium paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fase tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan diteruskan dengan pendinginan cepat hingga tidak sempat berubah ke fase lain. Jika bahan tadi dibiarkan untuk jangka waktu tertentu maka terjadilah proses penuaan (*aging*). Perubahan akan terjadi berupa presipitasi (pengendapan) fase kedua yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya klaster atom yang menjadi awal dari presipitat. Presipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* yang disebut *natural aging*. Jika setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga di bawah temperatur solvus (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara disebut proses penuaan

buatan (*artificial aging*). Diagram fasa perubahan mikrostruktur paduan Al-Cu dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.1 Diagram fasa perubahan mikrostruktur paduan Al-Cu.

(Sumber: Callister, 2007)

Proses dari pemanasan awal hingga pendinginan cepat disebut proses perlakuan pelarutan (*solution treatment*), dan proses sesudahnya disebut proses perlakuan pengendapan (*precipitation treatment*).

2.3.1 Mekanisme Pengerasan

Untuk menjelaskan mekanisme terjadinya pengerasan, sebagai contoh diambil untuk diagram fase Al-Cu. Dari diagram tampak bahwa kelarutan Cu dalam Al menurun dengan menurunnya temperatur. Suatu paduan dengan 4 % Cu mulai membeku di titik 1 dengan membentuk dendrit larutan padat α . Dan pada titik 2 seluruhnya sudah membeku menjadi larutan padat α dengan 4 % Cu. Pada titik 3 kelarutan Cu dalam Al mencapai batas jenuhnya, bila temperaturnya diturunkan akan ada Cu yang keluar dari larutan padat α berupa CuAl₂. Makin

rendah temperaturnya makin banyak Cu-Al yang keluar. Pada gambar struktur mikro Al-Cu tampak partikel CuAl tersebar didalam matriks α . [Fuad, 2010]

Dengan pemanasan kembali sampai diatas garis solvus (titik 3) semua Cu larut kembali di dalam α . Dengan pendinginan cepat (*quench*) Cu tidak sempat keluar dari α . Pada suhu kamar struktur masih tetap berupa larutan padat α fase tunggal Sifatnyapun masih belum berubah. Masih tetap lunak dan sedikit ulet. Dalam keadaan ini larutan dikatakan sebagai larutan yang lewat jenuh karena mengandung *solute* yang melampaui batas jenisnya untuk temperatur itu. Setelah beberapa saat larutan yang lewat jenuh ini akan mengalami perubahan kekerasan dan kekuatan. Menjadi lebih kuat dan keras, tetapi struktur mikro tidak tampak mengalami perubahan.[Aris, 2011]

Penguatan ini terjadi karena timbulnya partikel CuAl₂ (fase θ) yang berpresipitasi di dalam kristal α . Presipitat ini sangat kecil tidak tampak di mikroskop (*submicroscopic*) dan akan menyebabkan terjadinya tegangan pada lattis kristal α di sekitar presipitat ini . Karena presipitat tersebar merata didalam lattis kristal. Maka dapat dikatakan seluruh lattis menjadi tegang mengakibatkan kekuatan dan kekerasan menjadi lebih tinggi.

Aging dapat dilakukan dengan membiarkan larutan lewat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu. Dinamakan *natural aging* atau dengan memanaskan kembali larutan lewat jenuh itu ke temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat. Dinamakan *artificial aging* Bila *aging* temperatur terlalu tinggi dan atau *aging time* terlalu panjang maka partikel yang terjadi akan terlalu besar (sudah mikroskopik) sehingga efek

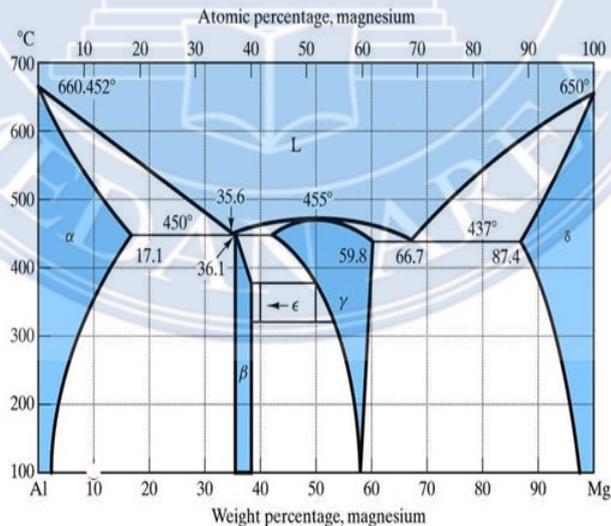
penguatannya akan menurun bahkan menghilang sama sekali, dan ini dinamakan *over aged*. [Fuad, 2010]

Proses *precipitation hardening* atau *hardening* dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

1. *Solution treatment*, yaitu memanaskan paduan hingga diatas solvus line.
2. Mendinginkan kembali dengan cepat (*quenching*)
3. *Aging*, yaitu menahan pada suatu temperatur tertentu (temperatur kamar atau temperatur dibawah *solvus line*) selang waktu tertentu.

Paduan Aluminium lainnya yang dapat di perlakukan panas sebagaimana diagram fasa di bawah ini:

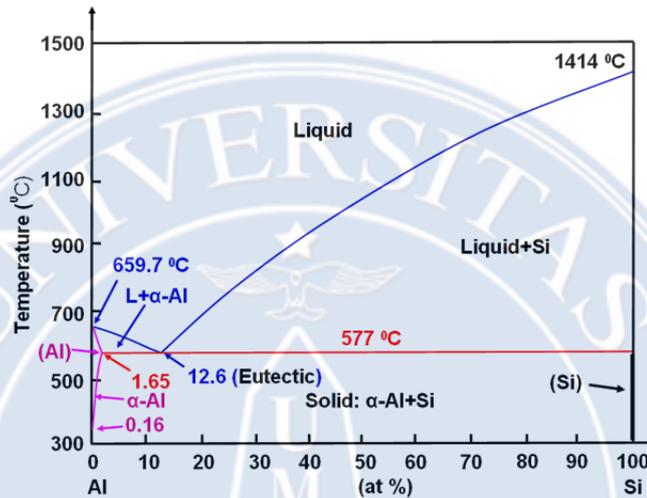
1. Paduan Al-Mg dengan kadar Mg kurang dari 17,1 % termasuk yang *heat treatable* karena jika dipanaskan di atas garis solvus mampu mencapai fasa tunggal. Diagram fasa paduan Al-Mg dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram fasa paduan Al-Mg.

(Sumber: Kalpakjian, 1985)

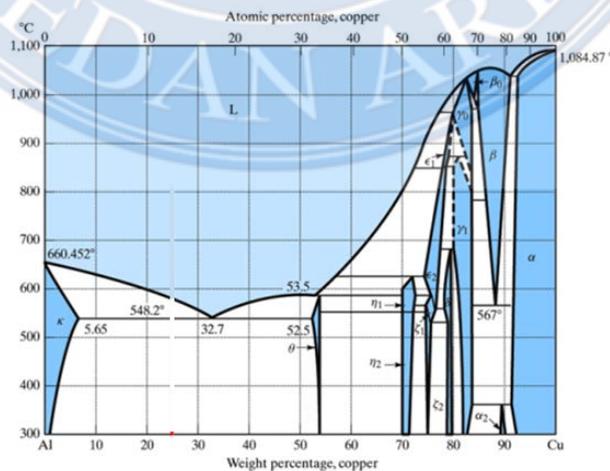
1. Paduan Al-Si masuk kategori *non heat treatable*, tetapi untuk paduan Al-Si dengan kadar Si kurang dari 1,6 sebagaimana diagram fasa di bawah ini masih memungkinkan Al-Si mencapai fasa tunggal jika dipanaskan di atas garis solvus. Berarti memungkinkan untuk di *heat treatment*. Diagram fasa paduan Al-Si dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 Diagram fasa paduan Al-Si.

(Sumber: Callister, 2007)

2. Paduan Al-Cu dengan kadar Cu kurang dari 5,65 % juga *heat treatable*. Diagram fasa paduan Al-Si dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram fasa paduan Al-Cu.

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 4R (Reduce, Reuse, Recycle, and Replace).

Material yang bisa didaur ulang terdiri dari sampah kaca, plastik, kertas, logam, tekstil, dan barang elektronik. Meskipun mirip, proses pembuatan kompos yang umumnya menggunakan sampah biomassa yang bisa didegradasi oleh alam, tidak dikategorikan sebagai proses daur ulang. Daur ulang lebih difokuskan kepada sampah yang tidak bisa didegradasi oleh alam secara alami demi pengurangan kerusakan lahan. Secara garis besar, daur ulang adalah proses pengumpulan sampah, penyortiran, pembersihan, dan pemrosesan material baru untuk proses produksi.

Pada pemahaman yang terbatas, proses daur ulang harus menghasilkan barang yang mirip dengan barang aslinya dengan material yang sama, contohnya kertas bekas harus menjadi kertas dengan kualitas yang sama, atau busa polistirena bekas harus menjadi polistirena dengan kualitas yang sama. Seringkali, hal ini sulit dilakukan karena lebih mahal dibandingkan dengan proses pembuatan dengan bahan yang baru. Jadi, daur ulang adalah proses penggunaan kembali

material menjadi produk yang berbeda. Bentuk lain dari daur ulang adalah ekstraksi material berharga dari sampah, seperti emas dari prosesor komputer, timah hitam dari baterai, atau ekstraksi material yang berbahaya bagi lingkungan, seperti merkuri.

Daur ulang adalah sesuatu yang luar biasa yang bisa didapatkan dari sampah. Proses daur ulang aluminium dapat menghemat 95% energi dan mengurangi polusi udara sebanyak 95% jika dibandingkan dengan ekstraksi aluminium dari tambang hingga prosesnya di pabrik. Penghematan yang cukup besar pada energi juga didapat dengan mendaur ulang kertas, logam, kaca, dan plastik.

Pada proses peleburan, mula-mula sampah kemasan aluminium foil dimasukkan secara bertahap yaitu kira-kira 50% dari kapasitas tungku. Selanjutnya masukkan greyhon (bahan bakar) yang dibungkus dengan grenjeng (kertas timah rokok) dan dinyalakan apinya. Ketika api mulai menyala greyhon terus ditambahkan hingga api membesar. Setelah itu semua bahan utama dan anfanan (barang rongsokan) aluminium dimasukkan sampai tungku penuh. Bungkus aluminium foil terus diaduk dan ditekan untuk membantu mempercepat pencairan.

Aluminium daur ulang adalah proses di mana potongan aluminium dapat digunakan kembali dalam produk setelah produksi awal. Proses ini hanya melibatkan kembali melelehkan logam, yang jauh lebih murah dan energi intensif daripada menciptakan aluminium baru melalui elektrolisis dari aluminium oksida (Al_2O_3), yang pertama-tama harus ditambang dari bauksit bijih dan kemudian disempurnakan dengan menggunakan proses Bayer. Recycling aluminium memo

membutuhkan hanya 5% dari energi yang digunakan untuk membuat aluminium baru. Untuk alasan ini, sekitar 31% dari semua aluminium yang diproduksi di Amerika Serikat berasal dari daur ulang.[Suparjo, 2011]



Gambar 2.5 Kerusakan pada velg

Merupakan tujuan terpenting dalam pengembangan material adalah menentukan apakah struktur dan sifat-sifat material sudah optimum agar daya tahan terhadap korosi dan keausan dicapai maksimum. Permasalahan yang dihadapi oleh industri kecil pengecoran yang ada sekarang ini adalah penggunaan bahan daur ulang aluminium yang kurang berkualitas seperti kaleng, panci dan alat-alat rumah tangga lainnya.

Untuk produk industri kecil yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi seperti sendok, hiasan dan berbagai perlengkapan rumah tangga lainnya, material daur ulang jenis ini tidak bermasalah. Namun untuk produk komponen yang mendapat beban dinamis seperti *pulley*, kopling, atau baling-baling, maka material daur ulang jenis ini akan menghasilkan produk yang kurang layak, karena komposisi materialnya hanya berupa aluminium murni yang memiliki sifat

mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan paduan aluminium. Untuk membantu permasalahan yang dihadapi oleh industri kecil inilah, maka pemanfaatan material limbah pelak aluminium yang akan didaur ulang memiliki sifat mekanis yang lebih baik akan dihasilkan produk yang berkualitas dengan harga yang bersaing dengan produk sejenis. Bertolak dari masalah tersebut maka, dikembangkanlah inovasi material cor yang berkualitas dan murah.

Salah satu material daur ulang yang mudah dan banyak persediannya adalah pelak bekas. Kasus kerusakan pada suku cadang ini yang sering ditemui pada alat transportasi selama ini adalah patah atau tak seimbang. Keretakan juga sering terjadi karena kondisi jalan atau beban yang melebihi kapasitas. Hal inilah yang menyebabkan pelak perlu dilakukan penggantian agar aman dipakai.

Tabel 2.1 Komposisi Velg motor memiliki komposisi bahan di buat dengan menggunakan proses metal forging(<http://jejakmetalurgis.>)

| <i>Komposisi</i> | <i>Presentase (%)</i> |
|-------------------------|------------------------------|
| Al (aluminium) | 92,70 |
| Cu (Tembaga) | 2,00 |
| Fe (Besi) | 0,80 |
| Mg (Magnesium) | 1,00 |
| Ni (Nikel) | 1,00 |
| Si (Silikon) | 0,80 |
| Zn (seng) | 0,30 |

Terdapat juga sumber aluminium daur ulang termasuk pesawat terbang, mobil, sepeda, kapal, komputer, peralatan masak, kulkas, dll, dan banyak produk lainnya yang memerlukan bahan ringan yang kuat, atau bahan dengan tinggi konduktivitas termal. Seperti daur ulang tidak merusak struktur logam,

aluminium dapat didaur-ulang tanpa batas dan masih dapat digunakan untuk memproduksi produk yang aluminium baru bisa digunakan.

Daur ulang aluminium biasanya menghasilkan penghematan biaya signifikan atas produksi aluminium baru bahkan ketika biaya pengumpulan, pemisahan dan daur ulang diperhitungkan. Selama jangka panjang, bahkan lebih besar penghematan nasional yang dibuat ketika pengurangan di ibukota biaya yang terkait dengan tempat pembuangan sampah, tambang dan internasional pengiriman bahan baku aluminium yang bisa di hemat.

Manfaat lingkungan aluminium daur ulang juga besar. Hanya sekitar 5% dari CO₂ yang dihasilkan selama proses daur ulang dibandingkan dengan memproduksi aluminium mentah (dan bahkan lebih sedikit persentase ketika mempertimbangkan siklus lengkap pertambangan dan pengangkutan aluminium). Selain itu, buka-potong pertambangan yang paling sering digunakan untuk mendapatkan bijih aluminium, yang menghancurkan bagian besar dari alam dunia tanah. Menghasilkan dapat dari aluminium daur ulang membutuhkan energi 95% lebih sedikit daripada itu akan menghasilkan dapat dari bahan baru [George, 2003].

Apabila telah terjadi pencairan logam aluminium kemudian kotoran yang mengapung dalam bentuk terak dibuang memakai centong. Penuangan logam cair Aluminium ke cetakan baja juga dilakukan menggunakan centong. Pembekuan logam cair dengan udara terbuka sampai menjadi dingin dan aman dipegang berlangsung selama 10-12 jam. Setelah beberapa saat logam cair membeku (disebut coran) yang selanjutnya dikeluarkan dari dalam cetakan. Coran tersebut

kemudian dipreparasi untuk dianalisa mikrostrukturnya menggunakan alat mikroskop optik atau diuji kekerasannya menggunakan alat micro hardness tester.

Mutu hasil proses peleburan logam aluminium dapat diketahui dengan cara menganalisa mikrostrukturnya yaitu melalui teknik metalografi atau mikroskopi. Keadaan mikrostruktur, dalam hal ini grain size (ukuran butir) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis logam. Pengerjaan metalografi terhadap coran logam akan menampilkan mikrostruktur yang membantu interpretasi kualitatif maupun kuantitatif.

Tahapan pekerjaan yang dilakukan untuk menganalisa mikrostruktur coran logam seperti paduan Aluminium meliputi Sampling-cutting sectioning (pencuplikan), coarse grinding (pengasahan kasar), mounting (penanaman), fine grinding (pengasahan halus), rough polishing (pemolesan kasar), pemolesan akhir, selanjutnya coran Aluminium dietsa dengan reagen dari campuran beberapa bahan kimia antara lain: 10 mL HCl + 30 mL HN03 + 5 gr FeCl3 + 20 ml H2O[George, 2003].

Beberapa metode pengetsaan yang umum dilakukan antara lain adalah metode optik, elektrokimia (kimia), dan fisika. Etching dengan metode kimia kiranya yang paling praktis dan dilakukan dalam percobaan ini. Dalam teknik etching larutan pengetsa bereaksi dengan permukaan cuplikan tanpa menggunakan arus listrik. Peristiwa etching metode ini berlangsung oleh adanya pelarutan selektif sesuai dengan karakteristik elektrokimia yang dimiliki oleh masing-masing area permukaan bahan. Selama pengetsaan, ion-ion positif dari logam meninggalkan permukaan bahan uji lalu berdifusi kedalam elektrolit ekuivalen dengan sejumlah elektron yang terdapat dalam bahan tersebut. Dalam

proses etching secara langsung, apabila ion metal tersebut meninggalkan permukaan bahan lalu bereaksi dengan ion-ion non logam dalam elektrolit sehingga membentuk senyawa tak larut, maka lapisan presipitasi akan terbentuk menempel pada permukaan bahan dengan berbagai jenis ketebalan. Ketebalan lapisan ini sebagai fungsi dari komposisi dan orientasi struktur mikro yang lepas kedalam larutan. Lapisan ini dapat menampilkan interferensi corak warna disebabkan karena variasi ketebalan lapisan dan ditentukan oleh mikrostruktur logam yang ada dibawahnya. Cuplikan yang merupakan potongan-potongan bagian dalam aluminium hasil tuang diamati dengan Optical Microscopy lalu dilakukan pemotretan. Pengamatan pada foto mikrostruktur, secara umum memperlihatkan adanya bentuk matrik induk yang bewarna terang dan partikel-partikel bewarna gelap yang mengarah kebatas butir. Jumlah partikel yang bewarna gelap pada benda hasil tuang umumnya tergantung pada kecepatan laju pendinginan. Semakin cepat laju pendinginan, maka kecepatan pertumbuhan butir akan lebih rendah dari pada kecepatan nukleasi, sehingga butir yang dihasilkan menjadi halus sehingga kekerasan dan kekuatan tarik akan tinggi [George, 2003].

Berdasarkan pengalaman teknis metalografi maka untuk mendapatkan tampilan permukaan logam yang kontras khususnya batas antar butir, faktor yang menentukan pada prinsipnya adalah keterampilan teknisi dalam preparasi sampel mulai dari Pencuplikan sampai Pemolesan. Selanjutnya, pada saat pengetesan maka faktor yang menentukan keberhasilan adalah pengetahuan dalam memilih formula etsa berikut metodenya yang tepat. Faktor lain yang juga cukup penting adalah kemampuan dalam mengaplikasikan mikroskop terutama teknik

pengaturan cahaya serta fokus gambar batas antar butir logam[<http://alumni-ut.com/peleburan-aluminium-foil-eks-kemasan-obat-dan-minuman-instan/>]

2.3.2 Manfaat Daur Ulang Aluminium

Plastik, kertas, logam atau kain bermanfaat untuk didaur ulang dengan berbagai cara. Daur ulang Aluminium bukanlah proses yang baru ditemukan dan merupakan praktek dari awal abad ke-20. Produksi Aluminium telah melibatkan elektrolisis dari Aluminium Oksida yang diperoleh dari biji bauksit. Biji mentah ini disempurnakan melalui proses Bayer sebelum dielektrolisis ini adalah memerlukan proses sejumlah besar energy dan karenanya relatif mahal. Aluminium adalah salah satu bahan yang digunakan biasa dalam kehidupan sehari-hari seperti alat masak dan tempat minuman atau makanan, pesawat dan sebagainya.

Oleh karenanya jika proses pembuatan Aluminium menggunakan bahan limbah yang dapat diproses kembali, akan menghemat pemakaian energi dalam pengolahan tingkat lanjut. Untuk kelestarian lingkungan lebih dapat dikurangi kerusakannya jika menggunakan bahan daur ulang limbah botol minuman yang terbuat dari Aluminium.

Lebih baik kita mengumpulkan aluminium skrap, seperti kaleng minuman dan menjualnya sesuai dengan harga yang layak dari pada jika membuang Aluminium bekas. Berbeda dengan plastic dan bahan limbah yang lain, Aluminium skrap ini tidak perlu dicuci dan dibersihkan dalam pengolahan, sehingga dapat mengurangi biaya proses dan tidak mencemari lingkungan.

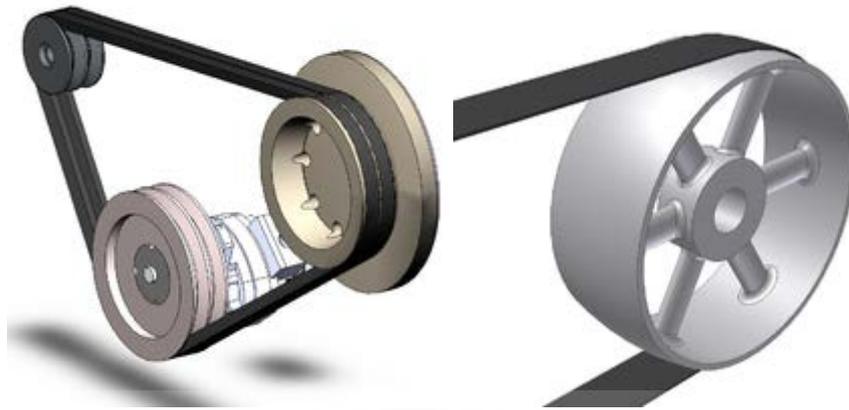
2.4. Manfaat Daur Ulang Limbah Aluminium di permesinan

2.4.1 Pembuatan Puli (Pulley) berbahan limbah Aluminium

Umumnya sebuah belt dan pulley menjadi sistem ditandai dengan dua atau lebih katrol yang memungkinkan untuk memindahkan tenaga mesin, torsi, dan kecepatan yang akan dikirim di seluruh as roda. Jika katrol dengan diameter puli yang berbeda, dapat memperoleh keuntungan mekanis.

Sebuah drive belt adalah analog dengan rantai drive, namun belting lebih halus (tanpa anggota saling bergesekan seperti yang akan ditemukan di rantai sproket, roda gigi) untuk memperoleh keuntungan mekanis dengan membedakan rasio diameter pitch dari puli.

Sama seperti diameter roda gigi (dan, dengan demikian, jumlah mereka gigi) menentukan rasio gigi dan dengan demikian meningkatkan kecepatan atau pengurangan dan keuntungan mekanis yang mereka dapat memberikan, *diameter puli* menentukan faktor-faktor yang sama. katrol kerucut dan langkah katrol (yang beroperasi pada prinsip yang sama, meskipun cenderung diterapkan untuk versi sabuk datar dan versi V belt, masing-masing) adalah cara untuk menyediakan beberapa rasio drive dalam sistem sabuk-dan-katrol yang dapat bergeser sesuai kebutuhan, seperti transmisi memberikan fungsi ini dengan transmisi roda gigi yang bisa digeser. V belt langkah katrol adalah cara yang paling umum yang menekan bor menyampaikan berbagai kecepatan spindle.



Gambar 2.6 Aplikasi Puli [<https://en.wikipedia.org/wiki/Pulley>]

2.4.2 Roda Gigi Berbahan Dasar Aluminium

Roda gigi adalah bagian dari mesin yang berputar yang berguna untuk mentransmisikan daya. Roda gigi memiliki gigi-gigi yang saling bersinggungan dengan gigi dari roda gigi yang lain. Dua atau lebih roda gigi yang bersinggungan dan bekerja bersama-sama disebut sebagai transmisi roda gigi, dan bisa menghasilkan keuntungan mekanis melalui rasio jumlah gigi. Roda gigi mampu mengubah kecepatan putar, torsi, dan arah daya terhadap sumber daya. Tidak semua roda gigi berhubungan dengan roda gigi yang lain; salah satu kasusnya adalah pasangan roda gigi dan pinion yang bersumber dari atau menghasilkan gaya translasi, bukan gaya rotasi.

Transmisi roda gigi analog dengan transmisi sabuk dan puli. Keuntungan transmisi roda gigi terhadap sabuk dan puli adalah keberadaan gigi yang mampu mencegah slip, dan daya yang ditransmisikan lebih besar. Namun, roda gigi tidak bisa mentransmisikan daya sejauh yang bisa dilakukan sistem transmisi roda dan puli kecuali ada banyak roda gigi yang terlibat di dalamnya.

Ketika dua roda gigi dengan jumlah gigi yang tidak sama dikombinasikan, keuntungan mekanis bisa didapatkan, baik itu kecepatan putar maupun torsi, yang bisa dihitung dengan persamaan yang sederhana. Roda gigi dengan jumlah gigi yang lebih besar berperan dalam mengurangi kecepatan putar namun meningkatkan torsi.

Rasio kecepatan yang teliti berdasarkan jumlah giginya merupakan keistimewaan dari roda gigi yang mengalahkan mekanisme transmisi yang lain (misal sabuk dan puli). Mesin yang presisi seperti jam tangan mengambil banyak manfaat dari rasio kecepatan putar yang tepat ini. Dalam kasus di mana sumber daya dan beban berdekatan, roda gigi memiliki kelebihan karena mampu didesain dalam ukuran kecil. Kekurangan dari roda gigi adalah biaya pembuatannya yang lebih mahal dan dibutuhkan pelumasan yang menjadikan biaya operasi lebih tinggi.

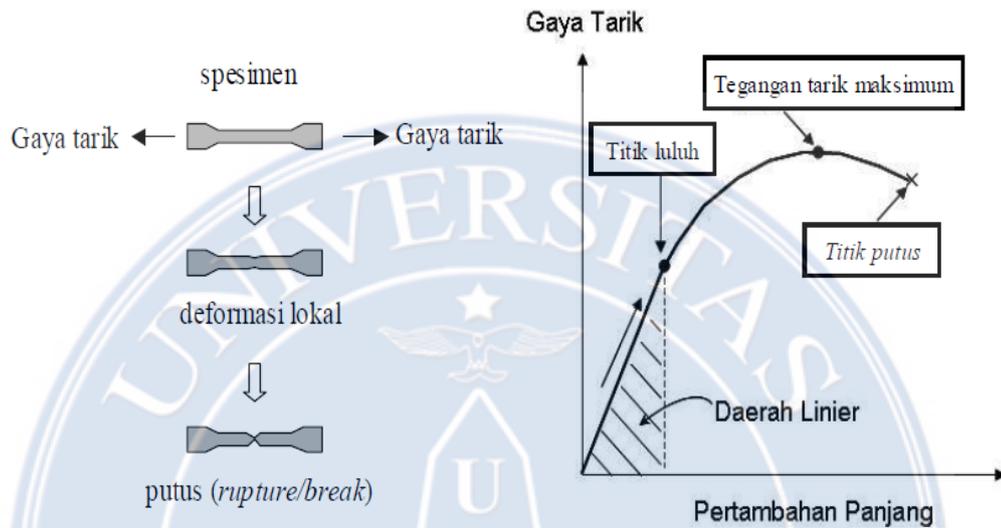
2.5 Kekuatan Mekanis

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*).

2.5.1 Kekuatan Tarik

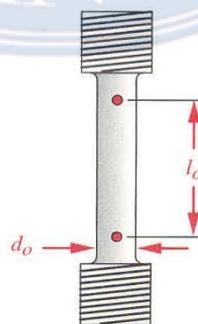
Kekuatan tarik logam yang didapatkan dari interpretasi hasil uji tarik. Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan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

bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Brand terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah antara lain adalah Shimadzu, Instron dan Dartec.



Gambar.2.7 Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Umumnya 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.



Gambar 2.8 specimen uji tarik

Profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gbr.2.7 Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.

Tegangan (σ) merupakan intensitas gaya persatuan luas. Secara matematis ditulis :

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (N/m}^2\text{) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana P = beban yang diberikan tegak lurus terhadap penampang spesimen (N). Pertambahan panjang suatu bahan setelah mengalami uji tarik disebut elongation(regangan). Nilai keuletan suatu bahan biasa ditunjukkan dari harga elongation ini. Apabila harga elongation besar maka bahan tersebut dikatakan ulet (ductility). Keuletan (ductility) adalah kemampuan logam untuk berdeformasi plastis sebelum putus. Panjang mula – mula di ukur pada dua batas bagian tengah sampel uji tarik dan panjang akhir sampel di ukur pada batas yang sama setelah kedua bagian yang putus disatukan kembali. Regangan (ϵ) merupakan deformasi (perubahan bentuk) akibat tegangan yang bekerja. Secara matematis ditulis :

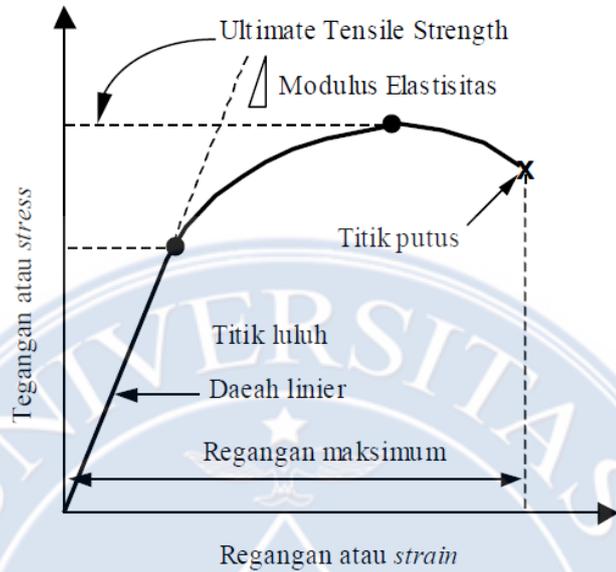
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana Δl = perpanjangan (pertambahan panjang), l_0 = panjang awal sebelum beban diberikan (Tipler, 1998).

2.5.2 Modulus elastisitas

Batas “proporsional” dimana dibawah titik itu tegangan sebanding dengan regangan. E adalah kemiringan kurva tegangan-regangan sampai batas

proporsional dan disebut sebagai Modulus Elastisitas material atau Modulus Young. E adalah merupakan ukuran kekakuan material pada batas elastisnya.



Gbr.2 Kurva tegangan-regangan

Gambar.2.9 Kurva tegangan-regangan

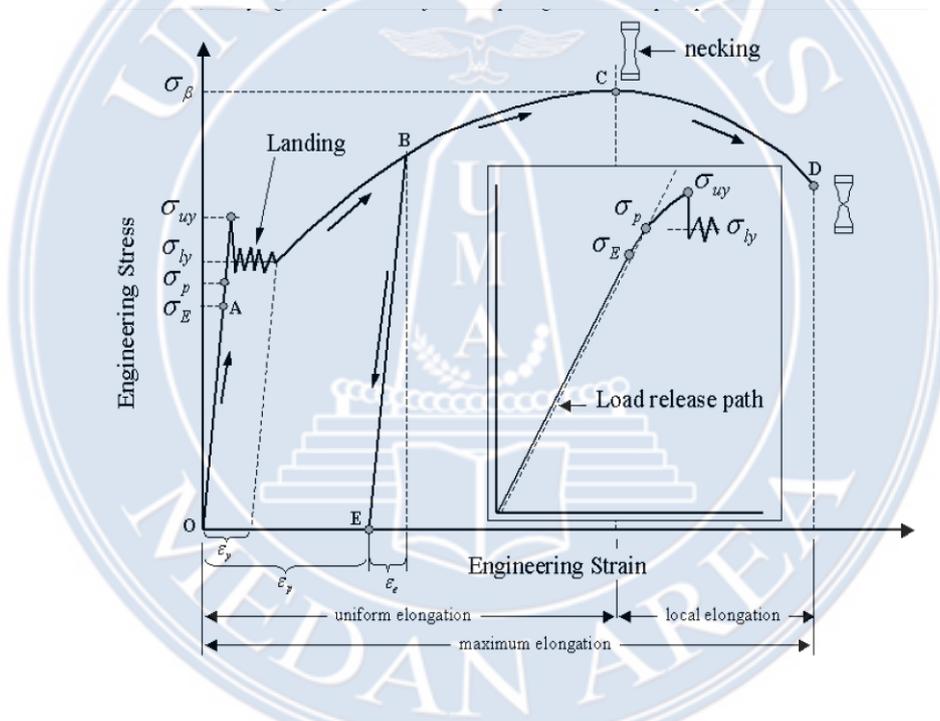
Elastisitas adalah kemampuan sebuah benda untuk kembali ke bentuk awalnya ketika gaya luar yang diberikan pada benda tersebut dihilangkan. Modulus elastisitas (E) sebanding dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan regangan. Secara matematis ditulis :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.5.3 Batas elastis (*elastic limit*)

Batas elastis, atau titik dimana bila batas ini terlewati, material akan mengalami perubahan permanen atau deformasi plastis. Batas elastis ini juga merupakan tanda batas daerah perilaku elastis dengan daerah perilaku plastis. Dalam Gambar 2.10 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban

sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam Gambar 2.10). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permamen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.



Gambar.2.10 Profil data hasil uji tarik

➤ Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

➤ Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada gambar.2.10 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.

- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

- Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

- Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

- Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

- Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

- Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)

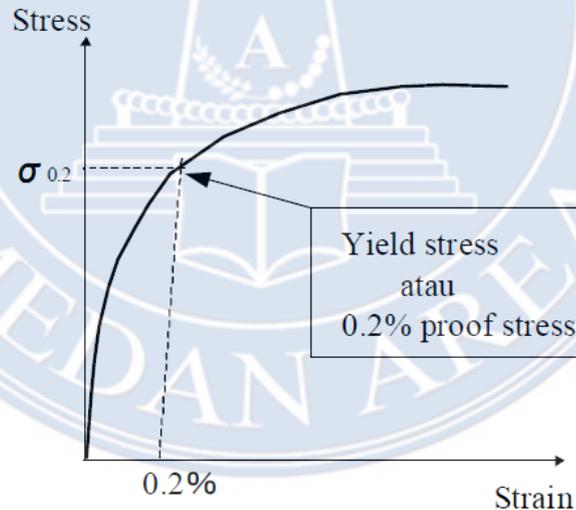
Pada gambar 2.10 ditunjukkan dengan titik C ($\sigma\beta$), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

- Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada gambar 2.10 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

- Tegangan luluh pada data tanpa batas jelas antara perubahan elastis dan plastis

Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain* (gambar 2.11).



Gambar.2.11 Penentuan tegangan luluh (*yield stress*) untuk kurva tanpa daerah linier

Perlu untuk diingat bahwa satuan SI untuk tegangan (*stress*) adalah Pa (Pascal, N/m²) dan strain adalah besaran tanpa satuan.

2.5.4 Istilah lain

Selanjutnya akan kita bahas beberapa istilah lain yang penting seputar interpretasi hasil uji tarik.

➤ Kelenturan (*ductility*)

Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik.

Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).

➤ Derajat kelentingan (*resilience*)

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa). Dalam gambar.2.7 modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.

➤ Derajat ketangguhan (*toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness). Dalam gambar.10, modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva OABCD.

➤ Pengerasan regang (*strain hardening*)

Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis.

➤ Tegangan sejati , regangan sejati (*true stress, true strain*)

Dalam beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas di atas tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

2.5.5 Kekuatan Bending

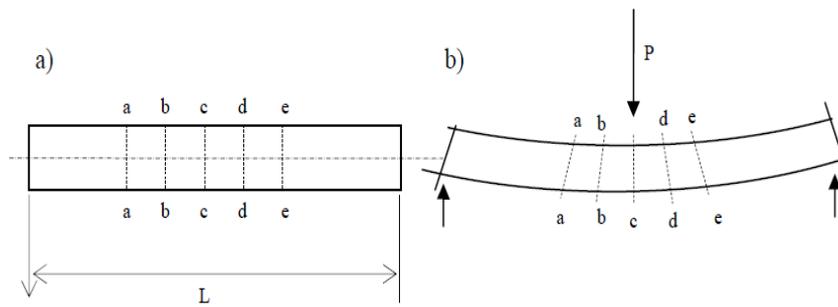
Kekuatan *bending* adalah tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material, dapat dilakukan dengan pengujian *bending* terhadap material tersebut [4].



Gambar 2.12. Pengujian *Three point bending* panel komposit *sandwich*

Akibat pengujian *bending*, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi daripada tegangan tariknya. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian *bending*, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima [4].

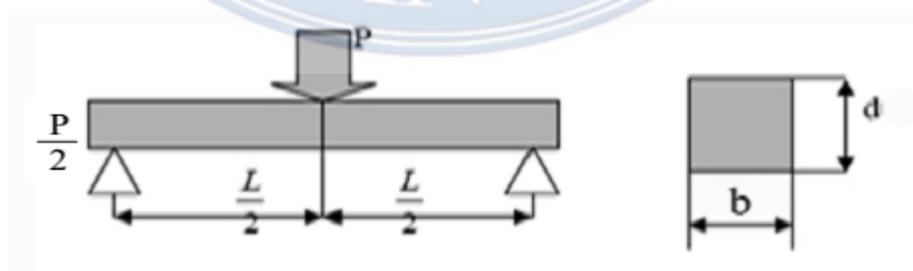
Defleksi yang terjadi akibat pembebanan yang dilakukan pada bagian tengah balok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.13. Defleksi pada balok *sandwich*

Dari gambar 2.5 di atas dapat kita lihat bahwa deformasi yang terjadi akibat pengujian *bending* pada balok dengan tumpuan sederhana. Titik a, b, c, d dan e pada garis pusat lapisan permukaan, garis aa, bb, cc, dd dan ee terlihat mengalami perputaran, tetapi berkas garis tengah pusat pembebanan sebagai titik pusat defleksi, masih terlihat jelas tegak lurus terhadap sumbu pusat. Hal ini memperlihatkan bahwa lapisan atas mengalami tekanan dan bagian bawah mengalami tegangan tarik [4].

Material komposit mempunyai sifat tekan lebih baik dibanding tarik, pada perlakuan uji bending spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi akibat uji bending yaitu mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Dimensi balok dapat kita lihat pada gambar 2.6. berikut:



Gambar 2.14. Penampang Uji bending.

Momen yang terjadi pada komposit dapat dihitung dengan persamaan :

$$M = P/2 \cdot L/2 \dots \dots \dots (2.4)$$

Menentukan kekuatan bending menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M.Y}{I} \\ &= \frac{\frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{\frac{1}{8} \cdot P \cdot L \cdot d}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{\frac{1}{8} P \cdot L}{\frac{1}{12} b \cdot d^2} \end{aligned} \dots \dots \dots (2.5)$$

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_b = \frac{l^3 \cdot P}{4 \cdot b \cdot d \cdot \delta} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

σ_b = kekuatan bending (MPa)

P = beban yang diberikan(N)

L = jarak antara titik tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

δ = defleksi (mm)

Eb = modulus elastisitas (MPa)

Sedangkan kekakuan dapat dicari dengan persamaan :

$$L = \frac{1}{12}bd^3 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$D = EI \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

D : kekakuan (N/mm²)

E : modulus elastisitas (N/mm²)

I : momen inersia (mm⁴)

b : lebar (mm)

d : tinggi (mm).