**BAB II**

**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Penelitian Sebelumnya**

Penelitian yang dilakukan oleh Samsudi Raharjo dkk (2011) Untuk mengetahui hasil dari metode pengecoran gravitasi dan *die Casting* terhadap kekerasan, Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik ADC 12 asli dengan dilebur ulang (*remelting*), membandingkan antara cetakan Permanan dengan cetakan pasir terhadap kekerasan. Hasil dari penelitian ADC 12 dengan kekerasan menurut dari 95,4 HRD menjadi 71,8 HRD dan porositas dari 5,77 % menjadi 34,97 % dengan temperatur penuangan 7000C. Maka remelting akan menurunkan kekerasan dan menambah tingkat porositas material tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh S. M. Bondan Respati dkk (2010) untuk mempelajari pengaruh takanan dan temperatur cetakan sifat fisis dan mekanis pada pengecoran *squeeze* (*direct squeeze casting*) pada panduan aluminium daur ulang.

**2.2 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, kontsruksi, dan lain sebagainya.(Surdia,1992).

Aluminium merupakan bahan logam yang proses penambangan dan ekskresinya 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 membuat badan pesawat terbang.
2. Sektor pembangunan perumahan, untuk kusen pintu dan jendela.
3. Sektor industri makanan, untuk kemasan berbagai jenis produk.
4. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
5. Membuat *termit,* yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja di tempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.

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 diidentifikasikan 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 600oC dan massa jenisnya adalah 2.79g/cm3. 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.

**2.3 Klasifikasi dan Penggolongan aluminium**

Secara umum Aluminium diklasifikasikan berdasarkan 2 yaitu:

a. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan *tensile* sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain.

b. Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium sebelum tahun 1970. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan *tensile* 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 bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya.

**2.3.1 Paduan Aluminium-Silikon**

Paduan aluminium dengan silikon hingga 15% akan memberikan kekerasan dan kekuatan *tensile* yang cukup besar, hingga mencapai 525 MPa pada aluminium paduan yang dihasilkan pada perlakuan panas. Jika konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika.

**2.3.2 Paduan Aluminium-Magnesium**

Keberadaan magnesium hingga 15,35% dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis, dari 660oC hingga 450oC. Namun hal ini tidak menjadikan aluminium paduan dapat ditempa menggunakan panas dengan mudah karena korosi akan terjadi pada suhu di atas 60oC. Keberadaan magnesium juga menjadikan logam paduan dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, di mana kebanyakan logam akan mengalami *failure* pada temperatur tersebut.

**2.3.3 Paduan Aluminium-Tembaga**

Paduan aluminium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Umumnya, untuk kepentingan penempaan, paduan tidak boleh memiliki konsentrasi tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa CuAl2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh.

**2.3.4 Paduan Aluminium-Mangan**

Penambahan mangan memiliki akan berefek pada sifat dapat dilakukan pengerasan tegangan dengan mudah (*work-hardening*) sehingga didapatkan logam paduan dengan kekuatan *tensile* yang tinggi namun tidak terlalu rapuh. Selain itu, penambahan mangan akan meningkatkan titik lebur paduan aluminium.

**2.3.5 Paduan Aluminium-Seng**

Paduan aluminium dengan seng merupakan paduan yang paling terkenal karena merupakan bahan pembuat badan dan sayap pesawat terbang. Paduan ini memiliki kekuatan tertinggi dibandingkan paduan lainnya, aluminium dengan 5,5% seng dapat memiliki kekuatan *tensile* sebesar 580 MPa dengan elongasi sebesar 11% dalam setiap 50 mm bahan. Bandingkan dengan aluminium dengan 1% magnesium yang memiliki kekuatan *tensile* sebesar 410 MPa namun memiliki elongasi sebesar 6% setiap 50 mm bahan.

**2.3.6 Paduan Aluminium-Lithium**

Lithium menjadikan paduan aluminium mengalami pengurangan massa jenis dan peningkatan modulus elastisitas; hingga konsentrasi sebesar 4% lithium, setiap penambahan 1% lithium akan mengurangi massa jenis paduan sebanyak 3% dan peningkatan modulus elastisitas sebesar 5%. Namun aluminium-lithium tidak lagi diproduksi akibat tingkat reaktivitas lithium yang tinggi yang dapat meningkatkan biaya keselamatan kerja.

**2.3.7 Paduan Aluminium-Skandium**

Penambahan skandium ke aluminium membatasi pemuaian yang terjadi pada paduan, baik ketika pengelasan maupun ketika paduan berada di lingkungan yang panas. Paduan ini semakin jarang diproduksi, karena terdapat paduan lain yang lebih murah dan lebih mudah diproduksi dengan karakteristik yang sama, yaitu paduan titanium. Paduan Al - Sc pernah digunakan sebagai bahan pembuat pesawat tempur Rusia, MIG, dengan konsentrasi Sc antara 0,1 - 0,5% (Zaki, 2003, dan Schwarz, 2004).

**2.3.8 Paduan Aluminium-Besi**

Besi (Fe) juga kerap kali muncul dalam aluminium paduan sebagai suatu "kecelakaan". Kehadiran besi umumnya terjadi ketika pengecoran dengan menggunakan cetakan besi yang tidak dilapisi batuan kapur atau keramik. Efek kehadiran Fe dalam paduan adalah berkurangnya kekuatan tensil secara signifikan, namun diikuti dengan penambahan kekerasan dalam jumlah yang sangat kecil. Dalam paduan 10% silikon, keberadaan Fe sebesar 2,08% mengurangi kekuatan tensil dari 217 hingga 78 MPa, dan menambah skala Brinnel dari 62 hingga 70. Hal ini terjadi akibat terbentuknya kristal Fe-Al-X, dengan X adalah paduan utama aluminium selain Fe. (Zaki, 2003, dan Schwarz, 2004).

**2.4 Sifat Mekanik Aluminium**

Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya necking. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan. Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan termal, aluminium paduan akan memiliki kekuatan tarik hingga 600 Mpa.

1. 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, viskoelastisitas, kekuatan tarik, *ductility*, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode *Brinnel*, *Vickers*, *Mohs*, dan *Rockwell*. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 20 skala *Brinnel*, 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. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan *quenching*, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan *Brinnel* sebesar 160 BHN.

1. *Ductility* (kelenturan)

*Ductility* didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk *necking* material dengan *ductility* yang tinggi akan mengalami *necking* yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami *necking*. Sedangkan dalam hasil pengujian tarik, *ductility* diukur dengan skala yang disebut elongasi. Elongasi adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tarik. Elongasi ditulis dalam persentase pertambahan panjang per panjang awal bahan yang diujikan.

1. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang dapat didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

Faktor yang mempengaruhi sifat mekanik:

1. Kadar karbon

Semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan akan semakin tinggi namun akan menjadi rapuh. Kandungan karbon ini juga mempengaruhi keuletan, ketangguhan, maupun sifat mampu mesin.

1. Unsur kimia

Penambahan unsur kimia pada baja dapat mempengaruhi sifat mekaniknya. Pembebanan karbon pada logam akan membuat logam semakin keras tapi rapuh. Unsur kimia yang dapat bersenyawa antara lain:

1. Nikel untuk meningkatkan.
   * + Meningkatkan kekuatan dan kekerasan.
     + Meningkatkan ketahanan terhadap korosi.
     + Meningkatkan keuletan dan tahan gesek.
2. Chromium, untuk
   * + Menambah kekerasan baja.
     + Membentuk karbida.
     + Menambah keuletan, sehingga baik untuk pegas.
3. Ukuran butir

Ukuran butir pada baja sangat berpengaruh. Ukuran butir yang besar dan homogen membuat baja mempunyai sifat yang ulet. Sedangkan untuk ukuran butir yang kecil dan tidak homogen maka baja tersebut akan bersifat kaku dan keras.

1. Fasa dan struktur

Fasa dapat mempengaruhi sifat mekanik logam, karena pada tiap-tiap fasa pada logam memiliki struktur mikro sendiri dengan sifat mekanik, fisik dan kimia yang berbeda-beda, misalnya fasa *martensite* memiliki sifat-sifat keras, rapuh, *magnetic* dengan nilai kekerasan 650-700 BHN. Jadi dapat dikatakan fasa *martensite* memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada *ferrite*. Logam yang memiliki struktur yang teratur mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan logam yang strukturnya tidak teratur sebab tegangan dalam yang timbul lebih besar. Tegangan didalam berbanding terbalik dengan sifat mekanik.

1. Cacat

Cacat terjadi kemungkinan besar selama proses pertumbuhan kristal atau pada proses *heat treatment* (perlakuan panas). Cacat ini dibedakan menjadi cacat titik, cacat garis, cacat bidang, dan cacat ruang. Cacat yang terjadi pada logam menyebabkan kerusakan pada struktur logam misalnya terjadinya kekosongan (*vacancy*), sisipan dan *slip*. Kerusakan ini menyebabkan menurunnya sifat mekanik logam.

**2.5 *Remelting* (Cor)**

Aluminium cor ulang 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. (Suryanto, 2005).

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. (Heru Uryanto, 2005).

Dapur peleburan aluminium tuang dilakukan pada tanur krus besi cor, tanur krus dan tanur nyala api. Bahan-bahan logam yang akan dimasukkan pada dapur terdiri dari sekrap (*remelt*) dan bahan murni (aluminium ingot). Untuk menjaga standar paduan yang telah ditentukan maka sekrap dari bermacam-macam logam tidak boleh dicampurkan bersama ingot tetapi harus dipilih terlebih dahulu. Penambahan unsur yang mempunyai titik lebur rendah seperti seng dan magnesium dapat ditambahkan dalam bentuk elemental sedangkan logam yang mempunyai titik lebur tinggi seperti Cu, Mg, Ni, Mn, Si, Ti, dan Cr adalah paling baik ditambahkan sebagai paduan. Dalam praktek peleburan yang baik mempersyaratkan dapur dan logam yang dimasukan dalam keadaan bersih (Heini dkk, 1981).

Sebelum dilakukan peleburan di dalam tungku sebaiknya logam dipotong – potong menjadi kecil-kecil, hal ini bertujuan untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan komposisi karena oksidasi. Setelah material mencair, *fluks* dimasukkan ke dalam coran, yang bertujuan untuk mengurangi oksidasi dan absorbsi gas serta dapat bertujuan untuk mengangkat kotoran-kotoran yang menempel pada aluminium. Selama pencairan, permukaan harus ditutup *fluks* dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segresi (Surdia dan Chijiiwa, 1991). Kemudian kotoran yang muncul di ambil dan dibuang. Setelah pada suhu kurang lebih 7250C aluminium di tuang ke dalam cetakan. Adapun untuk *remelting*, material hasil peleburan di atas dilebur kembali.

Dalam hal ini komposit aluminium dan serbuk besi (Fe) sangat dipengaruhi oleh persentase campuran antara serbuk besi (Fe) dan parameter-parameter seperti suhu (*temperature*) dan tekanan proses, sehingga hasil yang didapat secara langsung berpengaruh terhadap ikatan antara aluminium dan serbuk besi (Fe). Selain itu daya lekat antar matrik dengan bahan pengisi (*filler*) juga menjadi faktor yang mempengaruhi hasil pembuatan komposit. Dengan adanya gaya adhesi antara matrik dan bahan pengisi mengakibatkan ikatan antara matrik dan bahan penguat. Sehingga, ikatan antara komponen penyusun komposit semakin kuat (Firman, 2011).

Pengecoran merupakan proses tertua yang dikenal manusia dalam pembuatan benda logam. Proses pengecoran dengan menggunakan pasir cetak meliputi : pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair kedalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan.

Berikut ini adalah proses pengecoran pada aluminium tuang :

* 1. Pembuatan Pola

Pola merupakan bagian yang penting dalam proses pembuatan benda cor, karena itu pulalah yang akan menentukan bentuk dan ukuran dari benda cor. Pola yang digunakan untuk benda cor biasanya terbuat dari kayu, resin, lilin dan logam. Kayu dapat dipakai untuk membuat pola karena bahan tersebut harganya murah dan mudah dibuat dibandingkan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir. Biasanya kayu yang dipakai adalah kayu seru, kayu aras, kayu mahoni, kayu jati dan lain-lain (Surdia, 1982:62).

* 1. Pembuatan Inti

Menurut (Surdia, 1982: 104) mengatakan bahwa inti adalah suatu bentuk dari pasir yang dipasang pada rongga cetakan, fungsi dari inti adalah untuk mencegah pengisian logam pada bagian-bagian yang berbentuk lubang atau rongga suatu coran. Inti harus memiliki kekuatan yang memadai dan juga mempunyai polaritas (Amstead, 1990:99). Disamping itu inti harus mempunyai permukaan yang halus dan tahan panas. Inti yang mudah pecah harus diperkuat dengan kawat, selain itu harus dicegah kemungkinan terapungnya inti dalam logam cair.

* 1. Pembuatan Cetakan

Cetakan berfungsi untuk menampung logam cair yang akan menghasilkan benda cor. Macam-macam cetakan adalah :

1. Cetakan pasir

Cetakan dibuat dengan jalan memadatkan pasir, pasir yang akan digunakan adalah pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempeng. Pasir ini biasanya dicampur pengikat khusus, seperti air, kaca, semen, resin ferol, minyak pengering. Bahan tersebut akan memperkuat dan mempermudah operasi pembuatan cetakan (Surdia:1982: 3).

1. Cetakan logam

Cetakan ini dibuat dengan menggunakan bahan yang terbuat dari logam. Cetakan jenis logam biasanya dipakai untuk industri-industri besar yang jumlah produksinya sangat banyak, sehingga sekali membuat cetakan dapat dipakai untuk selamanya. Cetakan logam harus terbuat dari bahan yang lebih baik dan lebih kuat dari logam coran, karena dengan adanya bahan yang lebih kuat maka cetakan tidak akan terkikis oleh logam coran yang akan di tuang.

1. Peleburan (pencairan logam)

Untuk mencairkan bahan coran diperlukan alat yang namanya dapur pemanas. Dalam proses peleburan bahan coran ada dua dapur pemanas yang digunakan yaitu dengan menggunakan dapur kupola atau dengan menggunakan dapur tanur induksi. Kedua jenis dapur tersebut yang sering digunakan oleh industri adalah tanur induksi frekuensi rendah karena mempunyai beberapa keuntungan (Surdia, 1982: 145). Keuntungan tersebut adalah mudah mengontrol komposisi yang teratur, kehilangan logam yang sedikit, kemungkinan menggunakan logam yang bermutu rendah, efisiensi tenaga kerja, dapat memperbaiki persyaratan kerja.

1. Penuangan

Menuang adalah memindahkan logam cair dari dapur pemanas ke dalam cetakan dengan bantuan alat yang disebut *ladle*, kemudian dituangkan ke dalam cetakan. *Ladle* berbentuk kerucut dan biasanya terbuat dari plat baja yang terlapisi oleh batu tahan api. Saat penuangan diusahakan sedekat mungkin dengan dapur sehingga dapat menghindari logam coran yang membeku sebelum sampai ke cetakan yang diinginkan.

1. Membongkar dan Membersihkan Coran

Pada prinsipnya pembongkaran hasil pengecoran logam dari cetakan dilakukan secara langsung atau mekanis. Setelah benda cetakan membeku atau dingin sampai temperatur rendah cetakan dibongkar, tempat pembongkaran harus memiliki sarana ventilasi udara yang baik.

1. Pemeriksaan Coran

Pada proses pengecoran pemeriksaan hasil coran mempunyai tujuan yang memelihara kualitas dan penyempurnaan teknik. Dari pemeriksaan maka akan diketahui kekurangan suatu proses yang telah dilakukan, dimana adanya kekurangan tersebut akan meningkatkan hasil yang berkualiatas. Untuk mendapatkan sifat aluminium yang baru biasa dilakukan dengan jalan menambahkan unsur-unsur paduan kedalam aluminium murni. Namun ada juga yang melakukan penggabungan beberapa paduan aluminium dengan jalan pengecoran (penuangan) untuk memperoleh sifat mekanis bahan yang lebih baik.

**2.6 Uji Tarik**

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban tarik. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” dalam bahasa Indonesia disebut kekuatan tarik maksimum. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan teknik( ε eng.), yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (∆L) terhadap panjang batang mula-mula (L0).Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik (σeng), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi (F) pada suatu luas penampang awal (A0). Tegangan normal tesebut akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan.

(2.1)

Keterangan:

σ = Tegangan normal akibat beban tarik statik (N/mm2)

F = Beban tarik (N)

Ao = Luas penampang spesimen mula-mula (mm2)

Regangan akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan.

(2.2)

Dimana: ∆L = L-L0

Keterangan:

ε = Regangan akibat beban tarik statik

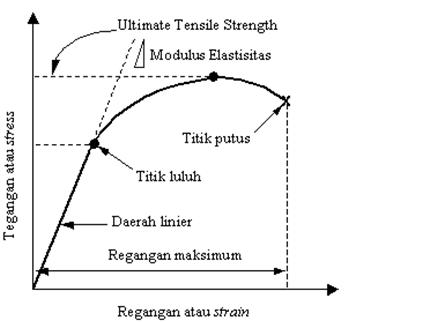
L = Perubahan panjang spesimen akibat beban tarik (mm)

Lo = Panjang spesimen mula-mula (mm)

Pada prakteknya nilai hasil pengukuran tegangan pada suatu pengujian tarik dan tekan pada umumnya merupakan nilai teknik. Regangan akibat beban tarik yang terjadi, panjang akan menjadi berkurang dan diameter pada spesimen akan menjadi besar, maka ini akan terjadi deformasi plastis. Hubungan antara *stress* dan *strain* dirumuskan pada persamaan.

E = σ / ε (2.3)

E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. E diberi nama “Modulus Elastisitas” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*). Kurva ini ditunjukkan oleh gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan

(Sumber: diolah)

**2.7 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)**

Pengujian kekerasan *Brinnel* merupakan pengujian standar skala industri, tetapi karena penekannya terbuat dari bola baja yang berukuran besar dan beban besar maka bahan yang sangat lunak atau sangat keras tidak dapat diukur kekerasannya. Di dalam aplikasi manufaktur, material diuji untuk dua pertimbangan, sebagai riset karakteristik suatu material baru dan juga sebagai suatu analisa mutu untuk memastikan bahwa contoh material tersebut menghasilkan spesifikasi kualitas tertentu.

Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekan alat penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan dengan penekanan (*brinnel*).

Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaanya akan mangalami pergesekan (*frictional force*), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (*Metallurgy Engineering*). Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan).

Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan empat macam metode pengujian kekerasan, yakni:

1. *Brinell* (HB/BHN) Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya, pengujian *Brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *Brinell* sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*. Angka Kekerasan *Brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi.
2. *Rockwell* (HR/RHN) Skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah:
   1. HRa (Untuk material yang lunak).
   2. HRb (Untuk material dengan kekerasan sedang).
   3. HRc (Untuk material yang sangat keras).
3. *Vickers* (HV/VHN) Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi.

**2.8 *Metallography Test***

*Metallography* adalah analisa mikro pada suatu struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan analisa 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 fisis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji.

**2.8.1 *Mounting* Spesimen**

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*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan mounting adalah:

1. Bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
2. Sifat eksoterimis rendah
3. Viskositas rendah
4. Penyusutan linier rendah
5. Sifat adhesi baik
6. *Flowability* baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidak-teraturan yang terdapat pada spesimen

Media *mounting* yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis *reagen etsa* yang akan digunakan. Pada umumnya *mounting* menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener*, atau *bakelit*. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan *bakelit*, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan. Bahan *castable resin* ini tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras. Teknik mounting yang paling baik adalah menggunakan *thermosetting* resin dengan menggunakan material *bakelit*. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna yang beragam.

**2.8.2 Pemolesan Spesimen (*Polishing*)**

Setelah diamplas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus, bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dengan permukaan teratur. 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.

**2.8.3 *Etching* (Etsa) Spesimen**

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 detil 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. Pengamatan struktur makro dan mikro. Pengamatan metalografi dengan mikroskop optik dapat dibagi dua, yaitu:

1. Metalografi makro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10-100 kali.
2. Metalografi mikro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran di atas 100 kali.

**2.8.4 Analisa Struktur Butir**

Tiap volume yang mempunyai orientasi tertentu disebut butir dan daerah tidak teratur antarbutir disebut batas butir. Lebar batas butir sekitar dua atau tiga deretan atom. Sebetulnya, butir dan batas butir berdimensi tiga. Gambar hanya menampilkan penampang tertentu. Gelembung polihedral yang terbentuk bila larutan sabun kita aduk merupakan model tiga dimensi dari kristal dengan batas butirnya. Butir kristal tidak sepenuhnya berbentuk polihedral, tetapi dapat mempunyai bentuk yang berbeda, bergantung pada riwayat termal dan mekanik bahan utuh. Sifat mekanik turut ditentukan oleh ukuran butir. Makin halus butir, makin keras bahan, dan kekuatan luluh, keuletan dan ketangguhan bahan juga lebih tinggi

**2.8.5 Perubahan Struktur Butir**

Struktur kristal logam akan rusak pada titik cairnya. Batas butir akan lenyap dan kekuatan mekanik tidak akan berarti lagi. Struktur kristal akan terbentuk kembali jika logam didinginkan. Sewaktu membeku, energi dilepaskan dalam bentuk panas laten pembekuan, dan laju pembekuan bergantung pada jumlah panas yang dapat dilepaskan. Bila pendinginan berlangsung secara perlahan-lahan, terbentuklah kelompok atom pada permukaan cairan yang kemudian menjadi inti butiran padat. Selama solidifikasi dengan laju pendinginan lambat, inti pertama bertambah besar akibat kepindahan atom dari cairan kebahan padat. Akhirnya, semua cairan bertransformasi dan butir bertambah besar. Batas butir merupakan titik pertemuan pertumbuhan berbagai inti. Bila pendinginan cepat, jumlah kelompok bertambah dan tiap-tiap kelompok tumbuh dengan cepat hingga akhirnya saling bertemu. Sebagai hasil akhir, diperoleh logam dengan jumlah butir yang banyak atau disebut logam padat berbutir halus.

* 1. **Pengujian Impak**

Untuk menentukan sifat perpatahan suatu logam, keuletan maupun kegetasannya, dapat dilakukan suatu pengujian yang dinamakan dengan uji impak. Umumnya pengujian impak menggunakan batang bertakik. Berbagai jenis pengujian impak batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan benda untuk bersifat getas. Para peneliti kepatahan getas logam telah menggunakan bebagai bentuk benda uji untuk pengujian impak bertakik. Secara umum benda uji dikelompokkan ke dalam dua golongan standar. Dikenal ada dua metoda percobaan impak, yaitu:

1. Metoda *Charpy*

Pada metode ini banyak digunakan di Amerika Serikat, dan merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat diatas takikan. Benda uji *charpy* mempunyai luas penampang lintang bujur sangkar (10 x 10 x 55 mm) dan mengandung takik V-45o, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm.

Metode ini memiliki beberapa kelebihan seperti:

1. Lebih mudah dipahami
2. Menghasilkan tegangan *uniform* di sepanjang penampang
3. Harga alat lebih murah
4. Waktu pengujian lebih singkat

Metode ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti:

* 1. Hanya dapat dipasang dengan posisi horizontal
  2. Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam
  3. Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil
  4. Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level tegangan yang diberikan tidak rata.

1. Metode *Izod*

Metode ini banyak digunakan di Eropa terutama Inggris dan merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi vertikal pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada spesimen dilakukan tidak tepat pada pusat takikan melainkan pada posisi agak diatas dari takikan.

Metode ini memiliki beberapa kelebihan seperti:

* 1. Tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam
  2. Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar
  3. Spesimen tidak mudah bergeser karena dicekam pada salah satu ujungnya

Metode ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti:

1. Biaya pengujian yang lebih mahal
2. Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik

Gambar 2.2 Ilustrasi Metode *Charpy* dan *Izod*

(Sumber: Fajar I, 2012)