

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

1.1. Tinjauan Pustaka

Supriyadi A dkk, (2011) menganalisa pengaruh variasi penambahan Ti-B pada bahan ADC 12 menggunakan proses pengecoran *High Pressure Die Casting* (HPDC) terhadap peningkatan kualitas bahan hasil coran sebagai bahan sepatu rem sepeda motor. Tahapan yang peneliti lakukan adalah pembuatan cetakan logam, merakit cetakan logam pada mesin HPDC, penyiapan material, peleburan, variasi penambahan Grain refiner Ti-B, 0,04%, 0,08%, 0,12%, 0,16%, 0,2%, 0,24%, penuangan pada temperatur cetakan 200°C, temperatur tuang 700°C dan tekan injeksi 7MPa, pemeriksaan coran, analisa kekuatan coran dengan uji tarik dan kekerasan. Dari hasil pengamatan dan analisa pengujian didapatkan bahwa pada penambahan Ti-B 0,08% dihasilkan kekuatan tarik sebesar 300 N/mm² dan kekerasan 78,5 HRB hasil ini merupakan sifat mekanik yang paling baik dibandingkan apabila tidak mendapatkan penambahan inoculan.

Penelitian yang dilakukan oleh Saputro (2014) menjelaskan tentang pengaruh penambahan silikon 1%, 3%, dan 5% pada paduan Al-Si-Mg terhadap sifat fisis dan mekanisnya dengan perlakuan heat treatment. Penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan, pengujian impak, pengujian tarik, dan pengamatan struktur mikro. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai kekuatan impak mengalami peningkatan setelah dilakukan heat treatment dan pada paduan dengan penambahan unsur Si terbanyak mengalami penurunan keuletan. Pada

pengujian tarik dengan penambahan unsur Si tertinggi mengalami penurunan kekuatan tarik. Hasil dari pengujian kekerasan diketahui bahwa penambahan Si akan mengakibatkan kerapuhan pada material.

Lalu Alpan Hafiz (2017) Menganalisa sifat fisik dan mekanik poros berulir (screw) untuk pengupas kulit ari kedelai berbahan dasar 50% aluminium bekas dan 50% piston bekas. Penambahan unsur TiB (Titanium – Boron) sebanyak 0,02%. Pengecoran dilakukan menggunakan cetakan pasir dengan pemanasan suhu cetakan 200°C dan 300°C, dengan pengujian tarik, kekerasan, dan mikroskop optic. Hasil pengujian maksimum paduan Al-Si dengan penambahan TiB 0,02% dan pemanasan suhu cetakan 400°C menghasilkan tegangan tarik maksimum 628,86 N/mm², pada pengujian kekerasan Vickers Hardness Number (VHN) menghasilkan kekerasan 114 kg/mm², sedangkan hasil metalografi diperoleh data struktur yang terbentuk fasa hypereutectic silikon yang membentuk fasa primer. Fasa tersebut memberikan ketahanan aus yang tinggi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H . C. Oersted, tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C . M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisasi dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan

aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam *non ferro*.

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

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Di alam, aluminium berupa oksida yang stabil sehingga tidak dapat direduksi dengan cara seperti mereduksi logam lainnya. Pereduksian aluminium hanya dapat dilakukan dengan cara elektrolisis. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya.

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting alloy* (batang cor). Aluminium

(99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 6600C, aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil(tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam.

Unsur- unsur paduan dalam aluminium antara lain:

1. Copper (Cu), menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan panjang pangsangan saat ditarik). Kandungan Cu dalam aluminium yang paling optimal adalah antara 4-6%.
2. Zink atau Seng (Zn), menaikkan nilai tensile.
3. Mangan (Mn), menaikkan kekuatan dalam temperature tinggi.
4. Magnesium (Mg), menaikkan kekuatan aluminium dan menurunkan nilai *ductility*-nya. Ketahanan korosi dan *weldability* juga baik.
5. Silikon (Si), menyebabkan paduan aluminium tersebut bisa diperlakukan panas untuk menaikkan kekerasannya.
6. Lithium (Li), ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

Aluminium merupakan logam dengan karakteristik massa jenis yang relative rendah (2,7 g/cm³), terletak pada golongan IIIA, dan memiliki nomor atom 13, memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi dan tahan terhadap serangan korosi di berbagai lingkungan, termasuk di temperature ruang, memiliki struktur FCC (*face centered cubic*), tetapi memiliki keuletan di kondisi temperature

rendah serta memiliki temperature lebur 660°C . Aluminium adalah suatu logam yang secara termodinamika adalah logam yang reaktif.

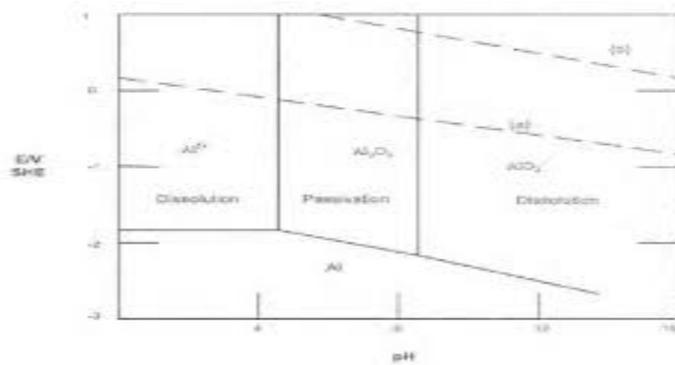
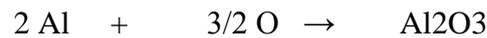
Aluminium sangat berperan penting dalam berbagai bidang aplikasi karena memiliki sifat-sifat menarik yang beraneka ragam. Sifat-sifat tersebut membuat aluminium menjadi logam yang sangat sesuai dan ekonomis untuk banyak aplikasi dan telah menjadikan aluminium sebagai logam yang paling banyak di gunakan kedua setelah baja. Berikut adalah aplikasi aluminium secara umum :

Tabel 2.1. Aplikasi aluminium di berbagai bidang (Lalu Alpan 2017)

Aplikasi Penggunaan	Persentasi
Industri Konstruksi	15%
Aplikasi Listrik	15%
Industri Otomotif/Transportasi	25%
Industri Manufaktur & Pengemasan	25%
Lainnya	20%

Aluminium memperlihatkan ketahanannya terhadap korosi dengan sangat baik dan penggunaannya sebagai salah satu logam komersial utama untuk membentuk lapisan oksida penghalang yang terikat kuat terhadap permukaannya, dan apabila lapisan tersebut rusak, maka akan dapat terbentuk kembali secara langsung di lingkungan manapun. Pada permukaan aluminium yang terabrasi oleh udara, ketebalan lapisan oksida penghalang hanya sekitar 1 nm, namun demikian lapisan tersebut masih sangat efektif untuk melindungi aluminium dari korosi.

Logam aluminium memiliki nilai keelektro positif yang cukup tinggi, sehingga ia akan dapat dengan mudah beraksi dengan oksigen dan membentuk lapisan oksigen yang tipis pada permukaan melalui reaksi sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram PourbaixAl (Lalu Alpan 2017)

Lapisan oksida ini memiliki ketebalan antara $0,1 - 0,4 \times 10^{-6}$ inchi sampai dengan $0,25 - 1 \times 10$ mikron. Lapisan oksida ini akan tetap stabil pada kondisi Ph antara 4,5 sampai 8,5 sebagaimana ditunjukkan pada diagram pourbaix (Gambar 2.1). lapisan oksida tersebut juga meningkatkan sifat ketahanan korosi dari aluminium karena lapisan ini berfungsi sebagai lapisan protektif yang menghalangi oksigen untuk bereaksi lebih lanjut dengan aluminium.

Lapisan oksida Al_2O_2 dihasilkan dari proses elektrokimia, sehingga dengan proses tersebut dapat dihasilkan lapisan oksida dengan ketebalan mencapai 500 kalinya. Anodisasi merupakan proses konversi lapisan permukaan aluminium menjadi lapisan aluminium oksida yang memiliki porositas (berpori). Sifat lapisan oksida itu sendiri adalah *insert*, persenyawaan yang stabil dan

sebagai lapisan sifat tersebut mempengaruhi kestabilan permukaan aluminium. Lapisan oksida aluminium ini sendiri memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan logam induknya, nilai kekerasan ini berhubungan dengan ketahanan terhadap abrasi yang sangat di butuhkan oleh komponen dengan kinerja yang tinggi.

2.2.2. Aluminium dan Paduannya

Aluminium merupakan logam non-ferro yang paling banyak digunakan didunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengandensitas 2.7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8.83 g/cm³), tembaga (8.93g/cm³), atau kuningan (8.53 g/cm³), mempunyai sifat yang unik, yaitu:ringan,kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air(termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia.Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi,menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendahdan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah *aluminium alloy* merupakan jenis aluminium yang digunakan cukup besar saat ini.

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutupke

mungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya. Salah satu penamaan paduan aluminium adalah dengan standar AA.

Pada aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni. Digit kedua dari seri tersebut menunjukkan komposisi aluminium dengan limit pengotor alamiahnya, sedangkan dua digit terakhir menunjukkan persentase minimum dari aluminium tsb. Digit pertama pada seri 2xxx sampai 7xxx menunjukkan kelompok paduannya berdasarkan unsur yang memiliki persentase komposisi terbesar dalam paduan

Tabel 2.2 Daftar seri paduan aluminium tempa. (Lalu Alpan 2017)

No Seri	Komposisi Paduan
1xxx	Aluminium Murni
2xxx	Paduan Aluminium-Tembaga
3xxx	Paduan Aluminium-Mangan
4xxx	Paduan Aluminium-Silicon
5xxx	Paduan Aluminium-Magnesium
6xxx	Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon
7xxx	Paduan Aluminium-Seng
8xxx	Paduan Aluminium-Timah-Litium
9xxx	Disiapkan Dipenggunaan Dimasa Depan

Digit kedua menunjukkan modifikasi dari unsur paduannya, jika digit kedua bernilai 0 maka paduan tersebut murni terdiri dari aluminium dan unsur paduan. Jika nilainya 1 - 9, maka paduan tersebut memiliki modifikasi dengan unsur lainnya. Dua angka terakhir untuk seri 2xxx - 8xxx tidak memiliki arti khusus, hanya untuk membedakan paduan aluminium tersebut dalam kelompoknya. Paduan aluminium tuang penamaannya memakai sistem tiga digit diikuti dengan satu bilangan desimal. Tabel 2.3 menunjukkan seri paduan aluminium tuang berdasarkan unsur paduannya.

Tabel 2.3 Daftar seri paduan aluminium tuang. (Lalu Alpan 2017)

No Seri	Komposisi Paduan
1xx.x	Aluminium murni
2xx.x	Paduan aluminium – tembaga
3xx.x	Paduan aluminium - silikon – tembaga
4xx.x	Paduan aluminium – silicon
5xx.x	Paduan aluminium – magnesium
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Paduan aluminium – seng
8xx.x	Paduan aluminium – timah
9xx.x	Belum digunakan

Dalam standar AA, angka pertama menunjukkan kelompok paduan. Jadi, untuk paduan Al-Si-Cu dinyatakan dengan angka 3xx.x, angka kedua dan ketiga menunjukkan kemurnian minimum untuk aluminium tanpa paduan dan

sebagai nomor identifikasi untuk paduan tersebut, angka keempat menandakan bentuk produk (.0 = spesifikasi coran, .1 = spesifikasi ingot, .2 = spesifikasi ingot yang lebih spesifik). ADC12 merupakan paduan aluminium tuang yang mengikuti tata nama JIS (*Japan Industrial Standard*). Paduan aluminium ADC12 ini memiliki kesetaraan dengan paduan aluminium 384.0-F, paduan aluminium ini digunakan sebagai bahan untuk pembuatan piston pada kendaraan bermotor. (ASM Handbook vol.15,1992).

2.2.3. Sifat – sifat Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik.

Aluminium mempunyai sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain. Adapun sifat-sifat dari aluminium antara lain: ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Perlu diketahui aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi

tahunan dunia sekitar 30 juta ton per tahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain.

Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik, karena beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu:

a. Ringan (*light in weight*)

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 Ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, *scaffolding*, maupun pada roket.

b. Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*)

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti ekstrusi, *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal *FCC (Face Centered Cubic)*, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis. sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

c. Tahan terhadap korosi (*corrosion resistance*)

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen

udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen.

d. Konduktifitas panas tinggi (*high thermal conductivity*)

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga aplikasi banyak digunakan pada radiator mobil, koil pada evaporator, alat penukar kalor, alat-alat masak, maupun komponen mesin.

e. Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*)

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

f. Tangguh pada temperatur rendah (*high toughness at cryogenic temperature*)

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga $-100^{\circ}C$, bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah (*cryogenic vessel*)

g. Tidak beracun (*non toxic*)

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

h. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energy dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Dengan berbagai keunggulan dari aluminium tersebut, saat ini penggunaan aluminium sangat berkembang pesat terutama pada industri pesawat terbang dan otomotif. Masih banyak pengembangan yang dilakukan sehingga dapat menciptakan paduan aluminium baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda.

2.2.4. Aluminium Alloy

Alumunium merupakan salah satu logam non ferrous. Dalam sector perindustrian, alumunium dikembangkan dengan begitu pesat. Dan dapat diolah menjadi berbagai macam produk dengan lebih ekonomis. Alumunium merupakan logam ringan dengan berat jenis 2.643 g/cm^3 dan titik cairnya 660° C .

Bauksit adalah salah satu sumber alumunium, dan banyak terdapat didaerah Bintan dan Kalimantan. Bauksit dapat diolah dengan proses bayer untuk mendapatkan alumina yang selanjutnya diolah kembali untuk mendapatkan alumunium. Untuk menghasilkan 500kg alumunium diperlukan 550kg bauksit, 450kg NaOH, 31.5 ton H₂O dan 7.5 ton uap. Bauksit dapat juga diolah menggunakan proses elektrolisa. Untuk 1kg alumunium diperlukan 4kg bauksit, 0.6kg karbon, dan criolit.

Sifat-sifat umum dari alumunium antara lain :

- Berat jenis rendah
- Konduktor listrik yang baik
- Tahan korosi
- Mudah dituang

Beberapa jenis aluminium alloy :

- Wrought Alloy

Aluminium wrought alloy terdiri dari 2 macam yaitu aluminium wrought alloy, yang bisa diheat treatment dan aluminium wrought alloy yang tidak bisa ditempa.

- Casting Alloy

Aluminium casting alloy terdiri dari aluminium die casting dan aluminium permanent casting.

Beberapa macam aluminium alloy ditinjau dari bahan campurannya, antara lain :

- Magnal (terdiri dari campuran aluminium dan magnesium)
- Manal (terdiri dari campuran aluminium dan mangan)
- Siluminal (terdiri dari campuran aluminium, tembaga dan silikon)
- Duraluminium terdiri dari campuran aluminium, tembaga, mangan dan magnesium)

Menurut HES (Honda Engineering Standard) terdapat aluminium alloy dengan type HD2 G2. HD2 G2 adalah aluminium alloy yang dipergunakan dalam proses die casting. HD2 G2 adalah material aluminium alloy yang kuat, dan tahan benturan.

Standar komposisinya adalah :

1. Silicon (Si) maximal 8.5 – 11%
2. Besi (Fe) maximal 0.85 %
3. Mangan (Mn) maximal 0.3%
4. Magnesium (Mg) maximal 0.25%
5. Nikel (Ni) maximal 0.3%
6. Seng (Zn) maximal 1%
7. Tembaga (Cu) 1 – 2.5%

Pengaruh–pengaruh elemen/campuran dalam alumunium alloy :

1. Silicon (Si)

Keuntungan :

- a. memudahkan proses flow dan casting
- b. memudahkan proses welding
- c. memperkecil daya lentur
- d. mencegah perubahan suhu yang terlalu cepat

Kerugian :

- a. sulit untuk proses pemotongan
- b. daya rekat jelek

2. Tembaga (Cu)

Keuntungan :

- a. menambah kekuatan
- b. memudahkan proses pemotongan

Kerugian :

- a. mudah patah

3. Magnesium (Mg)

Keuntungan :

- a. menambahkan kekuatan dan daya lentur
- b. memudahkan proses pemotongan
- c. efektif untuk proses rekristalisasi

Kerugian :

- a. menurunkan daya rekat
- b. mudah patah
- c. menimbulkan pin hole
- d. menimbulkan hard spot

4. Besi (Fe)

Keuntungan :

- a. mencegah part menempel pada dies

Kerugian :

- a. menurunkan kualitas mekanis

- b. menimbulkan hard spot

5. Seng (Zn)

Keuntungan :

- a. memudahkan proses casting
- b. menaikkan kemampuan mekanis

Kerugian :

- a. menurunkan daya gigitan
- b. menurunkan daya rekat
- c. mudah retak

6. Mangan (Mn)

Keuntungan :

- a. tahan temperature tinggi
- b. memperkecil kerusakan akibat Fe

Kerugian :

- a. daya serap panas berkurang
- b. menimbulkan hard spot

7. Nikel (Ni)

Keuntungan :

- a. tahan temperature tinggi

- b. menurunkan jumlah kerusakan Fe

Kerugian :

- a. melemahkan daya gigitan

8. Timah Putih (Sn)

Keuntungan :

- a. mudah dipotong
- b. mudah dingin

Kerugian :

- a. tidak tahan panas

2.2.5 Ti-B (Titanium Boron)

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti. Unsur ini merupakan logam transisi yang ringan, kuat, berkilau, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut) dengan warna putih-metalik-keperakan.

Titanium ditemukan di Cornwall, Kerajaan Britania Raya pada tahun 1791 oleh William Gregor dan dinamai oleh Martin Heinrich Klaproth dari mitologi Yunani Titan. Elemen ini ada di antara deposit-deposit berbagai mineral, diantaranya rutil dan ilmenit, yang banyak terdapat pada kerak bumi dan litosfer, serta pada hampir semua makhluk hidup, batuan, air, dan tanah. Logam ini diekstrak dari bijih mineralnya melalui proses Kroll atau proses Hunter. Senyawanya yang paling umum, titanium dioksida, adalah fotokatalisator umum

dan digunakan dalam pembuatan pigmen putih. Senyawa lainnya adalah titanium tetraklorida (TiCl_4), komponen layar asap dan katalis dan titanium triklorida (TiCl_3).

Titanium dapat digunakan sebagai alloy dengan besi, aluminium, vanadium, untuk memproduksi alloy yang kuat namun ringan untuk penerbangan (mesin jet, misil, dan wahana antariksa), militer, proses industri (kimia dan petrokimia, pabrik desalinasi, pulp, dan kertas), otomotif, agro industri, alat kedokteran, implan ortopedi, peralatan dan instrumen dokter gigi, implan gigi, alat olahraga, perhiasan, telepon genggam, dan masih banyak aplikasi lainnya.

Dua sifat yang paling berguna pada titanium adalah ketahanan korosi dan rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling tinggi di antara semua logam lain. Pada kondisi murni, titanium sama kuat dengan beberapa baja, namun lebih ringan. Ada dua bentuk alotropi dan lima isotop alami dari unsur ini, ^{46}Ti sampai ^{50}Ti , dengan ^{48}Ti adalah yang paling banyak terdapat di alam (73,8%). Meski memiliki jumlah elektron valensi dan berada pada golongan tabel periodik yang sama dengan zirkonium, keduanya memiliki banyak perbedaan pada sifat kimia dan fisika.

Boron adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang B. Elemen metaloid trivalen, boron banyak terdapat di batu borax. Ada dua alotrop boron; boron amorfus adalah serbuk coklat, tetapi boron metalik berwarna hitam. Bentuk metaliknya keras (9,3 dalam skala Moh) dan konduktor yang buruk dalam suhu ruang. Tidak pernah ditemukan bebas dalam alam.

2.2.6 Teori Pengecoran logam

Pengecoran logam merupakan salah satu ilmu pengetahuan tertua yang dipelajari oleh umat manusia. Ilmu pengecoran logam terus berkembang dengan pesat. Berbagai macam metode pengecoran logam telah ditemukan dan terus disempurnakan, diantaranya adalah *centrifugal casting*, *investment casting*, dan *sand casting* serta masih banyak lagi metode-metode lainnya. Pengecoran adalah membuat komponen dengan cara menuangkan bahan yang dicairkan ke dalam cetakan. Bahan di sini dapat berupa *metal* maupun *non-metal*. Untuk mencairkan bahan diperlukan *furnace* (dapur kupola). *Furnace* adalah sebuah dapur atau tempat yang dilengkapi dengan *heater* (pemanas). Bahan padat dicairkan sampai suhu titik cair dan dapat ditambahkan campuran bahan seperti *chrome*, silikon, titanium, Aluminium dan lain-lain agar bahan menjadi lebih baik.

Aplikasi dari proses pengecoran sangat banyak salah satunya dapat ditemukan dalam pembuatan komponen permesinan. Proses pengecoran dilakukan melalui beberapa tahap mulai dari pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Hasil pengecoran disebut dengan coran atau benda cor. Proses pengecoran bisa dibedakan atas 2 yaitu proses pengecoran dan proses pencetakan. Proses pengecoran tidak menggunakan tekanan sewaktu mengisi rongga cetakan sedangkan proses pencetakan adalah logam cair ditekan agar mengisi rongga cetakan. Cetakan untuk kedua proses ini berbeda dimana proses pengecoran cetakan biasanya dibuat dari pasir sedangkan proses pencetakan, cetakkannya dibuat dari logam.

2.2.7 Proses Pengecoran

Proses pengecoran akan dihasilkan Aluminium dengan sifat-sifat yang diinginkan. Aluminium murni memiliki sifat mampu cor dan sifat mekanis yang tidak baik, maka dipergunakanlah Aluminium *alloy* untuk memperbaiki sifat tersebut. Beberapa elemen *alloy* yang sering ditambahkan diantaranya Tembaga, Magnesium, Mangan, Nikel, Silikon dan sebagainya.

Pada desain coran perlu dipertimbangkan beberapa hal sehingga diperoleh hasil coran yang baik, yaitu bentuk dari pola harus mudah dibuat, cetakan dari coran hendaknya mudah, cetakan tidak menyebabkan cacat pada coran. Untuk membuat cetakan, dibutuhkan saluran turun yang mengalirkan cairan logam kedalam rongga cetakan. Besar dan bentuknya ditentukan oleh ukuran, tebalnya irisan dan macam logam dari coran. Selanjutnya diperlukan penentuan keadaan-keadaan penuangan seperti temperatur penuangan dan laju penuangan. Karena kualitas coran tergantung pada saluran turun, penambah, keadaan penuangan, maka penentuannya memerlukan pertimbangan yang teliti.

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi cairan logam yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Tiap bagian diberi nama, dari mulai cawan tuang dimana logam cair dituangkan dari *ladle*, sampai saluran masuk ke dalam rongga cetakan. Bagian-bagian tersebut terdiri dari: cawan tuang, saluran turun, pengalir, dan saluran masuk.

- a. Cawan tuang

Merupakan penerima yang menerima cairan logam langsung dari *ladle*. Cawan tuang biasanya berbentuk corong atau cawan dengan saluran turun di bawahnya. Cawan tuang harus mempunyai konstruksi yang tidak dapat melakukan kotoran yang terbawa dalam logam cair dari *ladle*. Oleh karena itu cawan tuang tidak boleh terlalu dangkal. Kalau perbandingan antara: H tinggi logam cair dalam cawan tuang dan d diameter cawan, harganya terlalu kecil, umpamanya kurang dari 3, maka akan terjadi pusaran-pusaran dan timbullah kerak atau kotoran yang terapung pada permukaan logam cair. Karena itu dalamnya cawan tuang sebaiknya dibuat sedalam mungkin. Sebaliknya kalau terlalu dalam, penuangan menjadi sukar dan logam cair yang tersisa dalam cawan tuang akan terlalu banyak sehingga tidak ekonomis. Oleh karena itu kedalaman cawan tuang biasanya 5 sampai 6 kali diameter.

b. Saluran turun

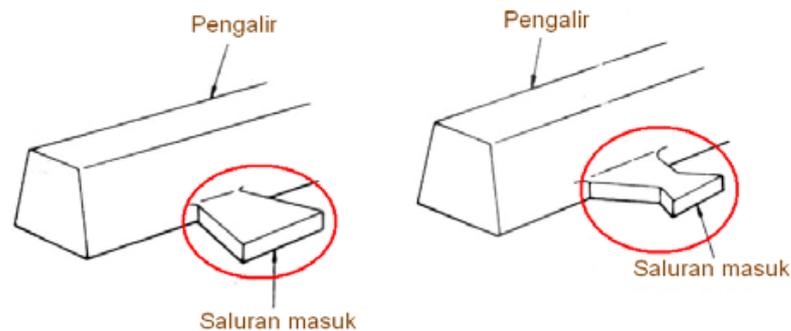
Saluran turun adalah saluran yang pertama yang membawa cairan logam dari cawan tuang kedalam pengalir dan saluran masuk. Saluran turun dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran. Kadang-kadang irisannya sama dari atas sampai bawah, atau mengecil dari atas kebawah yang pertama dipakai kalau dibutuhkan pengisian yang cepat dan lancar, sedangkan yang kedua dipakai apabila diperlukan penahan kotoran sebanyak mungkin. Saluran turun dibuat dengan melubangi cetakan dengan mempergunakan satu batang atau dengan memasang bumbung tahan panas yang dibuat dari samot. Samot ini cocok untuk membuat saluran turun yang panjang. Ukuran diameter saluran turun bervariasi, tergantung dari berat coran.

c. Pengalir

Pengalir adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun ke bagian-bagian yang cocok pada cetakan. Pengalir biasanya mempunyai irisan seperti trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan demikian mudah dibuat pada permukaan pisah, lagi pula pengalir mempunyai luas permukaan yang terkecil untuk satu luas irisan tertentu, sehingga lebih efektif untuk pendinginan yang lambat. Pengalir lebih baik sebesar mungkin untuk melambatkan pendinginan logam cair. Logam cair dalam pengalir masih membawa kotoran yang terapung, terutama pada permulaan penuangan sehingga harus dipertimbangkan untuk membuang kotoran tersebut. Perpanjangan pemisah dibuat pada ujung saluran pengalir agar logam cair yang pertama masuk akan mengisi seluruh ruang pada cetakan, serta membuat kolam putaran pada saluran masuk dan membuat saluran turun bantu.

d. Saluran Masuk

Saluran masuk adalah saluran yang mengisikan logam cair dari pengalir kedalam rongga cetakan. Saluran masuk dibuat dengan irisan yang lebih kecil dari pada irisan pengalir, agar dapat mencegah kotoran masuk kedalam rongga cetakan. Bentuk irisan saluran masuk biasanya berupa bujur sangkar, trapesium, segitiga atau setengah lingkaran yang membesar ke arah rongga cetakan untuk mencegah terkikisnya cetakan. Kadang-kadang irisannya diperkecil ditengah dan diperbesar lagi ke arah rongga. Pada pembongkaran saluran turun, irisan terkecil ini mudah diputuskan sehingga mencegah kerusakan pada coran. Saluran masuk dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.2 Saluran masuk

Pada gambar 2.2 diatas terlihat posisi saluran masuk diletakkan disamping saluran pengalir, tujuannya penghubung atau aliran cairan kedalam coran yang akan dibentuk. Saluran masuk tidak bagus terlalu panjang, dapat mengakibatkan penurunan temperatur ke dalam coran yang akan dibentuk.

2.2.8 Pembuatan Cetakan

Ada 2 jenis cetakan yang sering digunakan pada proses pengecoran, yaitu:

a. Cetakan Logam

Cetakan yang biasa digunakan pada pengecoran logam adalah cetakan logam. Cetakan logam umumnya sering digunakan karena porositas yang terjadi lebih sedikit bila dibandingkan dengan cetakan pasir. Pada penuangan, logam cair mengalir melalui pintu cetakan, maka bentuk pintu cetakan harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran logam cair. Pada umumnya logam cair dituangkan dengan pengaruh gaya berat, walaupun dapat juga dipergunakan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan. Pengecoran cetak adalah suatu cara pengecoran dimana logam cair ditekan ke dalam cetakan logam dengan tekanan tinggi.

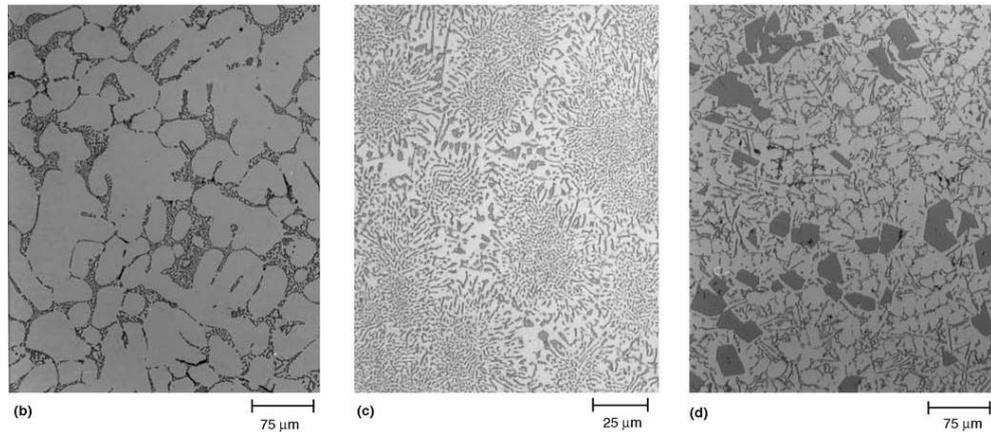
b. Cetakan Pasir

Cara ini dibuat dengan cara memadatkan pasir. Pasir yang dipakai adalah pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Biasanya dicampurkan pengikat khusus seperti air-kaca, semen, resin *fulan*, resin *fenol* (minyak pengering), dan bentonit karena penggunaan zat-zat tersebut memperkuat cetakan atau mempermudah pembuatan cetakan.

Untuk membuat coran, harus dilakukan beberapa proses seperti pencairan, pembuatan cetakan, penuangan, pembongkaran dan pembersihan coran. Untuk mencairkan logam bermacam-macam dapur yang dipakai. Umumnya kupola (dapur induksi frekwensi rendah) dipergunakan untuk besi cor, dapur busur listrik (dapur induksi frekwensi tinggi) digunakan untuk baja tuang dan dapur krus untuk paduan tembaga atau coran paduan ringan, karena dapur ini dapat memberikan logam cair yang baik dan sangat ekonomis untuk logam-logam tersebut. Cetakan pasir jarang digunakan karena kemungkinan terjadinya porositas lebih besar.

2.2.9 Uji Strukturmikro

Untuk mengetahui strukturmikro dari suatu logam pada umumnya pengujian dilakukan dengan refleksi pemendaran (sinar), pada pemolesan atau etsa, tergantung pada permukaan logam uji polis, dan diperiksa langsung di bawah mikroskop atau dietsa lebih dulu, baru diperiksa di bawah mikroskop. Seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Strukturmikro paduan Al-si (a) Strukturmikro paduan hypoeutectic (1.65-12.6 % Si). 150X. (b) Strukturmikro paduan eutectic (12.6% Si). 400X. (c) Strukturmikro paduan hypereutectic (>12.6% Si). 150X (ASM International, 2004)

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian strukturmikro, yaitu:

a. Pematangan (sectioning)

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

Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

b. Pemegangan (mounting)

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

- Bersifat inert (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
- Sifat eksoterimis rendah
- Viskositas rendah
- Penyusutan linier rendah
- Sifat adhesi baik
- Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel

- Flowabilitas baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel
- Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan mounting harus konduktif

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. Namun bahan castable resin ini tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras.

c. Pengamplasan kasar (grinding)

Grinding dilakukan dengan menggunakan disc pengamplasan yg ditutup dengan Silicon carbide kertas dan air. Ada sejumlah ukuran amplas, yaitu 180, 240, 400, 1200, butir Silicon carbide per inci persegi. Ukuran 180, menunjukkan kekasaran dan partikel ini adalah ukuran untuk memulai operasi pengamplasan. Selalu menggunakan tekanan langsung di pusat sampel. Lanjutkan pengamplasan hingga semua noda kasar telah dihapus, permukaan sampel rata, dan semua goresan yang pada satu posisi. Hal ini membuat mudah untuk dilihat ketika goresan semuanya telah dihapus.

Setelah operasi pengamplasan selesai pada ukuran amplas 1200, cuci sampel dengan air diikuti oleh alkohol dan keringkan sebelum dipindah ke polish. Atau juga dapat tahap ini ukurannya 240, 800, 1000, 1500. Berikut adalah beberapa tahap dalam pengampelasan, yaitu:

- Persiapan, tahap ini adalah tahap dimana melakukan pemilihan amplas yang dimulai dengan menggunakan amplas dengan nomor yang paling rendah (kasar) dan juga ditambah dengan penggunaan air dengan tujuan supaya tidak terjadi gesekan antara permukaan spesimen dengan amplas yang dapat mengakibatkan percikan bunga api.
 - Abrasion damage, adalah tahap menghaluskan permukaan dari spesimen dengan menggunakan amplas dari nomor rendah (nomor 360) ke nomor yang paling tinggi (nomor 2000) sampai permukaan dari spesimen yang diuji rata dan tidak ada lagi scratch pada material bila dilihat di mikroskop.
- d. Pemolesan (polishing)

Tahap polishing bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang rata dan mengkilap, tidak boleh ada goresan yang merintanginya selama pengujian. finish lap merupakan tahap menghalusan akhir material dengan menggunakan kain yang telah diolesi polisher agar permukaan mengkilap dan rata atau bias disebut juga dengan polishing.

Polish yang terdiri dari disc pengamplasan ditutup dengan kain lembut penuh dengan partikel berlian (ukuran 6 dan 1 mikron) dan minyak pelumas yang

berminyak. Mulai dengan ukuran 6 mikron dan terus menggosok sampai goresan hilang.

e. Etsa (etching).

Etching digunakan dalam metallography untuk memperlihatkan mikrostruktur dari specimen dengan menggunakan mikroskop. Specimen yang akan dietching harus dipolish secara teliti dan rata serta bebas dari perubahan yang disebabkan deformasi pada permukaan spesimen, alur material, pullout, dan goresan.

Meskipun dalam mikrography beberapa informasi sudah dapat diketahui tanpa proses etching, tetapi mikrostruktur suatu material biasanya baru dapat terlihat setelah dilakukan pengetsaan. Hanya sekitar 10% informasi yang dapat terlihat tanpa proses etching. Hanya reaktan, pori, celah, dan unsur non-metalik lainnya yang dapat diamati hanya dengan polishing, selebihnya diperlukan etching. Secara umum tujuan dari etching adalah:

- Memberi warna pada permukaan benda uji sehingga tampak jelas ketika diamati dengan mikroskop (color enhancement)
- Menimbulkan korosi sehingga memperjelas batas butir
- Meningkatkan kontras antar butir dan batas butir (optical enhancement of contrast)
- Mengidentifikasi fasa pada suatu spesimen (anodizing process)

f. Pemotretan (photo)

Dimaksudkan untuk mendapatkan Gambar dari struktur kristal yang dimaksud. Untuk mendapatkan foto mikrografi yang tajam, variabel berikut harus terkontrol yaitu penghilangan getaran, pelurusan pencahayaan, penyesuaian warna cahaya terhadap korelasi objek, menjaga kejernihan objek, penyesuaian daerah pengamatan, dan lubang diagram serta kecepatan fokus.

2.3.1 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 eksperimen 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.

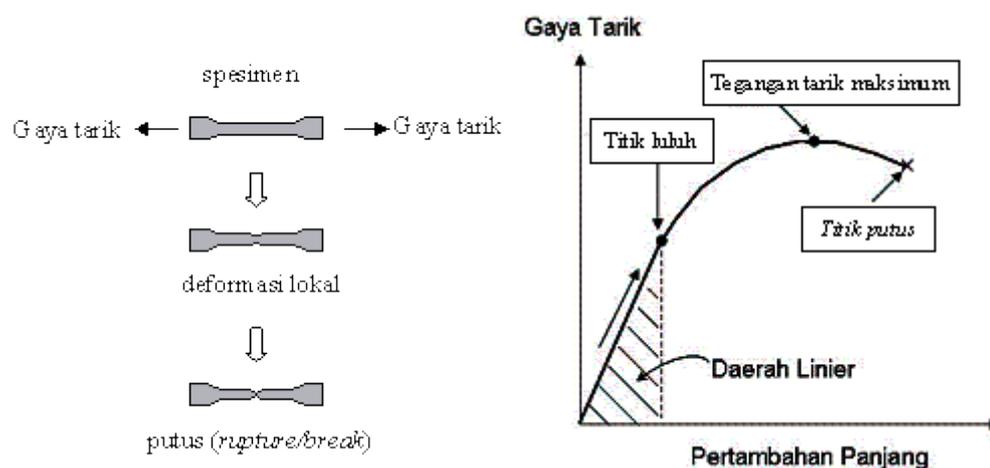


Gambar 2.4 Mesin uji tarik

Uji tarik adalah uji yang dilakukan pada suatu material dengan cara menerapkan beban tarik pada material tersebut. Dengan pemberian beban tarik tersebut kita dapat mengevaluasi kelakuan material, sehingga akan diperoleh sifat-sifat mekanik dari material tersebut, antara lain :

1. Mengapa melakukan Uji Tarik?

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar.2.5. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gambar.2.5 Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut

“Ultimate Tensile Strength” disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.

Hukum Hooke (Hooke’s Law)

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau linear zone. Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut:

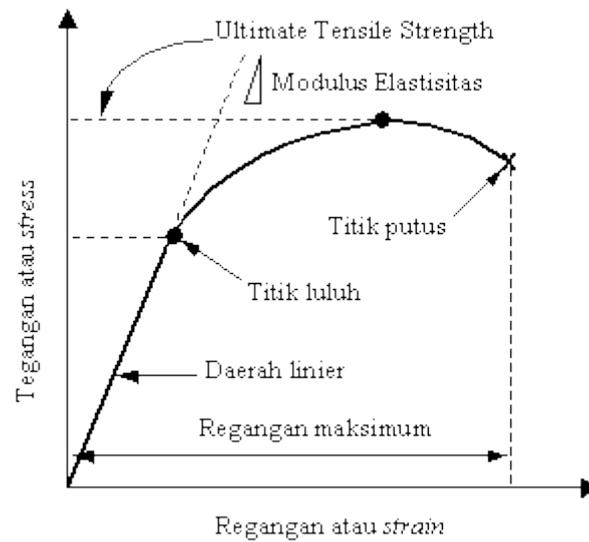
- rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan
- Stress adalah beban dibagi luas penampang bahan dan strain adalah penambahan panjang dibagi panjang awal bahan.
- Stress: $\sigma = F/A$ F: gaya tarikan, A: luas penampang
- Strain: $\varepsilon = \Delta L/L$ ΔL : penambahan panjang, L: panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

- $E = \sigma / \varepsilon$

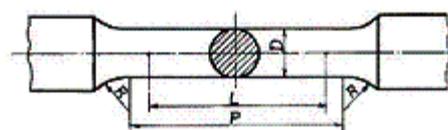
Untuk memudahkan pembahasan, Gambar 2.6 kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan penambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (stress vs strain). Selanjutnya kita dapatkan Gambar.2.6, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah 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).



Gambar.2.6 Kurva tegangan-regangan

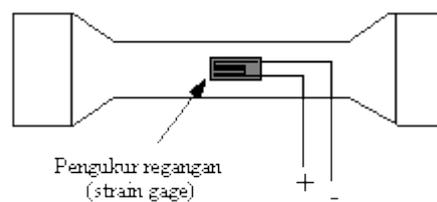
Bentuk bahan yang diuji, untuk logam biasanya dibuat spesimen dengan dimensi seperti pada Gambar.2.7 berikut.



Unit: mm

D	L	P	R
14	50	60	≥ 15

Gambar.2.7 Dimensi spesimen uji tarik (JIS Z2201).

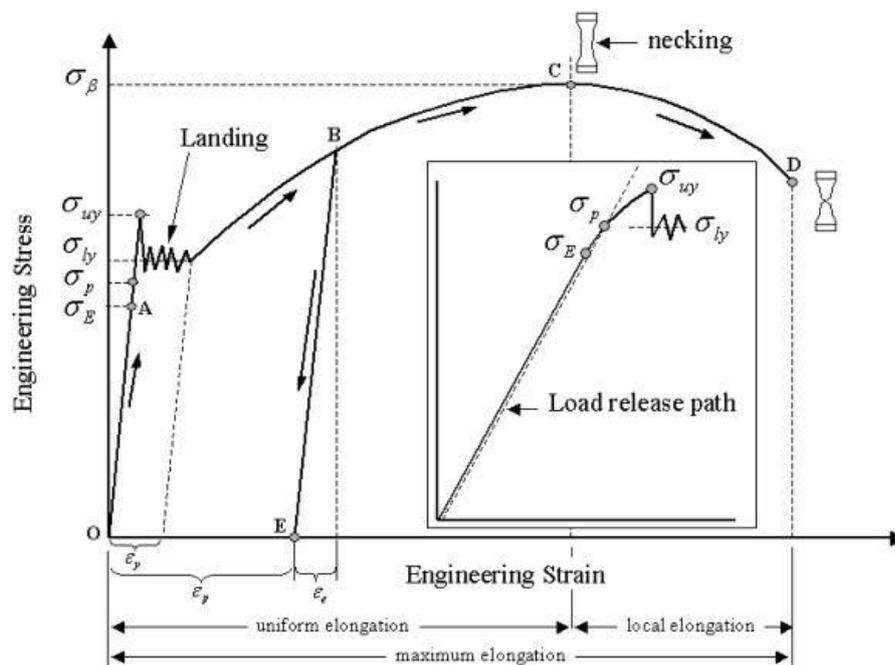


Gambar.2.8 Ilustrasi pengukur regangan pada spesimen

Perubahan panjang dari spesimen dideteksi lewat pengukur regangan (strain gage) yang ditempelkan pada spesimen seperti diilustrasikan pada Gambar.2.8. Bila pengukur regangan ini mengalami perubahan panjang dan penampang, terjadi perubahan nilai hambatan listrik yang dibaca oleh detektor dan kemudian dikonversi menjadi perubahan regangan.

2. Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada Gambar.2.8.



Gambar.2.9 Profil data hasil uji tarik

Kita akan membahas istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada Gambar.2.9. Asumsikan bahwa kita

melakukan uji tarik mulai dari titik O sampai D sesuai dengan arah panah dalam gambar.

Batas elastis σ_E (elastic limit)

Dalam Gambar.2.9 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.2.9). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (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. [1]

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.2.9 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)

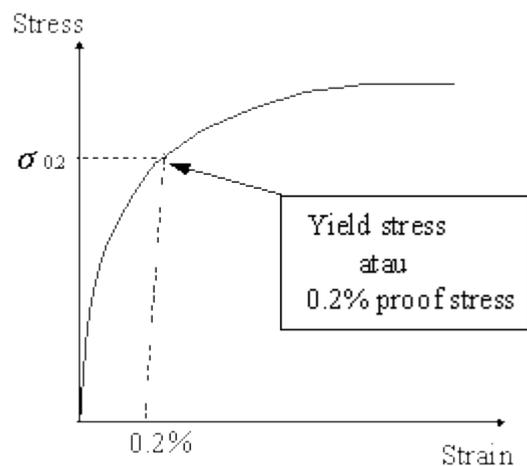
Pada Gambar.2.9 ditunjukkan dengan titik C (σ_{β}), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

Kekuatan patah (breaking strength)

Pada Gambar.2.9 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.2.10.



Gambar.2.10 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.

3. 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.2.5, modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.

Derajat ketangguhan (toughness)

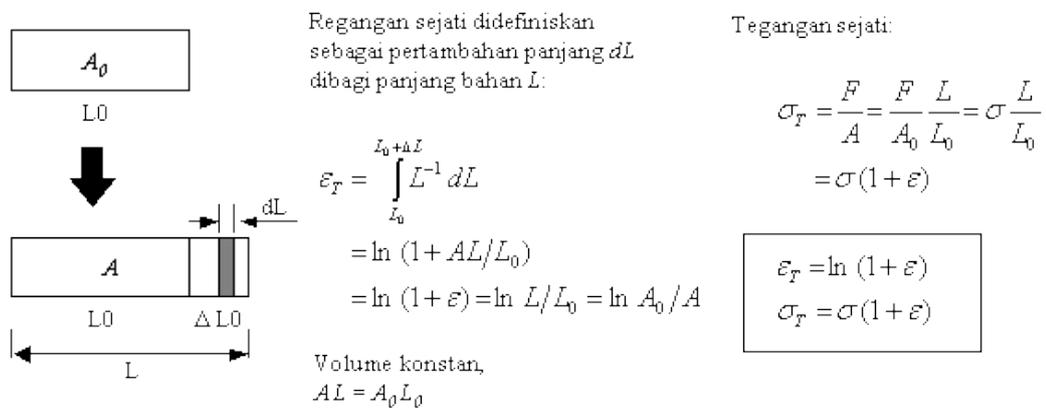
Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness). Dalam Gambar.2.9, modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva OABCD.

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. Detail definisi tegangan dan regangan sejati ini dapat dilihat pada Gambar.2.11.



Gambar.2.11 Tegangan dan regangan berdasarkan panjang bahan sebenarnya

2.4. Pengujian Kekerasan

Teori Pengujian Kekerasan

Konsep umum tentang kekerasan sebagai penentu kualitas suatu bahan mempunyai kaitan erat dengan kekakuan dan kekompakan permukaan suatu material. Ada banyak metode yang dikembangkan dalam menentukan harga kekerasan ini. Sehingga arti fisik dari kekerasan tidak mudah dipahami bersama. Pengertian tentang kekerasan ini bergantung pada pengalaman dan profesi setiap orang. Metode umum pengujian kekerasan ada tiga jenis yaitu ; Scracht, Indentor dan Dynamic.

Konsep yang dipakai pada pengujian ini adalah metode indenter, yaitu pengujian kekerasan dengan menggunakan Indentor, pengujian pada percobaan ini dibagi tiga jenis; Brinell, Vicker dan Rockwell.

2.4.1. Pengujian Brinell

Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam menggunakan indentor. Indentor untuk brinell berbentuk bola dengan diameter 10mm, diameter 5mm, diameter 2,5mm, dan diameter 1mm, itu semua adalah diameter bola standar internasional. Bola brinell yang standar internasional tersebut ada 2 bahan pembuatannya. Ada yang terbuat dari baja yang dikeraskan/dilapis chrom, dan ada juga yang terbuat dari tungsten carbide. Tungsten carbide lebih keras dari baja, jadi tungsten carbide biasanya dipakai untuk pengujian benda yang keras yang dikhawatirkan akan merusak bola baja.



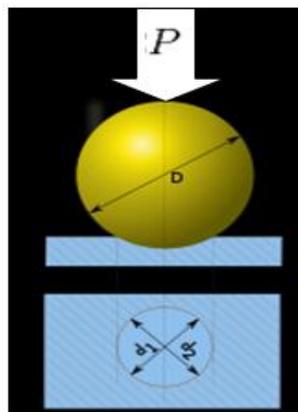
Gambar 2.12 Indentor Brinell

Cara/metoda pengujian Brinell

A. persiapkan alat dan bahan pengujian :

1. mesin uji kekerasan Brinell (Brinell Hardness Test)

2. indentor bola (bola baja atau bola carbide)
 3. benda uji yang sudah di gerinda
 4. amplas halus stop watch f. mikroskop pengukur
- B. indentor di tekankan ke benda uji/material dengan gaya tertentu. (untuk base ferro biasanya menggunakan 3000 kgf)
- C. tunggu hingga 10 – 30 detik (biasanya 20 detik)
- D. bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
- E. ukur diameter lekukan yang terjadi menggunakan mikroskop pengukur. (ukur beberapa kali di beberapa tempat dan posisi dan ambil nilai pengukuran yang paling besar)
- F. masukkan data-data tersebut ke rumus



Gambar 2.13 Rumus perhitungan metode brinell

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana :BHN = Brinell Hardness Number

P = Beban yang diberikan (kgf)

D = Diameter indentor (mm)

d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi

rumus untuk mencari beban yang sesuai.

$$P = C \times D^2$$

Dimana: P = Beban yang diberikan

C = Konstanta bahan yang akan di uji (jika bahannya base ferro maka konstantanya 30)

D = Diameter indenter

2.4.2. Pengujian Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat. Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu micro (10g – 1000g) dan macro (1kg – 100kg).

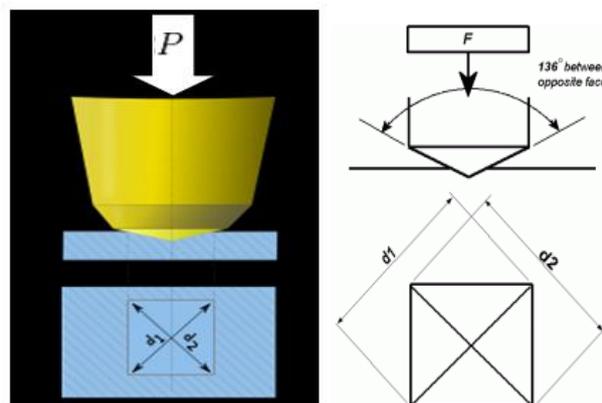


Gambar 2.14 Indentor Vickers

Cara/metoda pengujian Vickers

- A. persiapkan alat dan bahan pengujian

1. mesin uji kekerasan Vickers (Vickers Hardness Test)
 2. indenter piramida intan (diamond pyramid)
 3. benda uji yang sudah di gerinda
 4. amplas halus
 5. stop watch
 6. mikroskop pengukur (biasanya satu set dengan alatnya)
- B. indenter di tekankan ke benda uji/material dengan gaya tertentu. (rentang micro 10g – 1000g dan rentang micro 1kg – 100kg)
- C. tunggu hingga 10 – 20 detik (biasanya 15 detik)
- D. bebaskan gaya dan lepaskan indenter dari benda uji
- E. ukur 2 diagonal lekukan persegi (belah ketupat) yang terjadi menggunakan mikroskop pengukur. (ukur dengan teliti dan cari rata-ratanya)
- F. masukkan data-data tersebut ke rumus



Gambar.2.15 Rumus perhitungan metode vikers.

Rumus penghitungan pengujian metoda Vickers:

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

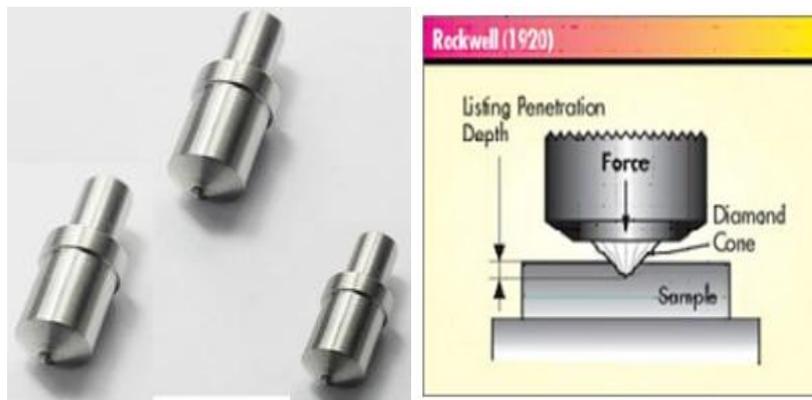
Dimana :VHN = Vickers Hardness Number

P = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi

2.4.3. Pengujian Rockwell

Pengujian rockwell menggunakan indenter bola baja diameter standar (diameter 10mm, diameter 5mm, diameter 2.5mm, dan diameter 1mm) dan indenter kerucut intan. pengujian ini tidak membutuhkan kemampuan khusus karena hasil pengukuran dapat terbaca langsung. tidak seperti metoda pengujian Brinell dan Vickers yang harus dihitung menggunakan rumus terlebih dahulu. Pengujian ini menggunakan 2 beban, yaitu beban minor/minor load (F_0) = 10 kgf dan beban mayor/mayor load (F_1) = 60kgf sampai dengan 150kgf tergantung material yang akan di uji dan tergantung menu rockwell yang dipilih (ada HRC, HRB, HRG, HRD,dll).



Gambar 2.16 Indentor Rockwell

Pengujian ini menggunakan 2 beban, yaitu beban minor/minor load (F_0) = 10 kgf dan beban mayor/mayor load (F_1) = 60kgf sampai dengan 150kgf tergantung material yang akan di uji dan tergantung menu rockwell yang dipilih (ada HRC, HRB, HRG, HRD, dll) . HRC menggunakan indenter kerucut intan

dan beban 150kgf. ini dimaksudkan untuk mencegah rusaknya indentor karena kalah keras dibandingkan material yang di uji. seperti yang kita tahu bahwa intan adalah logam paling keras saat ini. beban minor sebesar 10kgf diberikan dengan tujuan untuk menyamaratakan semua permukaan benda uji. dengan adanya sedikit penekanan tersebut membuat material yang akan di uji tidak perlu di persiapkan sehalus dan semengkilap mungkin, cukup bersih dan tidak berkarat. Perbedaan kedalaman hasil indentasi berdampak pada tingkat kekerasan material. semakin dalam indentasi semakin lunak material yang kita uji.