**BAB II**

**DASAR TEORI**

**2.1 Penjepit Kabel (*Cable Clamp*)**

Definisi umum dari *clamp* adalah suatu alat pengencang yang digunakan untuk memegang (*hold*), mengamankan suatu objek dengan terikat kencang secara bersama untuk menghindari perpindahan objek selama aplikasi objek yang dijaga atau dipegang[1].



(1) (2)

Gambar 2.1 Gardu induk (1) dan cable clamp yang digunakan sebagai penyambung (2)

Penjepit kabel atau *cable clamp* yang akan diuji adalah alat yang digunakan untuk menyambungkan kabel atau konduktor dari jaringan transmisi listrik menuju gardu induk. *Cable clamp* juga digunakan untuk menyambungkan satu peralatan dengan peralatan lain di gardu induk.

**2.2 Aluminium dan Paduannya**

Aluminium ditemukan oleh Sir Humhrey Davy tahun 1809 sebagai unsur, pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C Oerted tahun 1825, dan secara industri tahun 1886 oleh Paul Heroult dari Perancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh aluminium dan alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi, daya hantar listrik (60% Cu) dan sifat-sifat baik lainnya dari logam. Kekuatan mekaniknya akan meningkat dengan penambahan senyawa Cu, Mg, Ni. Oleh karena itu logam ini dipergunakan dalam banyak proses industri.

**2.2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium**

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia, saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah Aluminium Association (AA), di Amerika yang didasarkan atas dasar terdahulu dari ALCOA (*Aluminum Company Of Amerika*).

Paduan tempa (*wrought alloy*) dinyatakan dengan tiga angka, standar AA menggunakan penandaan dengan empat angka. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang dipadukan/ditambahkan yaitu :

1. Aluminium murni, 1XXX
2. Aluminium-tembaga (Al-Cu), 2XXX
3. Aluminium-mangan (Al-Mn), 3XXX
4. Aluminium-silikon, (Al-Si), 4XXX
5. Aluminium-magnesium, (Al-Mg), 5XXX
6. Aluminium-magnesium silikon (Al-Mg-Si), 6XXX
7. Aluminium-seng (Al-Zn), 7XXX[2]

Sedangkan paduan cor (casting) diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Aluminium murni, 1XX.X
2. Aluminium-tembaga, 2XX.X
3. Aluminium-silikon dengan tembaga atau magnesium, 3XX.X
4. Aluminium-silikon, 4XX.X
5. Aluminium-magnesium, 5XX.X
6. Seri 6XX.X tidak digunakan
7. Aluminium-seng, 7XX.X
8. Aluminium-tin, 8XX.X
9. Aluminium paduan lain.

**2.2.2 Pengaruh Penambahan Paduan Pada Aluminium Cor**

1. Antimony, Sb

Pada level konsentrasi samadengan atau lebih besar dari 0.50%, antimony kembali menghalusakan (*refine*) fasa eutektik aluminium-silikon pada bentuk lamel pada komposisi hypoeutectic. Keefektifan antimony mengubah struktur eutektik berdasarkan keberadaan posfor dan cukupnya waktu pendinginan. Antimony selalu bereaksi dengan sodium atau strontium untuk membentuk intermetalik kasar dengan menurunkan sifat mampu cor (*cast ability*).

1. Beryllium, Br

Penambahan beryllium meskipun sedikit sangat efektif untuk menurunkan oksidasi dan inklusi pada paduan yang mengandung komposisi magnesium. Penelitian menunjukan peningkatan konsentrasi berylium secara proporsional dapat menekan oksidasi pada paduan yang mengandung magnesium. Konsentrasi berylium yang besar (>0.04%), pada paduan yang mengandung besi-mengandung intermetallik, dapat meningkatkan kekuatan (*strength*) dan keuletan (*ductility*).

1. Bismuth, Bi

Penambahan unsur bismuth akan meningkatkan sifat mampu mesin (*machinability*) pada aluminium cor dengan konsentrasi >0.1%.

1. Boron,B

Dikombinasikan dengan logam lainnya untuk membentuk borides, seperti Al2 dan TiB­2. Titanium boride membentuk pengintian yang stabil yang berinteraksi dengan penghalusan butir seperti TiAl­3­ dalam aluminium cair. Boride logam menurunkan kemampuan kerja peralatan pemesinan, dan dalam bentuk partikel kasar.

1. Cadmium, Cd

Penambahan cadmium 0.1% dapat meningkatkan sifat mampu mesin.

1. Calcium, Ca

Merupakan pemodifikasi eutektik aliminium-silikon yang lemah. Kalsium meningkatkan mampu larut dari hydrogen, dimana hydrogen bertanggung jawab terhadap terjadinya porositas. Konsentrasi kalsium lebih dari 0.0005% selalu menahan efek keuletan pada paduan Al-Mg.

1. Chromium, Cr

Ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan meningkatkan sensitivitas *quenchin*g pada konsentrasi yang tinggi.

1. Copper, Cu

Yang pertama dan banyak digunakan pada paduan aluminium dimana konsentrasi 4 sampai 10% Cu. Tembaga pada hakikatnya meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan aluminium cor dan mampu laku panas. Paduan yang mengandung 6% Cu sangat bagus untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Tembaga secara umum menurunkan ketahanan korosi dan pada komposisi spesifik dan pada beberapa kondisi material kelemahannya adalah timbulnya korosi tegangan. Penambahan Cu akan menurunkan ketahanan panas dan menurunkan sifat mampu cor.

1. Iron, Fe

Penambahan Fe akan meningkatkan ketahanan panas dan menurunkan mampu solder pada *die casting*. Meningkatnya Fe akan menurunkan keuletan. Fe bereaksi untuk membentuk banyak sekali fasa tak larut pada aluminium paduan dalam keadaan cair, yang banyak tersebut adalah FeAl3, FeMnAl6 dan αAlFeSi. Fasa tak larut ini akan meningkatkan kekuatan, khususnya pada temperatur tinggi.

1. Lead, Pb

Digunakan pada aluminium cor lebih dari 0.1% untuk meningkatkan sifat mampu mesin.

1. Magnesium, Mg

Merupakan basis untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada proses laku panas paduan Al-Si dan biasanya digunakan dalam komposisi yang lebih rumit Al-Si yang mengandung Cu, Ni dan unsur lainnya untuk tujuan yang sama. Fasa keras Mg2Si menunjukan kemampuan batas kelarutan yang mendekati 0.70% Mg, di atas komposisi tersebut tidak akan mengakibatkan peningkatan kekuatan berdasarkan matrik yang akan menjadi lunak. Biasanya komposisi premium berada pada 0.40% sampai 0.070%.

Paduan biner Al-Mg digunakan secara luas untuk aplikasi yang membutuhkan permukaan akhir yang baik dan ketahanan korosi, serta merupakan kombinasi keuletan dan kekuatan. Biasanya komposisi berada pada 4% sampai 10% Mg dan komposisi lebih dari 7% dapat dilaku panas.

1. Mangan, Mn

Secara normal mempertimbangkan pengotor (*impurity*) dalam komposisi cor dan dikontrol pada level rendah dalam komposisi cor gravitasi. Mangan merupakan unsur penting dalam komposisi tempa meskipun dalam proses pengecoran mungkin mengandung mangan lebih banyak. Keberadaan proses pengerasan, mangan memberikan keuntungan yang signifikan pada paduan aluminium cor. Mangan dapat juga digunakan untuk lebih merespon akibat perlakukan kimia atau proses *anodizing*.

1. Merkuri, Hg

Komposisi yang mengandung merkuri dapat dijadikan sebagai material anoda yang dikorbankan untuk sistem perlindungan katodik secara khusus untuk keperluan kelautan. Paduan yang mengandung merkuri dapat mencemari lingkungan perairan.

1. Nikel, Ni

Selalu digunakan dengan tembaga untuk memperbaiki sifat-sifat pada temperatur tinggi. Penambahan paduan tersebut dapat menurunkan koefisien ekspansi termal.

1. Posfor, P

Dalam bentuk AlP3, pengintian posfor akan melakukan penghalusan kembali fasa silikon dalam paduan hypoeutektik Al-Si. Posfor dapat mengurangi keefektifan sodium atau strontium sebagai pemodifikasi struktur eutektik.

1. Silikon, Si

Pengaruh penambahan silikon pada aluminium adalah untuk meningkatkan mampu cor. Penambahan silikon pada aluminium murni akan meningkatkan mampu alir, ketahanan temperatur tinggi dan karakteristik feeding. Paduan komersial menjangkau hypoeutektik dan hypereutektik sampai 25% Si. Secara umum, range optimum konsentrasi silikon dapat ditentukan pada proses cor. Untuk proses dengan pendinginan lambat (seperti plaster, invesment dan cetakan pasir) kandungan Si adalah 5% sampai 7%. Untuk cetakan permanen 7% sampai 9%, dan untuk proses die casting 8% sampai 12%. Dasar rekomendasi adalah hubungan antara laju pendinginan dan mampu alir dan pengaruh dari persentasi dari eutektik pada penuangan.

1. Perak, Ag

Digunakan hanya dengan persentase terbatas dari aluminium-tembaga dengan kekuatan terbaik pada konsentrasi 0.5% sampai 1%. Perak berkontribusi dalam proses *precipitation hardening* dan ketahanan korosi.

1. Sodium, Na

Digunakan untuk memodifikasi eutektik Al-Si. Jika Sodium berinterkasi dengan posfor dapat menurunkan keefektifan dalam memodifikasi eutektik dan posfor menurunkan kemampuan dalam penghalusan kembali fasa silikon.

1. Strontium, Sr

Digunakan untuk memodifikasi eutektik Al-Si. Keefektifan modifikasi dapat dicapai pada penambhan level terendah, tapi range jangkauan strontium dari 0.008% sampai 0.04% adalah yang biasanya digunakan. Penambahan yang lebih tinggi akan mengakibatkan porositas, khususnya dalam proses atau bagian yang tipis dengan pendinginan yang lambat. Degassing akan sangat diperlukan ketika penambahan strontium yang tinggi.

1. Tin, Sn

Efektif untuk meningkatkan karakter tahan gesekan dan sangat diperlukan untuk aplikasi bantalan bearing. Paduan cor mungkin mengandung 25% Sn. Penambahan Sn dapat meningkatkan mampu mesin.

1. Titanium, Ti

Merupakan unsur mahal yang digunakan untuk penghalusan kembali struktur butir pada paduan aluminium cor, setelah dikombinasikan dengan sedikit unsur boron.

1. Zinc, Zn

Tidak ada keuntungan yang signifikan dari penambhan zinc pada aluminium. Namun keberadaan zinc akan meningkatkan mampu laku panas atau komposisi penuaan alami. Zinc dapat ditemukan pada gravity casting dan komposisi die casting[3].

**2.2.3 Paduan Aluminium Silikon (Al-Si)**

Aluminium dengan silikon sebagai unsur paduan utama merupakan paduan aluminium tuang yang paling penting. Hal tersebut dikarenakan paduan Al-Si memiliki fluiditas yang tinggi. Oleh adanya volume yang besar dari Al-Si eutektik. Kelebihan lainnya dari paduan aluminium silikon ini yaitu memiliki ketahanan korosi yang tinggi, sifat mampu las yang baik serta memiliki koefisien ekspansi termal rendah karena adanya silikon. Akan tetapi, kehadiran partikel silikon yang keras dalam mikrostrukturnya, membuat paduan aluminium silikon ini susah dalam proses pemesinannya.

Paduan aluminium silikon berdasarkan kadar silikon yang terkandung didalamnya terbagi menjadi hipoeutektik, eutektik dan hipereutektik. Untuk keperluan komersial paduan hipereutektik jarang digunakan.



Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Si (*ASM Speciality Hand Book. (1996). Aluminum and Aluminum Alloys. Ohio USA: ASM International*)

Paduan aluminium silikon hipoeutektik mengandung kurang dari 12% Si dan memiliki mikrostruktur yang terdiri dari dendrite aluminium dalam eutektik. Paduan aluminium silikon ini memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi dan keuletan yang baik. Akan tetapi, ketahanan aus untuk paduan ini relative rendah sehingga tidak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi.

Paduan aluminium silikon hipereutektik, mengandung silikon lebih dari 12.7%. Mikrostruktur paduan ini terdiri dari endapan partikel silikon primer dalam matriks eutektik. Karena adanya endapan partikel silikon, maka paduan aluminium silikon hipereutektik memiliki ketahanan aus yang sangat baik. Akan tetapi kekuatan tarik dan keuletannya lebih rendah dibandingkan dengan aluminium silikon hipoeutektik. Selain itu, adanya endapan partikel silikon ini membuat masalah pada proses pemesinannya.

Sedangkan paduan aluminium silikon eutektik, memiliki kadar silikon sebesar 12-12.7%. Eutektik terbentuk antara larutan padat aluminium yang mengandung sedikit silikon dan silikon murni sebagai fasa kedua. Komposisi eutektik telah menjadi perdebatan sejak lama, akan tetapi sekarang secara umum telah disepakati 12.7% Si. Pembekuan yang lambat dari paduan aluminium silikon menghasilkan mikrostruktur yang sangat kasar dimana eutektik terdiri dari plat lebar atau jarum-jarum silikon dalam matriks aluminium yang kontinyu[4].

**2.2.4 Proses Pembentukan Fasa Intermetalik**

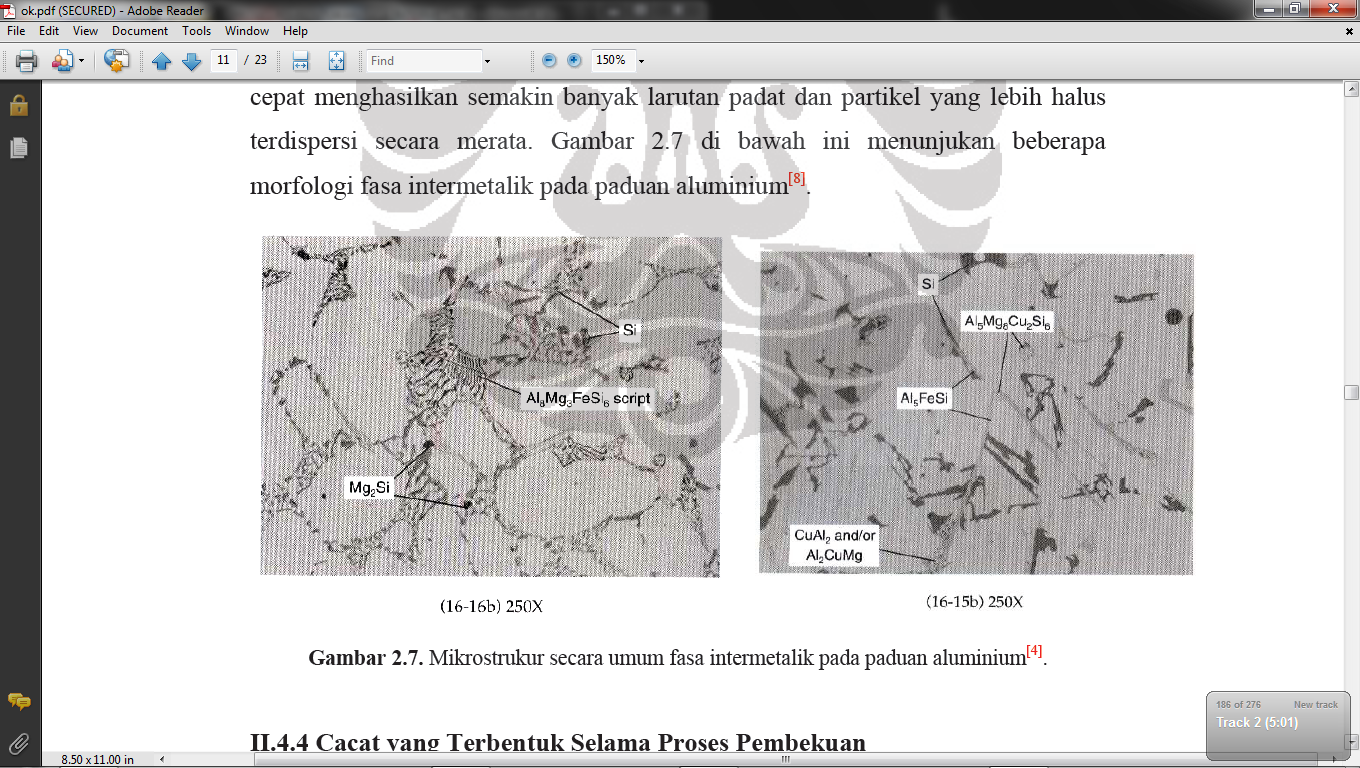
Fasa intermetalik merupakan fasa kedua yang mengendap pada struktur mikro paduan aluminium paduan, yang terbentuk sebagai akibat dari komposisi kimia yang melebihi batas kelarutannya. Keberadaan fasa ini sangat dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembentukan yang terjadi.

Pada reaksi pembekuan Al-Si hipoeutektoid dan eutektik terjadi beberapa mekanisme pengendapan fasa, yaitu :

* Pembentukan jaringan dendritik α-aluminium
* Reaksi eutektik Al-Si
* Pengendapan fasa kedua eutektik seperti Mg2Si dan Al2Cu

Sebagai tambahan dari reaksi fasa utama di atas terjadi juga pengendapan fasa yang mengandung Mn dan Fe. Fasa yang paling sering muncul pada paduan Al-Si adalah fasa Al5FeSi dan Al15(Mn,Fe)3Si2, dan selanjutnya pada tahap terakhir proses pembekuan terjadi pengendapan fasa Mg2Si dan Al2Cu.

Seperti tertulis pada bagian sebelumnya mengenai pengaruh paduan terhadap sifat mekanis, jenis paduan Fe dan Mn memegang peranan penting dalam meningkatkan sifat mekanis yang didasarkan pada struktur mikro. Keberadaan Fe dalam membentuk fasa Al5FeSi yang getas, sehingga keberadaan fasa ini dapat menurunkan keuletan. Fasa Al15(Mn,Fe)3Si2 yang berasal dari paduan Mn juga memiliki sifat yang getas dan keras seperti yang dihasilkan oleh Fe. Kedua fasa ini menyebabkan sulitnya proses pemesinan. Fasa metalik α-aluminium lebih mudah tumbuh dibandingkan dengan kristal silikon dan fasa intermetalik lainnya. Namun di antara fasa intermetalik, terdapat perbedaan kecepatan pertumbuhan, di mana fasa Al15(Mn,Fe)3Si2 lebih mudah tumbuh dibandingkan fasa Al5FeSi sehingga fasa ini lebih mendominasi pada saat pembekuan cepat.

Kecepatan pembekuan sangat mempengaruhi ukuran, bentuk dan distribusi fasa intermetalik. Pembekuan yang lambat menghasilkan fasa intermetalik yang kasar dan juga terjadi konsentrasi fasa kedua pada batas butir. Pembekuan yang cepat menghasilkan semakin banyak larutan padat dan partikel yang lebih halus terdispersi secara merata. Gambar dibawah ini menunjukan beberapa morfologi fasa intermetalik pada paduan aluminium[5].

250 X

250 X

Gambar 2.3 Mikrostruktur secara umum fasa intermetalik pada paduan aluminium(*Trijati, Lukfawan,(2008), Pengaruh Fading Pada Paduan AC4B Dengan Penambahan 0.072wt% Titanium Hasil Low Pressure Die Casting. Depok: FT-UI)*

**2.2.5 Dasar Perlakuan Panas Paduan Aluminium**

Perlakuan panas dan pengerasan aluminium dapat dilakukan jika sistem diantara Al dan CuAl2. Larutan padat alfa di daerah sisi Al pada temperatur tinggi merupakan larutan padat. Dari berbagai komponen kedua, yang kelarutannya menurun jika temperatur diturunkan, umpamanya 4% Cu – Al didinginkan dari larutan padat yang homogen sampai memotong kurva kelarutan unsur kedua pada keadaan mendekati keseimbangan, fasa kedua akan terpresipitasikan (mengendap) setelah beberapa waktu tertentu. Setelah ditahan beberapa waktu pada temperatur 500°C kemudian dicelup dengan cepat (*quenching*) sehingga diperoleh larutan padat lewat jenuh yang merupakan kondisi fasa yang tidak stabil, rangkaian operasi tersebut disebut perlakuan pelarutan (*solution treatment*).

Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan penuaan alamiah (*natural aging*). Sedangkan bila proses itu terjadi pada temperatur lebih tinggi dari temperatur kamar (120° - 180°C), dinamakan penuaan buatan (*artificial aging*) atau penuaan temper. Khusus untuk peningkatan kekerasan dan kekuatan dinamakan pengerasan penuaan atau pengerasan presipitasi[6]. Untuk memperlambat terjadinya proses penuaan/presipitasi pada paduan aluminium dapat dilakukan dengan cara, setelah pelarutan tersebut segera dimasukan ke tempat pendingin (*ice box*) dengan suhu -18°C, sehingga proses penuaannya dapat diperlambat hingga mencapai 144 jam (6 hari).

**Tabel 2.1**

**Klasifikasi Perlakuan Bahan**[7].

|  |  |
| --- | --- |
| Tanda | Perlakuan |
| F | *As fabricated*, digunakan pada produk-produk yang telah mengalami proses pembentukan. |
| O | *Annealed*, digunakan untuk produk hasil annealing. |
| H | *Strain harded*, digunkan pada produk-produk yang mengalami pertambahan kekuatan dengan proses pengerasan regang. |
| W | *Solution heat treatment*, merupakan temper yang tidak stabil hanya dilakukan pada aluminium yang dapat diproses *aging* pada temperatur kamar. |
| T | *Heat treated*, perlakuan panas untuk memperoleh temper (kondisi perlakuan panas) yang lebih stabil dari F, O, H dan W. Digunakan pada produk yang diproses *heat treatment* dengan atau tanpa strain hardening (*cold working*). |
| T1 | Didinginkan dari suatu temperatur tinggi hasil proses pembentukan dan dilanjutkan dengan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi stabil. |
| T2 | Didinginkan dari suatu temperatur tinggi hasil proses pembentukan, dilanjutkan dengan pengerjaan dingin *(cold working)* dan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil. |
| T3 | Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan *(solution heat treated)* dan dilanjutkan dengan proses pengerjaan dingin serta *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yan stabil. |
| T4 | Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan pngerjaan dingin serta *natural aging* untuk mendapatkan kondisi stabil. |
| T5 | Didinginkan dari suatu temperatur tinggi proses pembentukan dan dilakukan *artificial aging*. |
| T6 | Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan *artificial aging*. |
| T7 | Dilakukan proses perlakuan panas dan dilanjutkan dengan proses stabilisasi. |
| T8 | Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan pengerjaan dingin dan *artificial aging*. |
| T9 | Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan *artificial aging* dan pengerjaan dingin. |
| T10 | Didinginkan dari temperatur tinggi proses pembentukan, pengerjaan dingin dan dilakukan *artufucial aging.* |

**2.2.6 Sistem Penandaan Aluminium Paduan (*Designation System Aluminum Alloy*)**

Sistem penandaan temper, diprakarsai oleh Sistem Penandaan Paduan Internasional (*International Alloy Designation System, IADS*), berdasarkan klasifikasi yang dikembangkan *Aluminum Association* (AA) dari Amerika Serikat. Penandaan ini diterima di berbagai negara. Penandaan temper (*temper designation*), digunakan untuk aluminium tempa (*wrought*) dan paduan aluminium pengecoran (*casting*).

Penandaan temper diperlukan untuk memilih aluminium paduan yang tepat, sifat yang tidak hanya ditentukan oleh komposisi kimianya tapi ditentukan juga oleh proses *heat treatment* paduan tersebut dan dari proses pengerjaan dingin (*cold working*) yang dilakukan oleh paduan yang akan dijadikan sebuah komponen. Akhiran pada penandaan temper tersebut ditulis dengan penandaan paduan dengan sebuah tanda penghubung (contoh : 2618-T61, 3003-H14, 1100-O).

Penandaan temper menggunakan huruf kapital, yang mengindikasikan kondisi temper awal paduan tersebut. Berikut penandaan paduan aluminium menurut IADS[8] :

* **F**, *as fabricated*, tidak ada perlakuan khusus seperti *heat treatment* atau *strain hardening* setelah paduan tersebut dilakukan proses fabrikasi seperti pengecoran, *hot working*, atau *cold working*. Paduan tersebut digunakan untuk proses fabrikasi saja yang tidak memerlukan proses *heat treatment* lebih lanjut.
* **O,** *annealed,* menandakan bahwa paduan tersebut telah mengalami proses pelunakan (*anneal*). Digunakan untuk paduan tempa (*wrought*). Proses *anneal* bertujuan untuk melunakan paduan dan untuk paduan *casting* proses *anneal* dilakukan untuk meningkatkan keuletan (*ductility*) dan kemampuan untuk stabil terhadap dimensi. Proses anneal juga berfungsi untuk menghilangkan tegangan dalam sehingga elastisitas dapat ditingkatkan dan memudahkan pemesinan lebih lanjut. Proses *annealing* dimulai dengan memanaskan logam pada temperatur tinggi hingga mencapai suhu rekristalisasi dan ditahan selama waktu yang ditentukan kemudian didinginkan dalam dapur/tanur. Pendinginan dalam tanur/ tungku dilakukan dengan mengurangi panas tungku secara bertahap, contoh Al 2017 di annealing pada temperatur 413°C dengan pendinginan dalam tungku 28°C/jam.

2

16

Waktu (jam)

413°

29°

Temperatur °C

Didinginkan didalam tungku

Temperatur rekristalisasi

Gambar 2.4 Proses *annealing* aluminium

* **H**, *strain hardened*, digunakan pada paduan yang digunakan untuk produk tempa (*wrought*). Digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *strain hardening*, dengan atau tanpa proses *heat treatment* selanjutnya.
* **W**, *solution heat treatment*, merupakan kondisi temper yang tidak stabil digunakan hanya untuk paduan yang akan mengalami proses penuaan (*aging*) jika material tersebut didinginkan di temperatur ruangan. Proses *solution heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa *solution* yang stabil dengan memanaskan paduan pada temperatur 500°C dengan waktu pemanasan 2 jam. Selanjutnya paduan tersebut di*quenching* menggunakan media air. Sehingga terjadi fasa *solution* yang sangat jenuh. Dengan demikian kondisi paduan akan lunak sehingga memudahkan dilakukan proses pembentukan. Untuk menjaga agar paduan tersebut tetap lunak, setelah proses quenching paduan tersebut dimasukan ke dalam *cool box*. Dimasukannya paduan ke dalam *cool box* untuk menghindari terjadinya penuaan (*aging*).

2

Temperatur ° C

Waktu (jam)

0° C

500°

29°

-33°

Temperatur solution

Quenching

Disimpan dalam cool box

Gambar 2.5 Proses *solution heat treatment*

* **T**, *thermal treated (heat treatment)*, digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *heat treatment*, dengan atau tanpa proses *strain hardening*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa yang stabil, dibandingkan dengan F, O atau H. Dengan fasa yang stabil, kekuatan dan kekerasan logam akan lebih baik. Proses *solution heat treatment* dilakukan dengan memanaskan logam pada temperatur 500°C dengan *holding time* 2 jam. Selanjutnya diquenching menggunakan media air. Paduan disimpan di temperatur ruangan sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging*).

98

Quenching

Solution heat treatment

Natural aging

500°

29°

Temperatur °C

Waktu (jam)

2

Gambar 2.6 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan *natural aging*

* **T1**, *Natural aging*, digunakan untuk paduan yang tidak dilakukan proses *cold working* setelah didinginkan dari proses pembentukan bertemperatur tinggi. Proses ini bertujuan untuk membentuk fasa yang lebih stabil pada temperatur ruangan, namun tidak memberikan efek yang begitu besar pada sifat mekanis logam tersebut. Proses *natural aging* dilakukan setelah paduan mengalami proses pembentukan dengan temperatur tinggi dilanjutkan dengan didinginkan di temperatur ruangan selama 96 jam.

Temperatur pengerjaan

Natural aging

Temperatur °C

413 °

29 °

96

Gambar 2.7 Proses *natural aging* setelah mengalami proses pengerjaan

* **T2**, *didinginkan dari temperatur pengerjaan yang tinggi + cold working + natural aging*, digunakan untuk paduan yang mengalami proses *cold working* untuk meningkatkan kekuatan setelah didinginkan dari proses pembentukan bertemperatur tinggi (temperatur rekristalisasi). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan melalui proses *cold working* pelurusan (*flattening*) dan penarikan (*straightening*).

Temperatur pengerjaan

Cold working + Natural aging

Temperatur °C

413 °

29 °

Waktu (jam)

Gambar 2.8 Proses *cold working* dan *natural aging* setelah mengalami proses pengerjaan dengan temperatur tinggi

* **T3**, *solution heat treatment + cold working + natural aging,* digunakan untuk paduan yang mengalami proses *cold working*. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan setelah mengalami proses *cold working*. Paduan dipanaskan hingga mencapai temperatur *solution heat treatment* (500°C), dengan *holding time* tertentu, selanjutnya paduan tersebut diquenching menggunakan media air, lalu dilakukan pengerjaan dingin (*cold working*) dan paduan tersebut didinginkan (didiamkan) di temperatur ruangan sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging*).

2

Waktu (jam)

Quenching

Cold working + Natural aging

Solution heat treatment

Temperatur ° C

500°

29 °

Gambar 2.9 Proses *solution heat treatment* dan *cold working* dilanjutkan *natural aging*

* **T4**, *solution heat treatment + natural aging*, digunakan untuk paduan yang tidak mengalami proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment*. Tujuan temper ini adalah untuk meningkatkan kekuatan logam tanpa mengalami proses *cold working*. Logam dipanaskan hingga mencapai temperatur 500°C lalu di quenching menggunakan media air dan didinginkan di temperatur ruangan selama 96 jam sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging).*

Temperatur ° C

500°

29 °

Waktu (jam)

2

98

Solution heat treatment

Natural aging

Quenching

Gambar 2.10 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan *natural aging*

* **T5**, *didinginkan dari pengerjaan bertemperatur tinggi + artificial aging*, digunakan untuk paduan yang tidak mengalami proses *cold working* setelah proses pengerjaan pada temperatur tinggi. Temper ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan. Proses dimulai dengan melakukan pengerjaan pada paduan dengan temperatur kerja yang tinggi (temperatur rekristalisai) lalu paduan dipanaskan

kembali pada temperatur 180° C dengan *holding time* selama 5 jam selanjutnya didinginkan pada temperatur ruangan.

Waktu (jam)

Temperatur ° C

180 °C

413 °C

29 °C

Temperatur pengerjaan

Artificial aging

5 jam

120 jam

Gambar 2.11 Proses pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan dengan proses *artificial aging*

* **T6**, *solution heat treatment + artificial aging*, digunakan untuk paduan yang tidak dilakukan proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment*. Paduan dipanaskan dengan temperatur 500°C dengan *holding time* 2 jam. Selanjutnya dilakukan proses *quenching* menggunakan media air. Setelah paduan diquench, dilanjutkan dengan proses *artificial aging* dengan memanaskan kembali paduan dengan temperatur 180°C dengan *holding time* 5 jam dan didinginkan di temperatur ruangan selama 120 jam. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan dengan proses artificial aging tanpa mengalami proses *cold working*.

2

7

129

Waktu (jam)

Temperatur ° C

500°

29 °

180 °

Artificial aging

Solution heat treatment

Quenching

Gambar 2.12 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan proses artificial aging

* **T7**, *solution heat treatment + stabilized/overaging*, digunakan untuk produk yang dilakukan stabilisasi/ *overaging* setelah proses *solution treatment*. Produk paduan dipanaskan pada temperatur *solution heat treatment* (500°C) dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air. Selanjutnya produk tersebut kembali dilakukan proses *heat treatment* yaitu *artificial aging* dengan dipanaskan pada temperatur 180°C, ketika waktu *holding time* selesai, produk tersebut masih dipanaskan sehingga terjadi *overaging*. Dengan terjadinya *overaging* ini, kekuatan produk akan sedikit menurun namun kemampuan stabil terhadap dimensi meningkat dan dapat menurunkan tegangan sisa. Dengan demikian temper ini bertujuan untuk mengontrol sifat-sifat yang diinginkan.

2

7

Waktu (jam) 

Temperatur ° C

Quenching

500°

29° °

180°

Solution heat treatment

Artificial aging & overaging

Gambar 2.13 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *aging* hingga terjadi *overaging*

* **T8**, *solution heat treatment + cold working + artificial aging*, digunakan untuk produk yang mengalami proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment* lalu dilakukan proses artificial aging. Temper ini bertujuan untuk mengingkatkan kekerasan dan kekuatan paduan setelah mengalami proses *cold working*. Dengan proses *solution heat treatment* produk menjadi mudah dibentuk (*cold working*) dan untuk meningkatkan kekuatan setelah mengalami *cold working* produk tersebut dilakukan proses *artificial aging*. Produk paduan dipanaskan pada temperatur 500°C dengan *holding time* 5 jam dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air. Setelah proses *solution heat treatment* selesai, dilakukan proses *cold working* dan produk kembali dipanaskan pada temperatur 180 °C dengan *holding time* 5 jam. Tahap terakhir adalah mendinginkan produk di temperatur ruangan selama 120 jam.

Waktu (jam)

2

5

120

Temperatur ° C

500°

29 °

180 °

Quenching

Cold working

Solution heat treatment

Artificial aging

Gambar 2.14 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *cold working* dan artificial aging

* **T9**, *solution heat treatment + artificial aging + cold working*, digunakan pada paduan yang mengalami proses *cold working* untuk meningkatkan kekuatan paduan tersebut. Paduan dipanaskan pada temperatur *solution heat treatment* (500°C) dengan *holding time* 2 jam, lalu dilakukan proses *quenching* dengan menggunakan media air. Selanjutnya paduan dilakukan proses *artificial aging* dengan memanaskan paduan pada temperatur 180°C dengan *holding time* selama 5 jam. Tahap terakhir adalah *cold working* untuk lebih meningkatkan kekuatan dan membentuk paduan.

Temperatur ° C

500°

29 °

180°

Waktu (jam)

2

7

Solution heat treatment

Artificial aging

Cold working

Quenching

Gambar 2.15 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *artificial*

*aging* dan *cold working*

* **T10**, *didinginkan dari pengerjaan bertemperatur tinggi + cold working + artificial aging*, digunakan untuk produk yang dilakukan proses *cold working*. Setelah paduan dilakukan pengerjaan bertemperatur tinggi, dilanjutkan dengan *cold working*. Untuk meningkatkan kekuatan, dilakukan proses *artificial aging* dengan dipanaskan pada temperatur 180°C dengan *holding time* 5 jam.

Waktu (jam)

Temperatur ° C

5

120

413 °

180 °

29 °

Temperatur pengerjaan

Cold working

Artificial aging

Gambar 2.16 Pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan *cold working* dan *artificial aging*

**2.3 Proses Pengecoran (*Casting*)**

Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Pengecoran juga dapat diartikan sebagai suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting*(tradisional) dan *non-traditional*(nontradisional)*.*Teknik tradisional terdiri atas:

* Sand-Mold Casting
* Dry-Sand Casting
* Shell-Mold Casting
* Full-Mold Casting
* Cement-Mold Casting
* Vacuum-Mold Casting

Sedangkan teknik *non-traditional*terbagi atas :

* High-Pressure Die Casting
* Permanent-Mold Casting
* Centrifugal Casting
* Plaster-Mold Casting
* Investment Casting
* Solid-Ceramic Casting[9]

**2.4 Pembekuan logam**

Jika cairan logam murni perlahan-lahan didinginkan, maka pembekuan terjadi pada temperatur yang konstan. Temperatur ini disebut titik beku, yang khusus bagi logam. Umpamanya, titik beku tembaga adalah 1083°C, perak 961°C, aluminium 660°C dan timah 232°C.

Dalam pembekuan logam cair, pada permulaan tumbuhlah inti-inti kristal. Kemudian kristal-kristal tumbuh sekeliling inti tersebut, dan inti yang lain yang baru timbul pada saat yang sama. Akhirnaya seluruhnya ditutupi oleh butir kristal sampai logam cair habis. Ini mengakibatkan bahwa seluruh logam menjadi susunan kelompok-kelompok butir kristal dan batas-batasnya yang terjadi diantaranya, disebut batas butir, lihat gambar 2.17.

Ukuran butir-butir kristal tergantung pada laju pengintian dan penumbuhan inti. Jika laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian, maka didapat kelompok butir-butir kristal yang besar dan jika laju pengintian lebih besar dari laju penumbuhan inti, maka didapat kelompok butir-butir kristal halus.

1

21

3

4

5

Gambar 2.17 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam (Surdia, Tata. dan Chijiiwa, Kenji., (2000), *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan ke-8. Jakarta: Pradnya Paramitha)

1. Keadaan cair
2. Inti timbul
3. Kristal tumbuh sekeliling inti. Inti baru timbul
4. Kristal bersinggungan dengan kristal lain, menghentikan pertumbuhannya.
5. Pembekuan lengkap menjadi struktur berkristal banyak.

**2.4.1 Pembekuan Paduan**

Jika logam yang terdiri dari dua unsur atau lebih didinginkan dari keadaan cair, maka butir-butir kristalnya akan berbeda dengan butir-butir kristal logam murni. Apabila suatu paduan yang terdiri dari komponen A dan komponen B membeku, maka sukar didapat susunan butir-butir kristal A dan kristal B tetapi umumnya didapat butir-butir campuran A dan B. apabila hal ini dipelajari secara terperinci, ada dua hal yakni pertama bahwa A larut dalam B atau B larut dalam A dan kedua bahwa A dan B terikat satu sama lain dengan perbandingan tertentu. Hal pertama disebut larutan padat dan yang kedua disebut senyawa antar logam.

Larutan padat adalah keadaan dimana beberapa atom, dari konfigurasi atom A didistribusikan oleh atom-atom B, atau atom-atom B menembus masuk dalam ruang bebas antar atom dari konfigurasi atom-atom A, dimana tidak merupakan campuran mekanis tetapi keadaan larut secara atom. Senyawa antar-logam terdiri dari ikatan A dan B dan mempunyai kisi kristal berbeda dari A dan B.

Selain dari pada dua hal tersebut diatas ada dua hal yang jarang dimana sebagian kecil dari kedua-duanya atau salah satu dari A dan B muncul dalam keadaan murni. Dengan demikian maka struktur paduan dapat terdiri dari tiga macam : larutan padat, senyawa antar logam dan logam murni : sehingga kenaikan komposisi paduan menyebabkan bertambahnya macam kristal dan struktur.

Dalam ilmu logam, struktur yang sama disebut fasa. Oleh karena itu paduan adalah susunan dari beberapa fasa : larutan padat, senyawa antar logam dan logam murni. Sebagai contoh, besi cor, komponen utama adalah besi, karbon dan silisium, dan fasa-fasa yang terlihat adalah : larutan padat terutama terdiri dari besi (dimana semua silisium dan sebagian dari karbon larut dalam besi). Senyawa antar Fe3C (sementit), dan grafit murni.

**2.4.2 Pembekuan Coran**

Pembekuan coran dimulai dari bagian yang bersentuhan dengan cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku, dimana kemudian inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luar, sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut membentuk panjang-panjang seperti kolom, yang disebut struktur kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradient temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar, umpamanya pada pengecoran dengan cetakan logam. Sebaliknya pengecoran dengan cetakan pasir menyebabkan gradient temperatur yang kecil dan membentuk struktur kolom yang tidak jelas. Bagian tengah coran mempunyai gradient temperatur yang kecil dan membentuk struktur kolom yang tidak jelas. Bagian tengah coran mempunyai gradient temperatur kecil sehingga merupakan susunan dari butir-butir kristal segi banyak dengan orientasi sembarang.

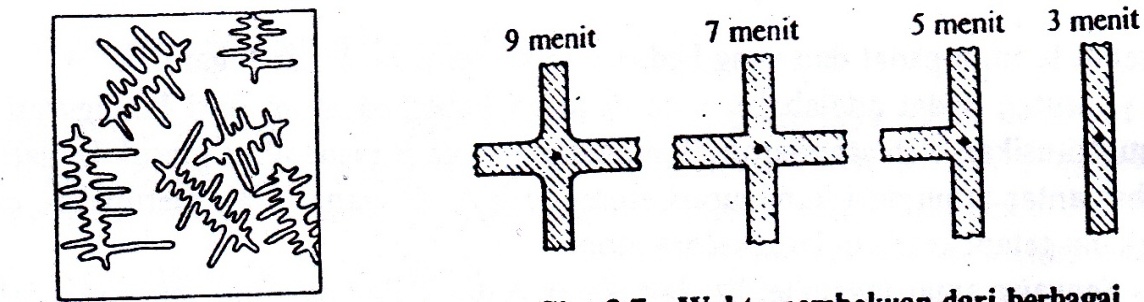
Apabla permukaan beku diperhatikan, setelah logam yang belum membeku dituang keluar dari cetakan pada waktu pendinginan, maka terdapat dua kasus bahwa permukaan itu bisa halus atau kasar. Permukaan halus adalah khusus dari logam yang mempunyai daerah beku (yaitu perbedaan temperatur antara dimulainya dan berakhirnya membeku) yang sempit, dan permukaan kasar adalah kasus dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar.

Disamping itu cetakan logam menyebabkan permukaan halus dan cetakan pasir menyebabkan permukaan kasar. Dalam kasus daerah beku yang lebar, kristal-kristal dendrite tumbuh dari inti-inti (gambar 2.18) dan akhirnya pembekuan berakhir pada keadaan bahwa dendrite-dendrit tersebut saling bertemu.

Apabila logam yang masih cair dituang keluar pada waktu pendinginan, akan didapat permukaan yang kasar karena cairan diantara struktur dendrite mengalir keluar. Permukaan tersebut akan lebih kasar pada perunggu dan besi cor putih karena mempunyai daerah beku yang lebar. Aluminium murni membeku pada temperatur tetap, tetapi panas pembekuan yang dibebaskan pada waktu membeku begitu besar sehingga permukaan bagian dalam menjadi kasar apabila dicor pada cetakan pasir, sedangkan baja karbon yang mempunyai kandungan karbon agak rendah (0,5% sampai 2,0%) mempunyai daerah beku yang sempit, sehingga permukaan tersebut diatas menjadi halus.

Pembekuan dari suatu coran maju perlahan-lahan dari kulit ke tengah. Jumlah waktu pembekuan dari kulit ke tengah sebanding lurus dengan V/S, yaitu perbandingan antara volume coran V dengan luas permukaan S melalui mana panas dikeluarkan. Oleh karena itu apapun bentuknya, umpamanya prisma, bujur sangkar, segitiga atau silinder atau sejenisnya, jumlah waktu pembekauannya kira-kira akan sama jika harga V/S sama pula.

Sebagai contoh, perpotongan dari dua bagian coran merupakan bagian yang besar dengan luas permukaan yang kecil dimana panas akan keluar lewat permukaan itu, dan selanjutnya cetakan dipanaskan sehingga laju penyerapan panas diperlambat. Oleh karena itu waktu pembekuan bagian tersebut menjadi lama. Pada gbr 2.18 ditunjukan ketergantungan waktu pembekuan bagian tersebut terhadap ukuran bentuk dari coran besi.

Laju pertumbuhan lapisan beku dari suatu coran menjadi lebih cepat pada kulit dan lambat pada bagian dalam, sedangkan jika mempergunakan ini hal itu akan berubah. Jika intinya kecil, maka inti dipanaskan dan tidak banyak menyerap panas, sehingga pembekuan tidak maju dari kulit inti tersebut. Gbr 2.18 menunjukan ketergantungan pertumbuhan dari lapisan beku terhadap dimensi inti untuk besi cor pada pengecoran cetakan kering[10].

Gambar 2.18 Struktur dendrite dan waktu pembekuan dari berbagai macam penampang

(Surdia, Tata. dan Chijiiwa, Kenji., (2000), *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan ke-8. Jakarta: Pradnya Paramitha*)*

**2.5 Identifikasi Material**

Identifikasi pada material dapat dilakukan dengan melakukan pengujian pada material uji. Dengan melakukan pengujian, sifat-sifat material yang diuji dapat diketahui. Untuk mengidentifikasi suatu material dapat dilakukan pengujian mekanis, physic dan kimia. Uji mekanis meliputi uji keras, uji impak, uji tarik, uji jominy dan lain-lain. Uji physic dilakukan dengan uji metalografi dan uji kimia dilakukan dengan uji komposisi dengan spectrometri test.

**2.5.1 Uji Keras**

Pada umumnya, kekerasan adalah kemampuan untuk menahan deformasi atau gaya luar yang diberikan pada suatu material, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahananya terhadap deformasi plastis. Terdapat 3 jenis umum mengenai ukuran kekerasan yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah :

1. Dengan cara goresan (*scratch hardness*)

Kekerasan goresan merupakan perhatian utama para ahli mineral. Dengan mengukur kekerasan, berbagai mineral dan bahan-bahan lain, disusun berdasarkan kemampuan goresan satu terhadap yang lain. Kekerasan goresan diukur sesuai dengan skala Mohs. Skala ini terdiri atas 10 standar mineral disusun berdasarkan kemampuannya untuk digores. Mineral yang paling lunak pada skala ini adalah talk yang mempunyai kekerasan 1, sedangkan intan mempunyai kekerasan 10.

1. Dengan cara dinamik (*dynamic hardness*)

Pada pengukuran kekerasan dinamik, biasanya penumbuk dijatuhakan ke permukaan logam dan kekerasan dinyatakan sebagai energi tumbukannya. Skeleroskop shore (*shore sceleroscope*) yang merupakan contoh paling umum dari suatu alat penguji kekerasan dinamik, mengukur kekerasan yang dinyatakan dengan tinggi lekukan atau tinggi pantulan.

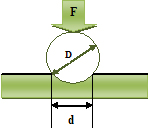
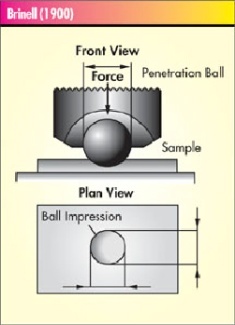
1. Dengan cara penekanan (*indentation hardness*)

Umumnya digunakan untuk bahan-bahan logam, cara ini adalah cara Brinell, Vickers dan Rockwell.

**2.5.1.1** [**Brinell (HB / BHN)**](http://www.alatuji.com/kategori/201/brinnel-hardness-tester)

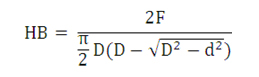
Pengujian kekerasan dengan cara Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*identor*) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan untuk material yang memiliki permukaan yang kasar dengan uji kekuatan berkisar 500-3000 kgf. Identor (bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating atau terbuat dari bahan karbida tungsten. Uji keras Brinell cocok digunakan untuk produk hasil proses cor dan tempa yang cenderung memiliki bentuk struktur yang besar[11].

[Uji kekerasan](http://www.alatuji.com/article/detail/3/what-is-hardness-test-uji-kekerasan-#uji kekerasan) Brinell dirumuskan dengan :



|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Gambar 2.19 Pengujian Brinell (*www.okasatrianovyanto.blogspot.com/pengujian kekerasan*)



Dimana :

D = Diameter bola (mm)

d = Impression diameter (mm)

F = Load (beban) (kgf)

HB = Brinell result (HB)[12]

Selanjutnya hasil pengujian ditulis sebagai berikut,

500 HBW 1 / 30 / 15

Nilai kekerasan

Simbol untuk kekerasan Brinell

Diameter bola, dalam mm

Beban uji, kgf

Waktu penekanan, 10 sampai 15 detik.

Beban uji untuk menentukan kekerasan Brinell [13],

Tabel 2.2 Beban Uji Untuk Menentukan Kekerasan Brinell (Nayar, Alok, (2005), *Testing of Metals*. New Delhi : Tata McGraw-Hill)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Diameter Indentor (mm) | Beban uji untuk beban-rasio diameter | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 2.5 | | 5 | | 10 | | 15 | | 30 | |
| N | kgf | N | kgf | N | kgf | N | kgf | N | kgf | N | kgf |
| 1 | 9.807 | 1 | 24.52 | 2.5 | 49.03 | 5 | 98.07 | 10 | - | - | 294.2 | 30 |
| 2.5 | 61.29 | 6.25 | 153,2 | 15.625 | 306.5 | 31.25 | 612.9 | 62.5 | - | - | 1839 | 187.5 |
| 5 | 245.2 | 25 | 612.9 | 62.5 | 1226 | 125 | 2452 | 250 | - | - | 7355 | 750 |
| 10 | 980.7 | 100 | 2452 | 250 | 4903 | 500 | 9807 | 1000 | 14710 | 1500 | 29420 | 3000 |

Tabel 2.3 Beban- Rasio Diameter Untuk Material Logam (Nayar, Alok, (2005), *Testing of Metals*. New Delhi : Tata McGraw-Hill*)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Material | Kekerasan Brinell | Beban- rasio diameter (N/mm2) |
| Baja, paduan nikel dan paduan titanium |  | 30 |
| Besi cor | < 140 | 10 |
| ≥140 | 30 |
| Tembaga dan paduannya | <35 | 5 |
| 35 – 200 | 10 |
| >200 | 30 |
| Logam ringan dan paduannya | <35 | 2.5 |
| 35 - 80 | 5 |
| 10 |
| 15 |
| >80 | 10 |
| 15 |
| Timah hitam, timah putih |  | 1 |

**2.5.2 Uji Metalografi**

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan persentase campuran logam tersebut. Dalam proses pengujian metalografi, pengujian logam dibagi lagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pengujian makro (*macroscope test*)

Pengujian makro ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 hingga 50 kali.

2. Pengujian mikro (*microscope test*)

Pengujian mikro ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Sedemikian halusnya sehingga pengujiannya memerlukan kaca pembesar lensa mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 hingga 3000 kali.

**2.5.2.1 Langkah-Langkah Pengujian Metalografi**

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk melakukan pengujian metalografi.

**1. Pemotongan**

Pemotongan *spesimen* cukup dalam dimensi yang tidak terlalu besar (<10 × 10 × 10) mm dan tidak boleh menjadi panas berlebihan dalam proses pemotongan untuk menghindari rusaknya struktur *spesimen* tersebut akibat panas.

**2. Penyalutan (*Mounting*)**

Benda kerja yang kecil sukar dipegang pada proses penggerindaan dan pemolesan, maka perlu disalut terlebih dahulu. Bahan penyalutan yang digunakan adalah termoplastik seperti resin, yang mencair pada temperatur 150ºC. Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan pada proses penyalutan, yaitu :

Tabel 2.4 Bahan-bahan *Mounting (ASM Handbook Vol 9,(1985), ASM International)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Resin | Type | Transparansi |
| 1 | Bakelit | Thermosetting | Tembus cahaya |
| 2 | Diallyl phthalate | Thermosetting | Tembus cahaya |
| 3 | Hethyl methacrylate | Thermoplastic | Dengan air untuk menjernihkan |
| 4 | Polystyrene | Thermoplastic | - |
| 5 | Polyvinyl formal | Thermoplastic | Coklat terang, jelas |
| 6 | Polyvinyl chloride | Thermoplastic | Tembus cahaya |

**3. Penggerindaan atau Pengampelasan**

Proses ini menggunakan kertas ampelas yang berjenjang dimulai dari ampelas yang kasar sampai dengan yang halus. Tingkat kehalusan kertas ampelas ini ditentukan oleh ukuran serbuk silikon karbida yang menempel pada kertas tersebut. Misalnya, terdapat ampelas yang memiliki tingkat kehalusan hingga 220, angka 220 menunjukkan bahwa serbuk silikon karbida pada kertas ampelas itu bisa lolos dari ayakan hingga mencapai 220 lubang pada luas 1 inchi2 (sekitar 625 mm2).

**4. Pemolesan (*polishing*)**

Benda uji yang sudah melewati proses penggerindaan, diteruskan ke proses pemolesan. Mesin yang digunakan adalah mesin poles metalografi. Mesin ini terdiri dari piringan yang berputar dengan kain beludru (*selvyt*) .Cara pemolesannya, benda uji diletakkan di atas piringan yang berputar, kain poles diberi sedikit pasta oles. Pasta oles yang biasa digunakan adalah alumina (Al2O3). Dalam istilah perdagangan diberi nama autosol atau gama alumina. Bila garis-garis bekas pengampelasan masih terlihat, pemolesan diteruskan. Apabila terlihat sudah rata, maka *spesimen* dibersihkan dan dilanjutkan dengan pengetsaan.

**5. Pengetsaan**

Hasil pemolesan yang terakhir akan menghasilkan suatu lapisan yang menutupi permukaan struktur logam. Struktur mikro dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop dengan menghilangkan lapisan tersebut dengan cara mengetsa. Mengetsa dalam kamus, dapat diartikan sebagai proses pembuatan gambar atau ukuran pada pelat tembaga, yang dilapisi lilin dengan benda tajam kemudian membiarkan garis-garis yang diperoleh itu terkena korosi cairan asam. Hasil proses itu ialah etsa, yaitu berupa gambar atau ukiran. Berikut ini merupakan penjelasan beberapa larutan etsa untuk pengujian mikro yang biasa dipakai dalam metalografi.

1. Asam nitrat, yang memiliki komposisi asam nitrat 2 ml dan alcohol 95% atau 98 ml. Pemakaiannya untuk bahan karbon, baja paduan rendah, dan baja paduan sedang. Waktu yang diperlukan beberapa detik sampai 1 menit.

2. Asam pikrat, yang memiliki komposisi 4 gram asam pikrat, alcohol 95% atau 98 ml. Pemakaiannya untuk baja karbon dalam keadaan normal, dilunakkan, dikeraskan (*hardening*) dan ditemper (*tempering*). Waktu pengetsannya beberapa detik sampai 1 menit.

3. NH4OH.H2O2, yang memiliki komposisi NH4OH sebagai dasar dan H2O2 beberapa tetes. Pemakaiannya untuk bahan tembaga dan paduannya dengan waktu pengetsaan sampai bahan uji berwarna biru.

4. Bahan etsa adalah nital 2%, yaitu 2 ml asam nitrat (HNO3) dan 98 ml *methyl alcohol* dalam waktu 10 sampai 30 detik.

5. Bahan etsa menggunakan asam yang terdiri dari 10% *ammonium ferrisulfat*, 2,5% *ammonium acrocide* NH4(OH), dan 65% larutan asam krom dalam waktu 10 sampai 30 detik, yang digunakan untuk tembaga dan campurannya.

Setelah bahan uji melalui beberapa tahapan, maka benda uji dapat langsung dietsa. Pengetsaan dilakukan dengan cara menempatkan asam yang akan digunakan pada sebuah cawan kemudian mencelupkan permukaan benda uji pada asam tersebut sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan. Setelah itu, benda dicuci dengan air hangat atau *alcohol* untuk menghentikan reaksi dan mengeringkan dengan udara dari mesin kompresor. Berikut ini merupakan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan dalam mengetsa, yaitu :

(1) Benda kerja terlalu kotor karena terlalu lunak atau berminyak.

(2) Benda kerja tidak bersih pada waktu dicuci.

(3) Kurangnya waktu pengetsaan.

(4) Terlalu lama waktu yang digunakan dalam pengetsaan.

(5) Salah memilih dan menggunakan cairan etsa (*etching reagent*).

**6. Mikroskop**

Pada dasarnya, mikroskop terdiri dari dua buah lensa positif, yaitu lensa yang menerima sinar langsung dari bendanya atau lensa dekat dengan benda yang akan dilihat, yang disebut lensa obyektif, sedangkan lensa yang berada dekat dengan mata disebut lensa okuler.

Perbesaran total oleh mikroskop ini didefinisikan dengan perbandingan antara tangen sudut buka bayang akhir dengan sudut buka tanpa menggunakan alat. Perbesaran sebuah mikroskop biasanya berkisar 50, 100, 200, 400, dan1000 kali lebih besar dari benda uji.

Perbesaran struktur mikro dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :



Dimana :

LOK = lensa okuler (nilai 2,5)

LOB = lensa obyektif/lensa yang dipakai pada mikroskop

FK = faktor kamera (nilai 1)

Ukuran foto 3R nilai [14].



Gambar 2.20 Mikroskop optik

**2.5.3 Atomic Emission Spectrometer**

Spektorkopi emisi atom atau *Atomic Emission Spectroscopy* (*AES*) adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk analisa logam secara kualitatif maupun kuantitatif yang didasarkan pada *pemancaran atau emisi sinar* dengan panjang gelombang yang karakteristik untuk unsur yang dianalisa.   Sumber dari pengeksitasi dari Atomic Emission Spectroscopy  bisa didapat dari nyala api gas atau busur listrik.  Sumber eksitasi dari nyala gas biasanya disebut *ICP (Inductively Couple Plasma)* sedangkan sumber eksitasi dari busur listrik biasa disebut *“ARC” atau “SPARK”*, sedangkan alat detector sinarnya adalah *Tabung Penggandaan Foton* atau *“Photo Multiplier Tube (PMT)”*

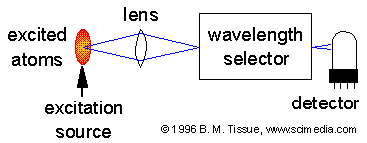
Prinsip dasar dari analisa Atomic Emission Spectrometer (*AES*) ini yaitu, apabila atom suatu unsur ditempatkan dalam suatu sumber energi kalor (sumber pengeksitasi), maka elektron  di orbital paling luar atom tersebut yang tadinya dalam keadaan dasar atau ‘*groud state’* akan tereksitasi ke tingkat-tingkat energi elektron yang lebih tinggi.  Karena keadaan tereksitasi itu merupakan keadaan yang sangat tidak stabil maka elektron yang tereksitasi itu secepatnya akan kembali ke tingkat energi semula yaitu kekeadaan dasarnya (*ground state*).  Pada waktu atom yang tereksitasi itu  kembali ke tingkat energi lebih rendah yang semula, maka kelebihan energi yang dimilikinya sewaktu masih dalam keadaan tereksitasi akan ‘*dibuang*’ keluar berupa ‘*emisi sinar*’ dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur yang bersangkutan.

**2.5.3.1 Sumber Pengeksitasi atom**

Untuk sumber pengeksitasi atom suatu unsur diperlukan suatu sumber energi kalor yang mampu mengeksitasikan elektron di orbital paling luar dari atom tersebut ke tingkat energi atom yang lebih tinggi. Pada spektrofotometri emisi nyala, sumber pengeksitasinya adalah nyala api gas, tetapi kelemahan dari nyala api ini adalah energi kalor yang dihasilkan nya relatif rendah.  Misalnya campuran gas Acetilen dan O2 murni hanya akan menghasilkan suhu sekitar  3000oC.  Dengan kombinasi gas ini  maka unsur-unsur yang dapat dieksitasikan dengan menghasilkan intensitas sinar emisi yang baik biasanya adalah logam-logam alkali (Na, K, Li, Ca dll).   Sedangkan untuk mengeksitasikan atom logam-logam yang lebih berat maka diperlukan nyala api dengan kombinasi gas lain yang dapat memberikan suhu lebih tinggi dan juga memberikan energi kalor yang lebih tinggi.

Oleh karena itu telah diusahakan adanya sumber-sumber pengeksitasi atom yang dapat menghasilkan energi kalor yang lebih tinggi.   Ada dua jenis sumber pengeksitasi yang mampu memberikan energi kalor dan suhu yang lebih tinggi, yaitu *‘****bunga api listrik’*** yang disebut ‘Arc’ atau “Spark” dan “Plasma” yang ditimbulkan secara induksi (Inductively Couple plasma atau ICP).  Dengan kedua jenis sumber eksitasi ini maka hampir semua unsur logam dapat dieksitasikan.

Yang dimaksud dengan bunga api listrik atau awan muatan listrik (*electrical discharge*) adalah loncatan muatan listrik antara ujung batang elektroda dan sampel dimana ujung elektroda dan sampel tidak saling bersentuhan dan apabila antara keduanya diberikan tegangan listrik yang tinggi, maka akan terjadi loncatan muatan elektron dan akan menimbulkan tahanan sehingga hal ini akan menimbulkan kalor yang sangat tinggi. Suhu yang dihasilkan oleh muatan listrik tersebut berkisar antara 4000oC sampai dengan 7000oC.  Jadi jauh lebih tinggi dari pada yang dihasilkan oleh nyala api gas acetilen dan O2[15].



Gambar 2.21 Skematis uji komposisi dengan *spectrometer*

(http://elchem.kaist.ac)