

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar teori

Baja (*steel*) adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon, dengan kandungan karbon kurang lebih sekitar 1,8%. Produk ini secara teknik dinyatakan sebagai baja karbon. Pembuatan baja dapat dilakukan dengan komnvertor, dapur siemen martin dan dapur listrik. Baja dapat juga dilakukan perlakuan, baik perlakuan panas maupun dingin. Dalam bidang material, terdapat beberapa cara atau perlakuan untuk meningkatkan nilai kekerasan baja, diantaranya yaitu perlakuan panas (*heat treatmen*) dan deformasi plastis. Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenite kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur perlit maupun ferit, proses ini biasa dikenal dengan *quensing*. Struktur mikro baja akan tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenite sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah baja karbon merupakan paduan yang terdiri atas unsur utama besi(fe) dan karbon (c) maksimal 21% tinggi kadar karbon maka kekerasan semakin meningkat.

2.1.1 Bahan teknik

Bahan teknik adalah bahan yang digunakan dalam teknik seperti konstruksi dan permesinan, bahan ini terdiri dari logam *ferro* dan *non ferro*. Logam *ferro* (besi) adalah suatu logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dan

besi(*sumber: Hari Amanto,1999*). Jenis-jenis logam *ferro* yaitu: baja karbon rendah, baja karbon sedang, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tempa, besi tuang. Sedangkan logam *non ferro* (bukan besi) adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Jenis-jenis logam *non ferro* yaitu: tembaga (Cu), Aluminium (Al), timbel (Pb), timah (Sn).

2.1.2 Baja Karbon

Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8 %, silicon kurang dari 0.5 % dan unsur lain sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silicon sengaja di tambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidizer* / mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Baja karbon diproduksi dalam bentuk balok, profil, lembaran dan kawat.

Baja karbon dapat di golongan menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah kandungan karbon yang terdapat di dalam baja tersebut, yaitu :

a) Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) adalah baja yang mengandung kurang dari 0,3% karbon sehingga baja ini tidak termasuk baja yang keras. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur *martensit*. Baja karbon rendah dibagi empat bagian menurut kandungannya yaitu :

- Baja karbon rendah mengandung 0,04 % C digunakan untuk plat-plat strip.
- Baja karbon rendah mengandung 0,05 % C digunakan untuk badan kendaraan.
- Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,25 % C digunakan untuk konstruksi jembatan dan bangunan.
- Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,3 % digunakan untuk baut paku keling, karena kepalanya harus di bentuk.

b) Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon ini memiliki sifat –sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Baja karbon sedang mengandung 0,3 – 0,6 %C dan memiliki ciri khas sebagai berikut :

- Lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah.
- Tidak mudah di bentuk dengan mesin.
- Lebih sulit dilakukan untuk pengelasan.
- Dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik.

Baja karbon sedang ini digunakan untuk bahan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu :

- Baja karbon sedang mengandung 0,35 – 0,45 % C digunakan untuk roda gigi, poros.

- Baja karbon sedang mengandung 0,4 % C di gunakan untuk keperluan industri kendaraan seperti baut dan mur, poros engkol dan batang torak.
 - Baja karbon sedang mengandung 0,5 % C di gunakan untuk roda gigi dan clamp.
 - Baja karbon sedang mengandung 0,5 – 0,6 % C di gunakan untuk pegas.
- c) Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,6% – 1,7%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan, baja karbon tinggi memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- Kuat sekali
- Sangat keras dan getas/rapuh
- Sulit dibentuk mesin
- Mengandung unsur *sulfur* (S) dan *posfor* (P)
- Mengakibatkan kurang sifat liat
- Dapat dilakukan proses *Heat treatment*

2.2 Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari pada baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahannya yang khusus yang di lakukan dalam industri atau pabrik.

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan atau wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki (kuat, keras, liat), tetapi unsur karbon tidak di anggap sebagai salah satu unsur campuran.

Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur *kromium* dan *molibden*, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat di bentuk dengan cara, digiling dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Jika di campurkan dengan krom dan molibden akan menghasilkan baja yang menghasilkan sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas.

2.3 Pengaruh Unsur Pada Paduan Baja

Unsur yang dikandung oleh baja pada umumnya adalah karbon, selain itu untuk mendapatkan sifat tertentu dari material baja tentu diperlukan penambahan unsur lain supaya baja tersebut sesuai dengan sifat yang kita inginkan seperti tahan panas dan tahan aus, adapun paduan baja yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Al (Aluminium)*

Mempengaruhi pertumbuhan butir, menahan pengelupasan pada baja tahan panas, paduan Fe – Ni – Co – Al menjadi baja magnet permanen.

2. *B (Boron)*

Memperbaiki pengerasan dalam dan permukaan, menaikkan batas mulur jika dipadukan dengan baja krom-nikel, dipakai di instalasi nuklir untuk baja saringan karena mempunyai absorpsi neutron yang tinggi.

3. *Be (Berilium)*

Dipakai pada pegas koil pada arloji, sifatnya anti magnet dan lebih tahan daripada baja pegas biasa. Dibuat dari paduan tembaga-berilium sebagai pegas. Paduan berilium-nikel sifatnya sangat keras dan tahan korosi hingga banyak dipakai pada alat-alat operasi kedokteran.

4. *C (Karbon)*

Menaikkan sifat mekanik dan kekerasan, menurunkan elastisitas, mampu tempa, mampu las, dan mampu potongnya. Kadar karbon tidak mempengaruhi pada daya tahan korosi terhadap air, asam, dan gas panas.

5. *Ca (Kalsium)*

Meningkatkan ketahanan mengelupas bila digunakan sebagai material konduktor.

6. *Ce (Cerium)*

Memperbaiki mampu bentuk dalam keadaan panas, bila dipakai sebagai baja tahan panas maka tidak akan terjadi pengelupasan.

7. *Co (Kobalt)*

Menghalangi pertumbuhan butir pada temperatur tinggi. Memperbaiki kekuatan pada temperatur tinggi dan tahan terhadap pengaruh penemperan.

Digunakan sebagai unsur paduan pada baja potong cepat, baja perkakas dan baja tahan panas. Unsur paduan pada baja magnet permanen.

8. *Cr (Krom)*

Menaikkan Kekerasan dan kekuatan, mengurangi elastisitas, tahan terhadap panas, pengelupasan, tahan terhadap korosi. Penambahan 1% krom maka kuat tarik baja akan naik, antara 8 - 10 kg/mm². Menaikkan batas mulur menurunkan kuat pukul takiknya, menurunkan sifat ulet.

9. *Cu (Cuprum/ Tembaga)*

Menaikkan kuat tarik pada batas mulur, menurunkan elastisitas walaupun kadar Cu sangat sedikit, tapi di udara bajanya sudah tahan karat. Tembaga tidak merugikan kepada mampu las baja.

10. *H (Hidrogen)*

Merugikan pada baja, karena baja menjadi getas dan menurunkan elastisitasnya, menurunkan reduksi penampang, menjadi pendorong terjadinya retak rambut.

11. *Mn (Mangan)*

Memperbaiki kekuatan dan kekerasan dari baja dan sedikit pengaruhnya pada elastisitas. Mempengaruhi sifat mampu tempa dan mampu las. Tiap kenaikan Mn 1%, menaikkan kekuatan tarik : 10 kg/mm² bila di atas 8% maka kekuatan turun kembali, ini terjadi juga pada batas mulur. Mangan akan menaikkan kekerasan sampai ke dalam inti.

12. *Mo (Molibdenum)*

Memperbaiki pada kekuatan tarik dari baja dan menaikkan ketahanan terhadap panas. Mempengaruhi sifat mampu las. Baja molibdenum tinggi sukar dipanaskan, molibdenumbiasa disatukan dengan krom. Baja paduan yang mengandung molibdenum, krom dan nikel akan meningkatkan batas mulur dan kuat tarik.

13. *N (Nitrogen)*

Pada baja austenitik menstabilkan struktur, menaikkan kekerasan karena membentuk nitrida terutama pada permukaan. Menaikkan sifat mekanis pada temperatur tinggi. Menaikkan daya tahan pada kelelahan, menggetas.

14. *Ni (Nikel)*

Menaikkan kekuatan, menurunkan elastisitas. Bila dipadu bersama Co memberikan sifat mampu keras baik. Baja Co-Ni yang tinggi adalah tahan karat dan tahan temperatur tinggi, serta tahan mengelupas. Pada baja konstruksi memperbaiki ketahanan pukul takik dan lebih tahan temperatur rendah. Bersama Co-Ni akan memperluas daerah austenit dan tahan leleh.

15. *P (Fosfor)*

Memberikan sifat buruk pada baja, dan merupakan pengotor pada baja. Oleh karena itu bagi baja bermutu tinggi maksimal diperbolehkan = 0,03% sampai 0,05 %.

16. *Pb (Plumbum)*

Membuat baja mudah dipotong dengan cepat dan geram bekas pemotongan

pendek-pendek. Mampu mesinnya sangat baik, karena mempunyai sifat melumas. Tidak mempengaruhi sifat mekanis baja.

17. *S (Sulfur)*

Memberikan sifat buruk waktu kena panas tinggi dan membuat baja jadi getas, kecuali untuk baja otomat, sehingga diberi belerang sampai 0,3% jika dibubut akan menghasilkan geram pendek-pendek. Baja mutu tinggi (bukan otomat) boleh mengandung S maksimal 0,025%.

18. *Si (Silikon)*

Selalu ada dalam baja, baja silikon harus mengandung silikon minimal = 0,4% Si menaikkan kekuatan mekanik, menahan pengelupasan terutama pada baja cor. Menaikkan kuat tarik dan batas mulur dan membuat besar butir jadi kasar. Bila kadar Si 14% baja jadi tahan terhadap korosi dan bahan kimia, hanya susah ditempa.

19. *Ti (Titanium)*

Logam yang sangat keras dan pembentuk karbida. Pada baja tahan karat akan menahan terjadinya korosi intergranular dan menghaluskan butiran logam.

20. *V (Vanadium)*

Sedikit V, akan memperbaiki sifat keras pada korosi panas tinggi dan menahan pembesaran butir. Pada baja potong cepat (HSS) menaikkan kekuatan dan mampu potong. Merupakan pembentuk karbida yang sangat baik, mampu menaikkan kuat tarik dan batas mulur. Dengan Cr akan menjadi

baja tahan panas, dan dengan W akan menaikkan kemampuan sebagai baja potong cepat dan sebagai baja perkakas.

21. W (*Wolfram*)

Sangat menaikkan kekerasan dan daya tahan terhadap panas. Mampu potong pada suhu tinggi dan memperpanjang umur pakai dari mata pahat. Banyak digunakan sebagai unsur paduan pada baja potong cepat.

Tiap naik 1% W, akan menaikkan kuat tarik sebesar 4 kg/mm^2 . Merupakan pembentuk karbida yang baik dan dibuat sebagai baja tahan gesek dan panas tinggi.

22. Zr (*Zirkon*)

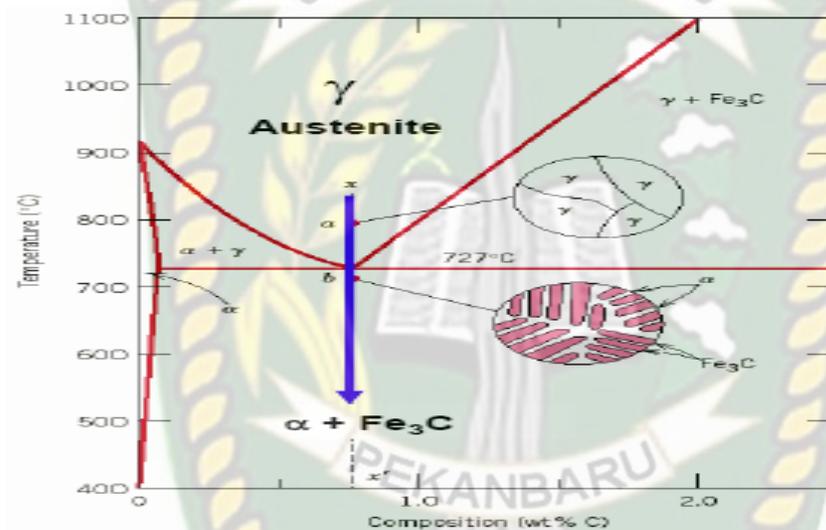
Pembentuk karbida, sebagai deoksidan dan untuk desulfurisasi serta mengeliminasi pengaruh nitrogen. Memperpanjang umur pakai baja dan penghantar panas yang baik.

2.4 Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat diantaranya : mikroskop cahaya, mikroskop *electron*, mikroskop *field on*, mikroskop *field emission* dan mikroskop sinar-X.

Struktur mikro yang dihasilkan pada baja paduan akan berhubungan dengan diagram fasa pada gambar 2.1 dan dijelaskan bahwa struktur mikro berkembang

tergantung kandungan karbon dan temperatur. Fasa perubahan tersebut dari daerah fasa γ ke daerah fasa $\alpha + Fe_3C$ seperti pada gambar 2.1 sebagai contoh besi paduan dari komposisi *eutectoid* (0,76%C) dimana didinginkan dari temperature 800 °C di daerah *austenite* mulai dari titik *a* didalam gambar 2.1 dan bergerak lurus ke titik *b* dimana terdapat dua fasa (α dan Fe_3C) dan disebut *perlit*. Berikut ini gambar skema pergerakan struktur mikro baja karbon *eutectoid* dengan komposisi 0,76%C.



Gambar 2.1 Diagram eutectoid baja karbon (0,76%C) (Callister,2002)

Material logam terdiri dari berbagai jenis struktur mikro yang berupa kristal - kristal kecil yang disebut "*butir*" atau *kristalit*. Perlakuan panas adalah cara yang efisien untuk memodifikasi srtuktur mikro dengan mengendalikan temperatur pemanasan dan laju pendinginan. Berikut adalah beberapa jenis struktur mikro yang terbentuk antara lain :

a. *Ferrite*

Ferrite ialah suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan Carbon 0,025%C pada temperature 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*) dan pada temperature kamar mempunyai batas kelarutan Carbon 0,008%C.

b. *Austenite*

Austenite ialah suatu larutan padat yang mempunyai batas maksimum kelarutan Carbon 2% pada temperature 1130°C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

c. *Cementit*

Cementit ialah suatu senyawa yang terdiri dari unsur *Fe* dan *C* dengan perbandingan tertentu dan struktur kristalnya *Orthohombic*. *Lediburite* ialah campuran *Eutectic* antara besi Gamma dengan *Cementit* yang dibentuk pada temperatur 1130°C dengan kandungan Carbon 4,3%C.

d. *Perlit*

Perlit ialah campuran *Eutectoid* antara *Ferit* dengan *Cementit* yang dibentuk pada temperatur 723°C dengan kandungan Carbon 0,83%C.

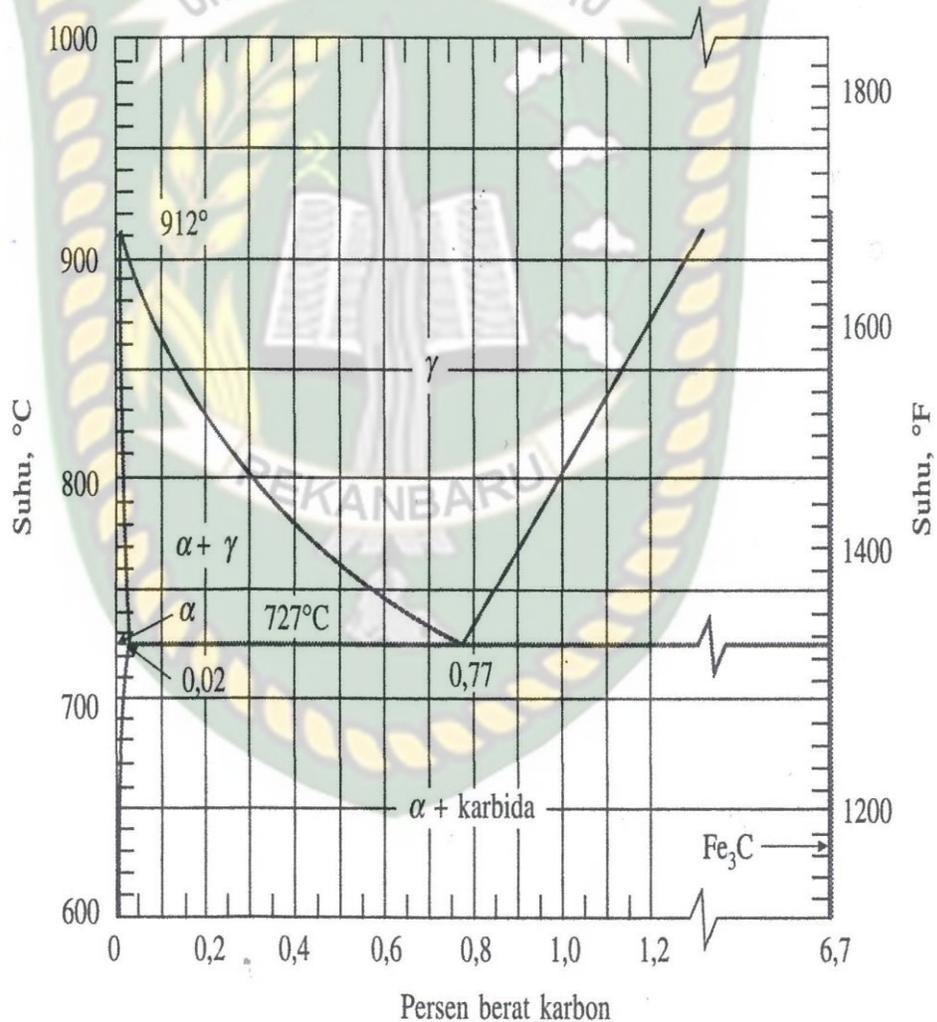
e. *Lediburite*

Lediburite ialah campuran *Eutectic* antara besi Gamma dengan *Cementit* yang dibentuk pada temperature 1130 Derajat Celcius dengan kandungan Carbon 4,3%C.

2.5 Diagram Fasa

Salah satu metode untuk mempelajari logam dilakukan dengan menggunakan diagram fasa. Dari diagram fasa ini dapat diamati perubahan struktur logam akibat pengaruh temperature.

Struktur dari baja dapat ditentukan oleh komposisi besi dan karbon, gambar 2.2 adalah diagram fasa besi-karbida besi



Gambar 2.2 Diagram fasa besi- karbida besi (fe-fe₃C)

Diagram fasa besi – karbida besi ($Fe-Fe_3C$) memperlihatkan perubahan fase pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Gambar 2.2 menunjukkan bila kadar karbon baja melampaui 0,20% suhu dimana *ferrite* mulai terbentuk dan mengendap dari *austenite* turun. Baja yang berkadar karbon 0,80% disebut baja *eutectoid* dan struktur terdiri dari *pearlite*.

Titik *eutectoid* adalah suhu terendah dalam logam dimana logam terjadi perubahan dalam keadaan larutan padat dan merupakan suhu kesetimbangan terendah dimana *austenite* terurai menjadi *ferrite* dan *sementit*.

Baja yang berkadar karbon kurang dari komposisi *eutectoid* (0,8%) di sebut baja *hipoeutectoid*, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi *eutectoid* disebut baja *hypereutectoid*, pada temperatur antara $723^{\circ}C$ dan $1130^{\circ}C$ terdapat satu fase yaitu fase *austenit* dan *sementit*. Pada temperatur $723^{\circ}C$ butiran fase tunggal bertransformasi dibawah keseimbangan bentuk α dan Fe_3C dalam satu butiran yang bercampur baik, dan lapisan serat – serat bajanya disebut *pearlite*.

Berdasarkan diagram fasa, besi mengambil acuan data temperature, $950^{\circ}C$, $900^{\circ}C$, $760^{\circ}C$ dan $200^{\circ}C$.

2.6 Baja karbon medium (Japan Industrial Standar)

Baja karbon medium (Japan Industrial Standar) paduan AISI type 1045 merupakan salah satu *Medium Alloy Steel* yang dikategorikan berdasarkan pada komposisi kimianya, yaitu *chromium molybdenum steel*. Dan termasuk baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0,45. Penggunaannya digunakan sebagai *Shaft*

(poros), oil industry spindels, tool holders, sprockets, hydraulic machinery shaft, oil industry drill collars dan lain sebagainya. Aplikasi - aplikasi tersebut biasanya digunakan pada beban-beban yang cukup besar. Oleh karena itu baja ini harus memiliki kekerasan yang tinggi, ketangguhan terhadap tekanan dan abrasi.

Baja karbon medium (Jepan Industrial Standar) ini juga salah satu jenis logam yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan automotif dan perkakas. Baja tersebut mempunyai sifat tahan aus karena dalam pembuatan baja paduan ini dengan sistim pengerasan kulit, untuk beberapa keperluan seperti poros perlu dilakukan pengerjaan ulang guna memperbaiki sifat mekanisnya.

Ada beberapa standar bahan yang digunakan untuk bahan-bahan poros seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar Baja

Nama	Standar Jepang (JIS)	Standar Amerika (AISI), Inggris (BS), dan Jerman (DIN)
Baja karbon kontruksi mesin	S25C S30C S35C S40C S45C S50C S55C	AISI 1025, BS060A25 AISI 1030, BS060A30 AISI 1035, BS060A35, DIN C35 AISI 1040, BS060A40 AISI 1045, BS060A45, DIN C45, CK45 AISI 1050, BS060A50, DIN St 50.11 AISI 1055, BS060A55
Baja tempa	SF 40, 45, 50, 55	ASTM A105-73
Baja nikel khrom	SNC SNC22	BS 653M31 BS En36
Baja nikel khrom molibden	SNCM 1 SNCM 2 SNCM 7 SNCM 8 SNCM 22 SNCM 23 SNCM 25	AISI 4337 BS830M31 AISI 8645, BS En100D AISI 4340, BS817M40, 816M40 AISI 4315 AISI 4320, BS En325 BS En39B
Baja khrom	SCr 3 SCr 4 SCr 5 SCr 21 SCr 22	AISI 5135, BS530A36 AISI 5140, BS530A40 AISI 5145 AISI 5115 AISI 5120'
Baja khrom molibden	SCM2 SCM3 SCM4 SCM5	AISI 4130, DIN 34CrMo4 AISI 4135, BS708A37, DIN34CrMo4 AISI 4140, BS708M40, DIN42CrMo4 AISI 4145, DIN50CrMo4

Sumber: sularso, 2004, Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin

Tabel 2.1 tertera berbagai standar baja sesuai dengan jenis baja dan paduan pada baja. Standar yang digunakan terdiri dari standar Jepang (AISI), standar Amerika (AISI), standar Inggris (BIS) dan standar Jerman (DIN).

Ilmuan telah meneliti kandungan karbon dari baja Paduan medium tipe 1045 dengan cara melakukan uji komposisi. Pada Tabel 2.2 adalah batas komposisinya, dan termasuk seri baja molybdenium seperti ditunjukkan pada tabel 2.3 berikut dengan nomor seri 41xx dan angka 40 adalah merupakan kandungan karbon sekitar 0,444%.

Tabel 2.2 Standar komposisi baja karbon medium /AISI 1045

KANDUNGAN KARBON	KOMPOSISI (%)
C	0,444
Si	0,210
Mn	0,652
P	0,023
S	0,003
Cr	0,34
Ni	0,01
Cu	0,020

Sumber : Karya Riau, Sertifikat komposisi baja karbon /AISI 1045

Tabel 2.3 Standar klasifikasi baja

Steel Alloy Type	Number	Description
Carbon	10xx	plain 0.05-0.90% carbon steels
	11xx	free cutting carbon steels
Manganese	13xx	1.75% Mn
Nickel Steels	23xx	3.50% Ni
	25xx	5.00% Ni
Nickel-chromium	31xx	1.25% Ni and 0.65% Cr
	33xx	3.50% Ni and 1.57% Cr
	303xx	Corrosion and heat resisting
Molybdenum	40xx	0.25% Mo, carbon-molybdenum
	41xx	0.95% Cr, chromium-molybdenum
Nickel-chromium-moldb.	43xx	1.82% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo
	47xx	1.05% Ni, 0.45% Cr, 0.20% Mo
	86xx	0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo
	87xx	0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo
	93xx	3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo
	98xx	1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo
Nickel-molybdenum	46xx	1.57% Ni, 0.20 Mo
	48xx	3.50% Ni, 0.25% Mo
Chromium	50xx	0.27-0.50% Cr, low chromium
	51xx	0.80-1.05% Cr, low chromium
	51xxx	1.02% Cr, medium chromium
	52xxx	1.45% Cr, high chromium
	514xx	corrosion and heat resisting
Chromium-vanadium	61xx	0.95% Cr, 0.15% V
Silicon-manganese	92xx	0.65-0.87% Mn, 0.85-2.00% Si
Boron	xxBxx	
Leaded	xxLxx	

Sumber : www.webstore.ansi.org "Standar AISI"

2.7 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses laku-panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Dari sini tampak bahwa proses perlakuan panas dapat digunakan untuk melakukan manipulasi sifat mekanik dan beberapa sifat fisik sesuai dengan kebutuhan atau keperluan. Proses perlakuan panas sangat menentukan sifat dari suatu produk logam atau paduan. Proses perlakuan panas yang sama mungkin akan menghasilkan sifat yang berbeda bila proses pengerjaan sebelum atau sesudahnya juga berbeda.

Proses perlakuan panas terhadap baja pada umumnya akan melibatkan transformasi *austenit*. Struktur dan bentuk dari hasil inilah yang akan menentukan sifat fisik dan mekanik. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Yang membedakan suatu proses perlakuan panas dengan proses perlakuan panas yang lain adalah :

1. Tingginya temperatur pemanasan
2. Lamanya waktu penahanan (*holding time*)
3. Laju pendinginan

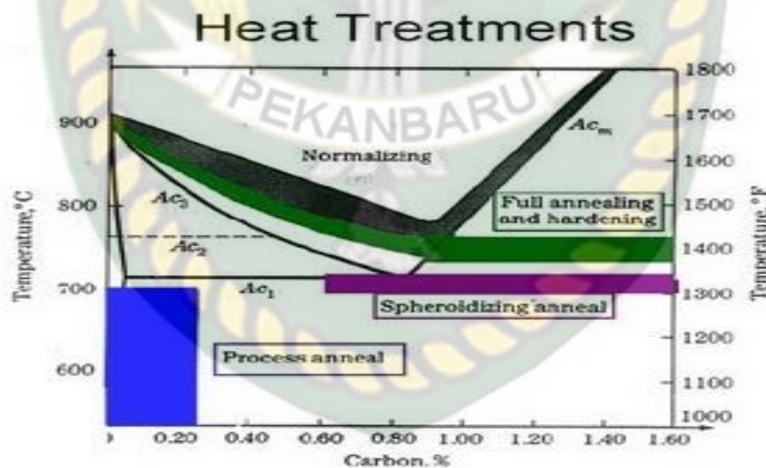
Selama pemanasan, yang biasanya dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase akan terbentuk austenit. Dengan memberikan *holding time* yang cukup akan memberikan kesempatan kepada atom-atom untuk berdiffusi menghomogenkan *austenit* yang baru terbentuk itu. Pada pendinginan kembali, *austenit* akan bertransformasi lagi dan struktur mikro yang terbentuk tergantung pada laju pendinginan. Dengan laju pendinginan yang berbeda

akan terbentuk struktur mikro yang berbeda, tentunya sifat mekaniknya pun akan berbeda.

Secara umum perlakuan panas (*Heat treatment*) diklasifikasikan dalam 2 jenis:

1. *Near Equilibrium* (Mendekati Kesetimbangan)

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis *Near Equilibrium* ini diantaranya adalah untuk : melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan panas *Near Equilibrium*, misalnya : *Full Annealing (annealing)*, *Stress relief Annealing*, *Process annealing*, *Spheroidizing*, *Normalizing* dan *Homogenizing*. Gambar 2.3 adalah diagram proses perlakuan panas secara *Near Equilibrium*.



Gambar 2.3. Diagram fasa Fe-3C

Secara umum perlakuan dengan kondisi *Near Equilibrium* itu dapat disebut dengan annealing. *Annealing* ialah suatu proses laku panas (*heat treatment*). Tahapan

dari proses ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperature tertentu, menahan pada temperatur tertentu waktu tertentu lalu mendinginkan dengan laju pendinginan yang cukup lambat.

Full annealing (annealing) Merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar (*coarse pearlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenitisasi dan didinginkan dengan dapur, memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki *machinability*. Pada proses full annealing ini biasanya dilakukan dengan memanaskan logam sampai keatas temperature kritis (untuk baja hypoeutectoid , 25°C hingga 50°C diatas garis A3 sedang untuk baja *hypereutectoid* 25°C hingga 50°C diatas garis A1). Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang cukup lambat (biasanya dengan dapur atau dalam bahan yang mempunyai sifat penyekat panas yang baik). Perlu diketahui bahwa selama pemanasan dibawah temperature kritis garis A1 maka belum terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan baru mulai terjadi bila temperature pemanasan mencapai garis atau temperature A1 (butir-butir Kristal pearlite bertransformasi menjadi austenite yang halus).

Pada baja hypoeutectoid bila pemanasan dilanjutkan ke temperature yang lebih tinggi maka butir kristalnya mulai bertransformasi menjadi sejumlah Kristal austenite yang halus, sedang butir Kristal austenite yang sudah ada (yang berasal dari pearlite) hampir tidak tumbuh. Perubahan ini selesai setelah menyentuh garis A3 (temperature kritis A3). Pada temperature ini butir kristal austenite masih halus sekali

dan tidak homogen. Dengan menaikkan temperature sedikit diatas temperature kritis A3 (garis A3) dan memberi waktu penahanan (*holding time*) seperlunya maka akan diperoleh austenite yang lebih homogen dengan butiran kristal yang juga masih halus sehingga bila nantinya didinginkan dengan lambat akan menghasilkan butir-butir Kristal ferit dan perlit yang halus.

Baja yang dalam proses pengerjaannya mengalami pemanasan sampai temperatur yang terlalu tinggi ataupun waktu tahan (*holding time*) terlalu lama biasanya butiran kristal austenitnya akan terlalu kasar dan bila didinginkan dengan lambat akan menghasilkan ferit atau perlit yang kasar sehingga sifat mekaniknya juga kurang baik (akan lebih getas). Untuk baja *hypereutectoid*, *annealing* merupakan persiapan untuk proses selanjutnya dan tidak merupakan proses akhir.

2. *Non Equilibrium* (Tidak setimbang)

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis *Non Equilibrium* ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas *Non Equilibrium*, misalnya : *Hardening*, *Martempering*, *Austempering*, *Surface Hardening* (*Carburizing*, *Nitriding*, *Cyaniding*, *Flame hardening*, *Induction hardening*).

3. Tujuan dari perlakuan panas

Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk mengurangi perubahan bentuk pada saat dikerjakan atau setelah dikerjakan atau hasil suatu konstruksi, merubah sifat-sifat bahan dan menghilangkan tegangan-tegangan sisa.

Adapun beberapa jenis perlakuan panas adalah:

1. Perlakuan panas awal dan sesudah pengerjaan
2. Menghilangkan tegangan sisa
3. Penormalan (*Normalizing*)
4. Pelunakan (*Anaeling*)
5. Pengerasan (*gardening*)
6. Temper (*tempering*)

2.4.1 Austenisasi pada proses perlakuan panas

Tujuan proses austenisasi adalah untuk mendapatkan struktur austenite yang homogeny. Keseimbangan kadar karbon austenite akan bertambah dengan naiknya suhu austenite, ini mempengaruhi karakteristik isothermal. Bila kandungan karbon maka temperatur M_s (*Martensite start*) menjadi rendah, selain itu kandungan karbon akan meningkat pula grafiknya, maka akan membentuk senyawa yang semakin banyak. Proses perlakuan panas selalu diawali transformasi austenite. Struktur mikro yang dihasilkan lewat transformasi tergantung pada parameter proses perlakuan panas yang diterapkan dan jenis proses perlakuan panas. Struktur mikro yang berubah melalui transformasi dekomposisi austenite menjadi struktur mikro yang lain, dimaksudkan untuk memperoleh sifat mekanik dan fisik yang diperlukan untuk suatu aplikasi proses pengerjaan logam. Proses selanjutnya setelah fasa tunggal austenite terbentuk adalah pendinginan, dimana mekanismenya dipengaruhi oleh temperature, waktu, serta yang digunakan. Pada pendinginan secara perlahan-lahan

perubahan fasa berdasarkan mekanisme difusi, dimana kehalusan dan kekerasan struktur yang dihasilkan tergantung pada kecepatan difusi.

2.4.2 *Hardening*

Proses *hardening* merupakan salah satu perlakuan panas yang bertujuan untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Proses ini mencakup proses pemanasan sampai temperatur austenite dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan.

2.4.3 *Tempering*

Tempering adalah proses dimana baja yang sudah dikeraskan dipanaskan kembali pada temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu dan didinginkan dengan pendinginan udara untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan membalikkan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Kembalinya sebagian keuletan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan.

Secara umum *tempering* bertujuan untuk:

1. Meningkatkan keuletan dan ketangguhan
2. Mengurangi sifat getas

Baja yang telah dikeraskan bersifat getas untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerpuhan dapat diturunkan. Kekerasan turun, kekeuatan tarik akan turun pula, sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Menurut tujuannya proses *tempering* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

- a. *Tempering* pada suhu rendah (150-300)°C

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat kerja yang tidak mengalami beban berat seperti alat-alat potong, mata bor dll.

- b. *Tempering* pada suhu menengah (300-550)°C

Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan, dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat misalnya palu, pahat, pegas.

- c. *Tempering* pada suhu tinggi (550-650)°C

Tempering pada suhu tinggi bertujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

2.4.4 proses *Double Hardening*

Proses *double hardening* adalah perlakuan suatu proses pengerasan dengan jalan memanaskan benda yang diikuti dengan pendinginan cepat dari bahan yang telah mengalami proses *carburizing*. Proses ini sendiri dibagi menjadi tiga tahap pemanasan, pemanasan pertama dilakukan sampai suhu 900°C, hal ini dilakukan untuk memecah cementit pada permukaan benda kemudian didinginkan dengan cepat menggunakan air, pemanasan kedua

dilakukan pada suhu 760°C , bertujuan untuk mengurangi tegangan yang tidak diinginkan kemudian didinginkan dengan cepat dari pemanasan kedua ini akan menghasilkan butiran Kristal yang halus proses ini diakhiri proses pemudaan (*tempering*) pada suhu 200°C .

2.8 Media Pendingin

Setelah baja dipanaskan (*heat treatment*) hingga mencapai suhu *austenite*, lalu baja didinginkan (*Quenching*) dengan *Annealing* untuk mendapatkan jenis struktur mikro yang diinginkan. Jenis dan variasi media pendingin ini dibedakan atas kekentalan atau viskositasnya, dimana kekentalan ini akan berpengaruh terhadap laju pendinginan, sedangkan laju pendinginan akan berpengaruh terhadap struktur mikro yang terbentuk. Berikut ini ada beberapa jenis media pendingin yang sering digunakan antara lain Air, Oli dan Udara.

a) Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang sangat cepat. Karena viskositasnya yang rendah maka akan berpengaruh terhadap waktu untuk berdifusi pada saat bertransformasi, sehingga struktur mikro yang terbentuk pada umumnya *Martensit*.

b) Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke

dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk Kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara.

c) Oli

Media pendingin Oli Mesran SAE 20, digunakan sesuai dengan kemampuannya untuk memperoleh hasil yang diharapkan. Penggunaan pelumas sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung dari besarnya viskositas pelumas. Atas dasar tujuan untuk memperbaiki sifat baja tersebut.

2.9 *Carburizing*

Karbonisasi adalah proses memanaskan bahan sampai diatas suhu kritis yaitu 900°C - 950°C dalam lingkungan yang menyerahkan karbon lalu dibiarkan beberapa lamanya pada suhu tersebut dan kemudian didinginkan (Beumer 1980:37). *Carburizing* atau pengarbonan bertujuan memberikan kandungan karbon yang lebih banyak pada bagian permukaan dibanding dengan bagian inti benda kerja, sehingga kekerasan permukaan lebih meningkat. Proses karbonisasi dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu temperature, waktu atau lamanya pengarbonan umumnya diterapkan pada jenis baja yang tidak mudah dikeraskan atau baja yang mengandung karbon C kurang dari 0,3% dengan demilian agar baja tersebut dapat dikeraskan permukaannya. Perubahan komposisi baja terjadi dengan jalan melarutkan karbon pada permukaan

baja, cara seperti itu dapat meningkatkan komposisi karbon pada baja berkisar antara 0,3 sampai 0,9% berpengaruh terhadap karbon C (Suratman, 1994:131). Pertambahan karbon ini juga cukup berpengaruh terhadap kenaikan kekerasan baja tersebut. Tetap kenaikan nilai kekerasannya tidak sebanding dengan nilai karbon yang telah terdifusi kedalam spesimen, hal ini disebabkan karena setelah selesai spesimen tidak diberikan pendinginan cepat menjadikan atom-atom yang telah larut terdifusi kedalam *austenite* membentuk kembali *sementite* dan *ferrit* sehingga nilai kekerasan *austenite* berkurang karena tidak terbentuk struktur *martensite* yang cukup banyak. *Carburizing* adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja karbon rendah, pemanasan *carburizing* dilakukan dengan media tertentu dengan temperature dan waktu tertentu. Unsur karbon dapat diperoleh dari arang kayu jati, arang cangkang kelapa sawit, dan arang tempurung kelapa atau suatu material yang mengandung unsur karbon. pada pengarbonan padat dipakai arang yang dicampur (10-30) % Na_2CO_3 , baja dimasukkan kedalam campuran ini, ditempatkan dalam suatu wadah dan ditutup rapat kemudian dipanaskan pada temperature (950-900) $^{\circ}\text{C}$.

2.10 *Double Hardening* (pengerasan ganda)

Double hardening adalah proses pengerasan dari bahan yang telah mengalami *carburizing* pada material hasil *carburizing* terjadi perbedaan kandungan karbon antara bagian kulit atau permukaan dengan bagian intinya. Sebagai contoh pada bagian kulit mengandung 0,8%C dan pada bagian intinya tetap mengandung 0,2%C, sehingga pada bagian dalam adalah baja *hypereutekoid* dan pada bagian kulit baja *hypereutekoid*.

Perbedaan kandungan karbon antara bagian kulit dengan inti dari hasil proses *carburizing* tersebut tidak menghasilkan kekerasan yang baik untuk itu harus dilakukan pengerasan ganda (*Double hardening*). Proses *double hardening* dibagi menjadi dua tahap pemanasan, pemanasan yang dilakukan pada suhu 880°C- 900°C yaitu untuk memperbaiki dalam (inti) benda kerja yang mengalami pemanasan yang berlebihan pada waktu proses *carburizing* dan memecahkan *sementite* pada bagian luar sehingga akan terjadi pengerasan bahan pada bagian luar kebagian inti kemudian didinginkan dengan cepat media pendingin, pemanasan kedua dilakukan pada suhu 760°C- 850°C tegangan-tegangan akibat pemanasan yang tinggi pada bagian kulit dari pada *carburizing* kemudian didinginkan dengan cepat. Pada media pendingin, hasil pengerasan ganda akan menghasilkan butiran-butiran halus kristal yang halus, proses ini diakhiri dengan proses pemudaan (*tempering*). *tempering* adalah penemperan proses pemanasan ulang baja yang sebelumnya sudah dikeraskan guna merubah sebagian *martensite* keras menjadi struktur yang lebih lunak. Pemakaian temperatur penemperan yang lebih tinggi mengakibatkan lebih banyak *martensite* yang ditransformasikan, sehingga bahan akan menjadi lebih lunak dan tangguh (liat). Oleh sebab itu temperatur penemperan dipilih sesuai dengan kekuatan dan ketelitian yang diinginkan. Suatu bahan dapat ditemperatur melalui tungku dengan temperatur tetap yang didinginkan dengan udara. Beberapa baja perkakas harus didinginkan secara cepat setelah penemperan untuk menghindari kerapuhan.

2.11 Karakteristik material

Material adalah segala sesuatu yang mempunyai massa dan meliputi ruang. Berdasarkan pengertian tersebut maka material teknik adalah material yang digunakan untuk menyusun sebuah benda dan digunakan untuk perekayasaan dan perancangan dibidang teknik. Selain itu karakteristik material merupakan bagian dari suatu pembentukan yang menghasilkan produk-produk yang berkualitas dan dapat memberikan hasil yang menguntungkan, dimana material tersebut ada dinamakan sebagai material organik dan material anorganik.. Material organik adalah material yang bersumber dari alam berupa makhluk hidup dan dapat dimanfaatkan langsung tanpa melalui proses contoh kayu, karet alam dan lain-lain. Sedangkan material anorganik adalah material yang bersumber dari alam selain makhluk hidup dan untuk mendapatkannya harus diproses terlebih dahulu.

2.12 Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi.

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical Properties*) dari suatu material. Kekerasan juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Makna nilai kekerasan suatu material berbeda untuk kelompok bidang ilmu yang berbeda. Bagi insinyur metalurgi nilai kekerasan adalah ketahanan material terhadap penetrasi sementara untuk para insinyur disain nilai tersebut adalah ukuran

dari tegangan alir, untuk insinyur lubrikasi kekerasan berarti ketahanan terhadap mekanisme keausan, untuk para insinyur mineralogi nilai itu adalah ketahanan terhadap goresan, dan untuk para mekanik work-shop lebih bermakna kepada ketahanan material terhadap pemotongan dari alat potong. Begitu banyak konsep kekerasan material yang dipahami oleh kelompok ilmu, walaupun demikian konsep-konsep tersebut dapat dihubungkan pada satu mekanisme yaitu tegangan alir plastis dari material yang diuji.

Dari uraian singkat di atas maka kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal 3 metode uji kekerasan:

1. Metode gores

Metode ini tidak banyak lagi digunakan dalam dunia metalurgi dan material lanjut, tetapi masih sering dipakai dalam dunia mineralogi. Metode ini dikenalkan oleh Friedrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala (yang kemudian dikenal sebagai skala Mohs). Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai nilai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan. Dalam skala Mohs urutan nilai kekerasan material di dunia ini diwakili oleh:

- | | |
|-------------|---------------------|
| 1. Talc | 6. Orthoclase |
| 2. Gypsum | 7. Quartz |
| 3. Calcite | 8. Topaz |
| 4. Fluorite | 9. Corundum |
| 5. Apatite | 10. Diamond (intan) |

Prinsip pengujian: bila suatu mineral mampu digores oleh *Orthoclase* (no. 6) tetapi tidak mampu digores oleh *Apatite* (no. 5), maka kekerasan mineral tersebut berada antara 5 dan 6. Berdasarkan hal ini, jelas terlihat bahwa metode ini memiliki kekurangan utama berupa ketidakakuratan nilai kekerasan suatu material. Bila kekerasan mineral-mineral diuji dengan metode lain, ditemukan bahwa nilai-nilainya berkisar antara 1-9 saja, sedangkan nilai 9-10 memiliki rentang yang besar.

2. Metode elastik/pantul (*rebound*)

Dengan metode ini, kekerasan suatu material ditentukan oleh alat *Scleroscope* yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan benda uji. Tinggi pantulan (*rebound*) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

3. Metode indentasi

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya metode uji kekerasan dengan cara indentasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Metode Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjeakan diberikan oleh Gambar 2.10 Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(\text{pers2.2})$$

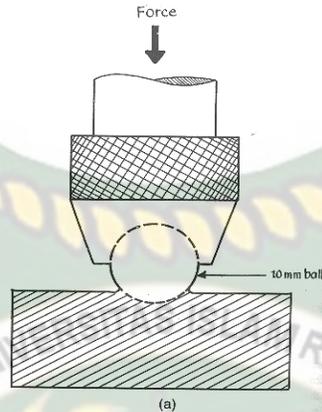
Dimana :

BHN = angka kekerasan Brinell

P = beban (kg)

D = diameter indenter (mm)

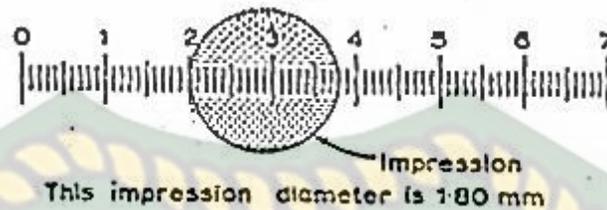
D = diameter jejak (mm)



Gambar 2.4 Skematis prinsip indentasi dengan metode *Brinell*

Prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam-logam ferrous, atau 500 kg untuk logam-logam non-ferrous. Untuk logam-logam ferrous, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam non-ferrous sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji.

Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan dengan 'HB' tanpa tambahan angka dibelakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kg selama waktu 1—15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka-angka yang menyatakan kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indenter 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik.

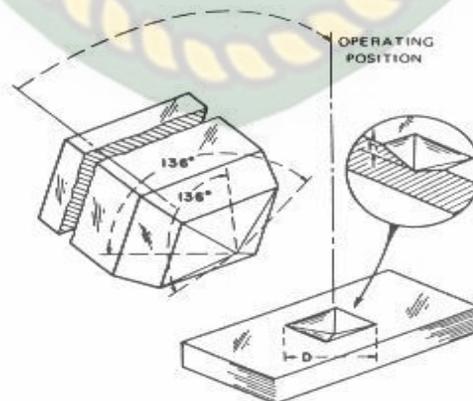


Gambar 2.5 Hasil indentasi *Brinell* berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm.

b. Metode *Vickers*

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° , seperti diperlihatkan oleh gambar 2.11 Prinsip pengujian adalah sama dengan metode *Brinell*, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \dots\dots\dots(\text{Pers 2.3})$$



Gambar 2.6 Skematis prinsip indentasi dengan metode *Vickers*

c. Metode Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter/diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industry karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indetor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya.

Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indetor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rockwell C (dengan indetor intan dengan beban 150 kg). Walaupun demikian metode Rockwell lainnya juga biasa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B: indetor 1/6 inci dan beban 100 kg. Berikut ini diberikan Tabel 2.4 yang memperlihatkan perbedaan skala dan range uji dalam skala Rockwell.

TABLE 1-5 The Rockwell Hardness Scales*

SCALE	MAJOR LOAD, KG	TYPE OF INDENTER	TYPICAL MATERIALS TESTED
A	60	Diamond cone	Extremely hard materials, tungsten carbides, etc.
B	100	1/16" ball	Medium hard materials, low- and medium-carbon steels, brass, bronze, etc.
C	150	Diamond cone	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	100	Diamond cone	Case-hardened steel
E	100	1/8" ball	Cast iron, aluminum and magnesium alloys
F	60	1/16" ball	Annealed brass and copper
G	150	1/16" ball	Beryllium copper, phosphor bronze, etc.
H	60	1/8" ball	Aluminum sheet
K	150	1/8" ball	Cast iron, aluminum alloys
L	60	1/4" ball	Plastics and soft metals such as lead
M	100	1/4" ball	Same as L scale
P	150	1/4" ball	Same as L scale
R	60	1/2" ball	Same as L scale
S	100	1/2" ball	Same as L scale
V	150	1/2" ball	Same as L scale

* Ametek Testing Equipment Systems, East Moline, Ill.

Tabel 2.4 Perbedaan skala dan range uji dalam skala *Rockwell*

2.13 Pengujian Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya : mikroskop cahaya, mikroskop *electron*, mikroskop *field on*, mikroskop *field emission* dan mikroskop sinar-X. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya, adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah :

1. Mempelajari hubungan sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah penginderaan spesimen, pengamplasan dan pemolesan dilanjutkan pengetsaan. Setelah dipilih bahan uji dan diratakan kedua permukaannya dengan mesin bubut atau lainnya, tetapi pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas berlebihan yang dapat merusak struktur mikro.

Setelah rata kemudian digosok menggunakan kertas ampelas dengan kekasaran berurutan, mulai dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar). Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Pemolesan dilakukan dengan bubuk penggosok atau pasta diamon dengan ukuran $1\mu\text{m} - 0,1\mu\text{m}$, tujuannya agar didapat permukaan yang rata dan halus tanpa goresan sehingga terlihat mengkilap seperti cermin. Langkah terakhir sebelum dilihat struktur mikronya adalah dengan mencelupkan spesimen ke dalam larutan *etsa* dengan penjepit tahan karat dan permukaan yang di *etsa* menghadap ke atas.

Selama pencelupan akan terjadi reaksi terhadap permukaan spesimen sehingga larutan yang menyentuh spesimen harus segar/baru, oleh karena itu banyaknya bagian struktur yang berbeda perlu digerak-gerakkan. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat atau difoto dengan mikroskop logam. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.

2.14 Pengujian komposisi

pengujian komposisi adalah pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui serta memastikan kadar unsur-unsur yang terkandung dalam bahan. Pada baja unsur yang berpengaruh dalam penguatan baja yang dominan adalah karbon. Dan unsur-unsur lain yang berpengaruh antara lain:

- a. S bersifat menurunkan keuletan pada terak.

- b. Mo (Molibden) dan W (tungsten) bersifat mengendalikan kegetasan pada perlakuan temper.
- c. Kadar P yang rendah dapat menaikkan kuat tarik baja, tetapi P bersifat membuat baja getas pada suhu rendah.
- d. P, Mo dan V (Vanadium) membawa sifat penurunan keuletan pada baja.
- e. Ni dan Mn bersifat memperbaiki keuletan baja, Mn juga bersifat mengikat karbida sehingga perlit dan ferit menjadi halus

Proses pengujian komposisi berlangsung dengan pembakaran bahan menggunakan elektroda dimana terjadi suhu rekristalisasi, dari suhu rekristalisasi terjadi penguraian unsur yang masing-masing beda warnanya. Penentuan kadar (%) berdasarkan sensor perbedaan warna proses pembakaran elektroda ini sekitar 3 detik pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat presentase unsur yang ada.

2.15 Pengujian keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan maksud untuk mengetahui benda terhadap gesekan. prinsip dari pengujian ini adalah

- a. Menimbang berat tiap-tiap spesimen
- b. Menempelkan spesimen pada semacam papan dengan perekat besi.
- c. Setelah spesimen benar-benar merekat kuat timbang spesimen beserta papan tadi

- d. Memasang kertas amplas pada alat pemutar amplas (mesin pemoles)
- e. Menentukan besarnya pemberat, sebagai besarnya gaya tekan
- f. Menghidupkan mesin pemoles
- g. Letakkan pemberat pada papan sebelah atas dan letakkan benda uji pada mesin pemoles yang sudah berputar tahan agar tidak goyang, selama penggesekan harus ditentukan waktu (lamanya) penggesekan dengan stop watch.
- h. Menimbang berat spesimen setelah dilakukan penggesekan
- i. Membandingkan berat sebelum dan sesudah penggesekan.

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknis, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya metode *ogoshi* dengan benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan keausan antara permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Secara definisi keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. Dan pada permukaan spesimen akan bersentuhan dengan gesekan sehingga permukaan tersebut akan licin dimana gesekan tadi akan menghasilkan bagian tepi dan ada pula bagian keseluruhannya, dan itu tergantung pada pembebanan maka beban seberat 8 kg, permukaan spesimen

menghasilkan seluruh permukaan, dan kalau pembebanan seberat 3 kg, permukaan spesimen tersebut tergantung pada permukaan yang terkena gesekan.

