

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Logam

Logam yang dipakai sebagai bahan teknik terbagi dua yaitu :

1. Logam berbahan dasar Ferro (Fe) atau besi
2. Logam yang tidak berbahan dasar Ferro (Non Fe)

2.1.1 Baja

Baja adalah perpaduan antara besi dan karbon (Fe+C). Karbon maksimum dari baja adalah 2,1 %. Karbon didalam baja membentuk karbida besi (Fe_3C atau sementit).

Menurut komposisi kimianya, baja diklasifikasikan menjadi tiga, diantaranya :

- Baja karbon
- Baja paduan
- Baja paduan dengan sifat khusus

Baja karbon (*carbon steel*), dibagi menjadi tiga yaitu :

- 1) Baja karbon rendah (*low carbon steel*). Sifatnya mudah ditempa dan dimesin. Penggunaannya berdasarkan persentase karbon :
 - $0,05 - 0,20 \%C$: *automobile bodies, buildings, pipes, chains, rivets, screws, nails.*
 - $0,20 - 0,30 \%C$: *gears, shafts, bolts, forgings, bridges, buildings.*

- 2) Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan :
- 0,30 – 0,40 %C : *connecting rods, crank pins, axles.*
 - 0,40 – 0,50 %C : *car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits, screwdrivers.*
 - 0,50 – 0,60 %C : *hammers and sledges.*
- 3) Baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Kandungan 0,60 – 1,50 %C. Penggunaan : *Screw drivers, blacksmiths hummers, tables knives, screws, hammers, vise jaws, knives, drills. tools for turning brass and wood, reamers, tools for turning hard metals, saws for cutting steel, wire drawing dies, fine cutters.*

Baja paduan (*Alloy Steel*) adalah Fe + C yang ditambahkan dengan unsur paduan. Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu :

- Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keuletan, kekuatan tarik dan sebagainya)
- Untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah
- Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi)

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut persentase paduannya dibagi menjadi :

- 1) *Low alloy steel*, jika elemen paduannya $\leq 2,5 \%$
- 2) *Medium alloy steel*, jika elemen paduannya $2,5 – 10 \%$
- 3) *High alloy steel*, jika elemen paduannya $> 10 \%$

Baja paduan dengan sifat khusus dibagi menjadi tiga, yaitu baja tahan karat (*stainless steel*), *high strength low alloy steel* (HSLA), dan baja perkakas (*tool steel*).

1) Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*) Sifatnya antara lain :

- Memiliki daya tahan yang baik terhadap panas, karat, dan goresan/gesekan
- Tahan temperatur rendah maupun tinggi
- Memiliki kekuatan besar dengan massa yang kecil
- Keras, liat, densitasnya besar dan permukaannya tahan aus
- Tahan terhadap oksidasi
- Kuat dan dapat ditempa
- Mudah dibersihkan
- Mengkilat dan tampak menarik

2) *High Strength Low Alloy Steel* (HSLA)

Sifat dari HSLA adalah memiliki tensile strength yang tinggi, anti bocor, tahan terhadap abrasi, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, ulet, sifat mampu mesin yang baik dan sifat mampu las yang tinggi (weldability). Untuk mendapatkan sifat-sifat diatas maka baja ini diproses secara khusus dengan menambahkan unsur-unsur seperti : tembaga (Cu), nikel (Ni), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Vanadium (Va), dan Columbium.

3) Baja Perkakas (*Tool Steel*)

Sifat-sifat yang harus dimiliki oleh baja perkakas adalah tahan pakai, tajam atau mudah diasah, tahan panas, kuat dan ulet.

2.1.2 Besi Cor

Besi cor merupakan paduan antara unsur besi yang mengandung carbon (c), silicon (s), mangan (Mg), phosphor(p) dan sulfur (s), pada besi cor karbon biasanya antara 2% sampai 6,67% sedang pada baja kandungan karbon hanya mencapai 2%, semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan mengakibatkan besi cor rapuh getas. Selain dari karbon besi cor juga mengandung silicon (Si) (1-3%), mangan (0,25-15%), dan phosphor (p) (0,05-15%), selain itu juga terdapat unsur-unsur lain yang ditambahkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

Kehadiran silicon dalam besi cor mengakibatkan terjadinya dekomposisi karbida-karbida menjadi besi dan grafit: $Fe_3C-Si > 3Fe + C$ grafit. Proses dekomposisi ini disebabkan oleh sifat Fe_3C yang stabil. Dekomposisi ini disebut grafitisasi yang menghasilkan grafit dalam besi cor. Selain unsur-unsur yang ditambahkan dalam besi cor juga terdapat faktor-faktor penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat-sifat besi cor tersebut antara lain proses pembekuan, laju pendinginan dan perlakuan panas yang dilakukan.

Besi cor mempunyai keuntungan yaitu mampu tuang (*castability*) yang baik, kemudahan proses produksi dan rendahnya proses temperatur kamar. Akan tetapi besi cor mempunyai titik lebur yang relatif rendah yakni $1150^{\circ}C - 1300^{\circ}C$ dan dapat dituang kedalam bentuk-bentuk yang sulit. Hal ini merupakan keuntungan dari besi cor karena mendapatkan bentuk benda yang diinginkan hanya diperlukan proses pemanasan dan juga besi cor mempunyai kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi yang cukup baik. Salah satu logam yang banyak digunakan oleh manusia untuk keperluan industri dan rekayasa adalah besi cor (Surdia & Saito, 1999).

2.2 Klasifikasi Besi Cor

2.2.1 Besi Cor Kelabu (*Gray Cast Iron*)

Besi cor kelabu memiliki kandungan silicon relatif tinggi yaitu antara 1-3%. Dengan silicon sebesar ini, besi cor akan membentuk garfit dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe₃C tidak terbentuk. Grafit serpih besi cor ini terbentuk saat proses pembekuan. Besi cor kelabu memiliki kandungan karbon antara 2,5-4,0%, dan kandungan mangan antara 0,2-1,0%. Sedangkan kandungan fosfor antara 0,002-1,0%, dan sulfur antara 0,02-0,025%.

Salah satu karakteristik dari besi cor ini adalah bidang patahannya, patahan terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih yang lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih grafit, maka permukaannya berwarna kelabu. Untuk itu disebut besi cor kelabu, besi cor ini memiliki kapasitas peredaman tinggi. Perlakuan panas yang dialami oleh besi cor kelabu dapat menghasilkan besi cor dengan struktur yang berbasis pada fasa feritik, perlitik, atau martensitik. Dengan sifat-sifat yang dimilikinya, besi cor ini lebih banyak digunakan sebagai landasan mesin, poros penghubung, dan alat berat. Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik dari besi tuang kelabu ASTM 40 dapat dilihat di bawah ini.

Karakteristik Besi Cor Kelabu :

Besi Cor Kelabu ASTM 40 memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

C=2,7–4,0% , Mn=0,8% , Si=1,8–3% , S=0,07% max , P=0,2% max

Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Cor Kelabu :

- Densiti = $7,06 \times 10^3 - 7,34 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Modulus Elastisitas = 124 Gpa
- *Thermal Expansion* = $(20 \text{ }^\circ\text{C}) 9,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- *Specific Heat Capacity* = (25 C) 490 J/(kg x K)
- Konduktivitas Thermal = 53,3 W/(m x K)
- Resistivitas Listrik = 1,1 x10-7 Ohm x m
- Kuat Tarik = 276 Mpa
- Elongasi = 1%
- Kekerasan = 180 – 302 HB, Hardness Brinell

2.2.2 Besi Cor Nodular

Besi cor nodular dibuat dengan menambahkan sedikit unsur magnesium atau serium. Penambahan unsur ini menyebabkan bentuk grafit besi cor menjadi nodular, atau bulat, atau speroid, perubahan bentuk grafit ini diikuti dengan perubahan ke uletan. Maka dari itu, besi cor nodular disebut besi cor ulet, besi cor ini memiliki keuletan antara 10-20%.

Besi cor nodular memiliki kandungan karbon antara 3,0-4,0%, kandungan silicon antara 1,8-2,8% dan mangan antara 0,1-1,0%. Sedangkan kandungan fosforanya antara 0,01-0,1% dan sulfur antara 0,01-0,03%. Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor nodular akan menghasilkan besi cor ferit, perlit atau martensit temper. Dengan sifat yang dimilikinya, besi cor ini banyak digunakan untuk aplikasi poros engkol, pipa dan suku cadang khusus. Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik besi cor nodular, ulet ASTM A536 dapat dilihat pada di bawah ini.

Karakteristik besi cor nodular:

Besi Cor Nodular ASTM A536 memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

C=3,5-3,9% , Mn=0,15-0,35% , Si=2,25 -2,75% , S=0,01 - 0,025% , P=0,05%max

Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Cor Nodular, ASTM A536 :

- Densiti = $6,64 \times 10^3$ - $7,2 \times 10^3$ Kg/m³
- Modulus Elastisitas = 172 Gpa
- *Thermal Expansion* = (20 C) $11,6 \times 10^{-6}$ C⁻¹
- *Specific Heat Capacity* = 506 J/(kg x K)
- Konduktivitas Thermal = 32,3 W/(m x K)
- Resistivitas Listrik = $6,0 \times 10^{-7}$ Ohm x m
- Kuat Tarik = 496 Mpa
- Kuat Luluh = 345 Mpa
- Elongasi = 18%
- Kekerasan = 130–217 HB, Hardness Brinell

2.2.3 Besi Cor Mampu Tempa

Besi Cor mampu tempa dibuat dari besi cor putih dengan menerapkan suatu perlakuan panas. Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor putih umumnya adalah anil. Dengan perlakuan ini fasa-fasa karbida Fe₃C akan terdekomposisi menjadi besi dan grafit, grafit yang terbentuk tidak serpih atau bulat, namun berbentuk gumpalan grafit yang tidak memiliki tepi-tepi tajam. Besi cor mampu tempa memiliki kandungan karbon antara 2,2-2,9%, kandungan silicon antara 0,9-1,9%, dan mangan antara 0,15-1,2%, sedangkan kandungan fosforanya antara 0,02-0,2% dan sulfur antara 0,02 - 0,2%.

Perlakuan panas yang dialaminya dapat membentuk besi cor berfasa feritik, perlitik atau martensit temper. Perubahan struktur pada laku panas diikuti juga dengan perubahan sifat mekaniknya. Besi cor ini memiliki keuletan yang tinggi dan mampu tempa yang baik. Oleh kerena itu disebut besi cor mampu tempa besi cor ini umumnya digunakan untuk perkakas dan alat-alat kereta api. Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik dari besi cor mampu tempa ASTM A220 dapat dilihat di bawah ini

Karakteristik besi cor mampu tempa:

Besi Cor Mampu Tempa ASTM A220 memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

C=2-2,7% , Mn=0,25-1,25% , Si=1-1,75% , S=0,03-0,18% , P=0,05%max

Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Cor Mampu Tempa ASTM A220:

- Densiti = $7,2 \times 10^3$ - $7,45 \times 10^3$ Kg/m³
- Modulus Elastisitas = 172 Gpa
- *Thermal Expansion* = (20 C) $11,9 \times 10^{-6}$ C⁻¹
- Resistivitas Listrik = $3,9 \times 10^{-7}$ Ohm x m
- Kuat Tarik = 586 Mpa
- Kuat Luluh = 483 Mpa
- Elongasi = 3%
- Kekerasan = 217-269 HB, Hardness Brinell

2.2.4. Besi Cor Putih

Besi cor putih dibuat dengan pendinginan yang sangat cepat. Pada laju pendinginan yang cepat akan terbentuk karbida Fe₃C yang menstabil dan karbon tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Karbida yang terbentuk mencapai sekitar 30% volume. Besi cor putih mengandung karbon antara 1,8-3,6%, dan kandungan mangan antara 0,25-0,80%. Sedangkan kandungan fosforanya antara 0,06-0,2%, dan sulfur antara 0,06-0,2%. Besi cor ini memiliki sifat yang getas, namun memiliki kekerasan yang tinggi. Sifat yang dimilikinya menyebabkan besi cor ini lebih aplikatif untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus tinggi. Secara umum sifat - sifat yang dimiliki oleh besi cor putih dapat dilihat di bawah ini.

Karakteristik Besi Cor Putih :

Besi Cor Putih memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

C=2,5% , Mn=0,4% , Cr=17% , Si=1,3% , Ni+Cu=1,5% , Cr=1% , P=0,15% , S=0,15% , Mo=0,5%

Karateristik Sifak Fisik Dari Besi Cor Putih :

- Densiti = $7,7 \times 10^3$ Kg/m³
- Modulus Elastisitas = 179 Gpa
- *Thermal Expansion* = (20 C) $9,0 \times 10^{-6}$ C⁻¹
- *Electric Resistivity* = 8×10^{-7} Ohm x m

2.3 Sifat-Sifat Material

Sifat-sifat material secara umum dapat dibagi menjadi tiga :

1. Sifat mekanik adalah sifat yang menunjukkan kelakuan material apabila material tersebut diberi beban mekanik (statik atau dinamik).

Contoh dari sifat mekanik material :

- Kekuatan tarik-tekan
- Keuletan
- Ketangguhan
- Kekerasan
- dsb

2. Sifat fisik adalah sifat bawaan yang merupakan ciri khas dari material.

Contoh dari sifat fisik material :

- Massa jenis
- Temperatur cair
- Konduktifitas panas dan listrik dsb

3. Sifat kimia adalah sifat yang menunjukkan karakteristik unsur kimia dari material.

Contoh dari sifat kimia material adalah ketahanan terhadap korosi.

2.4 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam sesuai yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau hanya sebagian dari logam.

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan yang dilakukan dengan cara menaikkan temperatur logam diatas temperatur kritisnya yaitu dimana mulai terjadinya transformasi struktur dari fasa ferit (α) menjadi fasa austenite (γ). Kemudian logam ditahan pada temperatur tersebut untuk waktu tertentu dan dilanjutkan dengan media pendinginan tertentu, semua rangkaian perlakuan panas dilakukan secara terkontrol. Perlakuan panas terbagi menjadi beberapa tujuan yaitu: pengerasan, pelunakan, dan penormalan.

2.4.1 Hardening

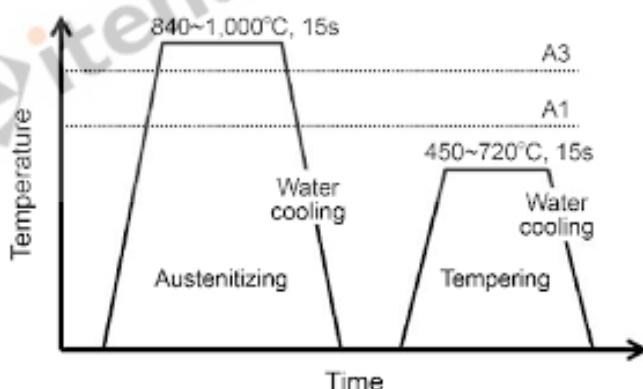
Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam dengan cara merubah fasanya, pada prosesnya ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu: temperature austenite, holding time, dan media pendingin.

Kekerasan yang didapat dari proses *hardening* bergantung pada persentase kandungan karbon, temperatur austenite dan jenis media pendingin. Persentase karbon mempengaruhi kekerasan dari logam, temperatur austenite

mempengaruhi banyaknya karbida yang dilarutkan untuk menghasilkan struktur akhir yang lebih keras dan *holding time* untuk memastikan bahwa seluruh bagian logam yang diberi perlakuan panas sudah mencapai temperatur austenite (homogen). Proses tempering bertujuan untuk mengurangi konsentrasi tekanan tinggi yang disebabkan oleh pembentukan martensit.

2.4.2 *Tempering*

Tempering adalah suatu perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam menguatkan logam dari kerapuhan. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* atau dibawah suhu kritis, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Logam yang telah dikeraskan memiliki sifat yang rapuh, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan dan kekuatan Tarik akan turun sedangkan keuletan dan ketangguhan logam akan meningkat.



Gambar 2.1 Diagram *Tempering* (Namhyun Kang, 2010)

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut:

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

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor, dan sebagainya.

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

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

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

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

2.4.3 *Anealing*

Anealing adalah perlakuan panas logam dengan pendinginan yang lambat berfungsi untuk memindahkan tekanan *internal* atau untuk mengurangi dan menyuling struktur kristal (melibatkan pemanasan diatas temperature kritis bagian atas).

2.4.4 *Normalizing*

Normalizing adalah perlakuan panas logam di sekitar 40°C diatas batas kritis logam, kemudian di tahan pada temperatur tersebut untuk masa waktu yang cukup dan dilanjutkan dengan pendinginan pada udara terbuka. *Normalizing* digunakan untuk menyulingkan struktur butir dan menciptakan suatu austenite yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali.

2.5 *Holding time*

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida kedalam austenite, difusi karbon dan unsur paduannya.

2.6 Media Pendinginan

Pendinginan (*Quench*) dilakukan setelah logam melewati proses austenisasi. Dalam pemilihan media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja tergantung dari komposisi kimia, ukuran dimensi komponen yang didinginkan, sifat akhir yang diinginkan. Ada beberapa macam media pendinginan yaitu:

2.6.1 Media pendinginan udara (paksa)

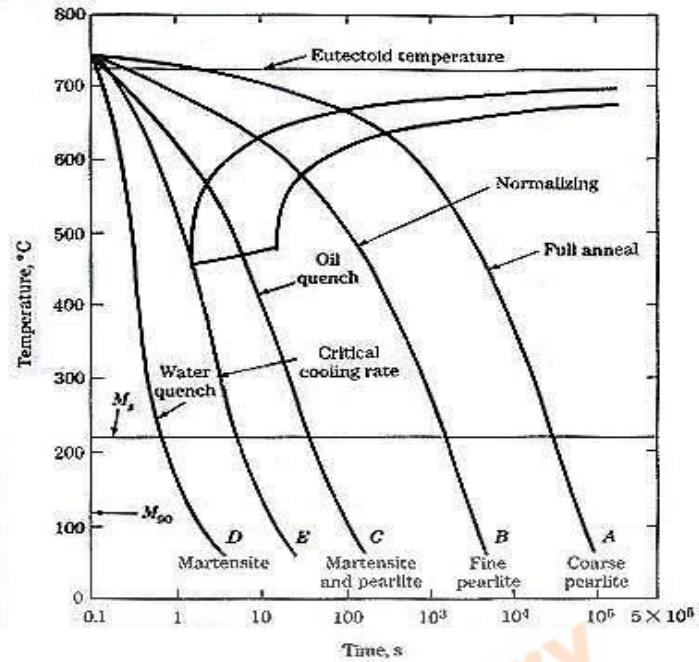
Pendinginan menggunakan udara paksa (disemprotkan ke permukaan material) akan memberikan laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan media pendinginan air dan oli, sehingga sifat akhir yang didapat dari penggunaan media pendingin ini adalah ketangguhan, kekerasan, keuletan yang baik. Media pendingin ini biasa digunakan pada material baja perkakas yang membutuhkan kekerasan dan ketangguhan yang baik.

2.6.2 Media pendingin air (H_2O)

Pendinginan ini menggunakan air yang akan memberikan laju pendinginan yang cepat dibandingkan dengan menggunakan oli, sehingga sifat akhir yang dihasilkan media ini adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi, tapi menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan dan relative getas. Dalam aplikasi media ini digunakan untuk meningkatkan kekerasan logam.

2.6.3 Media pendinginan oli

Penggunaan media pendingin oli dalam proses perlakuan panas dapat memberikan lapisan karbon pada permukaan bidang benda kerja. Dalam menggunakan media pendinginan oli harus menggunakan media oli yang khusus yaitu oli yang memiliki viskositas yang tepat. Viskositas pada oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan.



Gambar 2.2 Diagram dari beberapa macam media pendingin

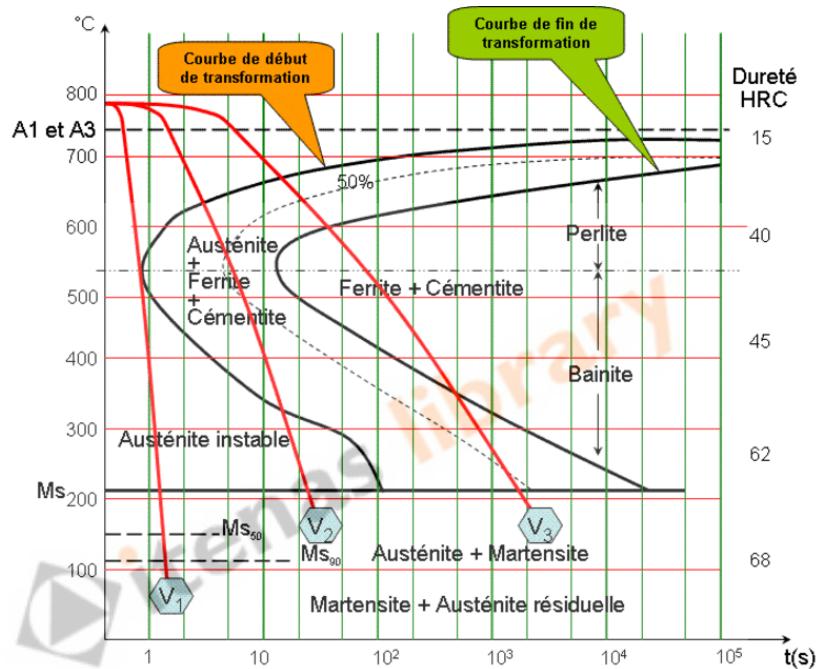
(ASM Metal Handbook vol 4, 1987)

2.7 Time-Temperature transformation

Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) adalah diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Jika dilihat dari bentuk grafiknya diagram ini mempunyai nama lain yaitu diagram S atau diagram C. Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang diinginkan agar cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram fasa namun untuk kondisi tidak setimbang diagram fasa tidak dapat digunakan, untuk kondisi seperti ini maka digunakan diagram TTT. Berikut merupakan fungsi dari diagram TTT yaitu:

- Dapat mempelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas
- Digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang diquench dari temperatur austenitisasinya kesuatu temperatur yang di inginkan.

- Dapat menunjukkan dekomposisi austenite dan berlaku untuk macam baja tertentu.
- Digunakan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada pendinginan *non-ekuilibrium*
- Digunakan untuk membedakan kapan proses mulai dan berakhir pada perlakuan panas dengan suhu konstan



Gambar 2.3 Diagram TTT (*Time-Temperature Transformation*)

(Pungkas Rahmatullah, 2012)

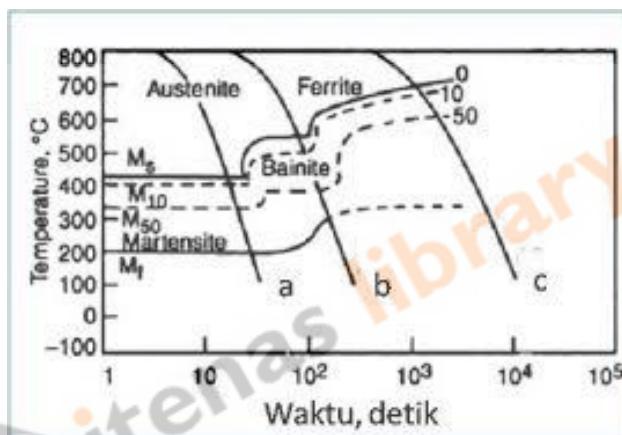
2.8 Continuous Cooling Transformation

Diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT) merupakan suatu diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan secara kontinyu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa.

Bahwa kurva-kurva pendinginan secara kontinyu dengan laju pendinginan yang berbeda akan menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda. Setiap kurva pendinginan yaitu kurva a,b,dan c memperlihatkan permulaan dan akhir dari

dekomposisi austenite menjadi fasa atau struktur baja akhir. Diagram ini dapat memperkirakan fasa yang terbentuk dengan laju pendinginan yang berbeda. Atau dengan kata lain, pada diagram ini dapat dilihat pengaruh laju pendinginan terhadap fasa yang terbentuk.

Sifat fasa memiliki sifat mekaniknya tersendiri, sehingga sifat logam akan ditentukan oleh fasa yang terdapat didalamnya. Ini artinya sifat logam (mekanik) dapat dirubah atau disesuaikan dengan kebutuhan melalui perlakuan panas dengan laju pendinginan yang berbeda-beda.



Gambar 2.4 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

(Ardra, 2019)

2.9 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram Fe-Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan berbagai kandungan karbon (%C). Diagram fasa besi dan karbida besi Fe₃C ini menjadi landasan untuk laku panas kebanyakan jenis logam yang kita kenal. Dari diagram fasa tersebut dapat diperoleh informasi-informasi penting yaitu antara lain :

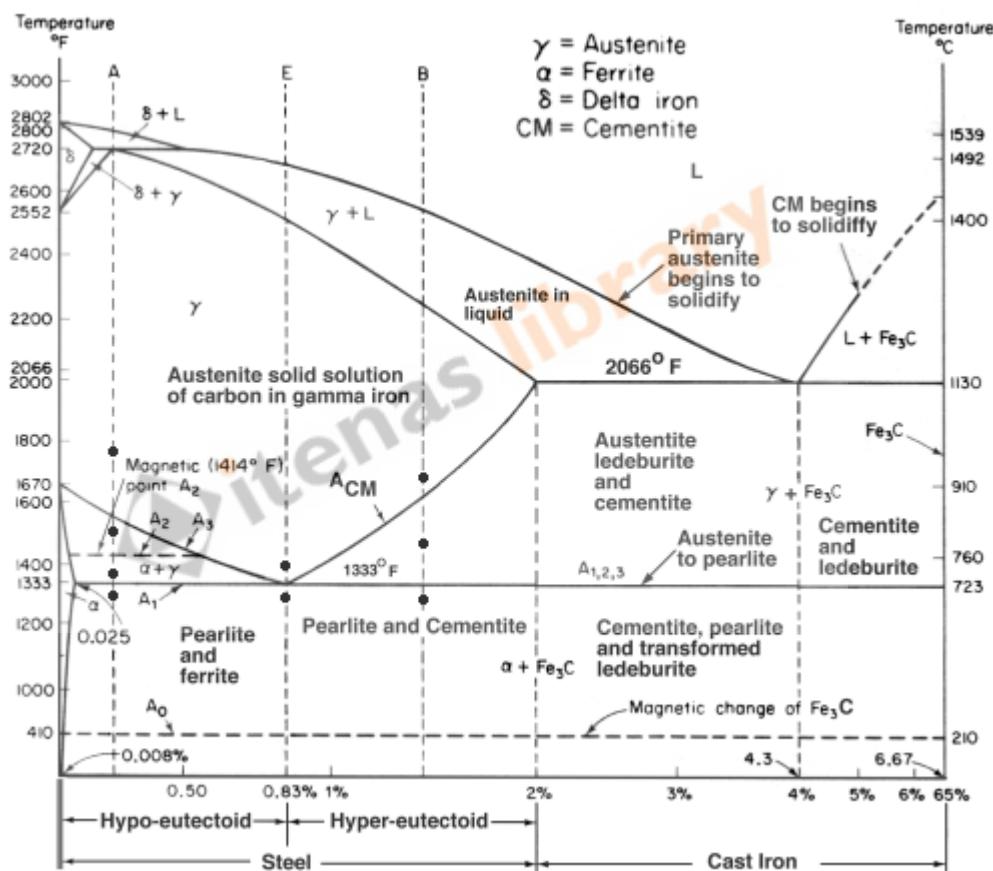
- Fasa yang terjadi pada komposisi dan temperatur yang berbeda dengan pendinginan lambat.

- Temperatur pembekuan dan daerah-daerah pembekuan paduan Fe-C bila dilakukan pendinginan lambat.
- Temperatur cair dari masing-masing paduan.
- Batas-batas kelarutan atau batas kesetimbangan dari unsur karbon fasa tertentu.
- Reaksi-reaksi metalurgis yang terjadi.

Struktur-struktur yang ada pada diagram fasa Fe-Fe₃C :

1. Ferrit (Besi α) adalah suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan Carbon 0,025%C pada temperature 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*) dan pada temperatur kamar mempunyai batas kelarutan Carbon 0,008%C. Memiliki sifat sebagai berikut:
 - Ketangguhan rendah
 - Keuletan tinggi
 - Kekerasan < 90 HRB
 - Struktur paling lunak pada diagram Fe-Fe₃C
 - Ketahanan korosi medium
2. Austenit (Besi γ) adalah suatu larutan padat yang mempunyai batas maksimum kelarutan Carbon 2,11%C pada temperature 1148°C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*). Memiliki sifat sebagai berikut:
 - Ketangguhan baik sekali
 - Ketahanan korosi yang paling baik dari SS yang lain
 - *Non hardened heat treatment*
 - Mudah dibentuk
 - Paling banyak dipakai dalam industri

3. Cementit (Besi Karbida) adalah suatu senyawa yang terdiri dari unsur Fe dan C dengan perbandingan tertentu dan strukturnya Orthohombic. Sifat-sifatnya adalah sangat keras dan bersifat getas.
4. Lediburite adalah campuran Eutectic antara besi Gamma dengan Cementid yang dibentuk pada temperatur 1130°C dengan kandungan Carbon 4,3% C.
5. Pearlit adalah Eeutectoid mixture dari ferrite dan cementite ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$), terjadi pada temperatur 723°C , mengandung 0,8% karbon



Gambar 2.5 Diagram fasa Fe- Fe_3C (ASM Metal Handbook vol 4)

2.10 Struktur Mikro

Struktur mikro logam dapat dirubah dengan cara memanaskan logam untuk menghasilkan struktur mikro dan sifat yang diinginkan. Hasil yang diinginkan dicapai dengan pemanasan dan pendinginan pada suhu yang ditentukan. Jika spesimen logam di *heat treatment* dengan benar dan diperiksa dibawah mikroskop,

akan ditemukan struktur yang berbeda, jenis struktur yang ada tergantung dari komposisi kimia logam dan perlakuan panas yang dilakukan. Struktur mikro pada logam antara lain adalah ferit, perlit, bainit, martensit, sementit dan karbida.

2.10.1 Ferrite

Ferrit adalah larutan karbon dan unsur paduan lainnya yang padat dalam sel satuan *body centered cubic*. Fasa ini terbentuk pada pendinginan lambat dari baja *Hypoeutectoid* yang telah di austenisasi pada temperatur 910°C–723°C. Ferrite biasa disebut juga alpha (α), sifatnya ulet dan memiliki kekerasan 70-100 BHN serta memiliki konduktifitas yang cukup tinggi.



Gambar 2.6 Struktur Mikro Ferrit (Rina, 2014)

2.10.2 Pearlite

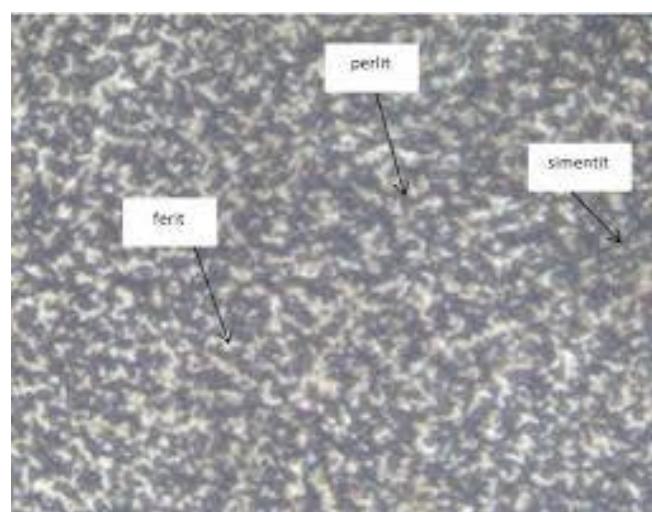
Pearlite adalah campuran sementit dan ferrit yang memiliki kekerasan 10-30 HRC tergantung pada jenis baja. Pearlite merupakan campuran dari fasa ferrit dan sementit. Pearlite yang terbentuk tepat dibawah suhu eutectoid memiliki kekerasan yang lebih rendah dan membutuhkan lebih banyak waktu untuk terbentuk.



Gambar 2.7 Struktur Mikro Pearlite (Soedihono, 2006)

2.10.3 Cementite

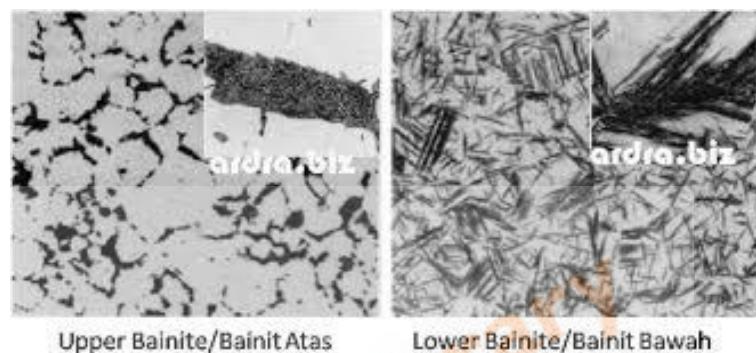
Cementit adalah senyawa besi dan karbon, yang dikenal secara kimiawi sebagai karbida besi yang memiliki rumus kimia $Fe-C$ dengan persentase karbon 6,67%, ditandai oleh struktur kristal ortorombik. Cementite adalah senyawa keras dan rapuh yang memiliki nilai kekerasan 65-68 HRC, dapat ditemukan dalam bentuk bulat, baik dalam struktur hasil annealing atau struktur hasil *hardening*. Kehadiran karbida pada hardened steels, terutama pada *high speed steels* dan *cold work steels* dapat meningkatkan ketahanan aus yang baik.



Gambar 2.8 Struktur Mikro Cementit (Andika wisnujati, 2017)

2.10.4 Bainite

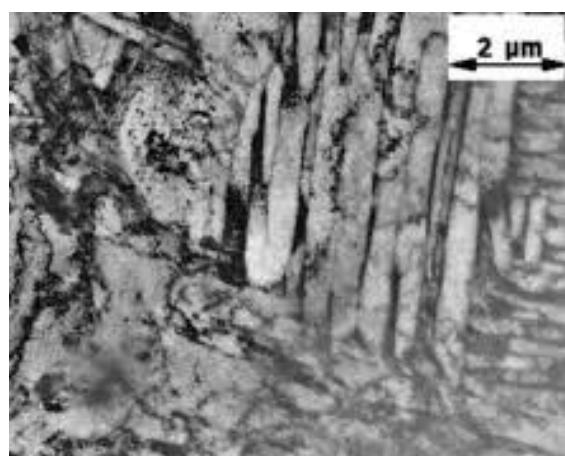
Bainit adalah gabungan fasa dari fasa martensit dan fasa pearlit yang dihasilkan dari transformasi austenite pada suhu dibawah pearlitik dan diatas martensit, setelah bertransformasi sempurna kekerasan yang didapat bervariasi antara 45-55 HRC tergantung tinggi atau rendah suhu pembentukan fasa bainitnya.



Gambar 2.9 Struktur Mikro Bainite (Ardra, 2019)

2.10.5 Martensite

Martensite adalah fasa keras yang terbentuk saat baja didinginkan dengan cepat setelah proses austenisasi. Austenit adalah fasa induk dan berubah menjadi martensit ketika proses pendinginan. Struktur yang dihasilkan adalah perubahan dari sel satuan *face center cubic* ke kisi *body center tetragonal*.



Gambar 2.10 Struktur Mikro Martensite (Nasuhka, 2015)

2.11 *Grinding Ball*

Grinding ball adalah sebuah media yang digunakan untuk menghancurkan material sesuai ukuran (*mesh*) yang diinginkan dalam kecepatan dan kapasitas tertentu. Karakteristik yang harus dimiliki *grinding ball* adalah kekerasan yang baik, daya tahan keausan dan tahan korosi. *Grinding ball* membutuhkan kekerasan permukaan yang lebih keras dibandingkan bagian dalam (tetap ulet) agar daya impact terserap dan tidak menyebabkan *grinding ball* pecah sebelum *life time* yang direncanakan karena mengalami gaya impact dan gaya gesek. *Grinding ball* tersebut harus mempunyai karakteristik keras (tahan aus), tangguh, tahan korosi untuk menanggung beban dan lingkungan selama proses penggilingan batuan.

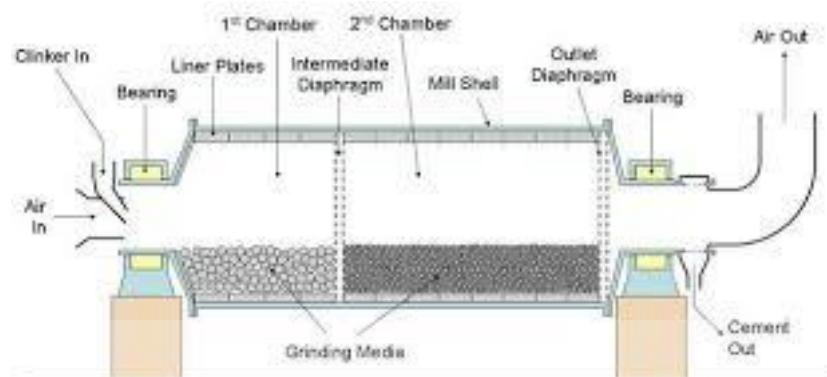


Gambar 2.11 *Grinding Ball* (L.D Michaud, 2016)

2.12 *Ball Mill*

Ball mill merupakan alat industri yang paling sangat dibutuhkan untuk hasil yang maksimal dalam kategori penghancuran tingkat halus karena mesin *ball mill* ini menggunakan teknologi *Balls* (bola – bola) yang dirancang sehingga memiliki luas permukaan per unit lebih dari rod untuk menghasilkan bahan baku material yang lebih halus. Seperti halnya dalam pabrik semen mungkin mereka juga menerapkan teknologi *ball mill* pada mesin industri semen yang dikelola. Prinsip kerja *Ball mill* adalah memutarkan tabung berisi dengan peluru besi seperti bola – bola yang sudah diisikan di dalam mesin tersebut terbuat dari baja. Proses penghaluskan terjadi karena mesin yang berputar sehingga *grinding ball* di

dalamnya ikut menggelinding, menggerus dan menggiling seluruh material di dalam *ball mill* sampai halus. Jika kecepatan putaran terlalu cepat maka bola-bola yang ada di dalam mesin akan menempel pada tabung dan hasil yang dihasilkan tidak akan bagus jadi pengaturan harus disesuaikan untuk hasil yang maksimum.



Gambar 2.12 *Ball Mill* (Maul Hidayat, 2013)