

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Baja

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 1,7% berat sesuai *grade*-nya. Dalam proses pembuatan baja terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang tertinggal didalam baja seperti mangan (Mn), Silikon (Si), Kromium (Cr), Vanadium (V) dan unsur lainnya. Aplikasi dari baja adalah sebagai bahan baku untuk alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen-komponen otomotif, kebutuhan rumah tangga dan lain-lain (Surdia, 1999).

Klasifikasi baja menurut keperluan masing-masing adalah sebagai berikut:

1. Menurut cara pembuatannya: baja bessemer, baja Siemens-Martin (*Open-hearth*), baja listrik, dan lain-lain.
2. Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas.
3. Menurut kekuatannya: baja kekuatan rendah, baja kekuatan tinggi.
4. Menurut strukturmikronya: baja *eutektoid*, baja *hypoeutektoid*, baja *hypereutektoid*, baja austenitik, baja martensitik, dan lain-lain.
5. Menurut komposisi kimia: baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi

Menurut *ASM handbook* vol.1.2:329 (1993), baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya yaitu baja karbon dan baja paduan. Klasifikasi baja karbon dan baja paduan berdasarkan komposisi kimianya sebagai berikut:

a. Baja karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan murah. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan persentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga macam yaitu:

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 % C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua karbon, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3% - 0,6% C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat

dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja karbon rendah dapat digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% - 1,7%C dan memiliki tahanan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain (ASM handbook, 1991).

b. Baja paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, mangan, kromium dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat khas dari baja. Misalnya baja yang dipadu dengan Ni dan Cr akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan ulet.

Berdasarkan kadar paduannya baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)

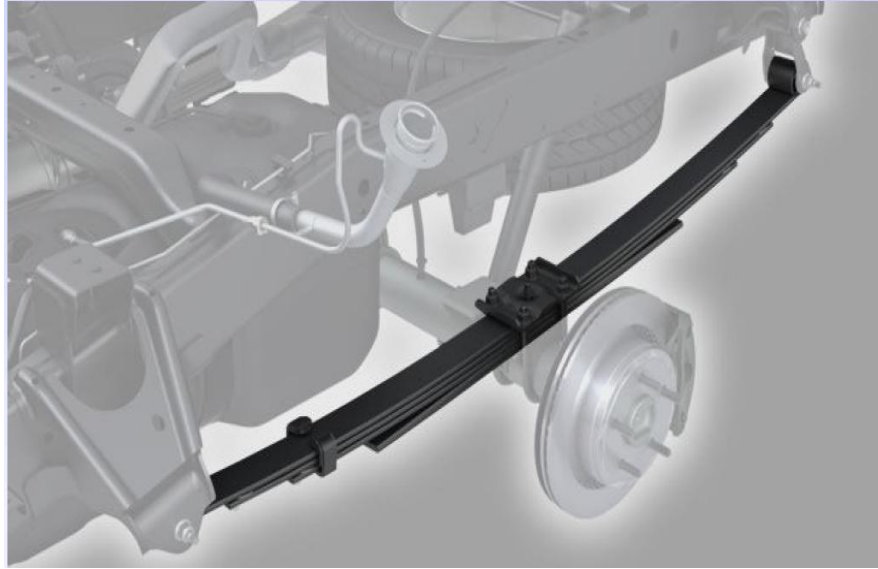
Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja paduan tinggi (*high alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto dan Daryanto, 1999).

2.2 Baja Pegas Daun

Pegas daun merupakan suatu komponen yang banyak digunakan pada kendaraan bermotor khususnya kendaraan roda empat atau lebih sebagai bagian dari sistem suspensi yang digunakan untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh gaya luar saat kendaraan bergerak. Bahan pegas daun ini termasuk dalam golongan baja pegas, yang sebenarnya tidak mempunyai keuletan yang tinggi, baja ini dapat ditingkatkan keuletannya dengan beberapa cara, antara lain melalui proses perlakuan panas. Komponen ini biasanya terdiri dari beberapa plat datar yang dijepit bersama untuk mendapatkan efisiensi dan daya lenting yang tinggi seperti Gambar 1.



Gambar 1. Baja pegas daun pada kendaraan roda empat (Suizta, 2010).

Tegangan pegas daun terjadi pada ujung yang dijepit, pegas daun diharapkan terdefleksi secara teratur pada saat menerima beban. Adapun fungsi pegas adalah memberikan gaya, melunakkan tumbukan dengan memanfaatkan sifat elastisitas bahannya, menyerap dan menyimpan energi dalam waktu yang singkat dan mengeluarkannya kembali dalam waktu yang lebih panjang, serta mengurangi getaran. Cara kerja pegas adalah kemampuan menerima kerja lewat perubahan bentuk elastis ketika mengendur, kemudian menyerahkan kerja kembali kedalam bentuk semula (Sugeng, 2009).

2.3 Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia adalah suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam dari suatu benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Prinsip dasar dari kadungan unsur

dan komposisinya yang diketahui pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atom-atomnya akan menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan maka elektron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan terpancar kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini berarti bahwa jenis suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar (Yogantoro, 2010).

2.4 Baja AISI 5140

Baja AISI 5140 merupakan spesifikasi baja dengan 4 angka menunjukkan jenis bajanya. Baja AISI 5140 yaitu salah satu *medium alloy steel* yang dikategorikan lagi pada uji komposisinya. AISI kepanjangan dari *American Iron and Steel Institute*. Baja ini termasuk baja karbon sedang, aplikasinya antara lain digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja 5140 menurut Standar AISI (Anonim A, 2012)

Element	Weight (%)
C	0,38-0,43
Mn	0,70-0,90
Cr	0,70-0,90

2.5 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Salah satu metode untuk mempelajari logam dilakukan dengan menggunakan diagram fase. Dari diagram fase ini dapat diamati perubahan struktur logam akibat pengaruh temperatur. Struktur dari baja dapat ditentukan oleh komposisi baja dan karbon (Anonim B, 2012).

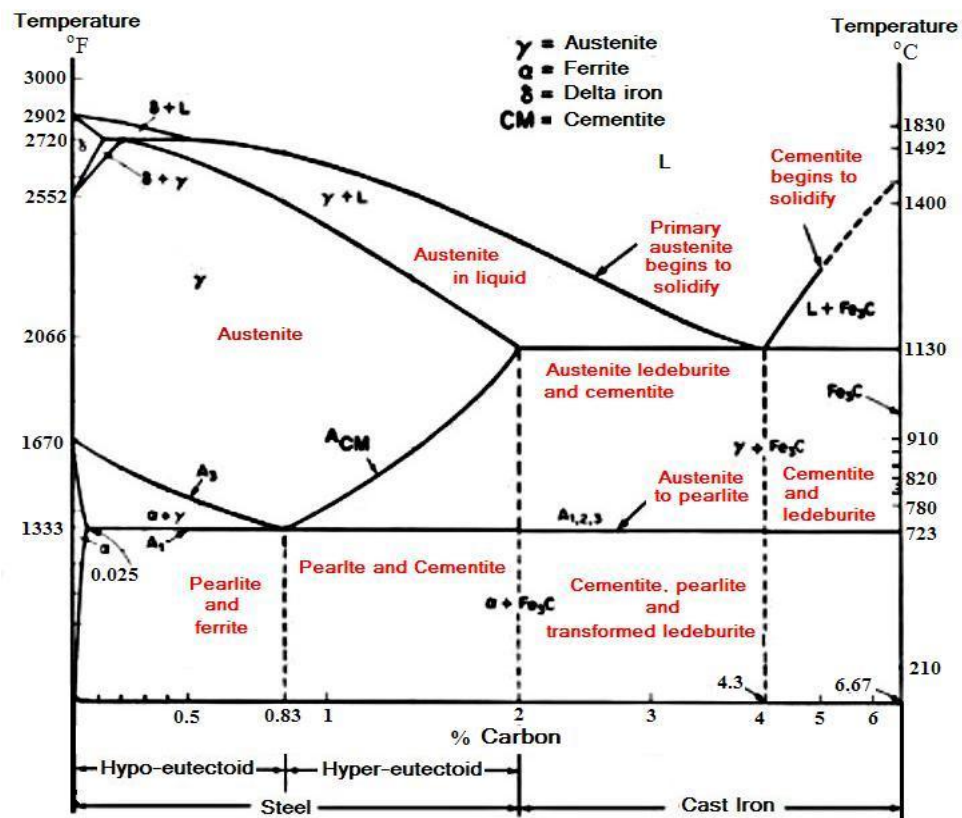
Diagram Fe-Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa dengan kandungan karbonnya (%C). Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa intertisial (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang metastabil.

Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25 % Si, 0,3 – 1,5 % Mn serta unsur pengotor lain seperti P, S dan lainnya. Karena unsur-unsur tadi tidak memberikan pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram fasa tetap dapat digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut.

Melaui diagram keseimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan (Anonim C, 2010) sebagai berikut:

1. Baja *hypoeutectoid* (C = 0,008 % - 0,80 %)
2. Baja *eutectoid* (C = 0,8 %)
3. Baja *hypereutectoid* (C = 0,8 % - 2 %).

Diagram fasa Fe-Fe₃C sangat penting dibidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan-perubahan fasa pada baja seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C (Anonim D, 2012).

Beberapa istilah dalam Gambar 2 yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe₃C sebagai berikut:

1. A₁ adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (perlite) untuk baja *hypoeutektoid*.
2. A₂ adalah titik *Currie* (temperatur 769 °C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3. A₃ adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (ferrit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

4. A_{cm} adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5. A_{123} , adalah temperatur transformasi γ menjadi $\alpha + Fe_3C$ (perlit) untuk baja *hiperitektoid*.

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon adalah :

a. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14 %. Pada temperatur 1184 °C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

b. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon 0,025% C pada temperatur 723 °C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768 °C. Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe_3C .

c. Perlit

Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan.

Jadi perlit merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoid lamellar*.

d. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250-550 °C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi *eutektoid* ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) *non lamellar*. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN.

e. Martensit

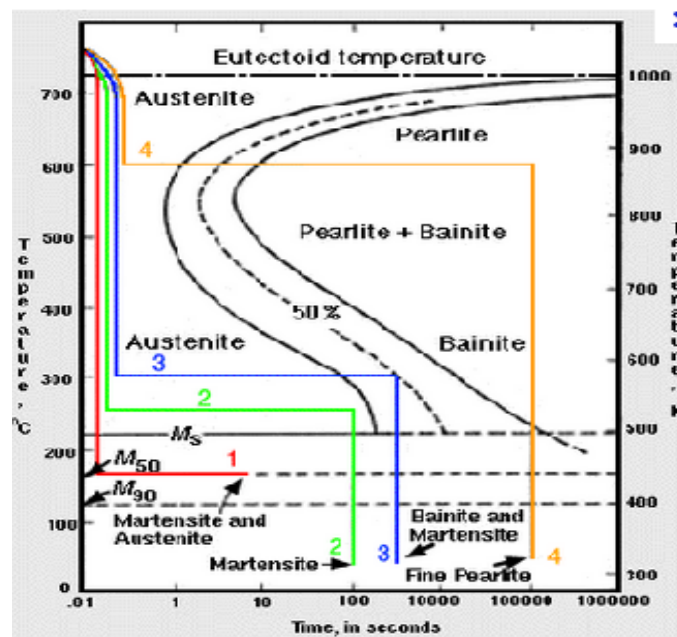
Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya preipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260 °C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit.

f. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi burni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat (Yogantoro, 2010).

2.6 Diagram TTT (*Temperature Time Transformation*)

TTT adalah singkatan dari bahasa Inggris *Temperature Time Transformation*. Diagram TTT digunakan pada saat kondisi pendinginan secara cepat. Ketika pendinginan cepat, terjadi beberapa perubahan pada mikrostruktur. Diagram TTT tampak seperti Gambar 3.



Gambar 3. Diagram TTT (Anonim E, 2012).

Diagram TTT kadang bisa disebut dengan kurva C karena bentuknya. Diagram TTT menggambarkan hubungan waktu (*time*), suhu (*temperature*), dan perubahan struktur mikro (*transformation*). Diagram TTT dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai suhu austenisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinyu pada daerah fasa austenit kemudian menahannya untuk waktu tertentu. Pemanasan pada baja dilakukan di atas garis transformasi kira-kira pada suhu 770 °C, sehingga perlit berubah menjadi austenit yang homogen karena terdapat cukup karbon. Pada suhu yang

lebih tinggi, ferit berubah menjadi austenit karena atom karbon berdifusi dalam ferit tersebut. Untuk pengerasan baja, pendinginan dilakukan dengan cepat melalui pencelupan ke dalam air, oli, udara atau bahan pendingin lainnya sehingga atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit tidak sempat membentuk sementit dan ferit akibatnya austenit menjadi sangat keras yang disebut martensit.

Pada baja setelah terjadi austenit dan ferit, kadar karbonnya akan menjadi makin tinggi sesuai dengan penurunan suhu dan akan membentuk *hipoeutektoid*. Pada saat proses pemanasan maupun pendinginan difusi atom karbon memerlukan waktu yang cukup. Laju difusi pada saat pemanasan ditentukan oleh unsur-unsur paduannya dan pada saat pendinginan cepat austenit yang berbutir kasar akan mempunyai banyak martensit. Besarnya butir yang terjadi akan membentuk sifat baja. Apabila ferit dan sementit di dalam perlit berbutir besar maka baja tersebut makin lunak sebagai akibat pendinginan lambat. Sebaliknya baja menjadi semakin keras apabila memiliki perlit berbutir halus yang diperoleh dengan pendinginan cepat. Diagram TTT dipengaruhi oleh kadar karbon dalam baja, maka makin besar kadar karbonnya maka diagramnya akan semakin bergeser ke kanan, demikian pula dengan unsur paduan lainnya. Apabila baja dipanaskan sampai terbentuknya austenit, pendinginan akan berlangsung terus-menerus walaupun dilakukan dengan berbagai media pendinginan. Untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa yang terjadi dapat diperoleh dari diagram TTT (Anonim F, 2012).

2.7 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut (Amanto, 1999):

1. Unsur Karbon (C)

Karbon merupakan unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja adalah untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus. Karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhan.

2. Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan kurang lebih 0,6 % tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

3. Unsur Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan

terhadap panas dan karat. Unsur silikon menyebabkan sementit tidak stabil, sehingga memisahkan dan membentuk grafit. Unsur silikon juga merupakan pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida, silikon juga cenderung membentuk partikel oksida sehingga memperbanyak pengintian kristal dan mengurangi pertumbuhan akibatnya struktur butir semakin halus.

4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

5. Unsur Kromium (Cr)

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis (kromium sejumlah 1,5% cukup meningkatkan kekerasan dalam minyak). Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi.

2.8 Perlakuan Panas

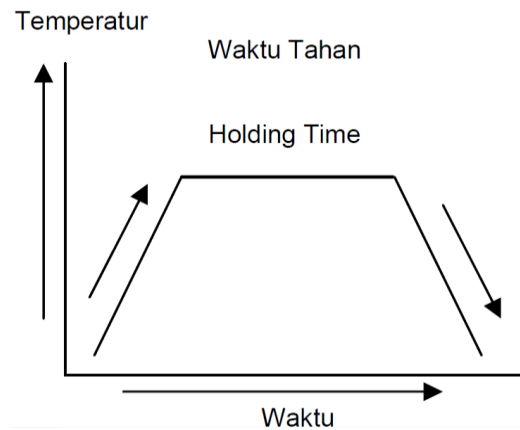
Definisi perlakuan panas adalah kombinasi dari suatu proses pemanasan dan pendinginan yang diatur dalam interval waktu dan dilakukan dalam keadaan padat. Cara ini dilakukan untuk memperbaiki struktur baja sehingga didapat sifat-

sifat baja sebagai berikut, transportasi penguraian fasa dari austenit dan dari transformasi ini mempengaruhi sifat mekanis dari baja yang dikeraskan. Pada diagram fasa terlihat bahwa suhu sekitar 723 °C merupakan suhu transformasi austenit menjadi fasa perlit (merupakan gabungan dari fasa perlit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi *eutoktoid* dan merupakan dasar proses perlakuan panas dari baja. Bila baja dipanaskan sehingga mencapai suhu austenit dan kemudian didinginkan perlahan-lahan selama beberapa jam untuk mencapai suhu kamar, maka struktur fasa yang dihasilkan adalah campuran dari ferit dan sementit atau karbida besi (Fe_3C), sedangkan ferit yang terbentuk diatas suhu 723 °C disebut ferit *proeutektoid* dan ferit yang terbentuk dibawah 723 °C bergabung dalam ferlit. Fraksi volume kedua fasa serta morfologi dan campurannya tergantung pada kadar karbon dan laju (kecepatan) pendinginan. Bila austenit didinginkan dengan cepat, maka transformasi austenit akan berubah menjadi fasa baru yang dikenal sebagai bainit atau martensit (Davies, 1983).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses laku panas (Suherman, 1987):

1. Kadar karbon/unsur paduan
2. Temperatur austenisasi
3. Waktu penahanan (*holding time*)
4. Laju pendinginan
5. Kondisi permukaan
6. Ukuran benda kerja.

Adapun siklus dari perlakuan panas terdiri dari 3 tingkat utama seperti terlihat pada Gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4. Siklus dari perlakuan panas (Suherman, 1987).

Dimana tahapan dari perlakuan itu adalah:

- a. Pemanasan dengan suatu laju pemanasan yang tepat
- b. Penahanan pada satu laju yang tepat dari segi ekonomis biasanya lebih menginginkan laju pemanasan yang cepat tetapi jika terlalu cepat ketidakmerataan pemuaihan dari material selama pemanasan akan mengakibatkan keretakan pada material (Adriansyah, 2007).

2.8.1 Proses *Heat treatment* pada Baja

Secara umum langkah pertama proses *heat treatment* adalah memanaskan logam atau paduan sampai temperatur tertentu, lalu menahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu. Selama pemanasan dan pendinginan ini akan terjadi beberapa perubahan struktur mikro, dapat berupa fasa atau bentuk atau ukuran butir kristal, dan perubahan struktur mikro ini akan menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam atau paduan tersebut (Krauss, 1995).

2.8.2 Temperatur Austenisasi

Untuk mendapatkan martensit yang keras maka pada saat pemanasan harus terjadi struktur austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat struktur lain setelah di-*quench* atau didinginkan akan diperoleh struktur yang tidak seluruhnya martensit, dan bila struktur itu ferit maka kekerasan yang dihasilkan tidak maksimal. Untuk baja karbon temperatur austenit biasanya 30° -50 °C di atas temperatur kritis A_3 untuk baja *Hypoeutectoid* dan 30°-50 °C di atas temperatur kritis A_1 untuk baja *Hypereutectoid*. Pedoman penentuan suhu austenit selain sama dengan di atas juga dipengaruhi unsur paduan terhadap temperatur austenit (A_1 dan A_3).

2.8.3 Waktu Penahan (*Holding Time*)

Pada saat tercapainya temperatur kritis atas, struktur sudah hampir seluruhnya austenit. Tetapi pada saat itu austenit masih berbutir halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan biasanya masih ada karbida yang belum larut. Untuk itu baja perlu ditahan pada temperatur austenit beberapa saat untuk memberi kesempatan larutnya karbida dan lebih homogenya austenit. Dan lamanya waktu penahan ini tergantung pada :

- a. Tingkat kelarutan karbida
- b. Ukuran butir yang diinginkan
- c. Laju pemanasan
- d. Ketebalan spesimen (ukuran penampang)

Beberapa pedoman pemakaian waktu tahan pada proses *heat treatment* pada baja :

- a. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, waktu tahan 5 - 15 menit.
- b. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, waktu tahan 15- 20 menit.
- c. *Low Carbon Steel*, waktu tahan 10 - 30 menit.
- d. *High Alloy Chrome Steel*, waktu tahan 10 – 60 menit.
- e. *Hot Work Tool Steel*, waktu tahan 15 – 30 menit.
- f. *High Speed Steel*, waktu tahan beberapa menit saja, karena temperatur pemanasannya sangat tinggi, 1200 °C - 1300 °C (Piyarto, 2008).

2.8.4 Metode Pemanasan dan Pendinginan

Dalam melakukan *heat treatment* biasa menggunakan metode pemanasan sebagai berikut :

- a. Dapur pemanas sudah mencapai titik austenitisasi baru kemudian benda kerja dimasukkan terus ditahan.
- b. Benda kerja dimasukkan ke dapur pemanas baru menaikkan suhu sampai titik austenitasi terus ditahan.

Untuk proses pendinginan dapat menggunakan metode sebagai berikut :

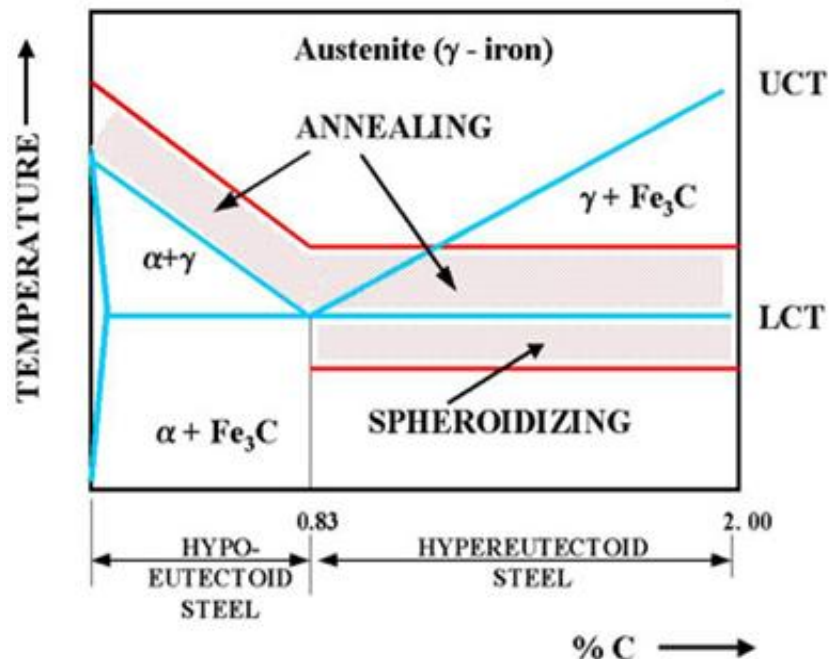
- a. Celup cepat (*quenching*), pendinginan cepat dari suhu austenit kedalam media pendingin (air, oli atau minyak).
- b. Pendinginan dalam tungku (*furnace*), dari suhu austenit sampai suhu kamar, yang disebut proses *annealing*.
- c. Pendinginan dalam suhu terbuka dari suhu austenit sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses *normalizing*.

- d. Pendinginan tunda dari suhu austenit mula-mula didinginkan cepat sampai mencapai suhu tertentu, ditahan kemudian didinginkan lagi di udara terbuka sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses *austempering*.

2.8.5 Pendinginan Secara Lambat (*Annealing*)

Annealing adalah suatu proses laku panas (*heat treatment*) yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperatur tertentu, menahan pada temperatur tertentu selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*), dan lain-lain (Anonim G, 2009).

Tujuan *annealing* adalah untuk meningkatkan keuletan, meningkatkan ketangguhan, meningkatkan mampu mesin, menghaluskan ukuran butir, dan mengurangi kandungan gas dalam logam. Proses *annealing* ini juga menghasilkan fasa perlit dan ferit (Vlack, 1982). Proses *annealing* terdiri dari temperatur pemanasan, penahan temperatur dan laju pendinginan seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Annealing* (Anonim H, 2012).

Jenis *annealing* beraneka ragam tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, suhu, pemanasan, lama waktu penahanan, laju pendinginan dan lain-lain. Berdasarkan tujuannya, *annealing* dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

a. *Full 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 temperatur kritis (untuk baja *hypoeutectoid* , 25 °C - 50 °C diatas garis A_3 sedang untuk baja *hypereutectoid* 25 °C – 50 °C diatas garis A_1). 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 temperatur kritis garis A_1 maka belum terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan baru mulai terjadi bila temperatur pemanasan mencapai garis atau temperatur A_1 (butir-butir kristal perlit bertransformasi menjadi austenit yang halus). Pada baja *hypoeutectoid* bila pemanasan dilanjutkan ke temperatur yang lebih tinggi maka butir kristalnya mulai bertransformasi menjadi sejumlah kristal austenit yang halus, sedang butir kristal austenit yang sudah ada (yang berasal dari perlit) hampir tidak tumbuh. Perubahan ini selesai setelah menyentuh garis A_3 (temperatur kritis A_3). Pada temperatur ini butir kristal austenit masih halus sekali dan tidak homogen. Dengan menaikkan temperatur sedikit diatas temperature kritis A_3 (garis A_3) dan memberi waktu penahanan (*holding time*) seperlunya maka akan diperoleh austenit 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 austenitenya akan terlalu kasar dan bila didinginkan dengan lambat akan menghasilkan ferit atau perlit yang kasar sehingga sifat mekaniknya juga kurang baik (akan lebih getas).

b. *Normalizing*

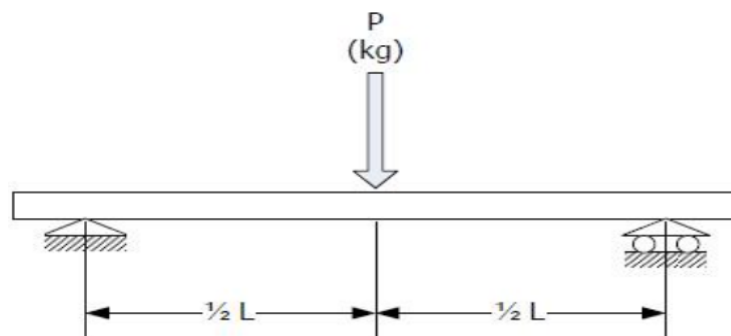
Normalizing merupakan proses pemanasan pada suhu austenit dan didinginkan di udara terbuka.

c. *Spheroidizing*

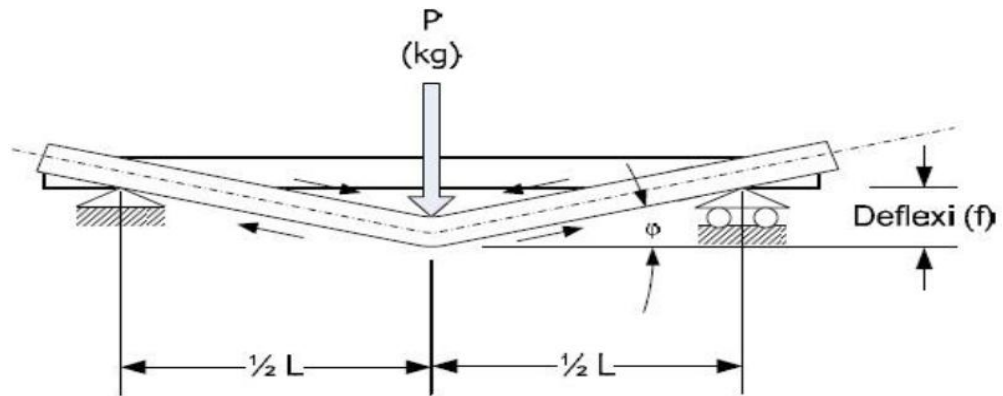
Merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan proses karbida berbentuk bulat pada matriks ferit. Tujuannya adalah untuk meningkatkan ketangguhan baja yang rapuh (Suherman, 1987).

2.9 Pengujian Lengkung (*Bending Test*)

Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap *speciment* dari bahan baik bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (*bending*) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Dengan pembebanan ini bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan. Gambar 6 memperlihatkan perilaku bahan uji selama pembebanan lengkung.



Gambar 6. Pembebanan lengkung dalam pengujian lengkung (*bending test*).



Gambar 7. Pengaruh Pembebanan Lengkung terhadap Bahan Uji.

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($1/2L$) serta arah yang berlawanan bekerja secara beramaan (Gambar 8), maka momen lengkung (M_b) itu akan bekerja dan ditahan oleh sumbu batang tersebut atau sebagai momen tahanan lengkung (W_b). Dalam proses pengujian lengkung yang dilakukan terhadap material sebagai bahan teknik memiliki tujuan pengujian yang berbeda tergantung kebutuhannya. Berdasarkan kepada kebutuhan tersebut maka pengujian lengkung dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Pengujian lengkung beban dan
- b. Pengujian lengkung perubahan bentuk (Anonim I, 2012).

2.10 Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat

diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik).

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati struktur bahan seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik (Anonim J, 2012).

Bagian-bagian mikroskop optik diperlihatkan seperti Gambar 8 sebagai berikut:

1. Tubus/tabung mikroskop berupa tabung kosong yang dapat dinaik-turunkan untuk mengatur fokus.
2. Lensa objektif terletak di bagian bawah tabung mikroskop. Berfungsi untuk menghasilkan bayangan benda yang sedang diamati. Lensa ini tersedia dalam berbagai ukuran pembesaran, biasanya 5x, 10x dan 12,5x.

3. Lensa okuler terletak di bagian atas tabung mikroskop. Fungsinya untuk memperbesar bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif. Lensa ini tersedia dalam berbagai ukuran pembesaran, biasanya 4x, 10x, 40x, dan 100x.
4. Revolver adalah alat yang dapat berputar untuk memilih ukuran lensa objektif yang akan digunakan.
5. Makrometer (tombol pengatur kasar) adalah tombol pengatur fokus bayangan dengan menaik-turunkan tabung mikroskop dengan cepat.
6. Mikrometer (tombol pengatur halus) adalah tombol pengatur fokus bayangan dengan menaik-turunkan tabung mikroskop dengan jarak pergeseran yang lebih rapat dibandingkan makrometer.
7. Pegangan mikroskop merupakan bagian lengan yang dipegang ketika mikroskop akan dipindahkan.
8. Meja preparat, tempat meletakkan preparat yang akan diamati.
9. Penjepit objek, yaitu penjepit preparat agar kedudukannya tidak bergeser ketika sedang diamati.
10. Diafragma, berupa lubang yang berfungsi untuk mengatur banyak sedikitnya cahaya yang dibutuhkan dalam pengamatan.
11. Kondensor (pemusat cahaya), terdiri dari seperangkat lensa yang berfungsi untuk mengatur intensitas cahaya.
12. Cermin, berfungsi untuk mengarahkan cahaya agar dapat masuk diafragma dan kondensor. Biasanya tersedia dua cermin (permukaan datar dan cekung). Kedua cermin dapat dipakai bergantian sesuai dengan kondisi cahaya ruangan. Pada ruangan yang terang cukup menggunakan cermin yang datar, namun bila cahaya ruangan redup dapat digunakan cermin cekung. Ada juga jenis

mikroskop yang menggunakan sumber cahaya dari lampu listrik, sehingga pengamatan tidak tergantung pada kondisi pencahayaan ruangan.

13. Kaki mikroskop merupakan bagian paling bawah yang berfungsi untuk mengokohkan kedudukan mikroskop.

Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah diakibatkan adanya proses pengetsaan. Prinsip dari pengetsaan merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom-atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih dalam. Akibat adanya perbedaan itu dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat dengan bentuk dan ukuran butirnya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji.