

II. TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Baja

Baja merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Eksploitasi besi baja menduduki peringkat pertama diantara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 95% dari produk barang berbahan logam yang dimanfaatkan dalam kehidupan manusia. 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%-0,7% berat sesuai *gradenya*. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), *silicon* (Si), *chromium* (Cr), vanadium (V) dan unsur lainnya (Bolton, 1998). Baja banyak digunakan karena baja mempunyai sifat mekanis lebih baik daripada besi, sifat baja antara lain:

- Tangguh dan ulet.
- Mudah ditempa.
- Mudah diproses.
- Sifatnya dapat diubah dengan mengubah karbon.
- Sifatnya dapat diubah dengan perlakuan panas.
- Kadar karbon lebih rendah disbanding besi.
- Banyak dipakai untuk berbagai bahan penelitian.

1.1.1. Klasifikasi Baja

Menurut *ASM handbook* vol.1:329 (1993), baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti kadar karbon dari paduan yang digunakan. Berikut ini klasifikasi baja berdasarkan komposisi kimianya:

1. 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:

a. 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 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.

b. Baja karbon sedang (*Medium carbon steel*)

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon dengan persentase sebesar 0,3%-0,6% C. Baja karbon sedang 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 (*diquenching*) dengan baik. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api,

roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

c. Baja karbon tinggi (*High carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung karbon sebesar 0,6%-1,7% C dan memiliki tahan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, tetapi keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja tersebut adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong. Selain itu, baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lainnya.

2. Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, mangan, *molybdenum*, *chromium*, vanadium 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:

- *Low alloy steel*

Low alloy steel merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10%), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kadar karbon yang sama atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

- *High alloy steel*

High alloy steel merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan tinggi lebih dari 10% wt, mempunyai sifat khusus tertentu. Misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P (Mulyanti, 1996).

1.2. Baja Pegas Daun

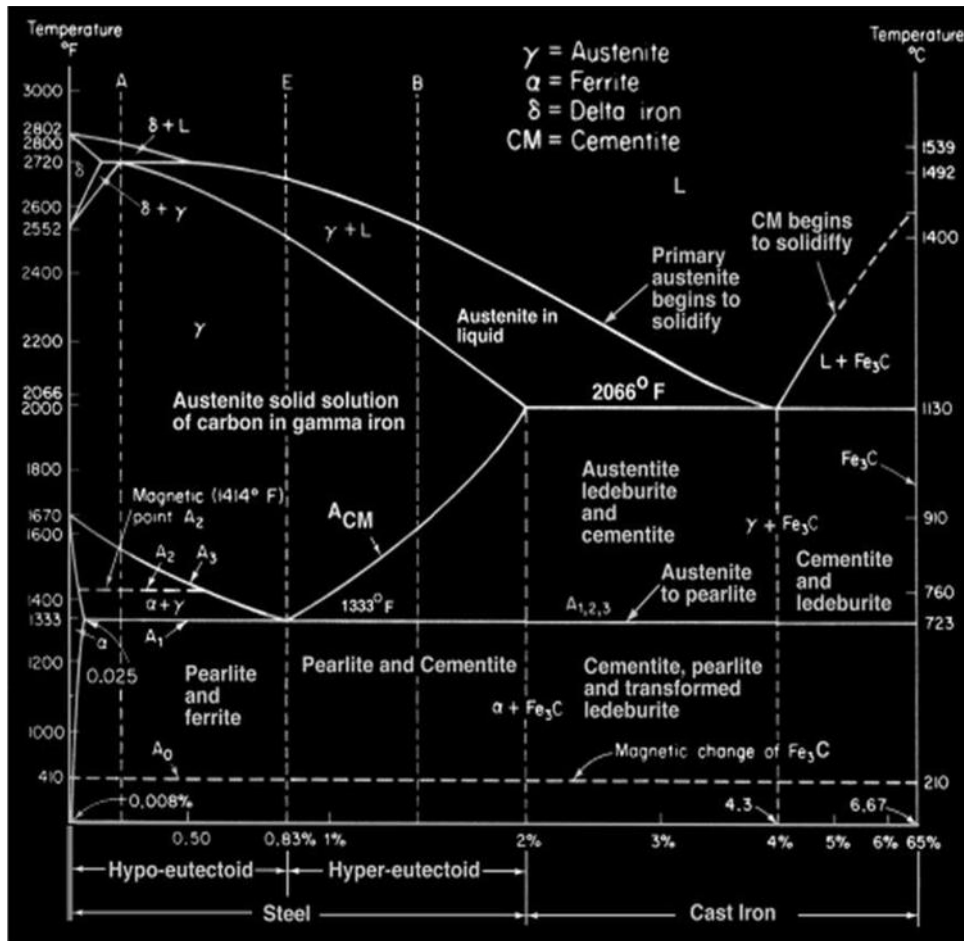
Pegas daun merupakan salah satu komponen utama yang digunakan untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar saat kendaraan bergerak. Pegas daun banyak digunakan sebagai suspensi kendaraan darat, khususnya untuk kendaraan roda empat atau lebih. Bahan pegas daun termasuk ke dalam golongan baja pegas, yang sebenarnya tidak mempunyai kekerasan yang tinggi. Baja tersebut dapat dikeraskan dan ditingkatkan keuletannya dengan beberapa cara, antara lain melalui proses perlakuan panas (Anonim A, 2012).

1.3. Diagram Fasa Fe-C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon

merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikro.

Pada diagram fasa Fe-C di bawah ini muncul larutan padat (δ , γ , α) atau disebut besi delta (δ), austenit (γ) dan ferit (α). Ferit mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta (δ) mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras. Gambar 1 di bawah ini merupakan gambar diagram fasa Fe_3C .



Gambar 1. Diagram Fasa Fe₃C (ASM handbook vol.4:4, 1991).

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar 727 °C terjadi temperatur transformasi austenit menjadi fasa perlit (gabungan fasa ferit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutektoid dan merupakan dasar proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur antara 912 °C dan 1394 °C merupakan daerah besi gamma () atau disebut austenit. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Besi gamma tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,11% maksimum pada temperatur sekitar 1148 °C. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,77% maksimum pada temperatur 727 °C. Larutan dari intensitas karbon di dalam besi ini disebut juga besi

alpha (α) atau fasa ferit. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram fasa Fe-C yaitu perubahan fasa ferit atau besi alpha (α), austenit atau besi gamma (γ), sementit atau karbida besi, perlit dan martensit. Berikut ini uraiannya:

- Ferit atau besi alpha (α)

Ferit merupakan modifikasi struktur besi murni pada temperatur ruang, dimana ferit menjadi lunak dan ulet. Karena ferit memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali.

- Austenit atau besi gamma (γ)

Austenit adalah modifikasi struktur besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan ferit. Meskipun demikian, rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya menjadi terbatas sekali.

- Karbida besi atau sementit

Karbida besi adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi tersebut karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja. Sifat dasar sementit adalah sangat keras.

- Perlit

Perlit merupakan campuran antara ferit dengan karbida (sementit). Laju pendinginan yang lambat dapat menghasilkan perlit kasar dengan sifat kekerasan dan ketangguhannya yang rendah. Sedangkan apabila laju pendinginan cepat dapat

menghasilkan perlit halus yang bersifat keras dan lebih tangguh. Perlit memiliki bentuk seperti plat-plat yang disusun bergantian antara sementit dan ferit. Pada laju hypoeutectoid, strukturmikro terdiri dari daerah-daerah perlit yang dikelilingi oleh ferit.

1.4. Pengaruh Unsur Paduan

Baja karbon dapat mencapai kekuatan yang tinggi dengan menaikkan kadar karbonnya, tetapi ini sangat menurunkan keuletan dan ketangguhannya. Kekuatannya akan banyak berkurang jika bekerja pada temperatur yang cukup tinggi. Pada temperatur rendah ketangguhannya menurun cukup drastis. Unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja dengan tujuan untuk mencapai salah satu dari tujuan berikut:

1. Menaikkan *hardenability*.
2. Memperbaiki kekuatan pada temperatur biasa.
3. Memperbaiki sifat mekanik pada temperatur rendah atau tinggi.
4. Memperbaiki ketangguhan pada tingkat kekuatan atau kekerasan tertentu.

Sebagian dari unsur paduan di dalam baja cenderung membentuk karbida, ada yang kecenderungan tinggi ada pula yang rendah, bahkan ada yang tidak pernah dijumpai membentuk karbida. Unsur paduan yang mempunyai kecenderungan kuat untuk larut dalam ferit biasanya tidak membentuk karbida. Sebaliknya yang mempunyai kecenderungan kuat untuk membentuk karbida kelarutannya di dalam ferit lebih terbatas.

Kelompok unsur paduan dalam baja menurut kecenderungannya larut dalam ferit atau membentuk karbida adalah sebagai berikut:

1. Unsur Karbon (C)

Karbon merupakan unsur yang paling banyak selain besi (Fe) yang terdapat pada sebuah baja, unsur ini berfungsi meningkatkan sifat mekanis baja seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi meskipun demikian karbon juga dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, dan mampu tempa, serta berpengaruh juga terhadap pengolahan baja selanjutnya seperti pada proses perlakuan panas, proses pengubahan bentuk dan lainnya.

2. Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan lebih kurang 0,6% masih belum juga mempengaruhi sifat baja. 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 *Silicon* (Si)

Silicon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur *silicon* merupakan pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida. *Silicon* cenderung membentuk partikel oksida sehingga memperbanyak pengintian kristal dan mengurangi pertumbuhan akibatnya struktur butir semakin halus.

4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel memberikan struktur butiran yang halus dan menghasilkan keuletan yang tinggi, menurunkan temperatur kritis dan kecepatan pendinginan.

5. Unsur *Chrom* (Cr)

Chrom merupakan unsur paduan setelah karbon. *Chrom* dapat membentuk karbida (tergantung pada jenis perlakuan yang diterapkan dan kadarnya). *Chrom* juga meningkatkan temperatur austenisasi. *Chrom* terutama digunakan untuk meningkatkan mampu keras baja, kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan abrasi. Penambahan *chrom* pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus.

Kelompok unsur paduan sesuai dengan fungsinya adalah sebagai berikut:

1. *Austenite stabilizer*

Austenite stabilizer merupakan unsur paduan yang membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperatur yang lebih rendah. Unsur yang terpenting dalam kelompok ini adalah Ni dan Mn.

2. *Carbide forming elements*

Carbide forming elements merupakan unsur paduan yang di dalam baja dapat membentuk karbida. Unsur yang terpenting di dalam kelompok ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, dan Zr.

3. *Carbide stabilizer*

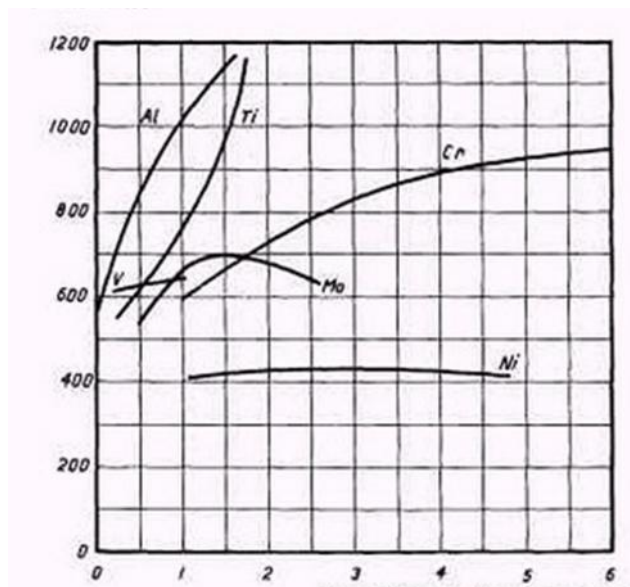
Carbide stabilizer merupakan unsur paduan yang membuat karbida menjadi lebih stabil, tidak mudah terurai dan larut ke dalam suatu fasa. Unsur dalam kelompok ini adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb dan Ta.

4. *Nitride forming elements*

Nitride forming elements merupakan unsur yang dapat membentuk nitrida. Al dan Ti memiliki pengaruh paling kuat untuk menaikkan kekerasan setelah nitriding (Widyatmadji, 2001).

1.5. Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Diagram Fasa

Unsur paduan ini akan mempengaruhi diagram fasa, dan secara umum titik eutektoid akan digeser ke sebelah kiri. Dengan bergesernya titik eutektoid ini kadar karbon di dalam perlit akan berkurang dari 0,8%. Austenit *stabilizer* cenderung menurunkan temperatur eutektoid, sedangkan unsur yang berfungsi sebagai ferit stabilizer akan menaikkan temperatur eutektoid kecuali Ni dan Mn. Dengan kadar *chrom* yang semakin tinggi daerah austenit digambarkan semakin sempit. Unsur paduan penstabil austenit akan memperluas daerah austenit digambarkan dengan semakin luasnya daerah austenit dari baja dengan kadar mangan yang semakin besar. Hal ini tentunya harus diperhitungkan dalam melakukan perlakuan panas terhadap baja paduan (Halling, 1989). Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur eutektoid dan kadar karbon dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

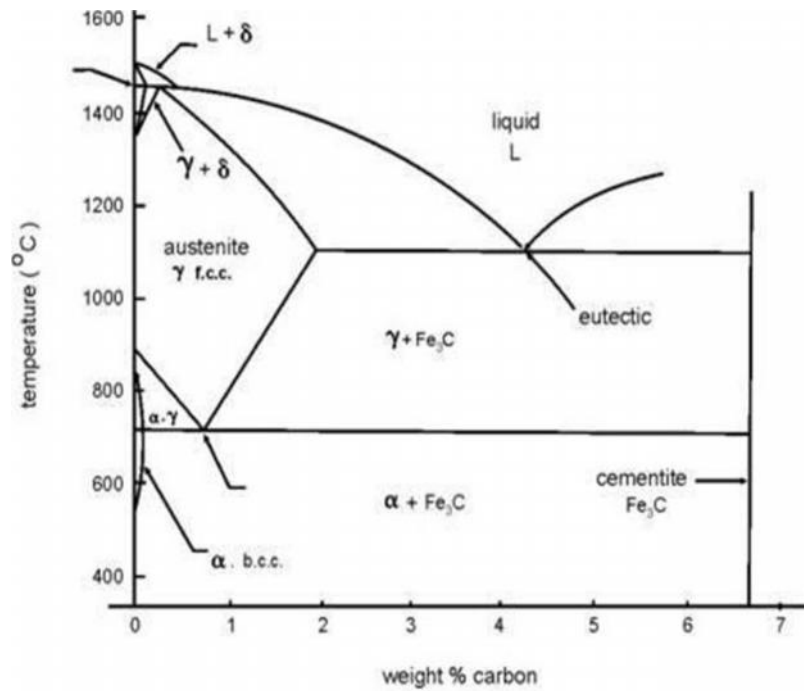


Gambar 2. Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur dan kadar karbon dalam eutektoid (Halling, 1989).

1.6. Perlakuan Panas

1.6.1. Temperatur Austenisasi

Temperatur austenisasi yang dianjurkan untuk melakukan hardening adalah 25-50 °C di atas temperatur kritis atas A_3 untuk baja hypoeutektoid dan 25-50 °C di atas temperatur kritis bawah A_1 untuk baja hypereutektoid. Temperatur pemanasan yang hanya di bawah temperatur eutektoid tidak akan menghasilkan kenaikan kekerasan yang berarti karena pada pemanasan tersebut tidak akan terjadi austenit, sehingga pada pendinginan tidak akan didapat martensit. Pemanasan yang hanya sampai antara temperatur A_1 dan A_3 memang sudah menghasilkan austenit, tetapi masih terdapat ferit yang apabila didinginkan kembali ferrit tersebut masih tetap berupa ferit yang lunak. Kekerasan yang optimum hanya dapat dicapai dengan pemanasan seperti yang dianjurkan. Apabila pemanasan diteruskan ke temperatur yang lebih tinggi, maka akan diperoleh austenit dengan butiran yang terlalu kasar, sehingga jika didinginkan kembali akan ada kemungkinan terjadi struktur yang terlalu getas dan juga tegangan yang terlalu besar yang dapat menimbulkan distorsi bahkan juga retak (Sidney, 1992). Temperatur austenisasi dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Temperatur austenisasi untuk pengerasan (Sidney, 1992).

1.6.2. Homogenitas Austenit

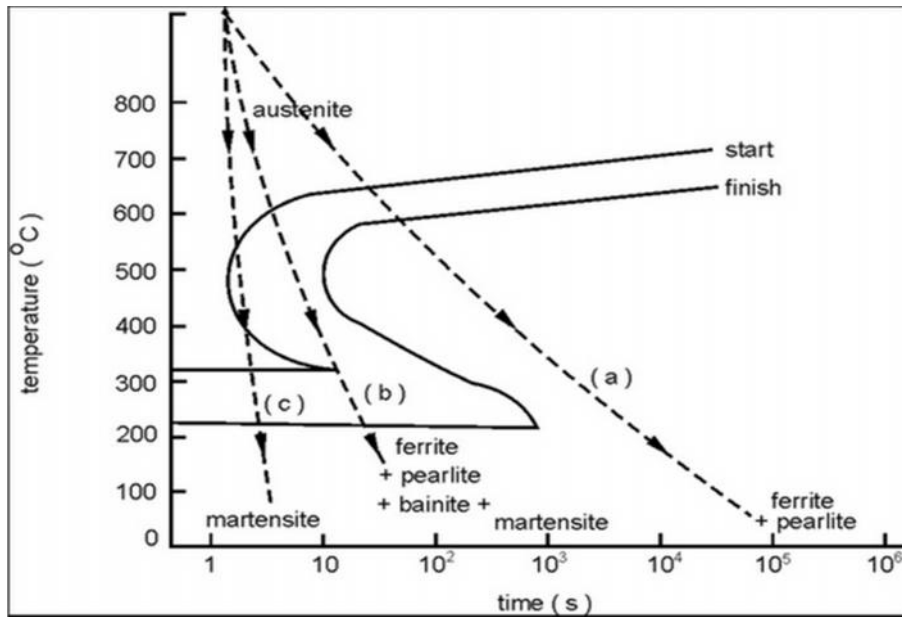
Pemanasan yang dilakukan secara equilibrium akan diperoleh struktur yang memiliki komposisi yang homogen, karena pada pemanasan yang sangat lambat tersebut atom-atom akan dapat berdifusi secara sempurna untuk mencapai keadaan homogen. Pada pemanasan yang lebih cepat, difusi yang terjadi belum sempurna, sehingga keadaan yang homogen masih belum tercapai. Apabila austenit yang belum homogen tersebut didinginkan cepat (di *quenching*) akan diperoleh martensit dengan kekerasan yang berbeda, karena masing-masing berasal dari austenit dengan kadar karbon yang berbeda.

Untuk membuat austenit menjadi lebih homogen, maka perlu diberi kesempatan kepada atom-atom untuk berdifusi secara sempurna, artinya pada saat pemanasan perlu diberi waktu tahan (*holding time*) yang cukup untuk dapat mencapai austenit yang homogen.

Lamanya waktu tahan (*holding time*) tersebut tergantung pada laju pemanasan, semakin tinggi laju pemanasan maka semakin panjang waktu tahan (*holding time*) yang harus diberikan. Pemanasan dengan menggunakan dapur listrik biasa tidak memerlukan waktu tahan (*holding time*) yang lama, karena difusi sudah berlangsung cukup banyak selama pemanasan mendekati temperatur austenisasi (Dieter, 1986).

1.7. Pendinginan

Apabila baja eutektoid didinginkan dengan kecepatan pendinginan yang tinggi dari daerah austenit dan tidak menyentuh hidung kurva transformasi isothermal maka akan diperoleh suatu fasa baru yang disebut martensit. Martensit merupakan struktur dalam keadaan lewat jenuh dari kelarutan atom-atom karbon di dalam ferit. Seharusnya di besi ferit yang setimbang kelarutan dari atom-atom karbon tidak lebih dari 0,025%. Sedangkan di dalam struktur martensit kelarutan atom-atom karbon tersebut kurang lebih sama dengan jumlah kelarutan atom-atom karbon di dalam austenit. Keadaan seperti ini terjadi karena proses transformasi yang terjadi sangat cepat sehingga atom-atom karbon di dalam austenit tidak sampai berdifusi (Callister, 2007). Gambar 4 di bawah ini menunjukkan pendinginan yang dilakukan dari daerah austenit tanpa menyentuh hidung karena kurva untuk memperoleh struktur martensit.



Gambar 4. Skema pendinginan *quenching* (Callister, 2007).

1.7.1. Transformasi Martensit

Transformasi martensit berlangsung dengan kecepatan yang tinggi sehingga tidak terjadi perubahan komposisi dan difusi ketika austenit mencapai temperatur cukup rendah karena kecepatan pendinginan yang sangat tinggi, atom-atom karbon yang larut di dalam austenit tidak mempunyai waktu untuk berdifusi menjadi sementit dan ferit, atom-atom ini akan terperangkap pada temperatur yang rendah yang menghasilkan larutan yang lewat jenuh. Karakteristik transformasi martensit yang penting adalah sebagai berikut:

- Transformasi martensit terjadi tanpa proses difusi, karena transformasi austenit berlangsung dengan kecepatan tinggi.
- Transformasi martensit terjadi tanpa adanya perubahan komposisi kimia dari fasa awalnya. Posisi dari atom-atom karbon terhadap atom-atom besi di dalam struktur martensit adalah sama keadaannya seperti di dalam austenit.

- Jenis martensit yang dihasilkan sangat tergantung kepada jumlah kandungan karbon di dalam baja. Apabila kandungan karbonnya rendah maka jenis martensit yang terbentuk adalah *lath* martensit. Apabila kadar karbonnya sedang akan terbentuk martensit campuran, pada baja dengan kadar karbon yang tinggi akan terbentuk *plate* martensit.
- Di dalam transformasi martensit tidak terjadi proses difusi dan penambahan komposisi kimia (Anderson, 2003).

1.7.2. Sifat-sifat Mekanis Struktur Martensit

Struktur martensit di dalam baja merupakan struktur yang mempunyai kekerasan yang paling tinggi dan merupakan dasar untuk memperoleh kekuatan yang didinginkan melalui proses perlakuan panas yang sesuai.

Kekerasan martensit yang tinggi diperoleh karena transformasi geser yang terjadi, sehingga atom-atom karbon yang larut di dalam austenit tidak sempat berdifusi. Atom-atom yang tidak sempat berdifusi karena kecepatan pendinginannya yang tinggi akan terperangkap pada kedudukan austenit di dalam struktur martensit yang menyebabkan terjadinya tegangan di dalam struktur. Tegangan dan distorsi akan menyebabkan pergerakan dislokasi menjadi sulit dan martensit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi

(Smith, 1996).

Kekerasan dari martensit juga dipengaruhi oleh besarnya kandungan karbon di dalam baja. Kekerasan martensit sangat sensitif terhadap kandungan karbon di bawah 0,2%. Kenaikan kekerasan martensit sampai dengan kandungan karbon 0,4% masih cukup

tinggi, tetapi di atas 0,4% karbon kenaikan kekerasannya menurun. Hal ini terjadi karena dengan kadar karbon yang semakin tinggi akan menyebabkan *retained austenit* semakin banyak, sehingga dapat mengurangi kenaikan kekerasan. Kekerasan yang terjadi banyak tergantung pada beberapa hal yaitu tingginya temperatur austenit, homogenitas dari austenit, laju pendinginan, kondisi permukaan benda kerja, ukuran benda kerja dan *hardenability* dari baja (Smallman, 2000).

1.7.3. Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Temperatur Pembentukan Martensit.

Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur awal pembentukan martensit (M_s) tidak dapat diubah dengan mengubah kecepatan pendinginan. Temperatur pembentukan martensit tergantung dari unsur paduan yang terdapat di dalam baja. Pada umumnya semua unsur paduan kecuali *cobalt* (Co) akan menurunkan temperatur M_s . Sebagian besar baja dengan kandungan karbon lebih dari 0,5% mencapai temperatur M_f di bawah temperatur ruang. Hal ini menyatakan bahwa setelah proses pengerasan selesai dilakukan, pada baja tersebut selalu mengandung sejumlah austenit sisa. Hal ini berarti jika kita bekerja pada temperatur ruang pada baja-baja dengan kandungan karbon sekitar 0,5% karbon, transformasi austenit ke martensit belum selesai dengan sempurna (Suratman, 1994).

1.8. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Pada saat penahanan 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 terdapat karbida yang belum larut.

Untuk itu baja perlu ditahan pada temperatur austenit beberapa saat untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen austenit dan lamanya waktu penahan tersebut tergantung pada:

- a. Tingkat kelarutan karbida.
- b. Ukuran butir yang diinginkan.
- c. Laju pemanasan.
- d. Ketebalan sampel.

1.9. Pengujian Ketangguhan (*Impact*)

Pengujian ketangguhan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Benda uji disiapkan secara khusus, ukuran dan bentuknya ditentukan sesuai standar. Pengujian ketangguhan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Metode yang sering digunakan adalah metode *charphy*. Pengujian ketangguhan berdasarkan pada prinsip hukum kekekalan energi yang menyatakan jumlah energi mekanik konstan. Besar energi yang diserap tergantung pada keuletan bahan uji. Bahan yang ulet menunjukkan nilai ketangguhan (*impact*) yang besar. Suatu bahan yang diperkirakan ulet ternyata dapat mengalami patah getas. Patah getas ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: adanya takikan (*nocth*), kecepatan pembebanan yang tinggi yang menyebabkan kecepatan regangan yang tinggi pula dengan temperatur yang sangat rendah (Surdia, 2005).

Suatu bahan yang akan beroperasi pada temperatur yang sangat rendah, misalnya pada suatu instalasi *cryogenic* perlu diuji ketangguhan (*impact*). Khususnya untuk mengetahui temperatur transisi antara ulet dan getas, sifat peretakan dapat terjadi dalam tiga bentuk:

- Keretakan getas atau keretakan bersuara biasanya mempunyai permukaan yang kilap. Jika potongan-potongan disambungkan lagi ternyata keretakan atau kepatahan tidak diikuti dengan deformasi bahan, tipe ini memiliki pukulan takik yang rendah.
- Patahan liat, patahan ini mempunyai permukaan yang tidak rata dan tampak seperti buram dan berserat. Tipe ini mempunyai pukulan yang tinggi.
- Patahan campuran merupakan patahan yang sebagian getas dan sebagian liat. Patahan ini paling banyak terjadi.

1.10. Mikroskop Optik

Mikroskop Optik merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengamati struktur mikro dari bahan. Pada prinsipnya mikroskop optik terdiri dari tiga bagian, yaitu:

- Cermin, untuk memantulkan permukaan logam.
- Lensa objektif, mempunyai daya pisah.
- Lensa mata, lensa okuler untuk memperbesar bayangan yang terbentuk oleh lensa objektif.

Berkas horizontal cahaya dari sumber cahaya dipantulkan dengan memakai reflektor kemudian melalui lensa objektif sinar diteruskan ke atas permukaan sampel. Beberapa cahaya dipantulkan dari permukaan sampel akan diperbesar melalui lensa objektif dan okuler yang biasanya digambarkan pada puncak lensa yang terhubung dengan komputer ketika mengambil foto struktur mikro didapat hasil yang presisi. Gambar 5 di bawah ini menunjukkan gambar dari mikroskop optik.



Gambar 5. Mikroskop Optik.

1.11. Tempering

Baja yang telah dipanaskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Dengan proses *temper*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses *temper* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan pada temperatur di bawah temperatur kritis disusul dengan pendinginan. *Temper* dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil. Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan proses temper tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Penemperan harus dilakukan setelah pendinginan karena tegangan kekerasan pada umumnya baru timbul beberapa saat setelah pendinginan. Jika penemperan tidak dapat langsung mengikuti pendinginan maka bahaya pembentukan retak dapat dikurangi dengan jalan memasukkan benda kerja ke dalam air yang mendidih untuk beberapa jam lamanya (Haryadi, 2006).

Baja yang dikeraskan (*quench*) bersifat rapuh dan tidak cocok digunakan akibat pengejukan akan menjadi sangat keras dan getas. Melalui proses *temper* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai syarat penggunaan karena beban yang kecil saja dapat menyebabkan pecah

(Yudiono, 2006).