

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Muhammad Kozin (2002) tentang pengaruh variasi temperatur austenitisasi dan *holding time* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja fase ganda (*dual phase steel*), diperoleh bahwa pada baja karbon rendah st 37 dengan temperatur 770°C dan *holding time* 40 menit tercapai kombinasi sifat mekanik yang paling optimal antara kekuatan dan keuletan. Karena pada kondisi ini keuletan dari baja fase ganda ini maksimal dan kekerasan serta kekuatan tarik yang cukup tinggi.

Noor Sancoyo (2004) meneliti tentang pengaruh temperatur pemanasan dan pendinginan terhadap pembentukan fase ganda (*dual phase: martensite – ferrite*) pada baja karbon rendah AISI 1008, menunjukkan mikrostruktur yang diperoleh memiliki : besar butir antara 19,02 – 70,62 μm ; ASTM Number antara 4,36 – 8,14 ; homogenitas butiran antara 91,76 – 98,4% dan fraksi volume martensite maksimal 54,9%. Sedangkan sifat mekanik yang diperoleh meliputi: kekerasan antara 193,6 – 243,4 BHN ; kekuatan tarik antara 47,76 – 76,65 Kgmm^{-2} dan regangan antara 16 – 36%.

2.2 Baja Karbon

Baja (*steel*) adalah salah satu material teknik yang banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi teknik. Hal ini disebabkan karena baja mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan material teknik yang lainnya. Kelebihan tersebut misalnya sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, sehingga dapat kita bentuk sesuai dengan yang kita inginkan. Baja merupakan paduan antara ferrous (Fe) dengan karbon (C), dengan kandungan karbon maksimal 2%. Secara umum, biasanya diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya. Berdasarkan komposisi kimianya tersebut baja dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon (*carbon steel*) adalah baja yang mempunyai unsur-unsur pengikat berupa Mn 0,03 - 1%, Si < 0,3%, S < 0,05 dan P < 0,05%. (Amstead, 1995 : 50).

Berdasarkan penggunaannya, baja dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu baja konstruksi (*structural steel*) dan baja perkakas (*tool steel*). Baja konstruksi adalah baja yang digunakan untuk keperluan konstruksi dan biasanya mempunyai sifat *machinability*, *weldability*, *hardenability* dan *formability* yang baik. Sedangkan baja perkakas adalah baja yang digunakan untuk keperluan perkakas (*tool*) misalnya untuk pahat bubut bor dan sebagainya. Baja perkakas ini mempunyai sifat kekerasan yang tinggi serta ketahanan abrasi yang baik.

2.2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon dikelompokkan menjadi beberapa kelompok ditujukan untuk mempermudah pemilihan jenis baja yang ada. Pengelompokkan baja dapat digolongkan :

- Berdasarkan kadar karbon dibedakan menjadi : Baja Karbon Rendah (0,1 - 0,25%C), Baja Karbon Sedang (0,25 - 0,55%C), Baja Karbon Tinggi (0,55 - 2%C). (Avner, 1974 : 233).
- Berdasarkan diagram Fe-Fe₃C, baja karbon dibedakan menjadi baja *Hypoeutectoid* (<0,8% C), baja *Eutectoid* (0,8% C), dan baja *Hypereutectoid* (0,8%-2% C). (Avner, 1974 : 233)
- Berdasarkan kekuatan tarik yang dimiliki oleh baja yang bersangkutan, contoh DIN (Standar Industri Jerman) mengelompokkan baja yang memiliki kekuatan tarik 34 kgmm⁻² dengan simbol St 34
- AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan SAE (*Society of Automotive Engineer*) mengelompokkan baja tersebut dengan sistem penomoran dengan menggunakan empat atau lima angka yang mencerminkan komposisi unsur paduannya.

2.2.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan karbon 0,3– 0,6%, cukup keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai, selain itu kelebihan lainnya adalah mampu mesin dan mampu las yang baik sehingga banyak dipakai dalam berbagai konstruksi.

Pembentukan baja karbon sedang umumnya berupa batangan baja, plat, dan lembaran. Dalam kondisi anil atau normalisasi baja karbon sedang digunakan untuk konstruksi bangunan, kendaraan, kapal laut, dan sebagainya.

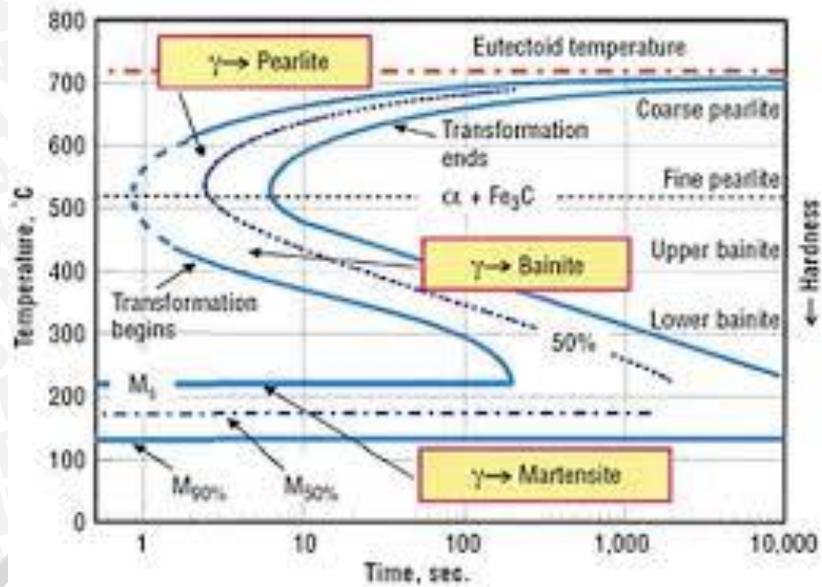
2.3 Baja Lapisan Ganda

Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk mempelajari perilaku deformasi baja dengan tujuan meningkatkan kekerasan dengan tetap mempertahankan keuletannya. Salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan tersebut misalnya dengan penambahan unsur paduan pada baja karbon sedang.

Penelitian terhadap material baja terus dilakukan dalam rangka meningkatkan dan memperbaiki kualitas dari baja tersebut serta agar diperoleh baja dengan sifat-sifat yang diinginkan. Akhirnya ditemukanlah baja lapisan ganda. Baja lapisan ganda ini diperoleh dari baja karbon sedang yang mengalami pendinginan cepat. Pendinginan cepat dari fase ini akan menyebabkan fase *austenit* bertransformasi menjadi *martensit*, sehingga akan diperoleh baja lapisan ganda dengan struktur mikro *pearlit* dan *martensit*. Baja lapisan ganda ini mempunyai kombinasi sifat yang baik, yaitu kekuatan tinggi dipadu dengan ketangguhan, keuletan dan mampu bentuk yang baik. Kekuatan dan keuletan yang dimiliki baja lapisan ganda ini lebih baik jika dibandingkan dengan baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi (HSLA).

Baja hypoeutektoid dipanaskan antara temperatur kritis atas (A3) dan temperatur kritis bawah (A1) (lihat Gambar diagram Fe - C), kemudian didinginkan dengan cepat melebihi laju pendinginan kritisnya (lihat Gambar diagram continuous cooling transformation [CCT] baja *hypoeutektoid*), maka akan didapat baja lapisan ganda. Sebagai contoh baja dengan kadar karbon 0,4% dipanaskan sampai temperatur 750°C maka baja tersebut setelah kesetimbangan akan terdiri dari 50 % *pearlit* dan 50 % *martensit* seperti terlihat pada Gambar 2.1. Pendinginan cepat dari temperatur 750°C akan menghasilkan struktur *martensit* dalam matrik *ferit*, dimana butir *ferit* yang terbentuk setelah proses pembentukan lapisan ganda adalah poligonal (memiliki sisi banyak). Struktur *martensit* dalam bentuk matrik *ferit* memiliki ciri atau sifat tegangan luluhnya rendah akibat adanya tegangan sisa dari proses transformasi *austenit* ke *martensit* dan penguatan regang yang mengikat.

Pada temperatur kamar, baja *hypoeutektoid* terdiri dari butiran kristal *ferit* dan *pearlit*. Apabila temperatur pemanasan mencapai tempertaur kritis bawah A, maka *pearlit* akan mengalami reaksi eutektoid sehingga *ferit* dan *sementit* dari *pearlit* akan bereaksi menjadi *austenit*. Transformasi *austenit* didahului dengan pengintian yang selanjutnya diikuti pertumbuhan kristal *austenit* (*ferrit BCC menjadi austenit FCC*) dan setelah temperatur mencapai A3 seluruh *ferit* akan menjadi *austenit*,



Gambar 2.1 Diagram *continuous cooling transformation*

Sumber: R.E. Smallman, *Metalurgi Fisik Modern*, 1991:454

2.3.1 Struktur Mikro Baja Lapisan Ganda

Baja lapisan ganda ini mempunyai struktur mikro yang terdiri martensit pada bagian atas dan pearlit bagian bawah. Kombinasi sifat mekanik yang baik ini disebabkan karena adanya struktur martensit yang bersifat kuat dan struktur pearlit yang bersifat ulet.

Distribusi partikel yang baik dalam baja lapisan ganda ini adalah partikel *martensit* yang diskontinyu (*diskontinuous particle*) dan partikel pearlit yang kontinyu (*continous particle*). Pada struktur lapisan ganda yang memiliki partikel martensit yang dihubungkan secara kontinyu dalam matrik pearlit, sifat mekanik yang dimilikinya akan relatif lebih rendah. Hal ini disebabkan karena partikel akan pecah (*break*) pada tahap awal deformasi plastis. Sumber utama penguatan pada baja lapisan ganda ini adalah karena adanya struktur martensit yang bersifat kuat dan struktur pearlit yang bersifat ulet.

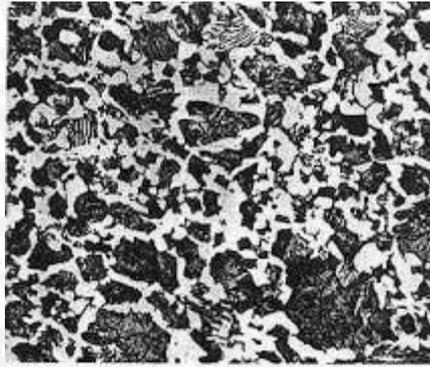


Fig. 130 1045 steel sheet, 3 mm (0.13 in.) thick, normalized by austenitizing at 1095 °C (2000 °F) and cooling in air. Structure consists of pearlite (dark gray) and ferrite (light). Picrol. 500×

Gambar 2.2 Struk mikro baja lapisan ganda

Sumber: G. R. Speich, *Structure and Properties of Dual Phase Steel*, 1982:315

2.3.2 Sifat Mekanik Baja Lapisan Ganda

a. Kekuatan

Kekuatan baja lapisan ganda ini dipengaruhi oleh adanya fraksi keras yaitu martensit, sedangkan keuletan ditentukan oleh fraksi ulet yaitu pearlit. Pada waktu proses perlakuan panas, semakin tinggi temperatur pemanasan, maka fase austenit yang terbentuk juga akan semakin banyak, sedangkan fase pearlitnya akan turun. Semakin banyak fase austenit yang terbentuk, maka akan semakin besar pula jumlah atom karbon yang dapat larut dalam austenit tersebut dan ketika dilakukan proses *quenching* maka jumlah martensit yang terbentuk juga akan semakin banyak. Semakin banyak jumlah martensit (sebagai fraksi keras) yang terbentuk, maka akan menghasilkan kekuatan semakin tinggi. Akan tetapi peningkatan kekuatan tersebut akan diiringi oleh penurunan sifat keuletannya karena berkurangnya jumlah pearlit sebagai pengontrol sifat keuletan dari baja lapisan ganda tersebut.

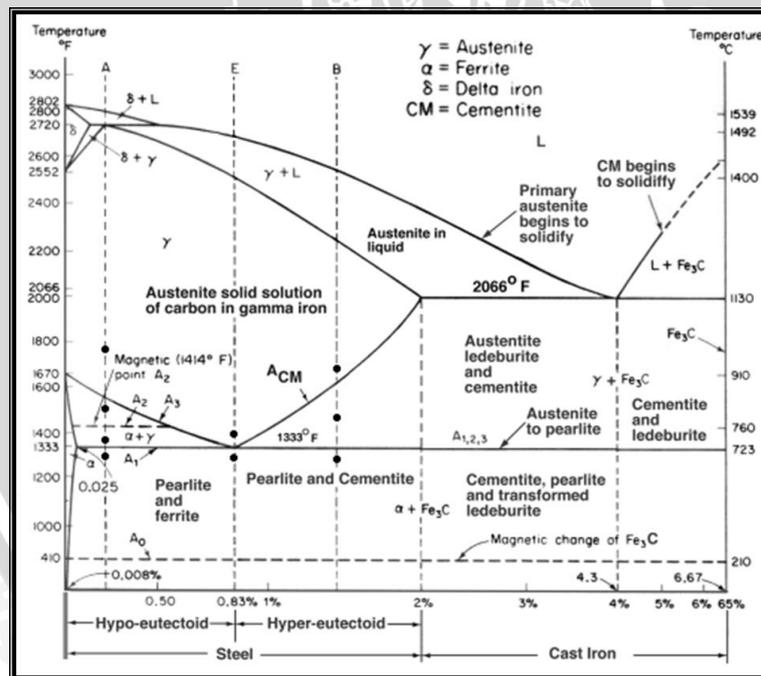
b. Kekerasan

Pada lapisan ganda ini, seperti halnya kekuatannya, nilai kekerasannya juga sangat tergantung pada fraksi volume keras dan ulet. Semakin banyak jumlah fraksi volume keras (martensit), maka akan semakin tinggi pula kekerasannya.

2.4 Perlakuan Panas Baja Lapisan Ganda

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses yang terdiri dari pemanasan sampai temperatur tertentu (*heating*), lalu diikuti dengan penahanan pada temperatur tersebut selama beberapa saat (*holding*), kemudian didinginkan dengan media tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan (*cooling*). Tingginya temperatur, lamanya *holding time* serta jenis media pendinginan yang digunakan tergantung pada sifat-sifat mekanik yang diinginkan dari proses perlakuan panas tersebut.

Pada baja lapisan ganda, pemanasan yang dilakukan harus mencapai fase $\alpha + \gamma$. Dengan demikian temperatur pemanasan yang dilakukan harus di atas temperatur kritis AC_1 , tetapi masih di bawah temperatur AC_m . Pemanasan pada temperatur akan membentuk fase $\alpha + \gamma$. Apabila dilakukan pendinginan cepat dari fase ini, maka akan terbentuk baja lapisan ganda dengan struktur pearlit dan martensit. Untuk dapat memahami proses perlakuan panas dengan baik, maka diperlukan pemahaman yang baik tentang diagram besi – karbida besi (Fe-Fe₃C).



Gambar 2.3 Diagram Fe-Fe₃C

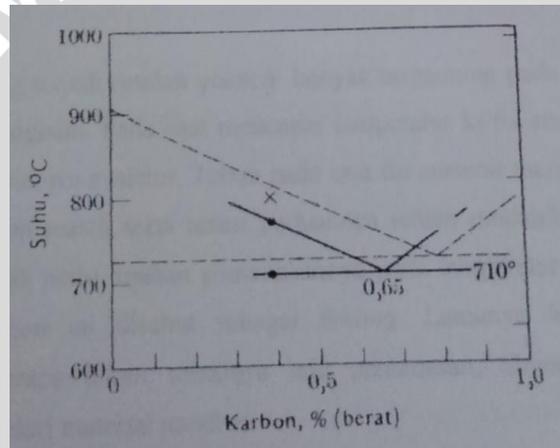
Sumber: William F. Smith, *Principle of Material Science and Engineering*, 1993:426

2.4.1 Pergeseran Titik Eutektoid

Pada diagram Fe-Fe₃C di atas terlihat bahwa titik eutektoid terletak pada 0,83% C dan temperatur 723 °C. Titik eutektoid yang demikian ini hanya berlaku untuk baja dengan komposisi Fe + C tanpa paduan. Apabila ada paduan dalam baja tersebut, maka titik eutektoid ini akan bergeser yang dikenal dengan pergeseran titik eutektoid. Pergeseran titik eutektoid ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Avner, 1974:17) dan bantuan kurva berikut:

$$T_e = \frac{\Sigma(T_x \times \%C_x)}{\Sigma\%C_x}$$

$$C_e = \frac{\Sigma(T_x \times \%C_x)}{\Sigma T_x}$$



Gambar 2.4 Pergeseran titik eutektoid

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

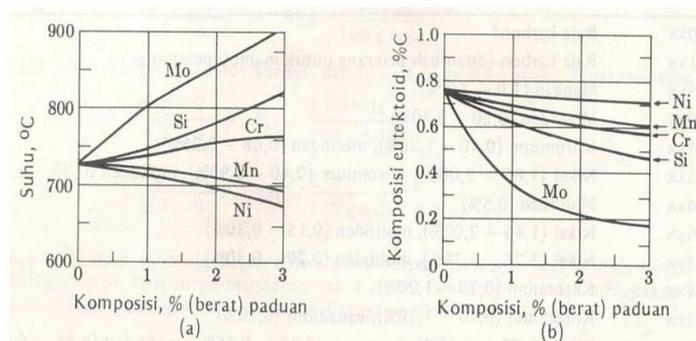
Pada contoh di atas, karena adanya paduan Mn sebesar 2% maka titik eutektoid dari baja tersebut akan bergeser dari posisi 0,83%C dan temperatur 723°C ke posisi 0,65%C dengan temperatur 710°C. Pemahaman mengenai pergeseran titik eutektoid ini sangat penting dalam proses perlakuan panas. Hal ini disebabkan karena dalam proses perlakuan panas, khususnya pada baja paduan, temperatur pemanasan yang digunakan harus selalu mengacu pada diagram Fe-Fe₃C yang sudah dihitung pergeseran titik eutektoidnya.

2.4.2 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur paduan dalam logam berpengaruh pada sifat logam dan mengakibatkan tergesernya titik eutektoid. Adapun pengaruh unsur paduan adalah sebagai berikut (B.K. Agrawal, 1988 : 97) :

1. *Manganese* (Mn) : meningkatkan kekerasan, kemampukerasan, kekuatan baja, dan meningkatkan ketahanan baja terhadap suhu tinggi serta membuat permukaan logam menjadi mengkilap.
2. *Chromium* (Cr) : meningkatkan kekerasan, kemampukerasan, dan ketahanan baja terhadap korosi, mampu membentuk karbida dan meningkatkan sifat elastisitas baja sehingga baik untuk pegas.
3. *Silicon* (Si) : meningkatkan kekuatan, kekerasan baja paduan rendah meningkatkan ketahanan terhadap kenaikan temperatur.
4. *Sulphur* (S) : meningkatkan kemampuan permesinan, mengurangi kemampuan pengerjaan panas seperti *hot rolling* dan *forging*.
5. *Phosphorus* (P) : meningkatkan kekuatan, kekerasan, mampu mesin, dan ketahanan terhadap korosi, namun menurunkan kekuatan *impact*.

Pada baja karbon titik eutektoid dapat bergeser akibat adanya unsur paduan. Pergeseran ini dapat ditentukan dengan bantuan diagram pengaruh unsur paduan terhadap komposisi eutektoid di bawah ini :



Gambar 2.5 Pengaruh penambahan paduan terhadap suhu dan karbon eutektoid

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

2.4.3 Temperatur Austenitisasi

Untuk dapat memperoleh struktur martensit, maka saat pemanasan harus dapat mencapai struktur austenit. Hal ini disebabkan karena hanya struktur austenit yang bisa bertransformasi menjadi martensit. Semakin banyak martensit yang terbentuk pada suatu material, maka akan semakin tinggi pula kekerasan yang akan didapat. Struktur austenit ini akan mulai terbentuk ketika pemanasan sudah mencapai temperatur kritis AC_1 , baik untuk baja *hypoeutectoid*, baja eutektoid maupun baja *hypereutectoid*. Sedangkan untuk mencapai struktur austenit total masing-masing jenis baja ini memerlukan suhu pemanasan yang berbeda. Untuk baja *hypoeutectoid*, agar dapat mencapai struktur austenit total, maka pemanasan yang harus diberikan terhadap material tersebut harus melewati titik AC_3 . Untuk baja eutektoid, setelah pemanasan melewati titik kritis AC_1 strukturnya sudah mencapai austenit total. Sedangkan untuk baja *hypereutectoid*, agar dapat mencapai struktur austenit total, maka pemanasan yang harus diberikan terhadap baja tersebut harus melewati titik AC_m .

2.4.4 Hardening

Hardening atau pengerasan dan disebut juga penyepuhan merupakan salah satu proses perlakuan panas yang sangat penting dalam produksi komponen-komponen mesin. Untuk mendapatkan struktur baja yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat diperoleh melalui proses ini.

Menurut Kenneth Budinski (1999: 167), pengerasan baja membutuhkan perubahan struktur kristal dari *body-centered cubic (BCC)* pada suhu ruangan ke struktur kristal *face-centered cubic (FCC)*. Dari diagram keseimbangan besi karbon dapat diketahui besarnya suhu pemanasan logam yang mengandung karbon untuk mendapatkan struktur *FCC*. Logam tersebut harus dipanaskan dengan sempurna sampai daerah austeni.

Pengerasan meliputi pekerjaan pendinginan yang menyebabkan karbon terbentuk dalam struktur kristal. Pendinginan dilakukan dengan mengeluarkan dengan cepat logam dari dapur pemanas (setelah direndam selama waktu yang cukup untuk mendapatkan temperatur yang dibutuhkan) dan mencelupkan kedalam media pendingin air atau oli.

Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses hardening terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oksigen udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen udara berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses hardening. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau hardening dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi. Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata.

Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata. Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya panas yang merambat di permukaan. Oleh karena itu kekerasan dibagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar.

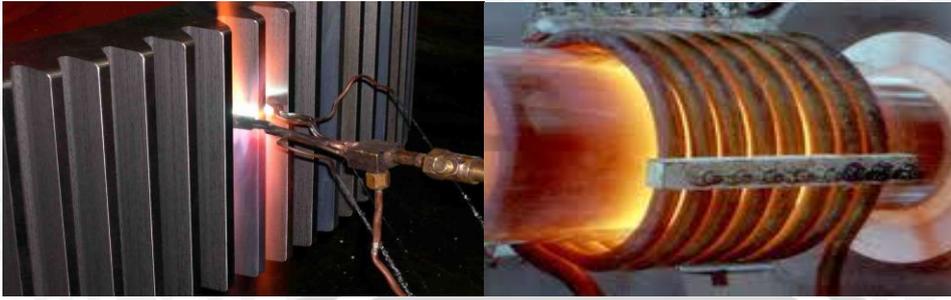
1. Full Hardening



Gambar 2.6 Full Hardening

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

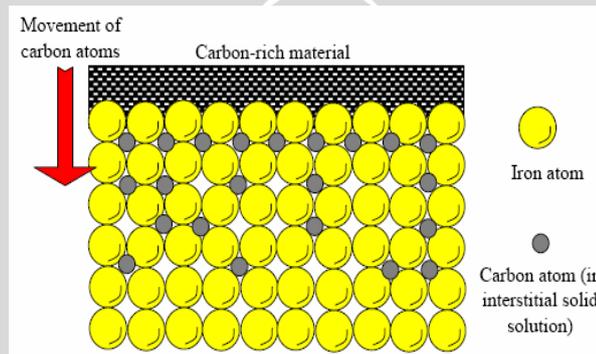
2. Surface Hardening



Gambar 2.7 Surface Hardening

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

3. Carburizing



Gambar 2.8 Carburizing

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

4. Case Hardening

Carburizing -> HRC 60, Thickness: 0.025 – 4 mm

Nitriding -> HRC 70, Thickness: 0.025 – 0.05 mm

Carbonitriding -> HRC 70, Thickness: 0.07-0.5 mm

Chromizing and Boronizing -> HRC 70

2.4.5 Holding Time

Kekersan yang terjadi setelah *quench* banyak tergantung pada besarnya kadar karbon dan laju pendinginan. Pada saat mencapai temperatur kritis atas, struktur yang terbentuk hampir seluruhnya austenit. Tetapi pada saat itu austenit masih berbutir halus dan juga kadar karbon masih serta unsur paduannya masih rendah/belum homogen. Untuk itu biasanya baja perlu ditahan pemanasannya pada temperatur tersebut. Proses penahanan pemanasan ini disebut sebagai *holding*. Lamanya *holding time* ini tergantung oleh beberapa faktor misalnya laju pemanasan, dimensi benda, serta konduktivitas thermal dari material tersebut.

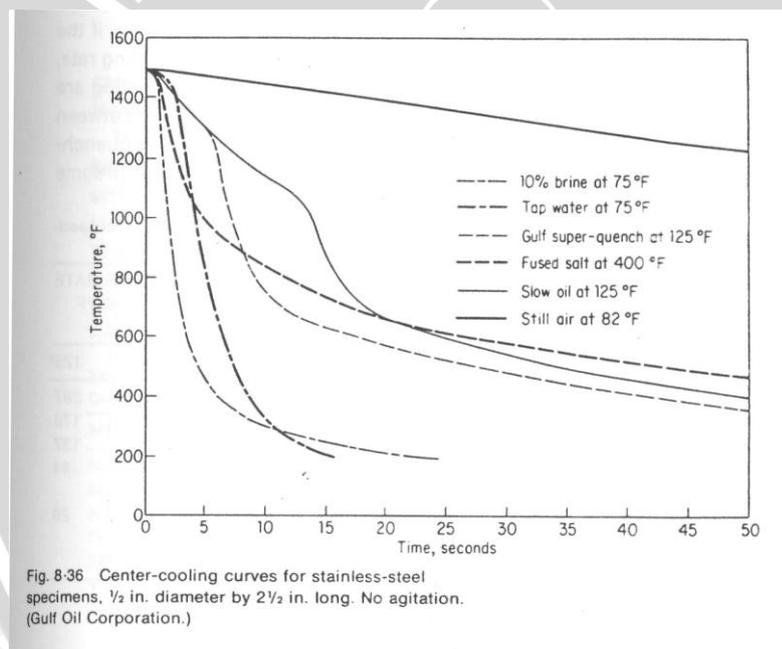
Pada laju pemanasan yang lambat, kenaikan temperatur menuju temperatur yang diinginkan akan berjalan lambat. Ketika material sudah mencapai temperatur pemanasan yang diinginkan maka sesaat kemudian material tersebut akan segera homogen. Dengan demikian tidak diperlukan waktu *holding* yang lama. Hal ini disebabkan karena selama proses pemanasan sudah terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit serta difusi karbon beserta unsur-unsur paduannya. Apabila laju pemanasannya tinggi/cepat maka kenaikan temperatur menuju temperatur yang diinginkan berlangsung cepat. Dengan demikian waktu yang tersedia tidak cukup panjang untuk terjadinya kelarutan karbida dan difusi untuk homogenisasi. Oleh karena itu diperlukan *holding time* yang lebih panjang.

Faktor kedua yang menentukan lama tidaknya *holding time* adalah dimensi benda kerja. Pada benda kerja yang kecil, umumnya mempunyai karbida yang halus dan tersebar merata. Disamping itu jarak antara permukaan dengan pusat benda juga relatif kecil, sehingga untuk waktu yang diperlukan untuk meratakan suhu dari permukaan sampai ke pusat benda dalam rangka homogenisasi akan lebih cepat. Dengan demikian *holding time* yang diperlukan juga lebih pendek. Sedangkan faktor ketiga yang menentukan lama tidaknya *holding time* adalah konduktivitas termal dari material yang bersangkutan. Material yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi memerlukan waktu *holding* yang relatif lebih pendek jika dibandingkan dengan material yang mempunyai konduktivitas termal yang rendah.

2.4.6 Laju Pendinginan

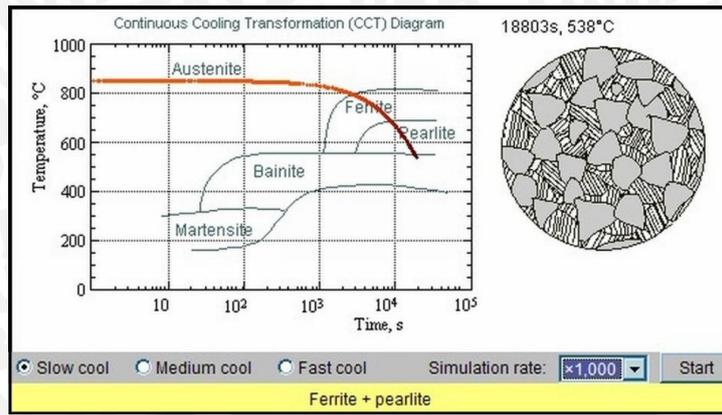
Dalam suatu proses perlakuan panas, setelah pemanasan mencapai temperatur yang telah ditentukan dan diberi *holding time* secukupnya, maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan sangat tergantung pada laju pendinginan. Karenanya sifat mekanik dari baja setelah akhir suatu proses perlakuan panas akan banyak ditentukan oleh laju pendinginan.

Transformasi austenit pada pendinginan memegang peranan yang sangat penting terhadap sifat baja yang dikenai suatu proses perlakuan panas. Pada penelitian kali ini, pendinginan yang dipakai adalah air garam, dan air hangat. Pendinginan cepat dengan menggunakan media air garam dan air hangat dari fase $\alpha + \gamma$ ini akan menghasilkan struktur mikro yang terdiri dari pearlit dan martensit, dapat disimpulkan laju pendinginan adalah perubahan suhu per satuan waktu ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$).



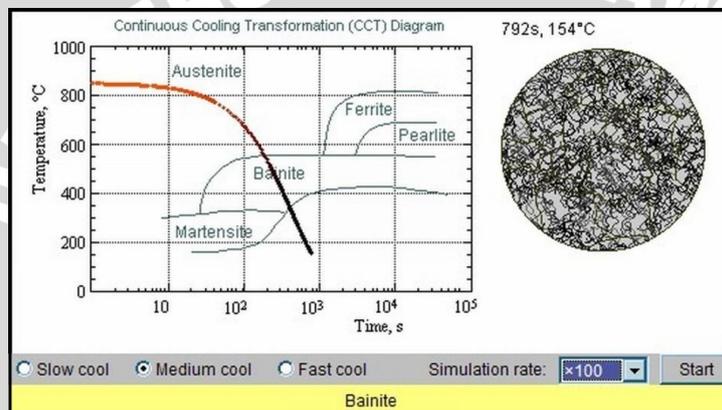
Gambar 2.9 *Cooling rate*

Sumber: Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 1974 : 287



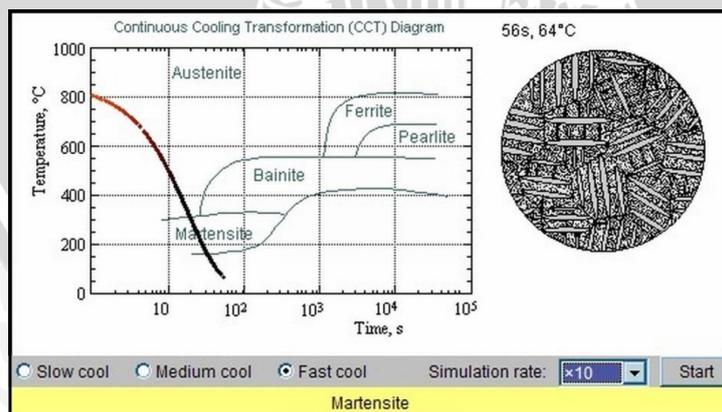
Gambar 2.10 Pendinginan lambat

Sumber: Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 1974 : 287



Gambar 2.11 Pendinginan sedang

Sumber: Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 1974 : 287



Gambar 2.12 Pendinginan cepat

Sumber: Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 1974 : 287



2.4.7 Pembentukan Martensit

Bila austenit didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum mencapai struktur lain, maka pada saat itu mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenit mengalami *driving force* yang sangat besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, yang menimbulkan *shear force* terhadap atom-atomnya. Ini menyebabkan atom-atomnya sedikit bergeser untuk menuju bentuk BCC, setelah itu strukturnya menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*) yang dikenal dengan nama martensit. Karena adanya karbon yang terperangkap inilah yang menyebabkan martensit ini bersifat keras tetapi juga getas. Semakin tinggi kadar karbon dalam austenit, maka struktur martensit yang terbentuk akan menjadi lebih keras.

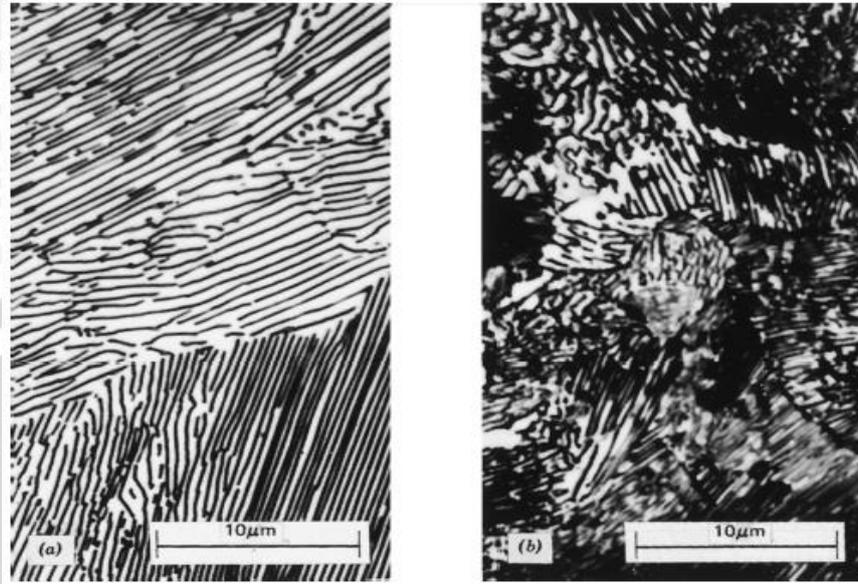


Gambar 2.13 Foto mikro struktur *Martensite*

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

2.4.8 Pembentukan Pearlit

Dengan melihat diagram Fe-Fe₃C, fasa awal baja karbon sedang (St 41) mempunyai presentase *ferrite* (0,025%) dan *pearlite* (0,375%), fasa pearlit terbentuk pada saat pendinginan lambat.



Gambar 2.14 Foto mikro struktur *Pearlite*

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

2.5 Pengujian Bahan

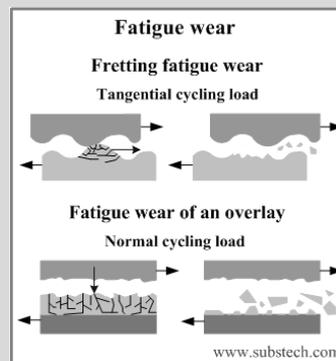
2.5.1 Pengujian Keausan

Secara umum keausan (wear) didefinisikan sebagai kerusakan pada permukaan padat yang disebabkan oleh hilangnya atau perpindahan material akibat gaya mekanik dari sebuah hubungan padat (*solid*), cair (*liquid*), atau gas. Hingga saat ini terminologi dari keausan masih belum pasti serta definisi dasar tentang keausan masih belum distandarkan, walaupun demikian telah diterima secara luas bahwa pada dasarnya ada tiga jenis keausan : Keausan adhesi (*adhesive wear*), keausan abrasif (*abrasive wear*) dan keausan erosi (*erosive wear*). Selain itu ada beberapa jenis keausan lagi yang terpisah (jenis ini bukan jenis yang utama), yaitu kelelahan permukaan (*surface fatigue*), keadaan teriritasi (*fretting*) dan erosi kavitasi (*cavitation erosion*).

Keausan abrasif timbul ketika permukaan yang keras, kasar meluncur pada permukaan yang lebih lunak, menusuk kedalam dan menghasilkan alur-alur. Material dapat hilang dalam bentuk fragmen atau jika tidak material membentuk sepasang timbunan sepanjang tiap alur. Material dalam timbunan kemudian mudah lepas dari permukaan. Keausan abrasif meliputi partikel yang bergerak diatas permukaan (*two body abrasion*) dan partikel keras yang bergerak diatas dua permukaan yang bergerak (*three body abrasion*).

Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam, yaitu:

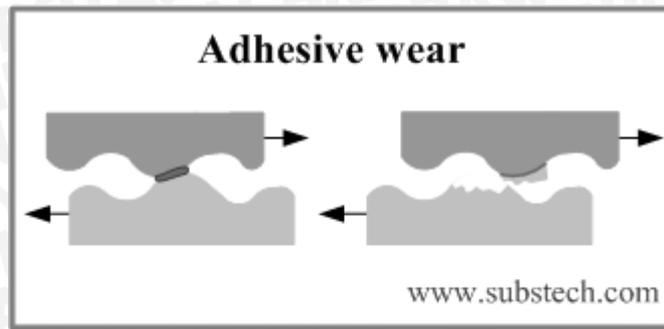
a. Keausan *adhesive* terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lain dan pada akhirnya terjadi pelepasan salah satu material, seperti terlihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Keausan adhesif

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

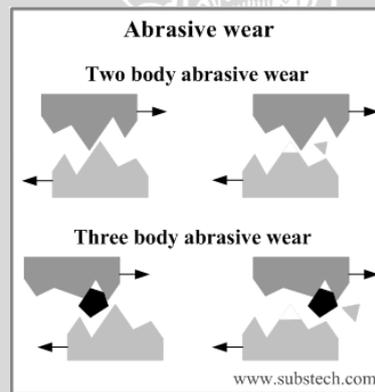
b. Keausan *abrasive* terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di bawah. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan partikel keras. Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada permukaan pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem sluri. Pada kasus pertama partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan mengakibatkan pengoyakan sementara pada kasus terakhir partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.



Gambar 2.16 Keausan abrasif

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

c. Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan *adhesive* maupun *abrasive*. Hanya satu interaksi sementara pada keausan lelah dibutuhkan interaksi multi. Gambar di bawah ini memberikan skematis mekanisme keausan lelah.



Gambar 2.17 Keausan lelah

Sumber: Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1992:388

d. Keausan oksidasi merupakan keausan yang pada prinsipnya dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di bagian permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini akan menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material pada lapisan permukaan akan mengalami keausan yang berbeda, hal ini selanjutnya mengarah pada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut (Wen, 2007).

2.6 Hipotesa

Semakin cepat pendinginan yang dilakukan, maka semakin banyak partikel martensit yang terbentuk daripada partikel pearlit, yang menyebabkan baja tersebut semakin kuat, sebaliknya semakin lambat pendinginan yang dilakukan, maka semakin banyak partikel pearlit yang terbentuk daripada martensit, yang menyebabkan baja semakin lunak. Hal ini bisa diamati dengan cara uji keausan, dan sesuai dengan teori metalurgi fisik dimana pada perlakuan panas, semakin tinggi temperatur pemanasan, maka fase austenit yang terbentuk juga akan semakin banyak, sedangkan fase pearlitnya akan turun. Semakin banyak fase austenit yang terbentuk, maka akan semakin besar pula jumlah atom karbon yang dapat larut dalam austenit tersebut dan ketika dilakukan proses *quenching* maka jumlah martensit yang terbentuk juga akan semakin banyak. Dan teori tersebut berlaku pada baja fase ganda. Semakin banyak jumlah martensit (sebagai fraksi keras) yang terbentuk. Semakin keras suatu material maka tingkat keausannya semakin kecil dan semakin lunak suatu material maka tingkat keausannya semakin tinggi.

