

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Alat Uji Jominy Test

Alat uji *Jominy* adalah alat bantu proses pendinginan (*quenching*) dalam pengujian mampu keras pada baja. Pengujian dilakukan dengan specimen berupa sepotong baja silinder berukuran panjang 103 mm, diameter 1 *inchi* (25.4mm) dengan tinggi pancaran air dari ujung nozel 65 mm (*ANNUAL BOOK of ASTM STANDARDS*, 1998).

Spesimen tersebut dipanaskan dalam alat pemanas, setelah specimen mencapai suhu dan waktu yang telah ditentukan, kemudian specimen dikeluarkan dengan cepat, diletakkan pada dudukan yang berada tepat diatas nozel yang memancarkan air dari bak penampung air. Setelah specimen tersebut dingin kemudian diambil untuk dilakukan pengujian rockwell dan membuat *hardenability curve*.

Kekerasan adalah kemampuan material untuk menahan deformasi plastis lokal akibat penetrasi dipermukaan. Peningkatan kekerasan bergantung pada sifat mampu keras dari baja itu sendiri. Sifat mampu keras merupakan kemampuan material untuk ditingkatkan kekerasannya dengan serangkaian perlakuan panas. Sifat mampu keras dari baja tergantung pada komposisi kimia dan kecepatan pendinginan. Tidak semua baja dapat dinaikkan kekerasannya. Baja karbon menengah dan baja karbon tinggi dapat dikeraskan, sedangkan baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan.

Kandungan karbon yang tinggi mempercepat terbentuknya fasa martensit yang menjadi sumber dari kekerasan dari baja. Kekerasan maksimum hanya dapat dicapai bila terbentuknya martensit 100%. Baja dapat bertransformasi dari austenit ke ferrit dan karbida. Transformasi terjadi pada suhu tinggi sehingga kemampuan kekerasannya rendah. Percobaan *Jominy*, bertujuan untuk mengetahui *Hardenability* suatu logam. Cara untuk mengetahuinya adalah:

1. Bila laju pendinginan dapat diketahui, kekerasan dapat langsung dibaca dari kurva kemampuan keras.

2. Bila kekerasan dapat diukur, laju pendinginan dari titik tersebut dapat diperoleh.

Pada uji *Jominy* ini, material dipanaskan dalam tungku dipanaskan sampai suhu transformasi (*austenit*) dan terbentuk sedemikian rupa sehingga dapat dipasangkan pada aparatus *Jominy* kemudian air disemprotkan dari bawah, sehingga menyentuh permukaan bawah spesimen. Dengan ini didapatkan kecepatan pendinginan di tiap bagian spesimen berbeda - beda. Pada bagian yang terkena air mengalami pendinginan yang lebih cepat dan semakin menurun ke bagian yang tidak terkena air.

Metode yang paling umum dalam menentukan mampu keras suatu baja adalah dengan cara mencelupkan secara cepat (*quench*) salah satu ujung dari batang uji (metode ini dikembangkan oleh *Jominy Boegehold* dari Amerika). Metode seperti ini disebut uji *Jominy*. Untuk melaksanakan pengujian, suatu batang uji dengan panjang 70 mm dan diameter 25 mm, salah satu ujungnya diperlebar untuk memudahkan batang uji tersebut digantungkan pada peralatan *quench*.

Salah satu ujung yang lain dari batang uji yang akan disemprot air, permukaannya harus dihaluskan. Batang uji tersebut dipanaskan pada temperatur austenisasi selama 30 - 35 menit. Atmosfir tungku harus dijaga netral agar tidak terjadi pembentukan terak dan karburasi.

Setelah proses pemanasan selesai, batang uji digantungkan pada peralatan quench dan kemudian salah satu ujungnya dicelupkan dengan cepat (*quench*) pada air yang bertemperatur 25⁰C. Diameter dari berkas air yang dipancarkan kira-kira 12 mm dan harus memancar 65 mm dari ujung pipa air.

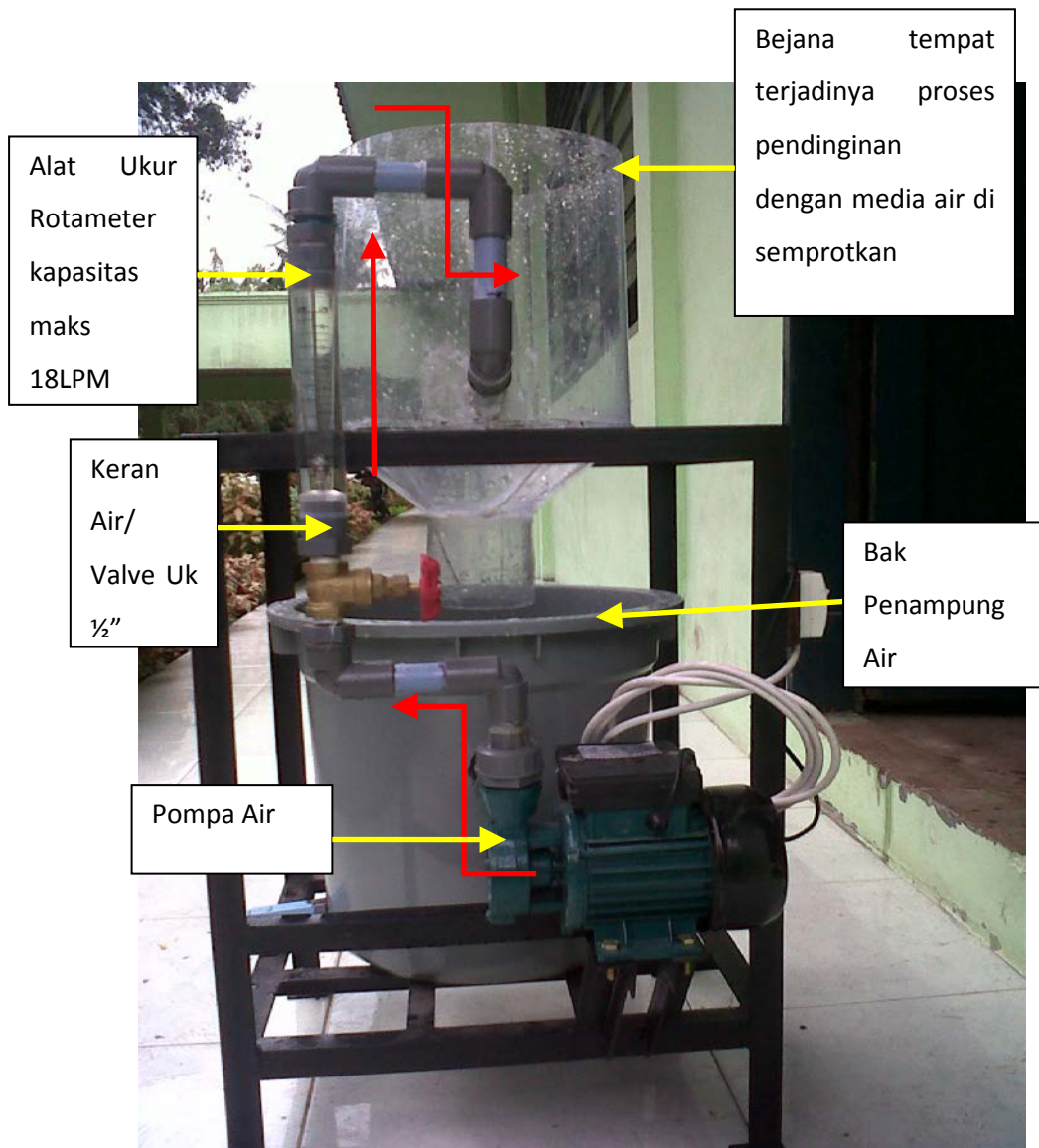
Ada 2 cara untuk mengetahui sifat mekanik pada material logam baja, yaitu:

a. Kekuatan (*STRENGTH*)

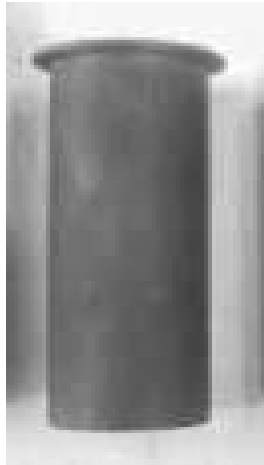
Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah, kekuatan ini terdiri dari: kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan geser, dan lain sebagainya.

b. Kekerasan (*HARDNESS*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi).Sifat ini berkaitan terhadap sifat tahan aus (*wear resistance*).

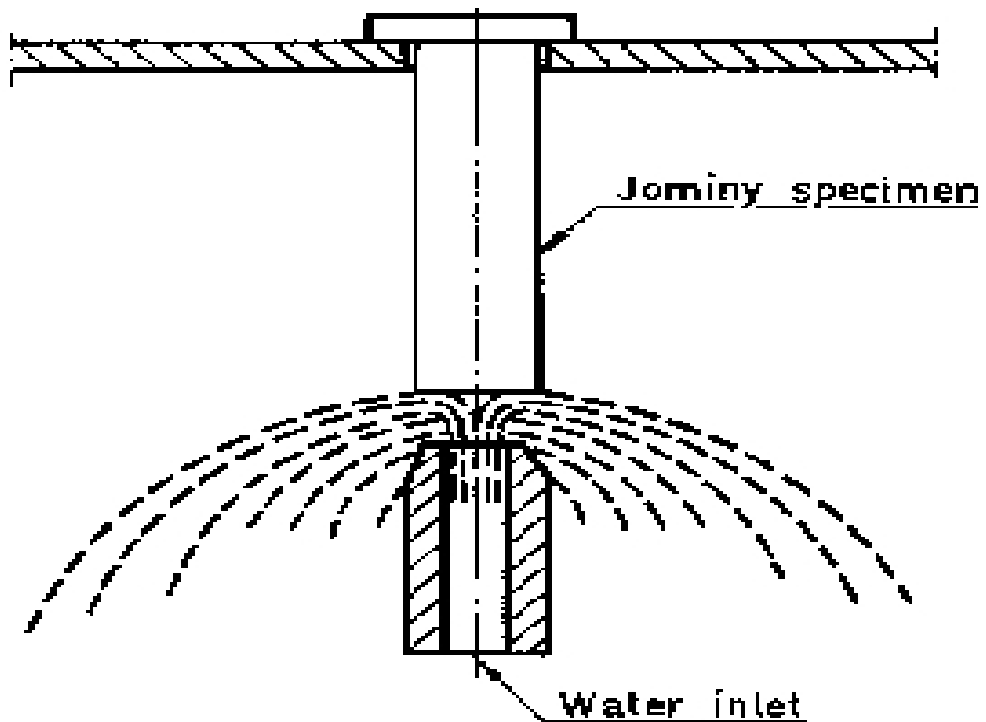


Gambar 2.1 : Alat Uji *Jominy Test*



Gambar 2.2. : Benda Uji NS - 1045.

Sedangkan pada gambar dibawah ini adalah contoh ketika benda uji akan disemprot oleh air dari tabung alat uji *Jominy Test*.



Gambar 2.3. : Proses Penyemprotan Benda Uji.

Dengan laju pendinginan menurun secara progresif dari ujung dipadamkan sepanjang bar. Ketika itu dingin, dua diametral bertentangan flat 0,4 mm dalam dan sejajar dengan sumbu dari bar adalah tanah dan kekerasan diukur sepanjang flat. Nilai - nilai kekerasan yang diplot dalam diagram terhadap jarak mereka dari ujung dipadamkan. Variasi komposisi kimia, dalam batas, untuk baja memberikan maksimum dan minimum kurva *Jominy*. Diagram di bawah ini adalah untuk baja karburasi.

Dari sejak batang uji dikeluarkan dari tungku sampai diletakkan pada peralatan quench tidak boleh lebih dari 5 detik sesaat sesudah batang uji diletakkan air segera disemprotkan dan lebih kurang 7 menit.

Berdasarkan hal ini ujung batang uji akan mengalami pendinginan yang sangat cepat. Laju pendinginan akan menurun kearah salah satu ujungnya yang lain. Dengan demikian sepanjang batang uji akan terjadi variasi laju pendinginan. Sepanjang batang uji diukur kekerasannya dengan menggunakan Rockwell dan hasilnya diplot pada diagram mampukeras yang standar.

2.2. Cara Kerja Alat

Besi karbon dimasukkan kedalam tube furnace, kemudian tube furnace dihidupkan dan tunggu sampai suhu tube furnace mencapai suhu 750°C. Setelah mencapai 750°C, besi karbon ditahan suhunya selama kurang lebih 1 jam. Selanjutnya, besi karbon diambil dengan menggunakan penjepit, kemudian salah satu bagian ujungnya didinginkan dengan cara menyemprotkan air secara konstan sampai suhu besi karbon menurun mendekati suhu kamar yaitu sebesar 38°C.

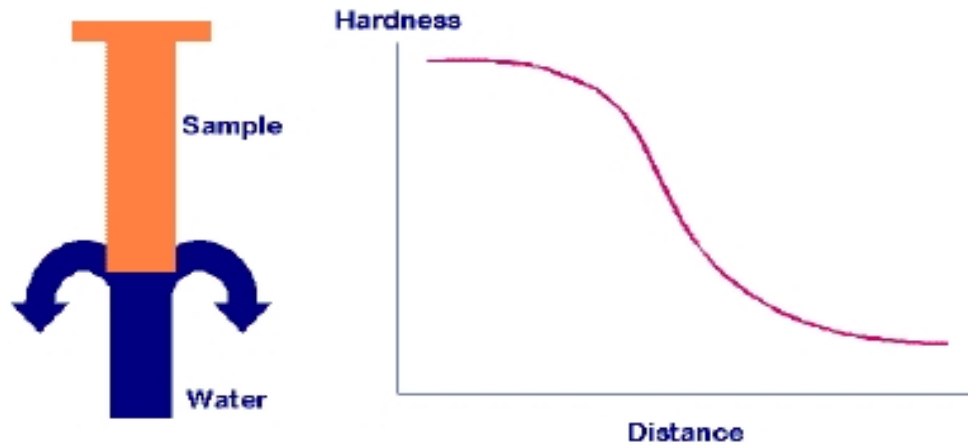


Gambar : 2.4 Proses Perlakuan Panas pada benda uji baja NS - 1045

untuk mengetahui suhu besi karbon menurun sampai suhu kamar digunakan thermometer digital sehingga suhu besi karbon dapat diketahui. Setelah itu dilakukan pengujian kekerasan pada bagian ujung besi karbon, bagian tengah besi karbon dan bagian ujung besi karbon dekat yang disemprot air dengan menggunakan *Vickers hardness*.

Sampel baja *dinormalisasi* untuk menghilangkan perbedaan mikro karena menempa sebelumnya, dan kemudian *austenitised*. Ini biasanya pada suhu 800 sampai 900 ° C. Sampel uji cepat ditransfer ke mesin uji, di mana ia secara vertikal dan disemprot dengan aliran dikontrol air ke salah satu ujung sampel. Ini mendinginkan spesimen dari satu ujung, simulasi efek pendinginan komponen baja yang lebih besar di dalam air.

Tingkat pendinginan bervariasi sepanjang sampel dari sangat cepat pada akhir dipadamkan, dengan tingkat setara dengan pendingin udara di ujung lain.



Gambar 2.5 : Proses Terjadinya Pendinginan

Spesimen bulat kemudian tanah datar sepanjang panjangnya hingga kedalaman 0,38 mm (15 seperseribu inci) untuk menghilangkan bahan decarburised. Kekerasannya diukur pada interval dari ujung dipadamkan. Interval biasanya 1,5 mm untuk baja paduan dan 0,75 mm untuk baja karbon. Kekerasan tinggi terjadi di mana fraksi volume tinggi martensit berkembang. Kekerasan yang lebih rendah menunjukkan transformasi mikrobainit atau ferit / perlit.

2.3 Proses Pengujian Perlakuan Panas.

Pengujian perlakuan panas ialah sebuah proses pemanasan dan pendinginan pada material yang terkontrol dengan maksud mengubah sifat fisik pada material tersebut. Secara umum proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

- a. Pemanasan material sampai pada suhu sekitar kurang lebih 750°C dengan waktu selama kurang lebih 1 jam.
- b. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga temperaturnya merata
- c. Pendinginan dengan media pendingin (air, oli atau udara)

Ketiga hal diatas tergantung dari material yang akan di heat treatment dan sifat – sifat akhir yang diinginkan. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet.

Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia logam harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon (C) dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis.

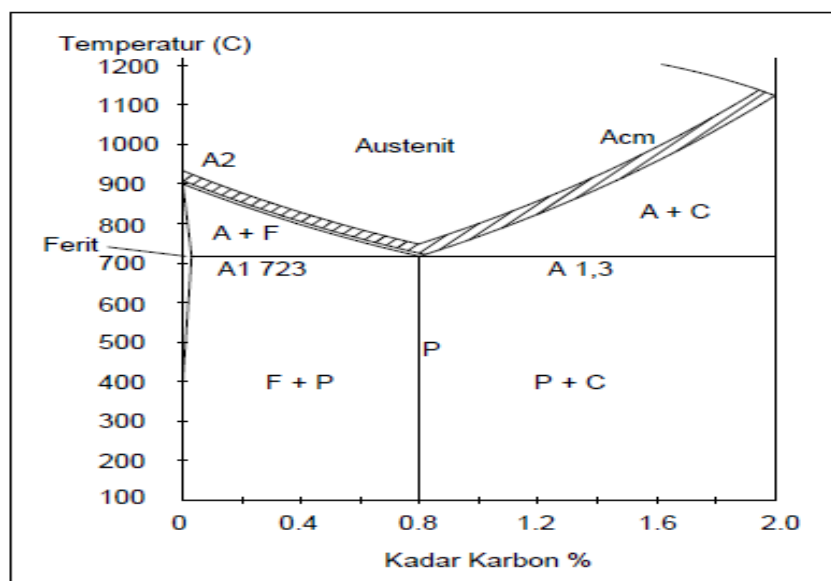
2.4 Jenis – Jenis Perlakuan Panas.

A). *Normalizing*

Proses *normalizing* atau menormalkan adalah jenis perlakuan panas yang umum diterapkan pada hampir semua produk cor, *over-heated forgings* dan produk - produk tempa yang besar. *Normalizing* ditujukan untuk memperhalus butir, memperbaiki mampu mesin, menghilangkan tegangan sisa dan juga memperbaiki sifat mekanik baja karbon struktural dan baja – baja paduan rendah. *Normalizing* terdiri dari proses pemanasan baja diatas temperatur kritik A_3 atau A_{cm} dan ditahan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu tergantung pada jenis dan ukuran baja.

Agar diperoleh austenit yang homogen, baja-baja *hypoeutektoid* dipanaskan 30°C - 40°C diatas garis A3 dan untuk baja *hypereutektoid* dilakukan dengan memanaskan 30°C - 40°C diatas temperatur A_{cm} .

Kemudian menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu sehingga transformasi fasa dapat berlangsung diseluruh bagian benda kerja, dan selanjutnya didinginkan di udara.



Gambar 2.6 : Diagram untuk temperatur *Normalizing*

Normalizing dilakukan karena tidak diketahui bagaimana proses dari pembuatan benda kerja ini apakah dikerjakan dingin (*cold Working*) atau pengerjaan Panas (*Hot Working*). Dimana *normalizing* ini bertujuan untuk mengembalikan atau memperhalus struktur butir dari benda kerja. *Normalizing* terdiri dari proses pemanasan baja di atas temperatur kritis A3 atau A_{cm} dan ditahan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu tergantung pada jenis dan ukuran baja. Agar diperoleh austenit yang homogen, baja – baja hypoeutektoid dipanaskan pada temperatur 300°C – 400°C di atas garis A3.

Pemanasan pada temperatur austenit yang terlalu tinggi akan menyebabkan tumbuhnya butir – butir austenit. Demikian juga untuk waktu penahan pada temperatur austenit yang terlalu lama akan mengakibatkan tumbuhnya butir – butir austenit. Setelah waktu penahan selesai, benda kerja kemudian didinginkan di udara. Struktur baja hypoeutektoid yang akan dihasilkan terdiri dari ferit dan perlit. Perlu diketahui bahwa batas – batas butir yang baru tidak ada hubungannya dengan batas – batas butir sebelum baja dinormalkan. Setelah penormalan akan terjadi perbaikan terhadap strukturnya diiringi dengan timbulnya perbaikan sifat mekaniknya.

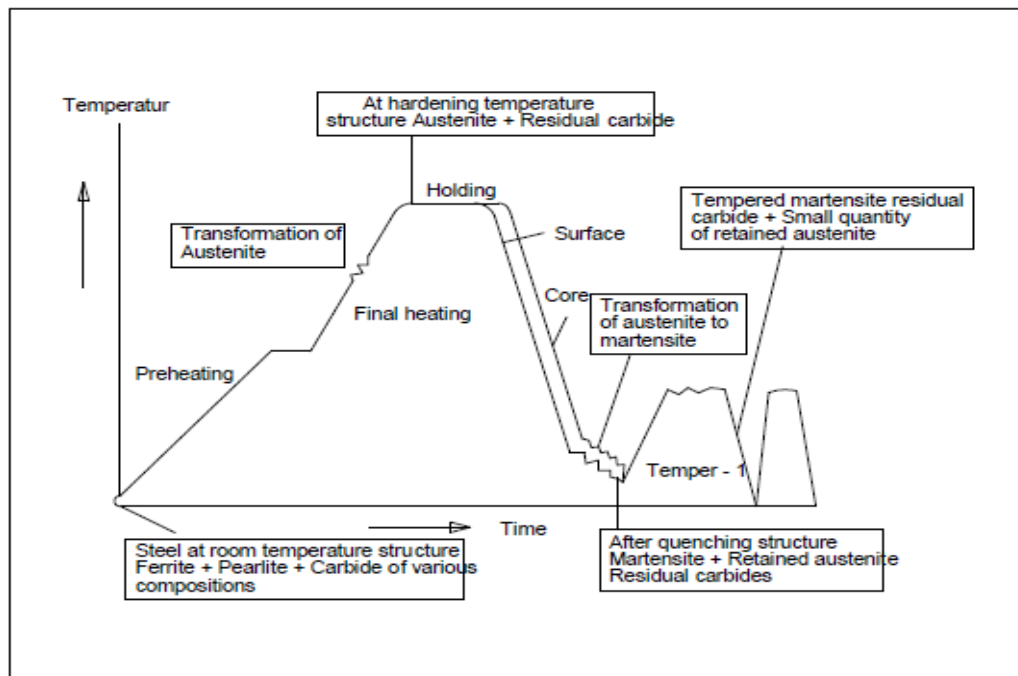
Sifat mekanik yang akan diperoleh setelah proses penormalan tergantung pada laju pendinginan di udara. Laju pendinginan yang agak cepat akan menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi. Manfaat proses *Normalizing* adalah sebagai berikut:

1. *Normalizing* biasa digunakan untuk menghilangkan struktur butir yang kasar yang diperoleh dari proses pengerjaan sebelumnya yang dialami oleh baja.
2. *Normalizing* berguna untuk mengeliminasi struktur kasar yang diperoleh akibat pendinginan yang lambat pada proses anil.
3. Berguna untuk menghilangkan jaringan sementit yang kontinyu yang mengelilingi perlit pada baja perkakas.
4. Menghaluskan ukuran perlit dan ferit.
5. Memodifikasi dan menghaluskan struktur cor dendritik.
6. Mencegah distorsi dan memperbaiki mampu karburasi pada baja – baja paduan karena temperatur *normalizing* lebih tinggi dari temperatur karbonisasi.

B). Hardening

Hardening adalah proses perlakuan panas yang diterapkan untuk menghasilkan benda kerja yang keras. Perlakuan ini terdiri dari memanaskan baja sampai temperatur pengerasannya (Temperatur austenisasi) dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang sangat tinggi atau di *quench* agar diperoleh kekerasan yang diinginkan. Alasan memanaskan dan menahannya pada temperatur austenisasi adalah untuk melarutkan sementit dalam austenit kemudian dilanjutkan dengan proses *quench*.

Quenching merupakan proses pencelupan baja yang telah berada pada temperatur pengerasannya (temperatur *austenisasi*), dengan laju pendinginan yang sangat tinggi (*diquench*), agar diperoleh kekerasan yang diinginkan.



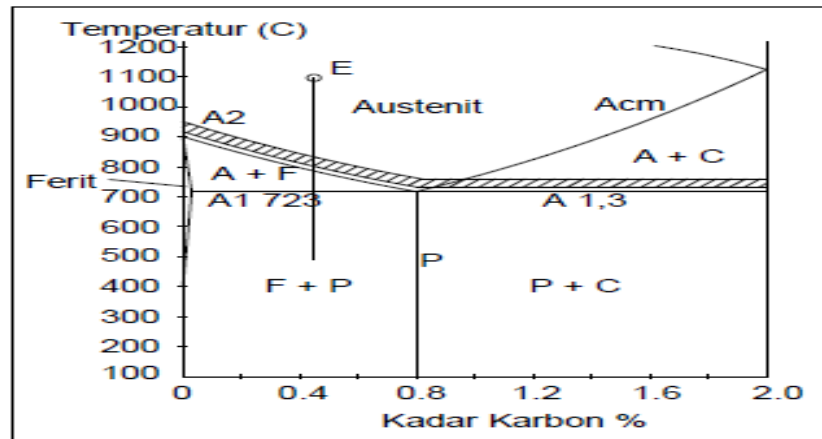
Gambar 2.7: Grafik pemanasan, *quenching* dan *tempering*

Pada tahap ini, karbon yang terperangkap akan menyebabkan tergesernya atom - atom sehingga terbentuk struktur *body center tetragonal*. Atom - atom yang tergeser dan karbon yang terperangkap akan menimbulkan struktur sel satuan yang tidak setimbang (memiliki tegangan tertentu). Struktur yang bertegangan ini disebut martensit dan bersifat sangat keras dan getas. Biasanya baja yang dikeraskan diikuti dengan proses penemperan untuk menurunkan tegangan yang ditimbulkan akibat *quenching* karena adanya pembentukan martensit. Tujuan utama proses pengerasan adalah untuk meningkatkan kekerasan benda kerja dan meningkatkan ketahanan aus. Makin tinggi kekerasan akan semakin tinggi pula ketahanan ausnya.

1). Temperatur Pemanasan

Temperatur pengerasan yang digunakan tergantung pada komposisi kimia (kadar karbon). Temperatur pengerasan untuk baja karbon *hipoeutektoid* adalah sekitar 20°C - 50°C di atas garis A3, dan untuk baja karbon *hipereutektoid* adalah sekitar 30°C - 50°C diatas garis A13.

Jika suatu baja misalnya mengandung misalnya 0.5 % karbon (berstruktur ferit dan perlit) dipanaskan sampai temperatur di bawah A1, maka pemanasan tersebut tidak akan mengubah struktur awal dari baja tersebut. Pemanasan sampai temperatur diatas A1 tetapi masih dibawah temperatur A3 akan mengubah perlit menjadi austenit tanpa terjadi perubahan apa - apa terhadap feritnya.



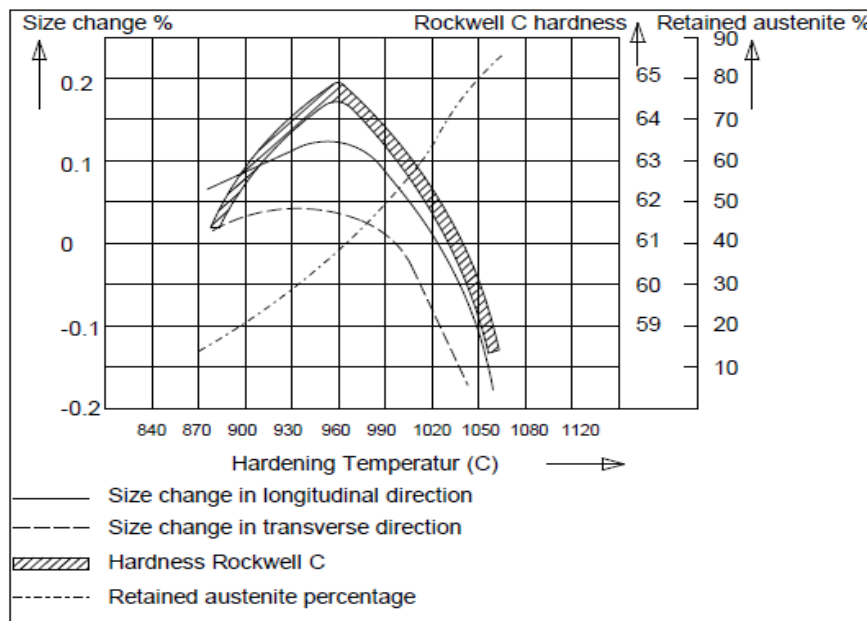
Gambar 2.8: Temperatur pemanasan sebelum *Quenching*

Quenching dari temperatur ini akan menghasilkan baja yang semi keras karena austenitnya bertransformasi ke martensit sedangkan feritnya tidak berubah. Keberadaan ferit dilingkungan martensit yang getas tidak berpengaruh pada kenaikan ketangguhan. Jika suatu baja dipanaskan sedikit diatas A3 dan ditahan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu agar dijamin proses difusi yang homogen, maka struktur baja akan bertransformasi menjadi austenit dengan ukuran butir yang relatif kecil.

Quenching dari temperatur austenisasi akan menghasilkan martensit dengan harga kekerasan yang maksimum. Memanaskan sampai ke temperatur E (relatif lebih tinggi diatas A3) cenderung meningkatkan ukuran butir austenit. *Quenching* dari temperatur seperti itu akan menghasilkan struktur martensit, tetapi sifatnya, bahkan setelah ditemper sekalipun, akan memiliki harga impak yang rendah. Disamping itu mungkin juga timbul retak pada saat diquench.

Pada baja *hipereutektoid* dipanaskan pada daerah austenit dan sementit, kemudian didinginkan dengan cepat agar diperoleh martensit yang halus dan karbida-karbida yang tidak larut. Struktur hasil *quench* memiliki kekerasan yang sangat tinggi dibandingkan dengan martensit.

Jika karbida yang larut dalam austenit terlalu sedikit, kekerasan hasil *quench* akan tinggi. Jumlah karbida yang dapat larut dalam austenit sebanding dengan temperatur austenisasinya. Jumlah karbida yang larut akan meningkat jika temperatur austenisasinya dinaikkan. Jika karbida yang terlarut terlalu besar, akan terjadi peningkatan ukuran butir disertai dengan turunnya kekerasan dan ketangguhan.



Gambar2.9 :Hubungan antara Temperatur, kekerasan dan kandungan austenite

2). Tahapan Pekerjaan Sebelum Proses *Quenching*

Benda kerja yang akan dikeraskan terlebih dahulu dibersihkan dari terak, olidan sebagainya, hal ini dilakukan agar kekerasan yang diinginkan dapatdicapai.

Benda kerja yang memiliki lubang, jika perlu, terutama baja – baja perkakas, harus ditutup dengan tanah liat, asbes atau baja insert sehingga tidak terjadi pengerasan pada lubang tersebut. Hal ini tidak perlu seandainya ukuran

lubang cukup besar serta cara quench yang tertentu sehingga permukaan di dalam lubang dapat dikeraskan dengan baik.

Baja karbon dan baja paduan rendah dapat dipanaskan langsung sampai ke temperatur pemanasannya tanpa memerlukan adanya pemanasan awal (*preheat*). Sedangkan benda kerja yang besar dan bentuknya rumit dapat dilakukan pemanasan awal untuk mencegah distorsi dan retak akibat tidak homogenya temperatur di bagian tengah dengan dibagian permukaan.

Pemanasan awal biasanya dilakukan terhadap baja - baja perkakas karena konduktifitas panas baja tersebut sangat rendah. Pemanasan awal biasanya 500°C - 600°C, pada temperatur ini tegangan dalam yang berkembang akibat tidak homogenya pemanasan dipermukaan dan dibagian tengah sedikit demi sedikit dapat dihilangkan. Setelah itu, pemanasan diatas temperatur tersebut dapat dilakukan dengan laju pemanasan yang relatif cepat. Pemanasan awal juga diperlukan jika temperatur pengerasannya tinggi, karena manahan benda kerja pada temperatur tinggi dalam waktu singkat dapat memperkecil terbentuknya terak dan dekarburasi. Benda kerja yang rumit bentuknya atau baja – baja paduan tinggi harus diberi pemanasan awal dua kali sebelum mencapai temperatur austenisasinya.

Penting untuk diketahui bahwa benda kerja yang akan dikeraskan harus memiliki struktur yang homogen dan halus. Jika benda kerja yang akan dikeraskan memiliki struktur yang kasar setelah dikeraskan akan diperoleh kekerasan yang tidak homogen, distorsi dan retak pada saat dipanaskan maupun pada saat di*quench*. Agar dijamin hasil dengan kekerasan yang tinggi dan seragam dari baja - baja perkakas setelah pengerasan, maka baja-baja sebelum dikeraskan

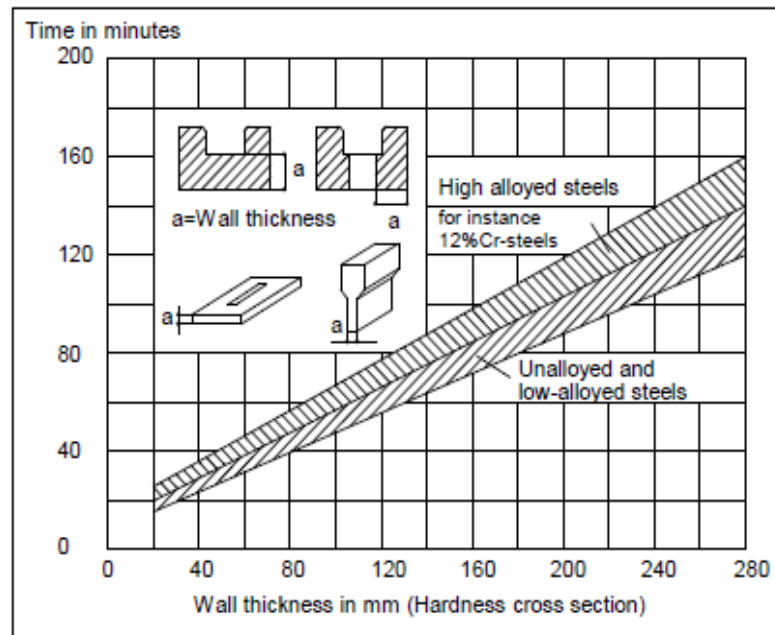
harus memiliki struktur yang lamelar dan bukan globular. Hal ini dikarenakan proses transformasi dari suatu struktur yang globular ke austenit relatif lebih lambat dibanding dari perlit ke austenit. Dengan demikian baja dengan struktur globular juga tidak akan memiliki kedalaman pengerasan yang tinggi.

3). Lama Pemanasan

Waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur pengerasan tergantung pada beberapa faktor seperti jenis tungku dan jenis elemen pemanasnya. Lama pemanasan pada temperatur pengerasannya tergantung jenis baja dan temperatur pemanasan yang dipilih dari rentang temperatur yang telah ditentukan untuk jenis baja yang bersangkutan. Dalam banyak hal, umumnya dipilih temperatur pengerasan yang tertinggi dari rentang temperatur pengerasan yang sudah ditentukan. Tetapi jika penampang – penampang dari benda kerja yang diproses menunjukkan adanya perbedaan yang besar, umumnya dipilih temperatur pengerasan yang rendah.

Pada kasus yang pertama, lama pemanasannya lebih lama dibandingkan dengan lama pemanasan pada kasus kedua. Untuk mencegah timbulnya pertumbuhan butir, baja-baja yang tidak dipadu dan baja paduan rendah, lama pemanasannya harus diupayakan lebih singkat dibanding baja – baja paduan tinggi seperti baja *hot worked* yang memerlukan waktu yang cukup untuk melarutkan karbida - karbida yang merupakan faktor yang penting dalam mencapai kekerasan yang diinginkan.

Diagram yang tampak pada (Gambar 2.6), dapat dijadikan pegangan untuk menentukan lama pemanasan untuk baja-baja konstruksi dan perkakas setelah temperatur pengerasannya dicapai.



Gambar 2.10 : Lama pemanasan dengan tebal dinding dari benda kerja yang dihardening.

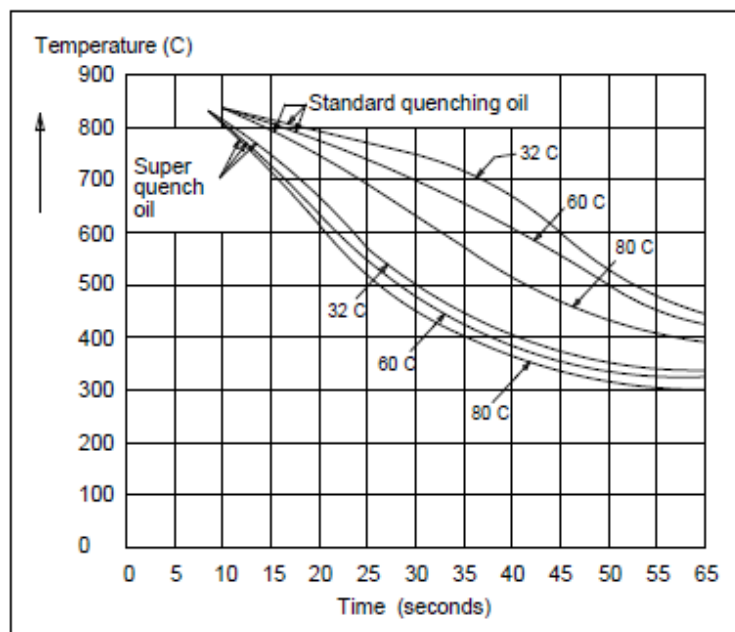
4). Media *Quenching*

Tujuan utama dari proses pengerasan adalah agar diperoleh struktur martensit yang keras, sekurang-kurangnya di permukaan baja. Hal ini hanya dapat dicapai jika menggunakan medium *quenching* yang efektif sehingga baja didinginkan pada suatu laju yang dapat mencegah terbentuknya struktur yang lebih lunak seperti perlit atau bainit.

Tetapi berhubung sebagian besar benda kerja sudah berada dalam tahap akhir dari proses, maka kualitas medium quenching yang digunakan harus dapat menjamin agar tidak timbul distorsi pada benda kerja setelah proses quench selesai dilaksanakan. Hal tersebut dapat dicapai dengan cara menggunakan media quenching yang sesuai tergantung pada jenis baja yang diproses, tebal penampang dan besarnya distorsi yang diijinkan. Untuk baja karbon, medium quenching yang

digunakan adalah air, sedangkan untuk baja paduan medium yang disarankan adalah oli.

Quench ke dalam oli saat ini paling banyak digunakan, manfaat dari pendinginannya oli adalah bahwa laju pendinginannya pada tahap pembentukan lapisan uap dapat dikontrol sehingga dihasilkan karakteristik *quenching* yang homogen. Laju pendinginan untuk baja yang *quench* di oli relatif rendah karena tingginya titik didih dari oli. Memanaskan oli sampai sekitar 40°C - 100°C sebelum proses *quenching* akan meningkatkan laju pendinginan.



Gambar 2.11: Pengaruh suhu oli pada kecepatan *quenching*

Dengan ditingkatkannya temperatur oli akan menjadikan oli lebih encer sehingga meningkatkan kapasitas pendinginannya. Faktor - faktor yang mengatur penyerapan panas dari benda kerja adalah panas spesifik, konduktivitas termal, panas laten penguapan dan viskositas oli yang digunakan. Umumnya makin rendah viskositas makin cepat laju pendinginannya.

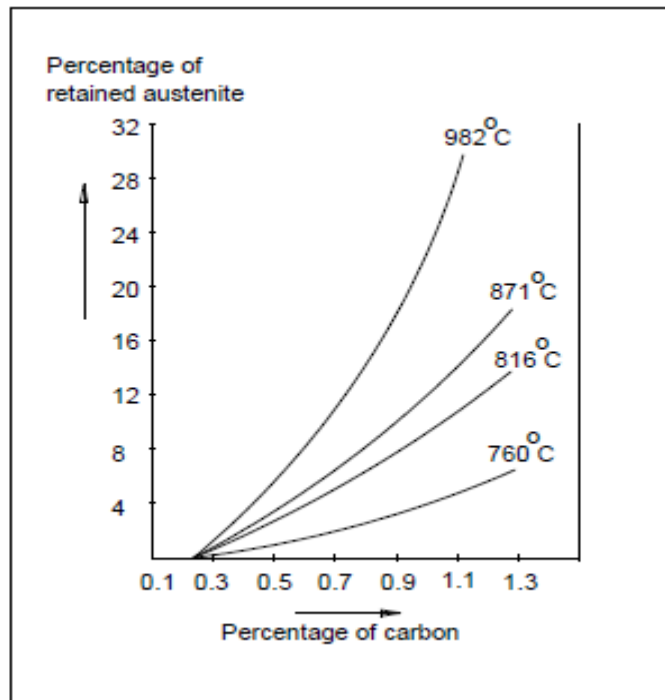
Temperatur maksimum dari oli yang digunakan harus 25°C dibawah titik didih oli yang bersangkutan.

5). Pengaruh Unsur Paduan Pada Pengerasan

Sifat mekanik yang diperoleh dari proses perlakuan panas terutama tergantung pada komposisi kimia. Baja merupakan kombinasi Fe dan C. Disamping itu, terdapat juga beberapa unsur yang lain seperti Mn, P, S dan Si yang senantiasa ada meskipun sedikit, unsur-unsur ini bukan unsure pembentuk karbida .Penambahan unsur-unsur paduan seperti Cr, Mo, V,W, Ti dapat menolong untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan. unsur – unsur ini merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat.

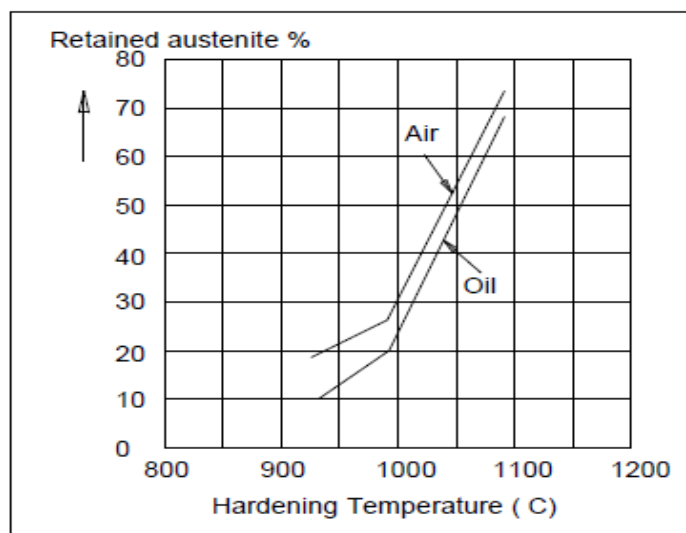
6). Pembentukan Austenit Sisa

Austenit akan bertransformasi menjadi martensit jika didinginkan ke temperatur kamar dengan laju pendinginan yang tinggi, sementara itu masih ada sebagian yang tidak turut bertransformasi yang disebut sebagai austenitesisa. Dimana sejumlah austenit sisa yang terbentuk akan semakin meningkatdengan meningkatnya kadar karbon.



Gambar 2.12 : Hubungan antara kadar karbon dengan austenit sisa

Kadar karbon yang tinggi akan menurunkan garis Ms, sehingga jumlah austenit sisanya akan semakin banyak. Selain itu juga pengaruh temperature pengerasan juga akan menurunkan temperatur Ms (martensit start), sehingga jumlah austenit sisa akan semakin banyak dengan naiknya suhu austenisasi.



Gambar 2.13 : Hubungan antara temperatur pengerasan dengan jumlah austenit sisa yang terbentuk.

C). *Annealing*

Proses *annealing* yaitu proses pemanasan material sampai temperatur austenit lalu ditahan beberapa waktu kemudian pendinginannya dilakukan perlahan - lahan di dalam tungku. Keuntungan yang didapat dari proses ini adalah sebagai berikut :

- Menurunkan kekerasan
- Menghilangkan tegangan sisa
- Memperbaiki sifat mekanik
- Memperbaiki mampu mesin dan mampu bentuk
- Menghilangkan terjadinya retak panas
- Menurunkan atau menghilangkan ketidak homogenan struktur
- Memperhalus ukuran butir
- Menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas. Proses Anil tidak dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mekanik baja perlitik dan baja perkakas. Sifat mekanik baja struktural diperbaiki dengan cara dikeraskan dan kemudian diikuti dengan tempering. Proses Anil terdiri dari beberapa tipe yang diterapkan untuk mencapai sifat – sifat tertentu sebagai berikut :

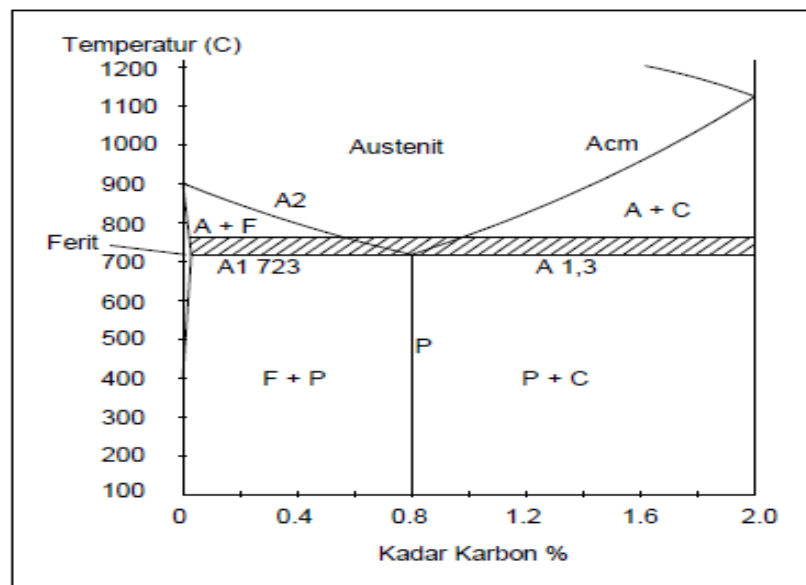
1). *Full Annealing*

Full annealing terdiri dari *austenisasi* dari baja yang bersangkutan diikuti dengan pendinginan yang lambat di dalam dapur. Temperatur yang dipilih untuk *austenisasi* tergantung pada karbon dari baja yang bersangkutan. *Full annealing* untuk baja *hipoeutektoid* dilakukan pada temperatur *austenisasi* sekitar 50°C diatas garis A3 dan untuk baja *hipereutektoid* dilaksanakan dengan cara

memanaskan baja tersebut diatas A1. *Full Annealing* akan memperbaiki mampu mesin dan juga menaikkan kekuatan akibat butir - butirnya menjadi halus.

2). *Spheroidized Annealing*

Spheroidized annealing dilakukan dengan memanaskan baja sedikit diatas atau dibawah temperatur kritik A1 kemudian di diamkan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan yang lambat. Tujuan dari *Spheroidized annealing* adalah untuk memperbaiki mampu mesin dan memperbaiki mampu bentuk.



Gambar 2.14: Diagram untuk temperatur *Spheroidized annealing*

3). *Isothermal Annealing*

Isothermal annealing dikembangkan dari diagram TTT. Jenis proses ini dimanfaatkan untuk melunakkan baja - baja sebelum dilakukan proses permesinan. Proses ini terdiri dari *austenisasi* pada temperatur *annealing* (*Full annealing*) kemudian diikuti dengan pendinginan yang relatif cepat sampai ke

temperatur 50°C - 60°C dibawah garis A1 (menahan secara *isothermal* pada daerah *perlit*).

4). Proses Homogenisasi

Proses ini dilakukan pada rentang temperatur 1100°C . - 1200°C . Proses difusi yang terjadi pada temperatur ini akan menyeragamkan komposisi baja. Proses ini diterapkan pada ingot baja - baja paduan dimana pada saat membeku sesaat setelah proses penuangan, memiliki struktur yang tidak homogen. Seandainya ketidak homogenan tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, maka perlu diterapkan proses homogenisasi atau "*diffusionalannealing*". Proses homogenisasi dilakukan selama beberapa jam pada temperatur sekitar 1150°C - 1200°C . Setelah itu, benda kerja didinginkan ke 800°C - 850°C , dan selanjutnya didinginkan diudara. Setelah proses ini, dapat juga dilakukan proses normal atau anil untuk memperhalus struktur *overheat*. Perlakuan seperti ini hanya dilakukan untuk kasus - kasus yang khusus karena biaya prosesnya sangat tinggi.

5). *Stress Relieving*

Stress relieving adalah salah satu proses perlakuan panas yang ditujukan untuk menghilangkan tegangan - tegangan yang ada di dalam benda kerja, memperkecil distorsi yang terjadi selama proses perlakuan panas dan, pada kasus-kasus tertentu, mencegah timbulnya retak. Proses ini terdiri dari memanaskan benda kerja sampai ke temperatur sedikit dibawah garis A1 dan menahannya untuk jangka waktu tertentu dan kemudian di dinginkan didalam tungku sampai temperatur kamar.

Proses ini tidak menimbulkan perubahan fasa kecuali rekristalisasi. Banyak faktor yang dapat menimbulkan timbulnya tegangan di dalam logam sebagai akibat dari proses pembuatan logam yang bersangkutan menjadi sebuah komponen. Beberapa dari faktor - faktor tersebut antara lain adalah : Pemesinan, Pembentukan, Perlakuan panas, Pengecoran, Pengelasan, dan lain - lain. Penghilangan tegangan sisa dari baja dilakukan dengan memanaskan baja tersebut pada temperatur sekitar $500^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$, tergantung pada jenis baja yang diproses. Pada temperatur diatas $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$, baja hampir sepenuhnya elastik dan menjadi ulet. Berdasarkan hal ini, tegangan sisa yang terjadi di dalam baja pada temperatur seperti itu akan sedikit demi sedikit dihilangkan melalui deformasi plastik setempat akibat adanya tegangan sisa tersebut.

1.5.a. Timbulnya Tegangan di dalam Benda Kerja

Beberapa faktor penyebab timbulnya tegangan di dalam logam sebagai akibat dari proses pembuatan logam tersebut menjadi sebuah komponen adalah :

1). Pemesinan

Jika suatu komponen mengalami proses pemesinan yang berat, maka akan timbul tegangan di dalam komponen tersebut. Tegangan yang berkembang di dalam benda kerja dapat menimbulkan retak pada saat dilaku panas atau mengalami distorsi. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan pada pola kesetimbangan tegangan akibat penerapan proses pemesinan yang berat.

2). Pembentukan

Proses metal forming juga akan mengakibatkan tegangan dalam akan berkembang, seperti pada proses coining, bending, drawing, dan sebagainya.

3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas juga merupakan salah satu penyebab timbulnya tegangan dalam komponen. Hal ini terjadi sebagai akibat tidak homogennya pemanasan dan pendinginan atau sebagai akibat terlalu cepatnya laju pemanasan ke temperatur austenitisasi. Pada beberapa kasus, tegangan dalam terjadi akibat adanya transformasi fasa selama proses pendinginan berlangsung. Transformasi fasa senantiasa diiringi dengan perubahan volume spesifik.

4. Pengecoran

Tegangan dalam selalu ada pada produk-produk cor sebagai akibat dari tidak meratanya pendinginan dari permukaan ke bagian dalam benda kerja dan juga akibat adanya perbedaan laju pendinginan pada berbagai bagian produk cor yang sama.

5. Pengelasan

Tegangan dalam juga terjadi pada suatu komponen yang mengalami pengelasan, soldering, dan brazing. Tegangan tersebut terjadi karena adanya pemuaian dan pengkerutan di daerah yang dipengaruhi panas (HAZ) dan juga di daerah logam las.

1.5.b. Temperatur Stress Relieving

Tegangan sisa yang terjadi di dalam logam sebagai akibat dari faktor-faktor di atas harus dapat dihilangkan, agar sifat yang diinginkan dari komponen tersebut dapat diperoleh. Proses penghilangan tegangan sisa biasanya dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja di bawah temperatur A_1 .

Pemanasan menyebabkan turunnya kekuatan mulur logam. Penghilangan tegangan sisa pada baja dilakukan dengan memanaskan baja tersebut ada temperatur sekitar 550°C - 700°C, tergantung pada jenis baja yang diproses. Pada tempertur di atas 500°C - 600°C, baja hampir sepenuhnya elastik dan menjadi ulet. Berdasarkan hal tersebut, tegangan sisa yang terjadi di dalam baja pada temperatur itu akan sedikit demi sedikit dihilangkan melalui deformasi plastik setempat akibat adanya tegangan sisa tersebut.

Setelah dipanaskan sampai temperatur stress relieving, benda kerja ditahan pada temperatur itu untuk jangka waktu tertentu agar diperoleh distribusi temperatur yang merata di seluruh benda kerja. Kemudian didinginkan dalam tungku sampai temperatur 300°C dan selanjutnya didinginkan di udara sampai ke temperatur kamar. Perlu diperhatikan bahwa selama pendinginan, laju pendinginan harus rendah dan homogen agar dapat dicegah timbulnya tegangan sisa yang baru.

Temperatur stress relieving yang spesifik dan lazim diterapkan pada beberapa jenis baja adalah :

Tabel 2.1. Temperetur Streess relieving

Jenis Baja	Temperatur
HSS	650 – 700 ⁰ C
Hot-worked	650 – 670 ⁰ C
Cold – worked	650 – 700 ⁰ C
Nitriding	550 – 600 ⁰ C
High Temperature	600 – 650 ⁰ C
Bearing	600 – 650 ⁰ C
Free - cutting	600 – 650 ⁰ C

Untuk menghilangkan semua tegangan sisa yang ada, proses stress relieving harus dilakukan pada temperatur mendekati temperatur yang tertinggi pada rentang temperatur yang diijinkan, tetapi hal ini akan menimbulkan oksidasi dipermukaan benda kerja dan timbulnya pelunakan pada baja - baja hasil proses pengerasan atau temper. Oleh sebab itu disarankan agar melakukan stress relieving pada temperatur yang relatif lebih rendah dari rentang temperatur yang diijinkan. Semakin tinggi temperatur stress relieving akan menyebabkan makin rendah tegangan sisa yang ada pada benda kerja. Benda kerja yang dikeraskan dan ditemper harus di stress relieving pada temperatur sekitar 25°C dibawah temperatur - tempemnya.

Tegangan sisa yang terjadi akibat proses pengelasan dapat dihilangkan dengan memanaskan benda kerja sekitar 600°C – 650°C dan ditahan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu. Biasanya, waktu penahanan yang diperlukan sekitar 3 – 4 menit untuk setiap mm tebal benda kerja, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan sekitar 50°C - 100°C per jam sampai ke temperatur 300°C.

Pendinginan yang rendah dan homogen diperlukan untuk mencegah timbulnya tegangan sisa baru pada saat pendinginan dan untuk mencegah timbulnya retak.

Tegangan sisa bisa juga terjadi pada benda kerja yang dikeraskan akibat kesalahan penggerindaan. Tegangan tersebut bahkan dapat menimbulkan retak pada saat atau sesudah penggerindaan. Benda kerja tersebut biasanya diselamatkan dengan cara memberikan stress relieving antara 150°C - 400°C pada atau dibawah temperatur tempemnya sesaat setelah dilakukan proses

penggerindaan. Pahat - pahat juga akan memiliki tegangan sisa yang sangat tinggi pada saat digunakan. Dengan demikian, sangatlah bermanfaat untuk menerapkan stress relieving pada pahat-pahat tersebut dengan cara memanaskan pahat tersebut dibawah temperatur tempemnya.

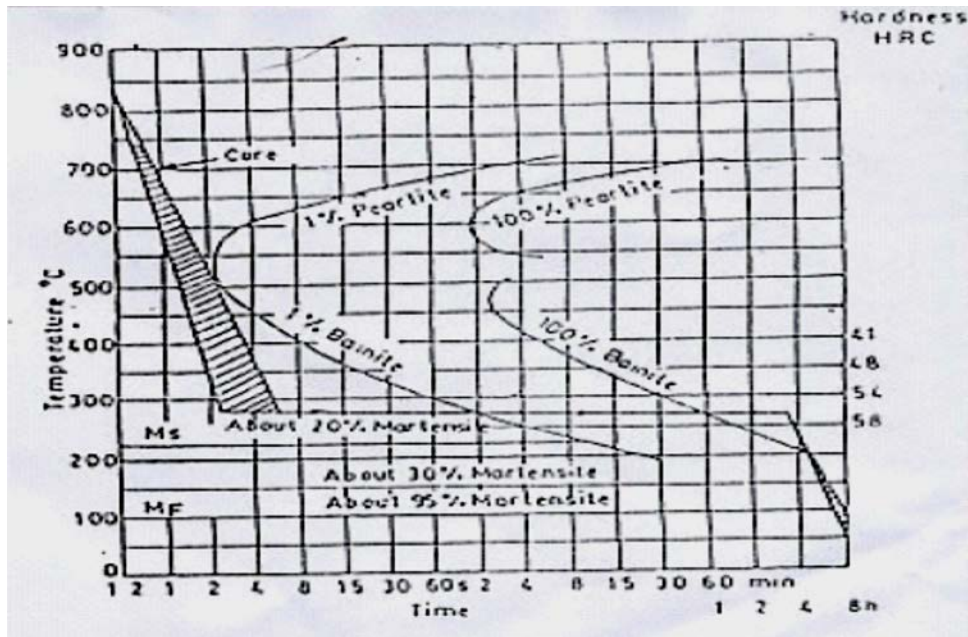
1.5.c. Tungku Pemanas untuk Stress Relieving

Siklus stress relieving sangat tergantung pada temperatur, oleh karena itu disarankan untuk menggunakan tungku yang baik, disarankan untuk menggunakan dapur listrik, dan pendinginan dalam dapur bertujuan untuk menghindari timbulnya tegangan sisa baru.

D). Austempering

Austempering dapat diterapkan untuk beberapa kelas baja kekuatan tinggi yang harus memiliki ketangguhan dan keuletan tertentu. Komponen yang mengalami proses ini akan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi kekuatan impaknya menjadi lebih baik, batas lelahnya dan keuletannya meningkat dibanding dengan kekerasan yang sama hasil dari proses quench konvensional.

Austempering dilakukan dengan cara mengquench baja dari temperature austenisasinya ke dalam garam cair yang temperaturnya sedikit di atas temperatur M_s nya. Lama penahan di dalam cairan garam adalah sehingga seluruh austenit bertransformasi menjadi bainit. Setelah itu baja didinginkan di udara sampai ke temperatur kamar seperti terlihat pada gambar dengan waktu penahan bervariasi 5 sampai dengan 30 menit atau 1 jam pada temperatur austempering $250^{\circ}\text{C} - 270^{\circ}\text{C}$. tetapi temperatur perlakuan dan lama penahan yang tepat harus ditentukan dari diagram transformasi yang sesuai dengan baja yang akan di austempering.



Gambar 2.15 : Temperatur austempering terhadap waktu

Kekerasan bainit yang diperoleh dari transformasi pada suatu kondisi tertentu secara kasar identik dengan kekerasan martensit yang distemper pada temperatur yang sama. Kekerasan bainit dipengaruhi oleh komposisi kimia baja dan oleh temperatur cairan garam dengan demikian proses austemper dapat di atur dengan cara mengatur temperatur austemper.

Austempering dilaksanakan dalam tungku garam agar pengontrolan temperturnya dapat dilakukan dengan cermat sehingga kekerasan yang akan dihasilkannya memiliki tingkat kehomogenan yang tinggi. Jika temperatur tungku garam makin rendah, kapasitas pendinginannya akan semakin tinggi. Penambahan 1- 2% air dapat meningkatkan kapasitas pendinginan dari cairan garam pada temperatur 400°C dan kira – kira 4 kali lebih besar dari pada air garam yang digunakan 45 – 55% Natrium Nitrat dan 45 – 55 % Kalium Nitrat. Garam – garam

ini mudah larut dalam air sehingga mudah sekali untuk membersihkan benda kerja. Garam ini secara efektif digunakan pada rentang temperatur 200°C – 500°C.

Delay quenching adalah istilah yang diterapkan pada proses quenching dimana komponen setelah dikeluarkan dari tungku pada temperature pengerasannya dibiarkan beberapa saat sebelum di quench. Ini dimaksudkan agar proses quench terjadi pada temperatur lebih rendah sehingga memperkecil kemungkinan timbulnya distorsi. Cara ini lazim diterapkan pada HSS, baja hot worked dan baja – baja yang dikeraskan permukaannya.

Tujuan utama dari proses pengerasan adalah agar diperoleh struktur martensit yang keras, sekurang – kurangnya di permukaan baja. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan media quenching yang efektif sehingga baja didinginkan pada suatu laju yang dapat mencegah terbentuknya struktur yang lebih lunak seperti perlit atau bainit.

Pemilihan medium quenching untuk mengeraskan baja tergantung pada laju pendinginan yang diinginkan agar dicapai kekerasan tertentu. Fluida yang ideal untuk mengquench baja agar diperoleh struktur martensit harus bersifat:

1. Mengambil panas dengan cepat di daerah temperatur yang tinggi agar pembentukan perlit dapat dicegah.
2. Mendinginkan benda kerja relatif lambat di daerah temperatur yang rendah; misalnya di bawah temperatur 350°C agar distorsi atau retak dapat dicegah.

Terjadinya retak panas atau distorsi selama proses *quench* dapat disebabkan oleh kenyataan bagian luar benda kerja lebih dingin disbanding bagian dalam, dan bagian permukaan adalah yang pertama mencapai kondisi *quench* sedangkan bagian di sebelah dalamnya mendingin dengan laju pendinginan yang relatif lebih

lambat. Adanya perubahan volume dibagian tengah sebagai hasil proses pendinginan akan menimbulkan tegangan termal atau retak – retak di luar bagian benda kerja. Karena itu benda kerja disarankan tidak boleh terlalu cepat melampaui daerah pembentukan martensit dan agar sedikit diluahkan waktu untuk menghilangkan tegangan.

Media quenching dengan garam disebut dengan Salt Bath. Campuran Nitrat dan Nitrit terutama digunakan untuk mengquench benda kerja pada temperatur yang relatif rendah. Garam – garam tersebut dapat digunakan pada rentang temperatur 150°C – 500°C. Pada temperatur di atas 500°C dapat menyebabkan oksidasi yang kuat dan menyebabkan pitting pada permukaan baja, disamping dapat menimbulkan ledakan. Karena itu perlu diperhatikan agar temperatur kerja dari garam tidak dilampaui. Seperti yang diperlihatkan pada tabel garam – garam untuk proses *quench* dibawah ini:

Tabel 2.2.: Garam- garam untuk proses *Quench*

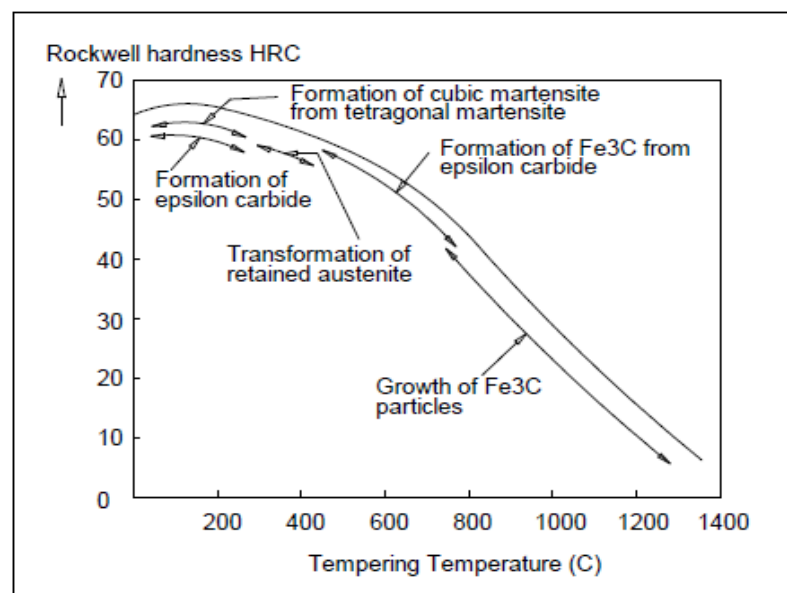
Komposisi Garam	Titik Cair (°C)	Rentang Operasi (°C)
40–50% NaNO ₂ + 50–60% NaNO ₃	143	160-500
40–50% NaNO ₃ + 50–60% KNO ₃	225	230-550
100% KNO ₃	337	350-500
100% NaNO ₃	370	400-600
50% BaCl + 20% NaCl + 30% KCl	540	570-900
80% NaOH + 20% KOH + ^H ₂ O	140	160-200
40–50% KOH + 50–55% NaOH	400	300-400
45–55% CaCl ₂ + 25–30% BaCl ₂ + 15 – 25% NaCl	530	550-650

E). *Tempering*

Proses memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan disebut proses temper. Dengan proses ini, duktilitas dapat ditingkatkan namun kekerasan dan kekuatannya akan menurun. Pada sebagian besar baja struktur, proses temper dimaksudkan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Dengan demikian, proses temper setelah proses pengerasan akan menjadikan baja lebih bermanfaat karena adanya struktur yang lebih stabil.

1). Perubahan Struktur Selama Proses Temper

Proses temper terdiri dari memanaskan baja sampai dengan temperatur di bawah A_1 , dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan di udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat temperatur dinaikkan, baja yang dikeraskan akan mengalami 4 tahapan yaitu :



Gambar 2.16: Perubahan kekerasan dan struktur selama *tempering*

- a). Pada temperatur 80°C dan 200°C , suatu produk transisi yang kaya akan karbon yang dikenal sebagai karbida, berpresipitasi dari martensit tetragonal sehingga menurunkan tetragonalitas martensit atau bahkan mengubah martensit tetragonal menjadi ferit kubik. Periode ini disebut sebagai proses temper tahap pertama. Pada saat ini, akibat keluarnya karbon, volume martensit berkonstraksi. Karbida yang terbentuk pada periode ini disebut sebagai karbida epsilon.
- b). Pada temperatur antara 200°C dan 300°C , austenit sisa mengurai menjadi suatu produk seperti bainit. Penampilannya mirip martensit temper. Periode ini disebut sebagai proses temper tahap kedua. Pada tahap ini volume baja meningkat.
- c). Pada temperatur antara 300°C dan 400°C terjadi pembentukan dan pertumbuhan sementit dari karbida yang berpresipitasi pada tahap pertama dan kedua. Periode ini disebut sebagai proses temper tahap ketiga. Periode ini ditandai dengan adanya penurunan volume dan melampaui efek yang ditimbulkan dari penguraian austenit pada tahap kedua.
- d). Pada temperatur antara 400°C dan 700°C pertumbuhan terus berlangsung dan disertai dengan proses spherodisasi dari sementit. Pada temperature yang lebih tinggi lagi, terjadi pembentukan karbida kompleks pada baja – baja yang mengandung unsur - unsur pembentuk karbida yang kuat. Periode ini disebut sebagai proses temper tahap keempat.

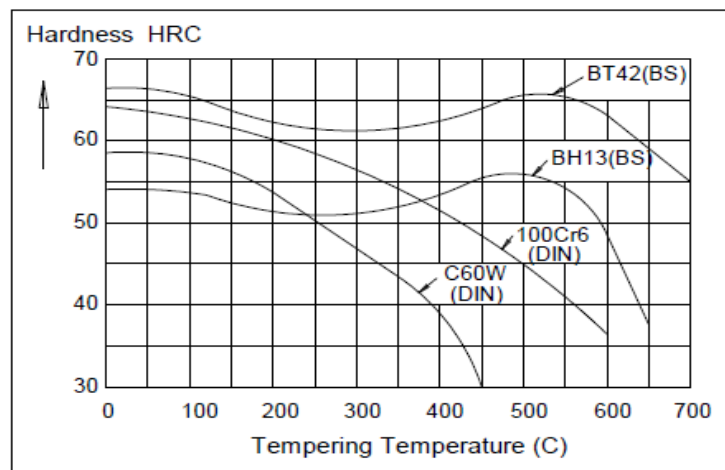
Perlu diketahui bahwa rentang temperatur yang tertera pada setiap tahap proses temper, adalah spesifik. Dalam praktek, rentang temperatur tersebut bervariasi tergantung pada laju pemanasan, lama penempuran, jenis dan sensitivitas

pengukuran yang digunakan. Disamping itu juga tergantung pada komposisi kimia baja yang diproses.

2. Pengaruh Unsur Paduan Pada Proses Temper

Jika baja dipadu, interval diantara tahapan proses temper akan bergeser kearah temperatur yang lebih tinggi, dan itu berarti martensit menjadi lebih tahan terhadap proses penemperan.

Unsur - unsur pembentuk karbida khususnya : Cr, Mo, W, Ti dan V dapat menunda penurunan kekerasan dan kekuatan baja meskipun temperatur tempemnya dinaikkan. Dengan jenis dan jumlah yang tertentu dari unsur - unsur tersebut diatas, dimungkinkan bahwa penurunan kekerasan dapat terjadi pada temperatur antara 400°C dan 600°C, dan dalam beberapa hal, dapat juga terjadi peningkatan kekerasan. Gambar 2.11 menggambarkan fenomena di atas.



Gambar 2.17 : Pengaruh *tempering* pada baja paduan

Pengaruh unsur paduan terhadap penurunan kekerasan diterangkan dengan presipitasi karbon dari martensit pada temperatur temper yang lebih tinggi. Dilain pihak, peningkatan kekerasan pada temperatur temper yang lebih tinggi

(secondary hardening) pada baja - baja yang mengandung W, Mo dan V disebabkan oleh adanya transformasi austenit sisa menjadi martensit.

Pada baja yang mengandung Cr yang tinggi, austenit sisa bertransformasi menjadi martensit pada saat didinginkan dari temperatur temper sekitar 500°C. Peningkatan kekerasan sebagai akibat dari adanya transformasi austenit sisa menjadi martensit merupakan hal yang umum terjadi pada baja – baja paduan tinggi, namun sangat jarang terjadi pada baja - baja karbon dan baja paduan rendah karena jumlah austenit sisanya relatif sedikit. Sedangkan pada baja paduan tinggi jumlah austenit sisanya mencapai lebih dari 5 - 30% .

3. Perubahan Sifat Mekanik

Tempering dilaksanakan dengan cara mengkombinasikan waktu dan temperatur. Proses temper tidak cukup hanya dengan memanaskan baja yang dikeraskan sampai pada temperatur tertentu saja. Benda kerja harus ditahan pada temperatur temper untuk jangka waktu tertentu. Proses temper dikaitkan dengan proses difusi, karena itu siklus penemperan terdiri dari memanaskan benda kerja sampai dengan temperatur dibawah A1 dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu sehingga perubahan sifat yang diinginkan dapat dicapai. Jika temperature temper yang digunakan relatif rendah maka proses difusinya akan berlangsung lambat. Baja karbon, baja paduan medium dan baja karbon tinggi, pada saat dipanaskan sekitar 200°C. kekerasannya akan menurun 1-3 HRC akibat adanya penguraian martensit tetragonal menjadi martensit lain (martensit temper) dan karbida epsilon.

Peningkatan lebih lanjut temperatur *tempering* akan menurunkan kekerasan, kekuatan tarik dan batas luluhnya sedangkan elongasi dan pengecilan penampangannya meningkat.

Gambar 2.12 menggambarkan perubahan sifat mekanik baja yang dikeraskan dikaitkan dengan proses penemperan. Umumnya makin tinggi temperatur temper, makin besar penurunan kekerasan dan kekuatannya dan makin besar pula peningkatan keuletan dan ketangguhannya. Tempering pada temperatur rendah 150°C -230°C (Amstead B.H.) bertujuan meningkatkan kekenyalan / keuletan tanpa mengurangi kekerasan. Tempering pada temperatur tinggi 300°C-675°C meningkatkan kekenyalan / keuletan dan menurunkan kekerasan.

2.5 Baja Karbon

Logam adalah unsur-unsur yang mempunyai sifat - sifat yang kuat, liat, keras, getas dan penghantar listrik atau panas. Karena sifat - sifat tersebut maka logam dipergunakan untuk berbagai macam keperluan sehingga kehidupan manusia kini tidak bisa lepas dari logam. Dalam berbagai bidang teknik, logam murni jarang dipergunakan, yang banyak dipakai adalah paduan – paduannya yaitu campuran antara dua unsur atau lebih logam dengan logam atau dengan metaloid.

1). Sifat Mekanik

Sifat-sifat mekanik dari logam adalah kelakuan dan ketahanan logam terhadap beban – beban terikat, puntiran, gesekan, tekanan, goresan, baik beban-beban statis atau dinamis pada temperatur biasa, temperatur tinggi atau temperatur di bawah nol. Setiap sifat mekanik dapat diuji dengan menggunakan peralatan mekanik dan dievaluasi untuk menentukan kegunaan logam atau perlakuan panas

yang tepat untuk terapan tertentu. Sifat mekanik suatu logam meliputi kegetasan, keliatan, elastisitas, kekerasan, plastisitas, ketangguhan takik dan kekuatan. Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan bahan (logam) terhadap penetrasi penekan. Untuk mengetahui nilai kekerasan, Metode yang sering digunakan adalah metode Vickers, Brinnell dan metode Rockwell.

a. Metoda Pengujian Kekerasan Brinell

Pada metoda Brinell, indentor yang digunakan berbentuk bola yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan. Beban atau gaya penekanan yang diberikan adalah antara 500 – 3000 kilogram. Nilai kekerasannya merupakan perbandingan antara beban penekanan terhadap luas indentasi. Skematika dan Formulasi untuk menghitung nilai kekerasan metoda Brinell adalah sebagai berikut:

$$HBN = 2F / (3.14D \times (D - \sqrt{D^2 - D^2}))$$

BHN = Bilangan kekerasan Brinell, the Brinell hardness number

F = Beban, Gaya tekan dalam kg, the imposed load in kg

D = Diameter Indentor Bola dalam mm, the diameter of the spherical indenter in mm

D = Diameter jejak indentasi dalam mm, diameter of the resulting indenter impression in mm

b. Metoda Pengujian Kekerasan Rockwell.

Pengujian kekerasan metoda Rockwell menggunakan indentor berupa bola baja yang dikeraskan atau dapat juga menggunakan indentor berupa kerucut intan. Beban atau gaya yang digunakan untuk penekanan adalah bervariasi tergantung pada logam yang diuji. Nilai kekerasannya didasarkan pada kedalaman indentasi

yang terjadi. Nilai kekerasan metode Rockwell dibagi dalam Skala kekerasan yaitu: kekerasan Rockwell skala C, biasa ditulis dengan HRC.

Kekerasan Rockwell skala B ditulis dengan HRB. Kekerasan Rockwell skala B digunakan untuk bahan atau logam yang relative lunak, sedangkan Rockwell skala C digunakan untuk logam yang relative keras. Kekerasan Rockwell B menggunakan indenter bola baja berdiameter 1,6 mm dengan beban 100 kilogram. Sedangkan kekerasan Rockwell skala C menggunakan indenter kerucut intan dengan beban penekanan sebesar 150 kilogram.

c. Metoda Pengujian Kekerasan Vickers

Prinsip dari pengujian kekerasan metode Vickers mirip dengan metode Brinell. Sudut indenter piramida berlian Vickers adalah 136 derajat, Jejak indentasi yang dihasilkan oleh indenter Vickers lebih jelas, daripada jejak indenter dari pengujian metoda Brinell.

Sehingga metode ini memiliki akurasi yang lebih baik. Karena kelebihan ini, maka metoda Vickers lebih banyak digunakan dalam dunia penelitian dan pendidikan. Aplikasi dari metoda ini sangat luas, mulai untuk logam yang memiliki nilai Vickers rendah 5 HV pada logam yang lunak, sampai logam dengan nilai Vicker tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras.

Beban, yang digunakan sangat bervariasi mulai dari 1kgf sampai 120 kgf, untuk uji kekerasan makro, dan 15 – 1000 gram untuk uji kekerasan mikro. Waktu yang digunakan untuk pembebanan indentasi biasanya adalah selama 30 detik. Bilangan kekerasan Vickers (HV) dihitung dengan formula:

$$HV = 1,854 \times F / D^2$$

F = beban yang diterapkan, kg

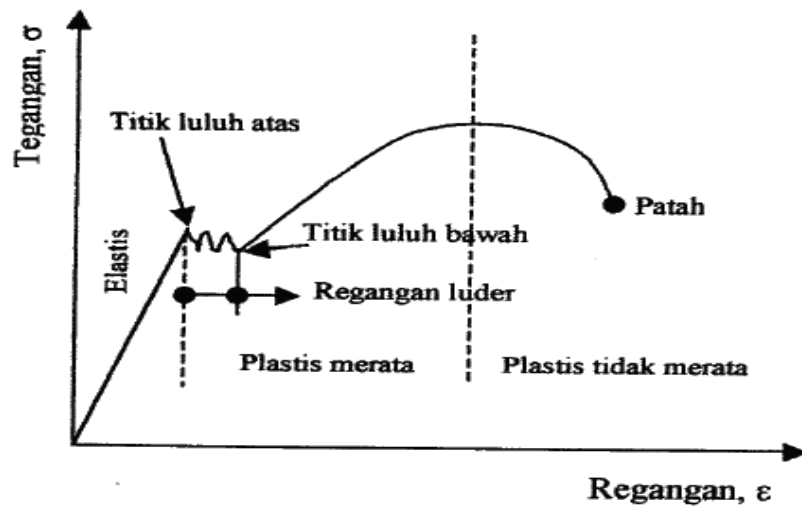
D = panjang diagonal jejak indentasi, mm

Panjang diagonal dari jejak indentasi diukur dengan menggunakan mikroskop optik, yang biasanya merupakan bagian integral atau satu kesatuan dari peralatan uji Vickers.

Kekuatan yaitu kemampuan untuk menahan perubahan bentuk atau ukuran apabila dikenakan gaya - gaya luar. Ada tiga jenis dasar tegangan yaitu Tegangan tarik, tegangan tekan (bending test) dan tegangan geser.

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan yang dipergunakan untuk memperkirakan karakteristik bahan dalam perencanaan suatu konstruksi. Kekuatan tarik dapat ditentukan dengan pengujian tarik yang berbanding terbalik dengan luas penampang mula - mula.

Elastisitas adalah kemampuan suatu logam untuk meregang pada bahan tertentu, kemudian kembali ke bentuk dan ukuran semula pada waktu beban lepas. Batas elastisitas adalah beban terbesar yang dapat ditahan oleh material agar material dapat kembali ke bentuk dan ukurannya semula.apabila beban dilepas. Batas elastisitas dapat dengan mudah ditentukan pada diagram tegangan – regangan yaitu batas garis lurus grafik tegangan – regangan.



Gambar 2.18 :Diagram hubungan tegangan – regangan

Dimana titik A adalah batas elastis yaitu daerah yang masih berlakunya Hukum Hook, titik B adalah tegangan tertinggi yang belum memberikan regangan plastis. Tegangan tersebut sering disebut tegangan Yielding (y). Titik D adalah tegangan tertinggi yang dapat diberikan sebagai tahanan atau reaksi terhadap beban dan titik E adalah titik patah.

Sifat plastisitas suatu bahan untuk menunjukkan suatu keadaan di mana material tersebut jika dibebankan terjadi deformasi yang tetap (permanen). Awal terjadinya deformasi di tandai dengan terjadinya pergeseran atom- atom atau molekul - molekul dalam material tersebut.

Logam yang mengalami deformasi plastis mempunyai kekuatan yang tinggi akibat distorsi yang terjadi, sehingga atom - atom atau molekul - molekul semakin rapat.

Kekuatan suatu material dinyatakan oleh modulus elastisitas yang disebut Modulus Young. Modulus Young menyatakan hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi setiap titik pada daerah elastis.

$$\text{Modulus elastisitas (E)} = \frac{\text{Tegangan (} \sigma \text{)}}{\text{Regangan (} \varepsilon \text{)}} \text{ (kg/mm)}$$

Ketangguhan takik (kekuatan benturan) adalah kemampuan suatu logam untuk tidak pecah atau retak karena gaya benturan apabila terdapat takik atau pengganda tegangan pada 1 logam tersebut. Takik atau tekukan pada suatu komponen akan menurunkan ketahanan kejutan logam komponen tersebut karena takik akan mengkonsentrasikan tegangan pada daerah yang sempit.

2). Sifat Fisik

Sifat fisik suatu bahan pada umumnya menyangkut karakteristik thermal, menyangkut daya hantar panas, muai panas, panas jenis. Dengan naiknya temperatur maka terjadi pergerakan elektron dalam atom yang dapat menimbulkan pemuaiian.

3). Sifat Teknologi

Sifat teknologi suatu bahan didefinisikan sebagai kemampuan bahan tersebut untuk dibentuk. Sifat teknologi ini mencakup sifat mampu las, mampu tempa, mampu mesin dan sifat pengerjaan panas atau dingin. Menurut baja standar, maka baja dikelompokkan menjadi beberapa bagian yaitu :

- a. Baja karbon rendah sekali (Mild Steel).
- b. Baja karbon rendah (Low Carbon Steel)

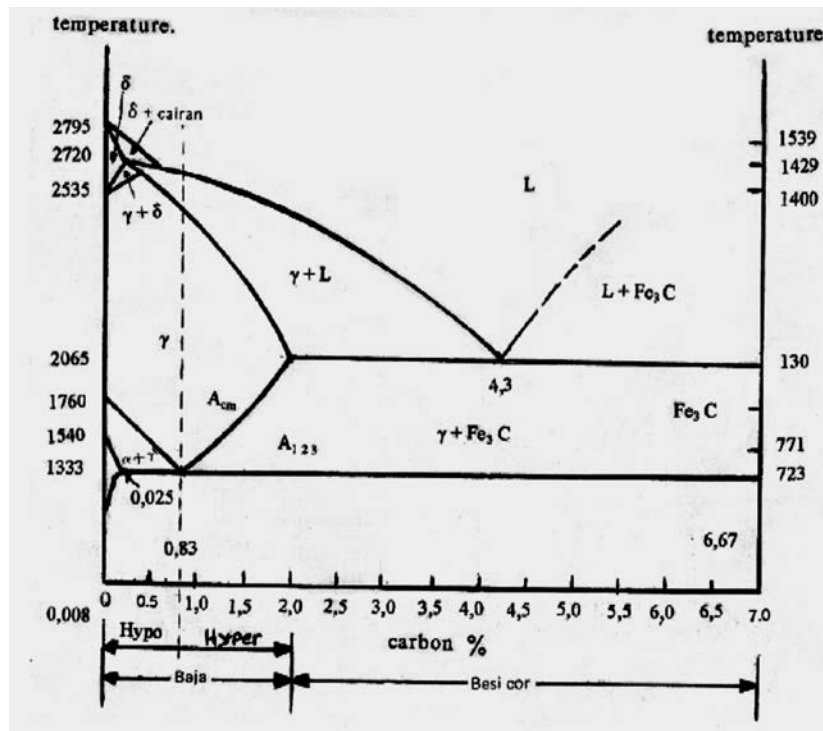
c. Baja karbon menengah (Middle Carbon Steel).

d. Baja karbon tinggi (High Carbon Steel).

Diagram fasa Fe – C sangat bermanfaat untuk memahami dan menerangkan sifat dari logam. Diagram ini merupakan landasan untuk proses perlakuan panas pada kebanyakan jenis baja yang kita kenal.

Pada diagram ini dapat dibedakan menjadi dua macam material teknik berdasarkan kandungan karbonnya. Untuk kadar karbon antara 0,008 – 2,0 persen disebut baja, sedangkan untuk tingkat kandungan karbonnya antara 2,0 – 6,67 persen disebut besi cor. Bila diperinci lagi maka baja dapat diklasifikasikan.

menjadi baja hypoeutectoid dengan kandungan karbon antara 0,008 – 0,83 persen, baja eutectoid dengan kandungan karbon adalah 0,83 – 2,0 persen.



Gambar 2.19 : Diagram Fasa Fe – C