

11-12 : PERLAKUAN PANAS

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan material yang terkontrol dengan maksud merubah sifat fisik untuk tujuan tertentu. Secara umum proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

- a. Pemanasan material sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu pula.
- 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.

1. *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 :

1. Menurunkan kekerasan
2. Menghilangkan tegangan sisa
3. Memperbaiki sifat mekanik
4. Memperbaiki mampu mesin dan mampu bentuk
5. Menghilangkan terjadinya retak panas

6. Menurunkan atau menghilangkan ketidak homogenan struktur
7. Memperhalus ukuran butir
8. Menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas.

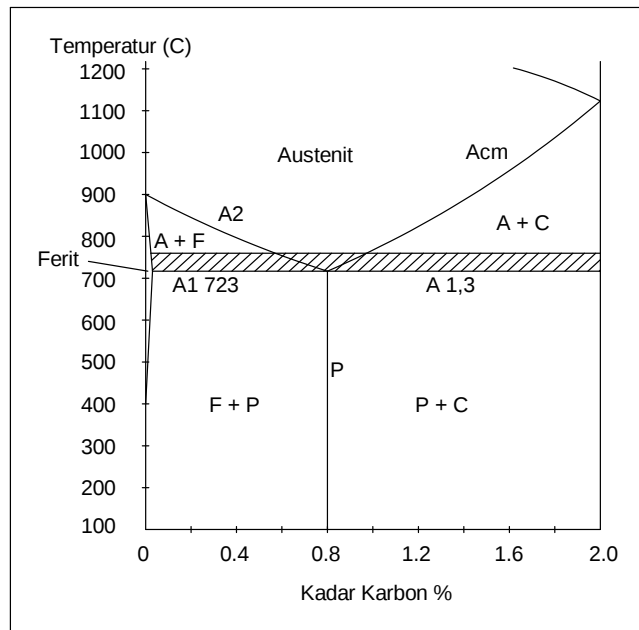
Proses Anil tidak dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mekanik baja perlitik dan baja perkakas. Sifat mekanik baja struktural diperbaiki dengan cara dikeraskan dan kemudian diikuti dengan tempering. Proses Anil terdiri dari beberapa tipe yang diterapkan untuk mencapai sifat-sifat tertentu sebagai berikut :

1.1. *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.

1.2. *Spheroidized Annealing*

Spheroidized annealing dilakukan dengan memanaskan baja sedikit diatas atau dibawah temperatur kritik A₁ (lihat Gambar 11.1) kemudian didiamkan 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 11.1: Diagram untuk temperatur *Spheroidized annealing*

1.3. *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 - 60°C dibawah garis A_1 (menahan secara *isothermal* pada daerah *perlit*) .

1.4. Proses Homogenisasi

Proses ini dilakukan pada rentang temperatur 1100 - 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 ketidakhomogenan tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, maka perlu diterapkan proses homogenisasi atau "*diffusional annealing*". Proses homogenisasi dilakukan selama beberapa jam pada temperatur sekitar 1150 - 1200°C. Setelah itu, benda kerja didinginkan ke 800 - 850°C, dan selanjutnya didinginkan diudara. Setelah proses ini, dapat juga dilakukan proses normal atau anil untuk memperhalus struktur *over-heat*. Perlakuan seperti ini hanya dilakukan untuk kasus-kasus yang khusus karena biaya prosesnya sangat tinggi.

1.5. *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 di dalam 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 - 700°C, tergantung pada jenis baja yang diproses. Pada temperatur diatas 500 - 600°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.

1.5.1. 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.

1.5.2. 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 $550 - 700^{\circ}\text{C}$, tergantung pada jenis baja yang diproses. Pada temperatur di atas $500 - 600^{\circ}\text{C}$, 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 :

Jenis Baja	Temperatur
HSS	$650 - 700^{\circ}\text{C}$
Hot-worked	$650 - 670^{\circ}\text{C}$
Cold – worked	$650 - 700^{\circ}\text{C}$
Nitriding	$550 - 600^{\circ}\text{C}$
High Temperature	$600 - 650^{\circ}\text{C}$
Bearing	$600 - 650^{\circ}\text{C}$
Free - cutting	$600 - 650^{\circ}\text{C}$

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° dibawah temperatur tempernya.

Tegangan sisa yang terjadi akibat proses pengelasan dapat dihilangkan dengan memanaskan benda kerja sekitar $600 - 650^{\circ}\text{C}$ 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 - 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 - 400° C pada atau dibawah temperatur tempernya 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 tempernya.

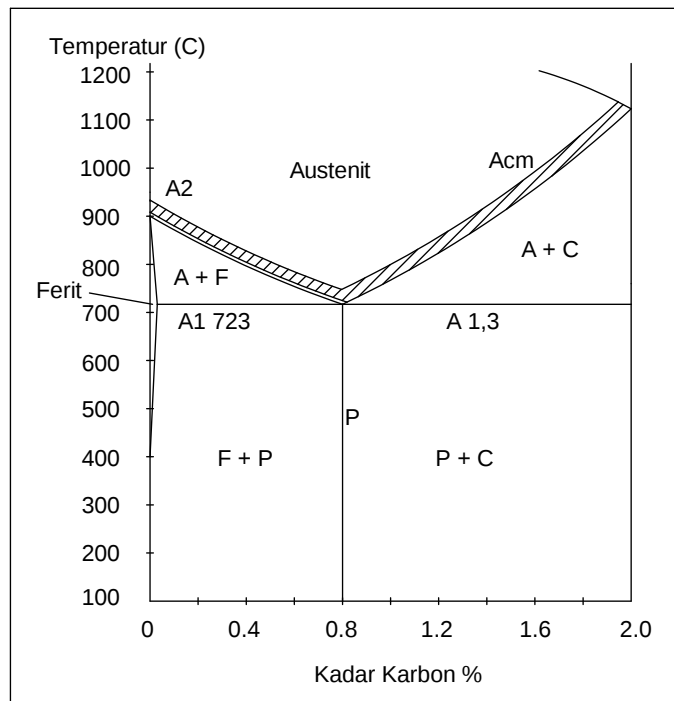
1.5.3. Tungku Pemanas untuk Stress Relieving

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.

2. *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 kritis A_3 atau A_{cm} dan ditahan pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu tergantung pada jenis dan ukuran baja (lihat Gambar 11.2). Agar diperoleh austenit yang homogen, baja-baja *hypoeutektoid* dipanaskan 30 - 40°C diatas garis A_3 dan untuk baja *hypereutektoid* dilakukan dengan memanaskan 30 - 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 11.2: 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 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 pada temperatur 30 – 40°C di atas garis A_3 . 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:

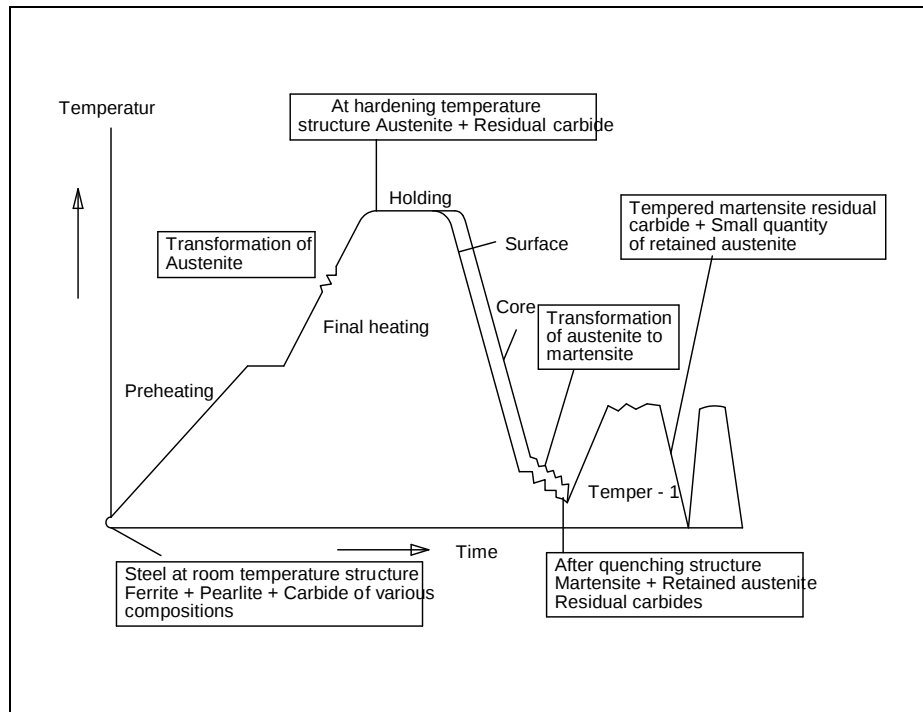
1. *Normalizing* biasa digunakan untuk menghilangkan struktur butir yang kasar yang diperoleh dari proses pengerjaan sebelumnya yang dialami oleh baja.
2. *Normalizing* berguna untuk mengeliminasi struktur kasar yang diperoleh akibat pendinginan yang lambat pada proses anil.
3. Berguna untuk menghilangkan 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.

3. *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 (lihat Gambar 11.3).



Gambar 11.3: Grafik pemanasan, *quenching* dan *tempering* (Suratman,1994)

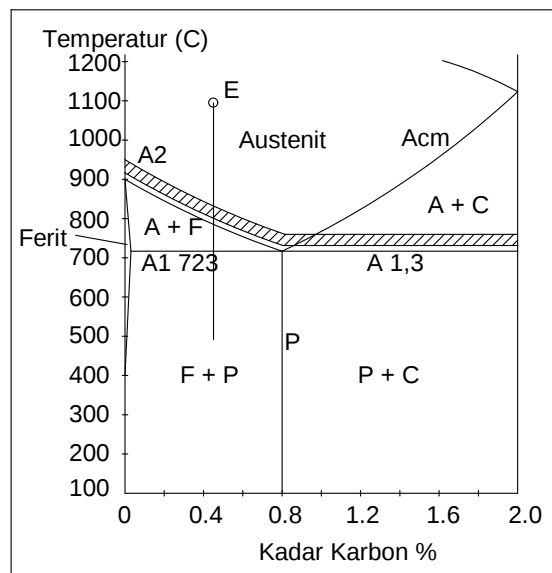
Pada tahap ini, karbon yang terperangkap akan menyebabkan tergesernya atom-atom sehingga terbentuk struktur *body center tetragonal*. Atom-atom yang tergeser dan karbon yang terperangkap akan menimbulkan struktur sel satuan yang tidak setimbang (memiliki tegangan tertentu). Struktur yang bertegangan 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 (Suratman,1994).

Tujuan utama proses pengerasan adalah untuk meningkatkan kekerasan benda kerja dan meningkatkan ketahanan aus. Makin tinggi kekerasan akan semakin tinggi pula ketahanan ausnya.

3.1. Temperatur Pemanasan

Temperatur pengerasan yang digunakan tergantung pada komposisi kimia (kadar karbon). Temperatur pengerasan untuk baja karbon *hipoeutektoid* adalah sekitar 20 - 50⁰ C di atas garis A₃, dan untuk baja karbon *hipereutektoid* adalah sekitar 30 - 50⁰ C diatas garis A₁₃ (lihat Gambar 11.4)

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.



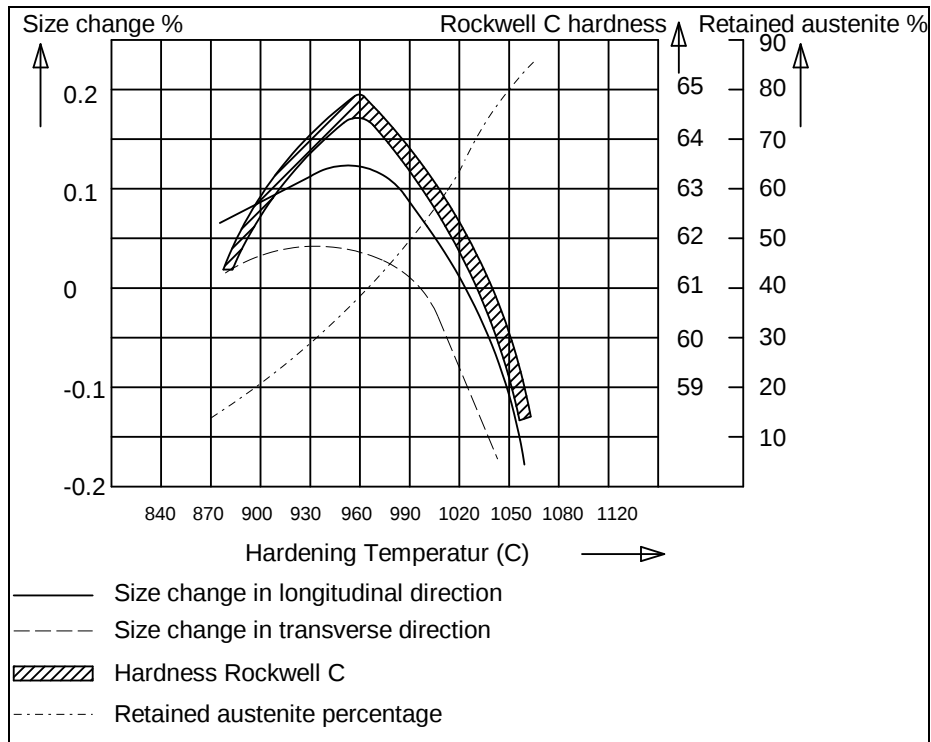
Gambar 11.4: Temperatur pemanasan sebelum *Quenching* (Suratman,1994)

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 (lihat Gambar 11.5).



Gambar 11.5 : Grafik hubungan antara Temperatur, kekerasan dan kandungan austenit (Suratman,1994)

3.2. Tahapan Pekerjaan Sebelum Proses *Quenching*

Benda kerja yang akan dikeraskan terlebih dahulu dibersihkan dari terak, oli dan sebagainya, hal ini dilakukan agar kekerasan yang diinginkan dapat dicapai. 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 (*pre-heat*). sedangkan benda kerja yang besar dan bentuknya rumit dapat dilakukan pemanasan awal untuk mencegah distorsi dan retak akibat tidak

homogennya 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 - 600⁰ C, pada temperatur ini tegangan dalam yang berkembang akibat tidak homogennya pemanasan dipermukaan dan di bagian 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 marahan 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.

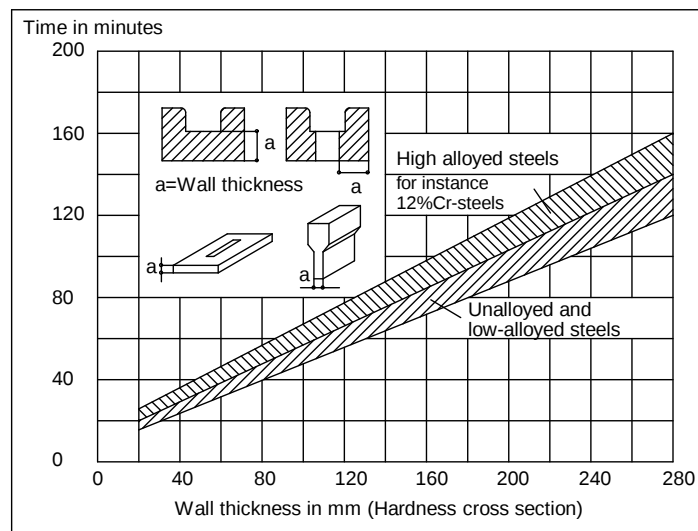
Penting untuk diketahui bahwa benda kerja yang akan dikeraskan harus memiliki struktur yang homogen dan halus. Jika benda kerja yang akan dikeraskan memiliki struktur yang kasar setelah dikeraskan akan diperoleh kekerasan yang tidak homogen, distorsi dan retak pada saat dipanaskan maupun pada saat *diquench*. 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.

3.3. 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 11.6, dapat dijadikan pegangan untuk menentukan lama pemanasan untuk baja-baja konstruksi dan perkakas setelah temperatur pengerasannya dicapai.

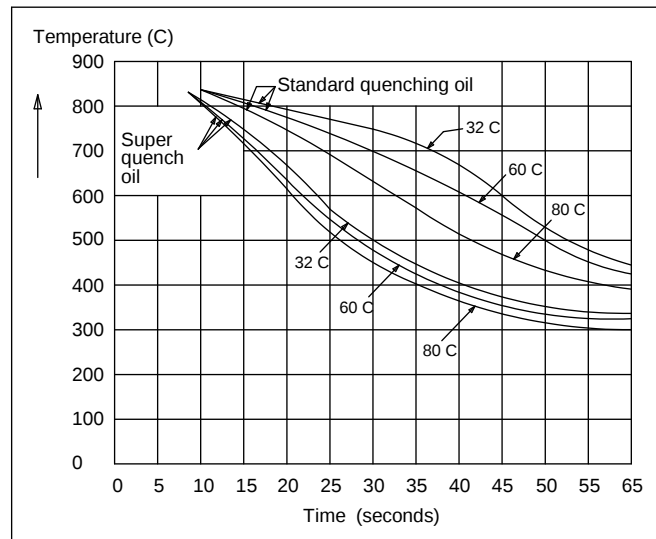


Gambar 11.6 : Grafik lama pemanasan dengan tebal dinding dari benda kerja yang dihardening (Suratman,1994).

3.4. 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 diquench di oli relatif rendah karena tingginya titik didih dari oli. Memanaskan oli sampai sekitar $40 - 100^{\circ}\text{C}$ sebelum proses *quenching* akan meningkatkan laju pendinginan (lihat Gambar 11.7).



Gambar 11.7: Pengaruh suhu oli pada kecepatan *quenching* (Thelning,1984).

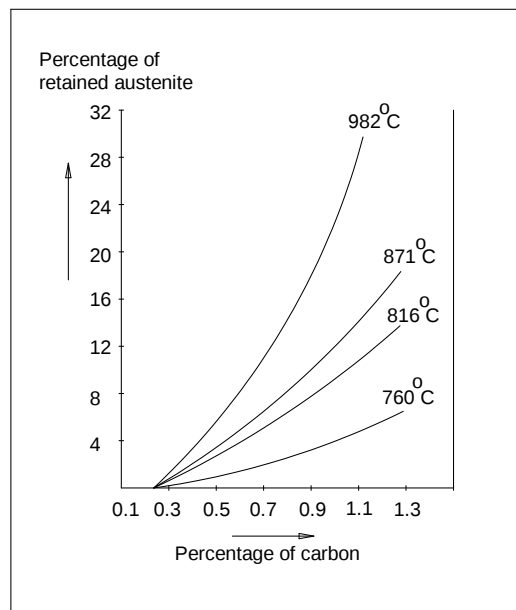
Dengan ditingkatkannya temperatur oli akan menjadikan oli lebih encer sehingga meningkatkan kapasitas pendinginannya. Faktor-faktor yang mengatur penyerapan panas dari benda kerja adalah panas spesifik, konduktivitas termal, panas laten penguapan dan viskositas di yang digunakan. Umumnya makin rendah viskositas makin cepat laju pendinginannya. Temperatur maksimum dari oli yang digunakan harus 25°C dibawah titik didih oli yang bersangkutan (Suratman,1994).

3.5. 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 unsur pembentuk karbida . Penambahan unsur-unsur paduan seperti Cr, Mo, V, W, T dapat menolong untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan, unsur-unsur ini merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat.

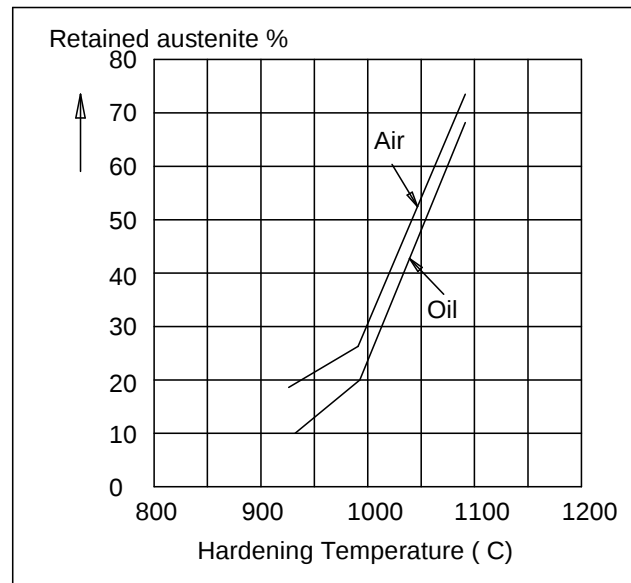
3.6. Pembentukan Austenit Sisa

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 austenit sisa. Dimana sejumlah austenit sisa yang terbentuk akan semakin meningkat dengan meningkatnya kadar karbon (lihat Gambar 11.8).



Gambar 11.8: Hubungan antara kadar karbon dengan austenit sisa (Suratman,1994).

Kadar karbon yang tinggi akan menurunkan garis Ms, sehingga jumlah austenit sisanya akan semakin banyak. Selain itu juga pengaruh temperatur pengerasan juga akan menurunkan temperatur Ms (martensit start), sehingga jumlah austenit sisa akan semakin banyak dengan naiknya suhu austenisasi (lihat Gambar 11.9).



Gambar 11.9 : Hubungan antara temperatur pengerasan dengan jumlah austenit sisa yang terbentuk (Purwanto,1995)

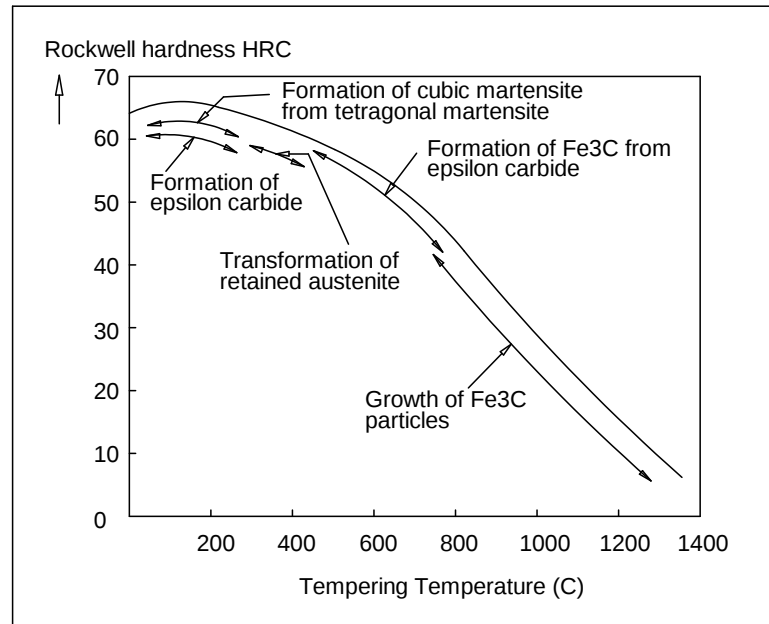
4. *Tempering*

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.

4.1. 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 (lihat Gambar 11.10):



Gambar 11.10: Perubahan kekerasan dan struktur selama *tempering* (Suratman,1994)

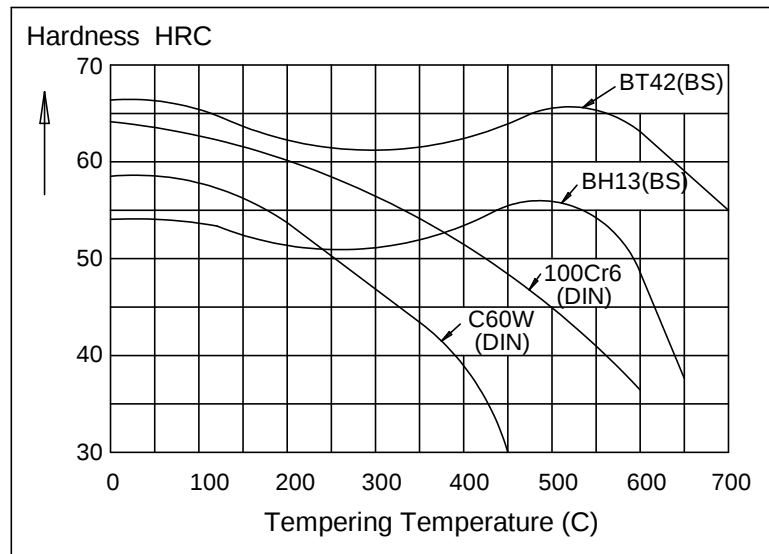
1. Pada temperatur 80 dan 200^o C, suatu produk transisi yang kaya akan karbon yang dikenal sebagai karbida, berpresipitasi dari martensit tetragonal sehingga menurunkan tetragonalitas martensit atau bahkan mengubah martensit tetragonal menjadi ferit kubik. Periode ini disebut sebagai proses temper tahap pertama. Pada saat ini, akibat keluarnya karbon, volume martensit berkonstraksi. Karbida yang terbentuk pada periode ini disebut sebagai karbida epsilon.
2. Pada temperatur antara 200 dan 300^o 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.

3. Pada temperatur antara 300 dan 400⁰ 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.
4. Pada temperatur antara 400 dan 700⁰ C pertumbuhan terus berlangsung dan disertai dengan proses sperodisasi dari sementit. Pada temperatur 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.

4.2. 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 penempuran. 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 dan 600⁰ C, dan dalam beberapa hal, dapat juga terjadi peningkatan kekerasan. Gambar 11-11 menggambarkan fenomena di atas.



Gambar 11-11 : Pengaruh *tempering* pada baja paduan (Suratman,1994).

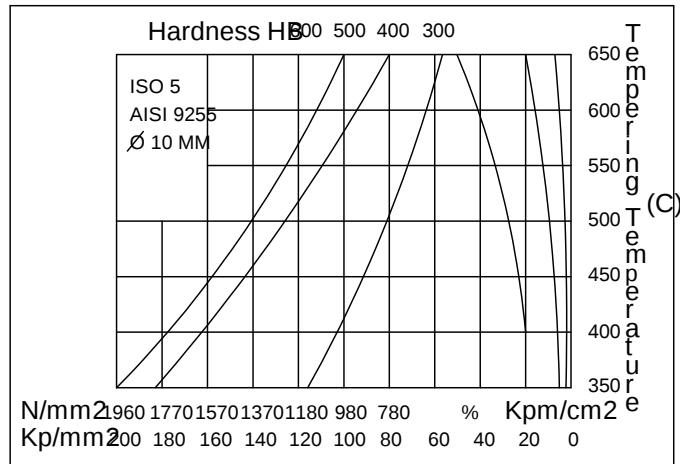
Pengaruh unsur paduan terhadap penurunan kekerasan diterangkan dengan presipitasi karbon dari martensit pada temperatur temper yang lebih tinggi. Dilain pihak, peningkatan kekerasan pada temperatur temper yang lebih tinggi (*secondary hardening*) pada baja-baja yang mengandung W, Mo dan V disebabkan 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^o 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% (Suratman,1994).

4.3. 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 A_1 dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu sehingga perubahan sifat yang diinginkan dapat dicapai. Jika temperatur 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 11-12 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 $150-230^{\circ}\text{C}$ (Amstead B.H.) bertujuan meningkatkan kekenyalan / keuletan tanpa mengurangi kekerasan. Tempering pada temperatur tinggi $300-675^{\circ}\text{C}$ meningkatkan kekenyalan / keuletan dan menurunkan kekerasan.

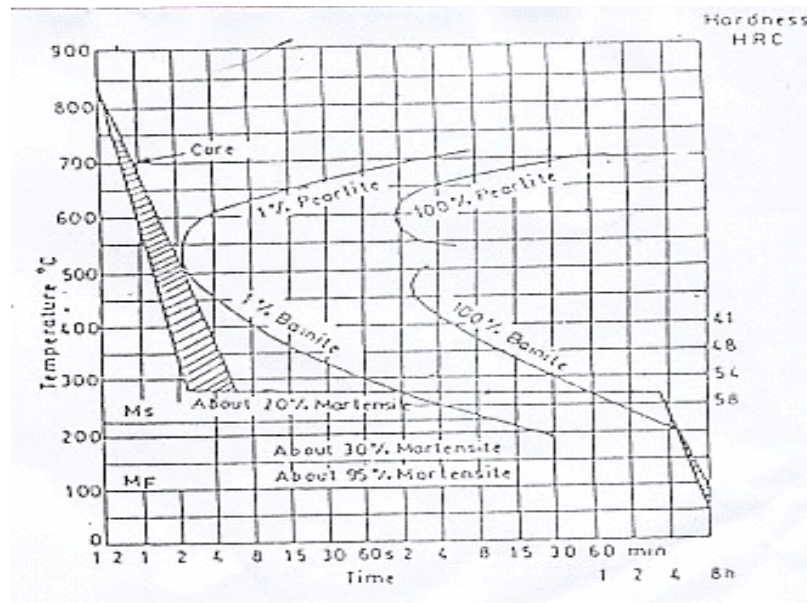


Gambar 11-12: Pengaruh temperatur *tempering* terhadap sifat mekanis

5. *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 temperatur 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 11.13 dengan waktu penahan bervariasi 5 sampai dengan 30 menit atau 1 jam pada temperatur austempering 250 – 270 °C. tetapi temperatur perlakuan dan lama penahan yang tepat harus ditentukan dari diagram transformasi yang sesuai dengan baja yang akan di austempering.



Gambar 11.13 : Diagram temperatur austempering terhadap waktu

Kekerasan bainit yang diperoleh dari transformasi pada suatu kondisi tertentu secara kasar identik dengan kekerasan martensit yang ditemper 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 temperaturnya 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 $200 - 500^{\circ}\text{C}$.

Delay quenching adalah istilah yang diterapkan pada proses quenching dimana komponen setelah dikeluarkan dari tungku pada temperatur 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 dibanding 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 di bagian 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 – 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* di bawah ini:

Tabel 11.1 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