

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1. Penggunaan Proses Perlakuan Panas

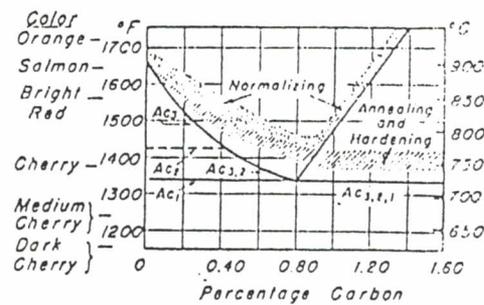
Proses perlakuan yang terbaik adalah yang dilaksananakan dengan menggunakan tanur (tungku) pemanas, sehingga suhu dan kecepatan pendinginan dapat dikendalikan dengan baik. Selain itu juga untuk dapat menghindari terjadinya oksidasi dan dekarburasi selama baja dipanaskan. Oksidasi dan karburasi baja akan menurunkan kekuatan tariknya, kekerasan, kekekuatan kelelahan, sifat elastis dan ketahanan terhadap sobekan (wear resistance).

Sementara proses dekarburasi baja itu sendiri tidak dapat dilihat dengan mata, sehingga sulit untuk dideteksi sejauh mana hal tersebut terjadi.

Beberapa proses perlakuan panas yang sering dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat baja yang tertentu antara lain :

a. Proses Annealing

Proses annealing dilakukan pada baja untuk mendapatkan struktur baja yang lunak, mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan memperhalus butiran kristal. Proses ini dilaksanakan dengan memanaskan baja sampai suhu transformasi A_3 seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gbr. 2.1. Daerah Suhu Untuk Pengerjaan Panas
Dari baja Karbon.

Kemudian ditahan pada suhu tersebut hingga terdapat suhu yang uniform, untuk kemudian didinginkan secara terlambat sampai suhu normal.

Hal ini mengakibatkan transformasi struktur menjadi struktur yang stabil sehingga didapatkan sifat yang lebih rendah kekuatan tarik dan kekerasannya kekenyalan yang tinggi, mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan mudah sobek. Sifat-sifat yang dibentuk oleh proses Annealing ini diperlakukan untuk mengubah sifat baja yang telah di proses secara dingin yang mengakibatkan terjadinya kegetasan dan kekerasan yang tinggi sekali.

b. Proses normalising dan Spheroidizing

Untuk baja dengan kadar karbon lebih dari 1%, proses Annealing yang menggunakan pendinginan lambat akan mengakibatkan terbentuknya karbida baja yang

berlebihan, yang akan membuatnya sulit dikerjakan dengan mesin perkakas. Untuk menghindari hal tersebut, dilakukan proses normalizing sehingga hasil yang didapatkan mirip dengan proses Annealing.

Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja hingga suhu transformasi A_{cm} (gambar 2.1) kemudian dilanjutkan dengan pendinginan udara kemudian sampai suhu normal kembali.

Apabila proses ini dilanjutkan dengan pemanasan kembali hingga suhu transformasi A_1 (Gb. - 2.1) maka akan didapatkan struktur yang lebih lunak dan lebih mudah untuk dikerjakan dengan mesin perkakas, karena strukturnya menjadi Pheroid. Struktur yang Pheroid ini terjadi pada semua bagian baja, sehingga seluruh bagian menjadi lebih homogenzation.

c. Proses Quenching dan Tempering

Kedua proses diatas adalah proses dasar yang terjadi pada proses perlakuan panas, yaitu untuk menaikkan kekerasan dan kekuatan baja meskipun akan menambah kegetasannya serta yang kedua adalah sebaliknya.

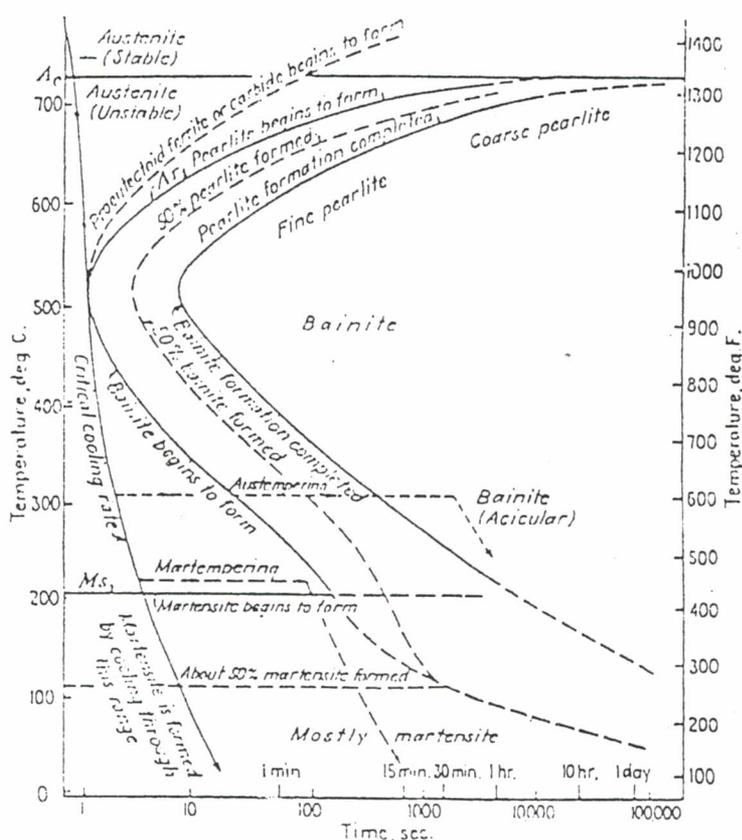
Proses Quenching dilakukan dengan memanaskan baja hingga suhu transformasi yang sama dengan

untuk proses Annealing (gambar 2.1) dan kemudian didinginkan dengan cepat, semakin cepat pendinginan dilakukan semakin keras struktur - baja yang dihasilkan oleh proses tersebut.

Sedang apa bila proses ini diteruskan dengan pemanasan kembali dibawah suhu transformasi secara merata keseluruh bagian baja, maka sifat-sifat tersebut akan berkurang lagi. Proses ini yang dinamakan proses tempering.

Proses temperingpun dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu proses Austempering yang menahan lajunya proses quenching dan proses martempering yang mencegah terjadinya struktur - martensite terlalu cepat.

Kedua proses ini dapat terlihat pada gambar 2.2 berikut ini.



Gbr. 2.2. Diagram T.T.T Dari Baja Karbon -
Untuk Menunjukkan Proses Austempering Dan Martempering.

d. Proses Surface Hardening

Proses hardening yaitu proses yang dilakukan untuk mendapatkan sifat keras yang hanya pada permukaan dari baja tersebut.

Proses ini dapat dilakukan dengan berbagai macam cara antara lain proses karburizing, proses flame hardening dan proses induction hardening. Kesemuanya proses tersebut diatas sering dilakukan juga dibidang industri perkapalan.

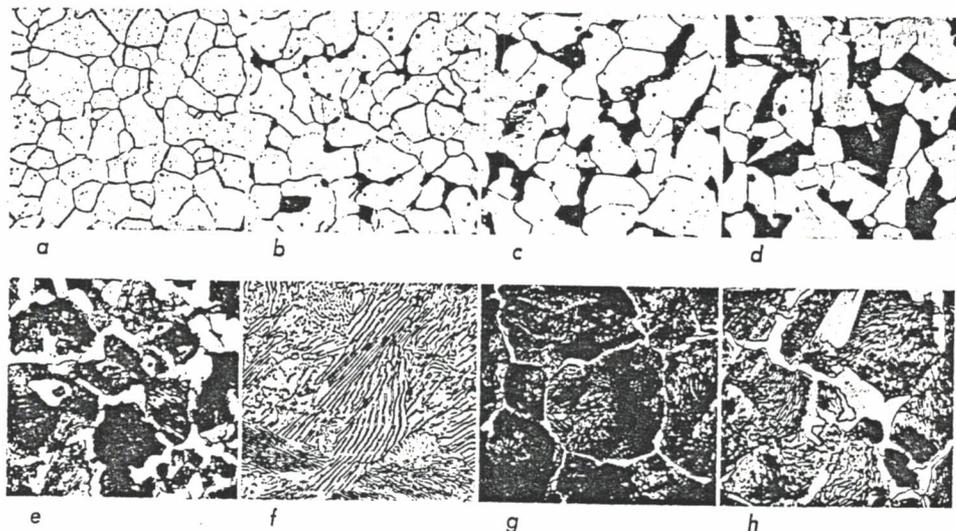
2.2. Struktur Baja Yang Tidak Dipadu

Baja yang memperoleh sifatnya seperti kekerasan, kekuatan dan kesuaian regang terutama berkat zat arang, melainkan juga dengan cara mengadakan ikatan dengan besi yang bisa mempengaruhi sifat dari baja. Didalam baja yang didinginkan yang sangat lambat untuk menuju suhu ruangan (keadaan awal) dari pada baja.

Didalam baja yang didinginkan tersebut dibedakan menjadi 3-bentuk utama kristal :

- a. Ferrite, kristal besi murni (ferrum = Fe), mereka terletak rapat saling berdekatan, tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya.
- b. Karbide besi (Fe_3C), suatu senyawa kimia antara besi (Fe) dengan zat arang (C). Sebagai unsur-struktur tersendiri, ia dinamakan sementite dan mengandung 6,7% zat arang. Rumus kimia Fe_3C menyatakan bahwa senantiasa ada 3 atom besi yang menyelenggarakan ikatan dengan sebuah atom zat arang (C)-menjadi sebuah molekul karbide besi. Dengan meningkatnya kandungan zat arang (C), maka membesar pula unsur paling keras (Fe_3C) 270 kali lebih keras dari pada besi murni. Zat arang bebas hanya bisa terdapat dalam besi tuang (grafit).
- c. Perlite, kelompok campuran erat antara ferrite dan sementite dengan kandungan zat arang seluruhnya se

luruhnya sebesar 0,8%. Dalam struktur perlite, semua kristal ferrite dimasuki serpih sementit halus yang memperoleh penempatan saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel. Tampak pengasahan - perlite menunjukkan jalur hitam (Fe) dan terang- (Fe_3C) dengan kilapan mirip induk mutiara, dari sini asalnya sebutan perlit (3f).



Gbr. 2.3. Tampak Struktur Baja Zat Arang

Unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja juga berpengaruh pada struktur baja secara keseluruhan, dimana secara umum unsur yang terkandung dalam paduan baja dapat berupa senyawa karbida maupun tidak.

Paduan yang berupa senyawa karbida cenderung untuk menambah kekuatan dan kekerasan baja, tetapi membuatnya getas.

Beberapa unsur paduan serta pengaruh yang ditimbulkannya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

' Unsur '	' Pengaruh pd '	' Pengaruh pd '	' Pengaruh pd '	' Pengaruh '
' Paduan '	' kekuatan '	' pembentukan '	' temperatur '	' pd keke-
' '	' ferrite '	' Karbida '	' Transformasi '	' rasan '
' Mangan '	' Kuat '	' Lemah '	' Menurunkan '	' Kuat '
' Silikon '	' Kuat '	' - '	' Menaikkan '	' Sedang '
' Phospor '	' Kuat '	' - '	' Menaikkan '	' Sedang '
' Nikel '	' Sedang '	' - '	' Menurunkan '	' Sedang '
' Chrom '	' Lemah '	' Sedang '	' ** '	' Kuat '
' Tembaga '	' Sedang '	' - '	' Menurunkan '	' Lemah '
' Molibd. '	' Kuat '	' Kuat '	' Menaikkan '	' Kuat '
' Vanadium '	' Lemah '	' Kuat '	' Menaikkan '	' Biasa '
' Wolfrom '	' Sedang '	' Kuat '	' Menaikkan '	' Sedang '

Keterangan :

* Akan menjadi kuat bila terlarut seluruhnya dalam austenite.

** Menaikkan atau menurunkannya tergantung dari kadar karbonnya.

Tabel 2.1. Pengaruh Beberapa Unsur Paduan Pada Baja Karbon.

2.3. Pengaruh Sistim Pemanasan Dan Pendinginan Air

Pengertian perlakuan pemanasan suatu logam/besi adalah suatu cara yang dapat mengakibatkan berubahnya struktur material besi/baja melalui pemanasan.

Dalam hal ini bentuk dari pada bahan adalah sama kecuali perubahan akibat regangan panas. Yang disebut dengan struktur dalam logam dan struktur tersebut dapat dilihat jika kepingan logam yang terasah dan teretsa (asam salpeter) diletakkan dibawah mikroskop.

Jika akibat pemanasan dan pendinginan tersebut material dapat mengalami perubahan bentuk maupun perubahan struktur dari pada material tersebut. Perubahan struktur pada material dapat berupa pemuaian serta pengkerutan dari kristal atau pergeseran bidang kristal.

Karena perubahan struktur dari suatu bentuk ke bentuk lainnya tidak selalu sama, maka perubahan bentuk dan dimensinya pun tidak selalu sama atau beraturan.

Karena didalam logam/besi tersebut sudah mengalami perubahan bentuk maupun perubahan struktur logamnya yang diakibatkan dengan adanya pemanasan dan memakai pendinginan secara mendadak dengan air, maka akan mempengaruhi kekuatan tarik dari pada material tersebut.

Pada pembahasan-pembahasan selanjutnya dikhususkan pada sifat serta karakteristik baja secara umum.

Struktur kristal baja, apa bila dilakukan pemanasan dan pendinginan air secara mendadak, maka akan mengalami -

perubahan, dan besarnya perubahan yang terjadi akan tergantung pada tingginya suhu pemanasan serta kecepatan pendinginan yang dilakukan. Dengan demikian pada sub bagian tentang perlakuan panas terhadap material, khususnya material besi atau baja, hal tersebut akan dilakukan pembahasan tentang struktur baja karbon dan mekanisme perubahan struktur kristalnya, efek pemanasan yang dilakukan serta beberapa hal umum pada perlakuan panas terhadap baja.

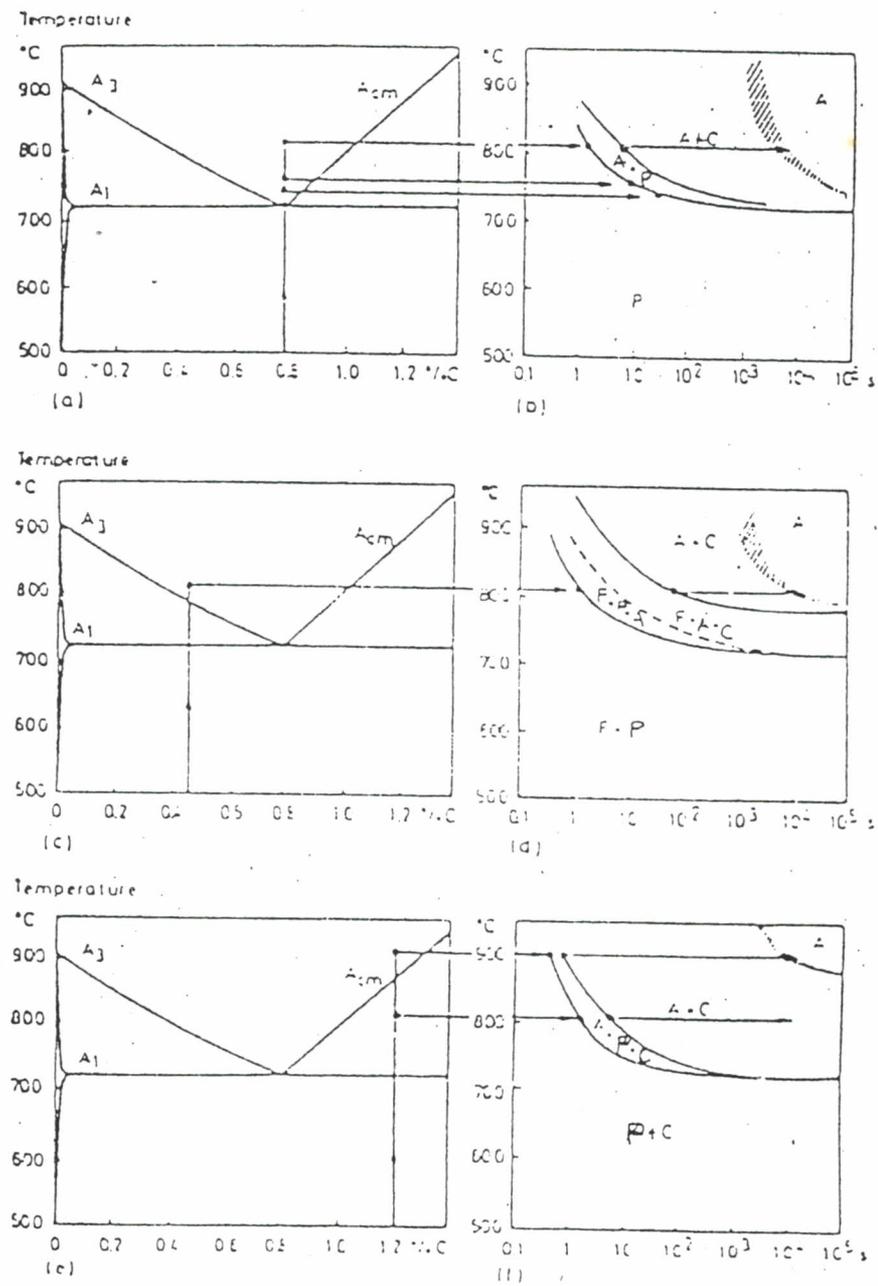
2.3.1. Pengaruh Pemanasan Pada Baja Karbon

Proses perlakuan panas pada baja karbon yang biasa dilakukan adalah untuk mendapatkan struktur kristal baja yang mengalami sifat tertentu, yang sesuai dengan sifat yang diperlukan pada bangunan konstruksi atau penggunaannya. Proses pemanasan pada baja karbon akan mengakibatkan perubahan struktur dari ferit menjadi austenite seperti terlihat pada gambar 2.4, dan apa bila diteruskan akan didapatkan struktur besi delta dan kemudian mencair. Pada suhu-suhu tertentu yang ditandai dengan huruf A (dari bahasa Perancis) yang berarti berhenti, yaitu titik berhentinya kenaikan suhu sementara terjadi perubahan struktur.

Sedangkan untuk baja dengan kadar karbon yang berbeda seperti dapat dilihat pada gambar 2.3. Untuk baja hipoeutectoid, eutectoid dan hypereutectoid perubahan yang terjadi dari ferrite, pearlite mau-

pun cementit akibat pemanasan menjadi austenite dapat dilihat pada gambar 2.4.

Pada gambar 2.4a. terlihat baja karbon 0,8% atau baja eutektoid yang dipanaskan dan memiliki suhu transformasi menjadi austenite pada 723°C , tetapi fungsi-waktu yang mempengaruhi proses tersebut baru dapat dilihat pada gambar 2.5b. yang hanya dapat digunakan untuk baja karbon dengan kadar karbonnya 0,8% saja. Yaitu yang menunjukkan sejauh mana transformasi terjadi apabila pemanasan dilakukan dalam jangka waktu yang tertentu. Demikian pula halnya, gambar 2.5c dan 2.5d untuk baja hipoeutektoid serta gambar 2.5e dan gambar 2.5f untuk baja hipereutektoid.

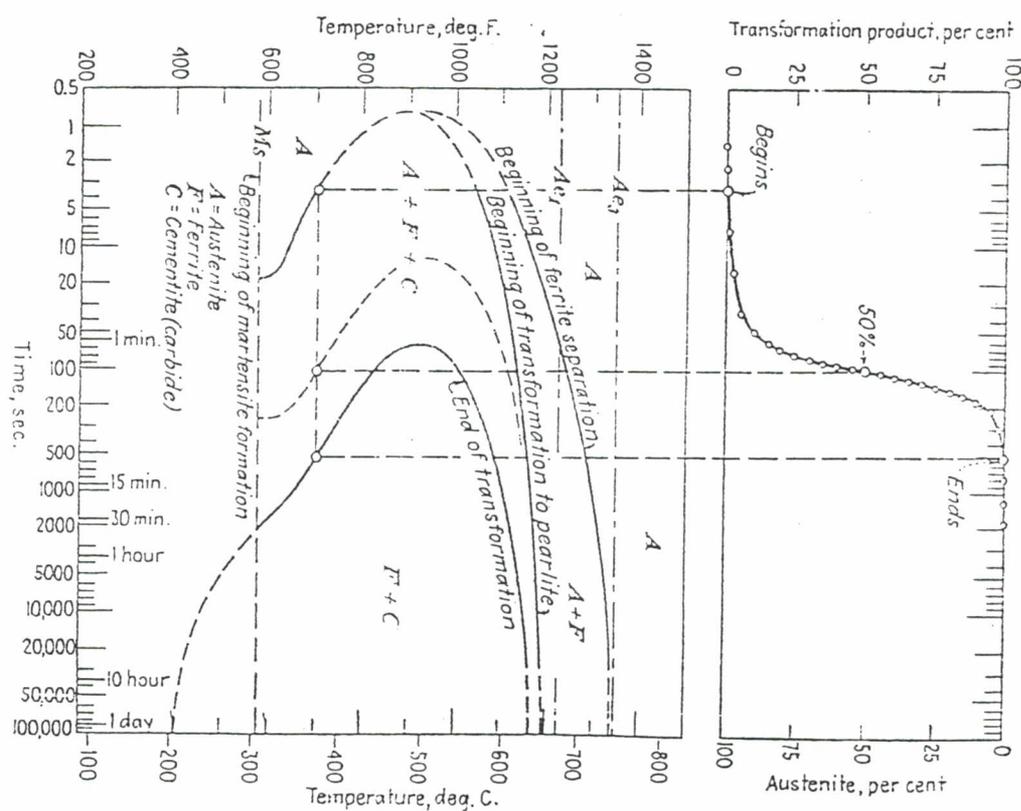


Gambar. 2.4. Transformasi Struktur Baja Untuk pemanasan Baja Hipoeutectoid, Eutectoid dan Hiper Eutectoid.

Perlu diketahui bahwa pemanasan baja austenit pada suhu di atas suhu transformasi hingga titik leleh -nya tidak akan berubah struktur kristalnya, tetapi akan terjadi pertambahan ukuran butiran kristal secara cepat dan semakin cepat lagi pada temperatur yang lebih tinggi. Sedang untuk keperluan mekanis yang baik, ukuran butiran kristal yang lebih kecil lebih banyak digunakan. Selain itu besarnya butiran ini juga dipengaruhi oleh adanya perlakuan mekanis terhadap material, sehingga untuk mendapat butiran yang baik proses pengerjaan mekanis dan proses pengerjaan thermal, sering dilakukan secara berurutan untuk saling mengurangi efek perubahan ukuran butiran kristal yang tidak di inginkan.

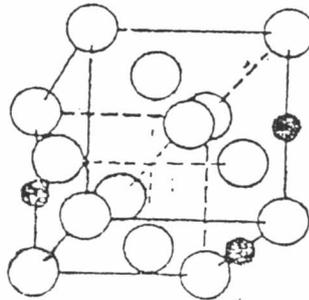
Satu perubahan yang dapat terjadi pada struktur-kristal adalah perubahan struktur pada temperatur konstan (isothermal). Baja yang mengalami pemanasan - hingga suhu tertentu dan ditahan pada suhu tersebut - untuk beberapa waktu akan terjadi perubahan struktur, yang secara umum perubahan struktur tersebut dapat dilihat pada gambar.2.1. Untuk jelasnya gambar 2.4 yang merupakan bagian dari gambar 2.1 diatas, dapat menerangkan terjadinya perubahan struktur kristal pada suhu yang tetap. Pada gambar itu dapat dilihat bila baja pada keadaan temperatur 700°C (375°C), dan dita-

han dari dua detik hingga 100 detik. Struktur austenite mulai berubah setelah waktu $3\frac{1}{2}$ detik, 50% transformasi telah terjadi pearlit (F + C) dalam waktu 550 detik.



Gambar 2.5. Perubahan Struktur Kristal Baja Pada Suhu Tetap (Isothermal).

Hal yang terakhir akibat pemanasan pada baja karbon adalah terlarutnya unsur karbon dalam kristal baja, dimana penempatan atom karbon dalam kristal dapat terjadi seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gbr. 2.6. Penempatan Atom Karbon Dalam Kristal Baja.

2.3.2. Pengaruh Pendinginan Pada Baja Karbon

Banyak hal yang dapat terjadi dengan adanya pendinginan terhadap baja karbon selain dari perubahan struktur yang biasa terjadi, yaitu perubahan dari austenite menjadi ferrit seperti yang telah diterangkan sebelumnya. Karena kecepatan pendinginan baja karbon pada suhu diatas suhu transisi yang berbeda-beda pula. Selain beberapa pengaruh yang telah diterangkan sebagai efek dari pemanasan baja karbon akan berpengaruh pula pada proses pendinginan ini. Hampir sama dengan gambar 2.4, gambar 2.5 memperlihatkan perubahan

struktur baja karbon hipoeutectoid, eutectoid dan hipereutectoid akibat proses pendinginan atau perubahan suhu isothermal pada titik tertentu untuk mendapatkan beberapa macam struktur baja yang baru seperti struktur pearlit, bainit, martensit, atau campuran dari ketiganya. Dimana pengaruh fungsi waktu yang sangat berperan pada proses-proses tertentu.

Untuk masing-masing pembentukan struktur baja tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

a. Pembentukan Pearlit

Apabila baja eutectoid didinginkan dari suhu diatas suhu transisi menjadi sedikit dibawah suhu transisi (misalnya 650°C) dan suhu baja dipertahankan beberapa saat, maka akan mulai terbentuk struktur baja pearlit dan transformasi terjadi penuh setelah waktu penahanan suhu tersebut mencapai 10 detik. Seperti terlihat pada gambar 2.4a dan gambar 2.4b. Sedangkan untuk baja hipoeutectoid, transformasi struktur pada proses yang sama didahului dengan terbentuknya struktur cementit yang kemudian juga berubah menjadi struktur pearlite. Struktur pearlit ini adalah campuran antara struktur ferrite dan struktur cementite yang berupa butir-butir kasar hingga sedang.

b. Pembentukan Bainit

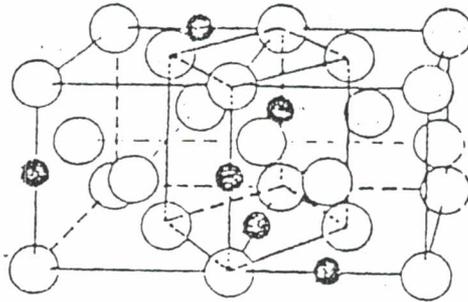
Pada pendinginan pada suhu yang lebih rendah lagi umpamanya 550°C , transformasi dari austenit akan menghasilkan struktur ferrite dan cementit yang lebih halus dan sulit dipisahkan, yaitu struktur bainit. Struktur ini terjadi baik pada baja hipoeutectoid, seperti yang terlihat pada gambar 2.5.

c. Pembentukan Martensite

Pendinginan yang cepat sekali akan mengakibatkan transformasi struktur menjadi lebih cepat, dan pemisahan antara struktur baja dan struktur baja karbida akan semakin cepat serta terbentuknya butiran kristal yang semakin halus. Struktur baja dengan konsentrasi karbida yang tinggi dan butiran yang halus adalah struktur martensite.

Pada gambar 2.5 dapat dilihat pada waktu struktur martensite terbentuk pada pendinginan yang sangat cepat sehingga grafik pendinginan akan melewati garis M_S yang merupakan garis awal terbentuknya struktur martensite ini.

Model terbentuknya baja karbida, dimana atom karbon terperangkap dalam struktur baja alpha dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.7. Model Pembentukan Martensit Dari Austenite.

Ukuran kristal baja alpha yang lebih kecil seperti terlihat diatas akan mengakibatkan menjadi berkurangnya tempat yang luang untuk atom karbon. Hal ini menimbulkan tegangan didalam struktur kristal, dan akan meningkatkan kekerasan dari baja.

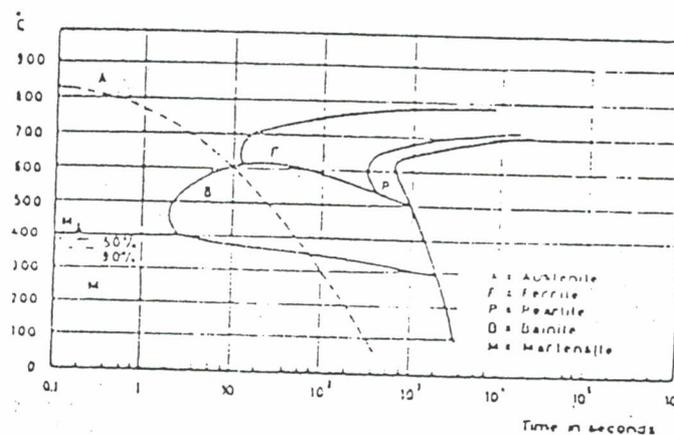
Terbentuknya struktur martensite ini tidak mengalami pertambahan dengan adanya fungsi waktu, seperti terlihat pada gambar 2.5 diatas struktur martensite langsung terbentuk apabila kecepatan pendinginan melewati garis Ms. Hanya berbeda dengan mulainya terbentuknya martensite akan didapat perbedaan ukuran butiran dari baja martensite tersebut seperti halnya apa bila terdapat perbedaan kadar karbon dalam baja.

Dari grafik transformasi struktur diatas berlaku untuk transformasi isothermal, sedangkan pada penggu-

naan proses perlakuan panas sering dilakukan pendingi-
nandengan kecepatan yang tetap, untuk itu digunakan -
diagram yang sesuai yaitu diagram CCT (Continuous -
Cooling Transformation), untuk digunakan secara prak-
tis pada proses perlakuan panas.

Karena pada proses perlakuan panas ini lebih sering -
terjadi pendinginan dengan kecepatan tetap.

Diagram CCT dapat dilihat pada gambar berikut ini :



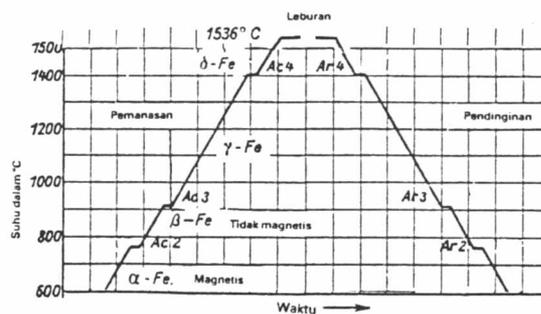
Gambar 2.8. Diagram Pendinginan Kontinyu
(Continuous Cooling Diagram)

Dengan mengatur kecepatan pendinginan yang diren-
canakan yang sesuai dengan diagram CCT, maka dengan -
melakukan perlakuan panas dapat dibentuk struktur ba-
ja yang sesuai dengan penggunaan baja tersebut.

2.3.3. Titik Perhentian Pada Pemanasan Besi Murni

Jika besi dipanasi, maka suhu dari pada besi akan mengalami kenaikan. Pada penyaluran panas yang sama persatuan waktu, tinggi suhu akan bergantung pada lama berlangsungnya waktu penyaluran panas. Ketergantungan ini dapat ditampilkan secara lukisan dalam bentuk diagram (lihat gambar 2.9).

Didalam garis liku suhu dapat diamati jenjang pada suhu tertentu yang dinamakan titik perhentian, yang tempat berdaulatnya suhu yang tetap sama walaupun berlangsung penyaluran panas. Panas yang disalurkan dibutuhkan untuk peralihan wujud struktur.



Gambar 2.9. Titik Perhentian Pada Pemanasan Dan Pendinginan Besi Murni.

Keterangan:

Titik perhentian AC₂ pada suhu 768°C; titik magnet, besi alfa menjadi tidak magnetis (besi β).

Titik perhentian A_{C3} pada suhu 911°C ; Besi alfa menjelma menjadi besi gamma (besi)

Titik perhentian A_{C4} pada temperatur 1392°C :
Besi gamma () menjelma menjadi besi - delta .

Titik perhentian pada suhu 1536°C :

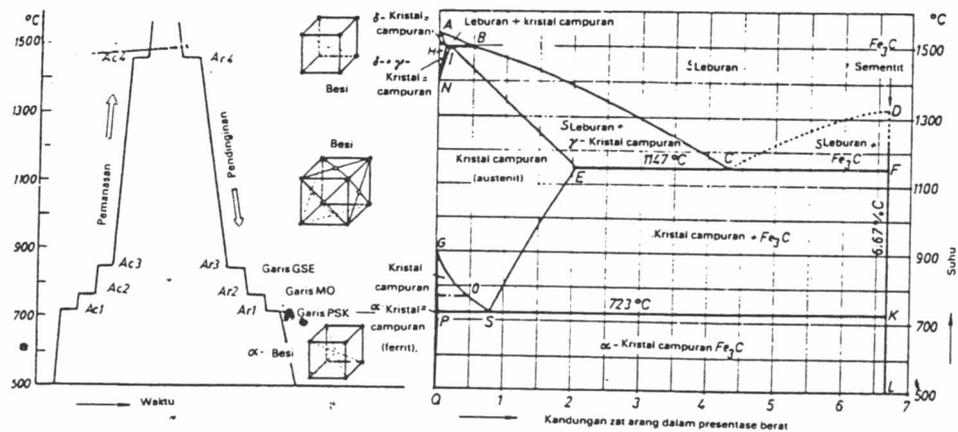
Besi padat menjelma menjadi cair (panas-peleburan).

Pada pendinginan besi, garis liku temperatur - membentuk lintasan yang hampir sama. Walaupun berlangsung pengeluaran panas pada titik perhentian, tetapi suhu tetap sama sesaat, karena pada peralihan wujud - dibebaskan panas. Karena besi yang kimiawi murni baru meleleh pada suhu 1536°C , pada peralihan wujud berlangsung langsung dibawah suhu ini dalam keadaan padat.

Susunan struktur dalam besi murni tidak dapat - dilihat didalam mikroskop tetapi dapat diamati dengan pancaran rontgen.

2.3.4. Titik Perhentian Pada Pemanasan Dan Pendinginan - baja

Sebagaimana halnya pada pemanasan dan pendinginan besi murni, muncul juga pada baja titik perhentian yaitu tempat tetap samanya suhu sesaat walaupun - ada pemasukan atau pengeluaran panas (gambar 10.).



Gbr. 2.10. Diagram Keadaan Besi-Zat Arang Selu - ruhnya Dengan Titik Perhentian Pada Pemanasan Lambat Laun Dan Pendinginan Lambat Laun.

Titik perhentian pada pemanasan ialah :

Titik Ac_1 Titik pearlit, berapa pada suhu $723^{\circ}C$ dan tidak bergantung pada kadar kandungan C (garis SPK mendatar pada gambar 2.10). Besi gamma, besi ini mengandung zat arang dan membentuk kristal - campuran gamma. Pada murni, titik Ac_1 - tidak ada.

Titik Ac_2 Titik magnet, terletak antara 0 sampai 0,5% kandungan C pada suhu $768^{\circ}C$, kemudian menurut garis OSK. Disini baja - menjadi tidak magnetis.

Titik Ac_3 Titik austenite, terletak sepanjang ga

ris GSE dan bergantung pada kadar kandungan C. Penjelmaan menjadi kristal gamma berlangsung disini tanpa sisa dan struktur terdiri seluruhnya atas austenite.

Titik perhentian pada pendinginan lambat laun ditandai dengan Ar_1 , Ar_2 , Ar_3 . Titik perhentian Ac_1 dan Ac_3 memegang peranan dalam pengerasan karena titik ini menunjukkan saat peralihan wujud struktur (bentuk kisi) dan dengan demikian merupakan suhu pengejukan yang paling optimal.

Titik perhentian selanjutnya pada suhu yang lebih tinggi namun untuk pengerasan tidak memainkan peranan, muncul dalam pembentukan besi delta (Ac_4) dan selama proses peleburan. Titik lebur menurun dengan naiknya kandungan C dari $1536^{\circ}C$ (besi murni) hingga $1147^{\circ}C$ (baja dengan 2,06% kandungan C).

2.4. Percobaan Tarik Dan Deformasi Akibat Pembebanan

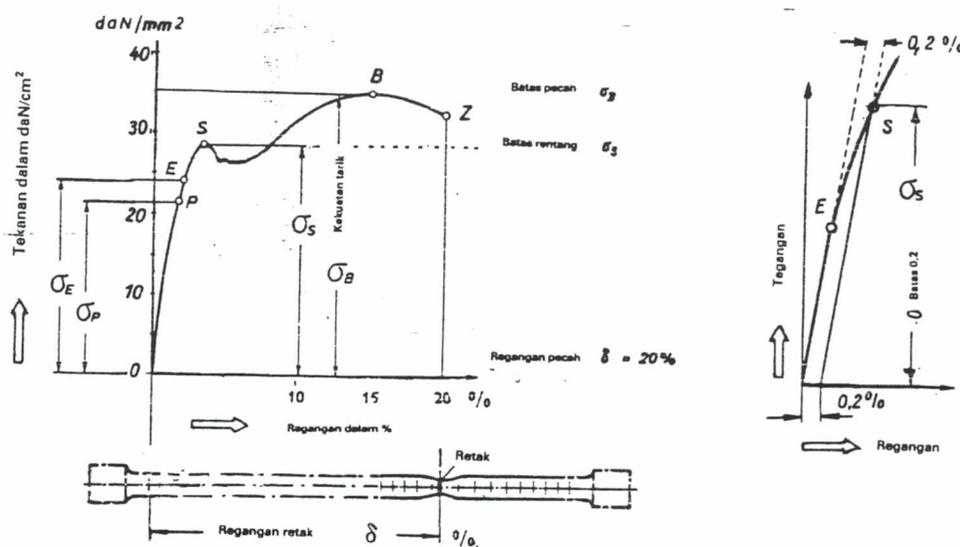
Pada umumnya percobaan tarik statis ini menghasilkan angka-angka seri dari bahan yang terpenting dari kekuatan, kesudian regang dan kekenyalan.

Dari bahan yang diuji dibuat sebuah batang percobaan dengan ukuran yang distandarisasikan, yang dieratkan dengan mesin tarik (mesin renggut) dan dibebani gaya tarik yang dinaikkan secara perlahan-lahan sampai bahan tersebut putus.

Selama percobaan diukur terus menurut beban dan regangan -

yang timbul pada benda uji tersebut dan kedua besaran ini -
kedalam sebuah gambar diagram. Sekala tegak menunjukkan te-
gangan dalam daN/mm^2 dengan berpatokan pada penampang ba-
tang semula. Sedangkan sekala mendatar menyatakan regangan-
(perpanjangan yang bersangkutan dalam prosentase dari pan-
jang awalnya.

Pertama lengkungan menunjukkan garis lurus miring, -
ini berarti bahwa tegangan dan regangan naik sebanding atau
proporsional. Pada batas proporsionalitas (batas kesebandi-
ngan) yaitu pada ujung atas garis lurus, maka berdaulat-
tegangan σ_p . Jika apabila beban terus ditingkatkan, maka -
akan dicapai batas elastisitas (batas kekenyalan) dengan
tegangan σ_E . (lihat gambar berikut ini :



Gbr. 2.11. Unjuk Tegangan Regangan Pada Percobaan Tarik.

Jika pada batang ini dilepas dari tegangan, ia akan kembali secara kenyal ke kedudukan awalnya (kedudukan semula L_0) tanpa meninggalkan bentuk yang berarti. Regangan yang menetap disini hanya boleh sampai setinggi-tingginya 0,01%. Jika beban dinaikkan sampai melampaui batas kekenyalan, maka regangan akan membesar relatif lebih pesat dan lengkungan segera menunjukkan sebuah tekukan yang akan tampil semakin jelas, semakin ulet.

Tegangan σ_s didalam percobaan ini dinamakan batas rentang atau batas leleh. Hal tersebut merupakan angka ciri dari pada bahan yang penting, karena disini bahan untuk pertama kalinya mengalami pelonggaran menetap pada strukturnya bahan yang dapat dikenal melalui munculnya wujud-wujud leleh pada permukaan batang. Didalam kasus yang tidak jelas, maka batang rentang σ_s ditetapkan sebagai tegangan yang menimbulkan regangan sebesar 0,2% (gambar 11 kanan).

Kalau pada pembebanan ditambah terus, maka tegangan akan mencatat titik puncaknya seraya melajunya regangan batang. Bahan telah mencapai pembebanan tertinggi yang mungkin, dan batang kini menyusut pada kedudukan yang nantinya merupakan tempat timbulnya stress/perpecahan. Ia tidak dapat lagi menahan beban tertinggi dan terus meregang sampai ia putus pada batas perenggutan (titik Z).

Tegangan tertinggi σ_B dalam $da \text{ N/mm}^2$ atau $da \text{ N/cm}^2$ yang berpatokan pada penampang batang semula, menghasilkan kekuatan tarik bahan.

Regangan memanjang bahan/batang sampai saat perenggutan (titik Z) disebut regangan pecah dan diungkapkan dalam prosentase (%) dari panjang semula L_0 . Suatu bahan ulet menghasilkan regangan perpecahan yang besar.

2.4.1. Deformasi Struktur Logam Akibat Pemanasan

Pada proses pemanasan ini benda uji akan mengalami perubahan suhu akibat Bergeraknya sumber panas, sehingga distribusi panas yang dihasilkan tidak merata. Dan karena panas tersebut pula maka pada bagian benda kerja terjadi pengembangan thermal, selanjutnya pengembangan ini akan ditahan oleh bagian yang dingin, sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan peregangan yang rumit. Akibatnya tegangan thermal inilah maka terjadi deformasi yang sifatnya tetap pada logam konstruksi/lasan.

Penomena perubahan bentuk (deformasi) bila ditinjau dari struktur material tidaklah tepat dikatakan deformasi melainkan tepatnya adalah terdapatnya perubahan-
struktur pada susunan kristalnya, dari suatu bentuk ke bentuk lainnya .

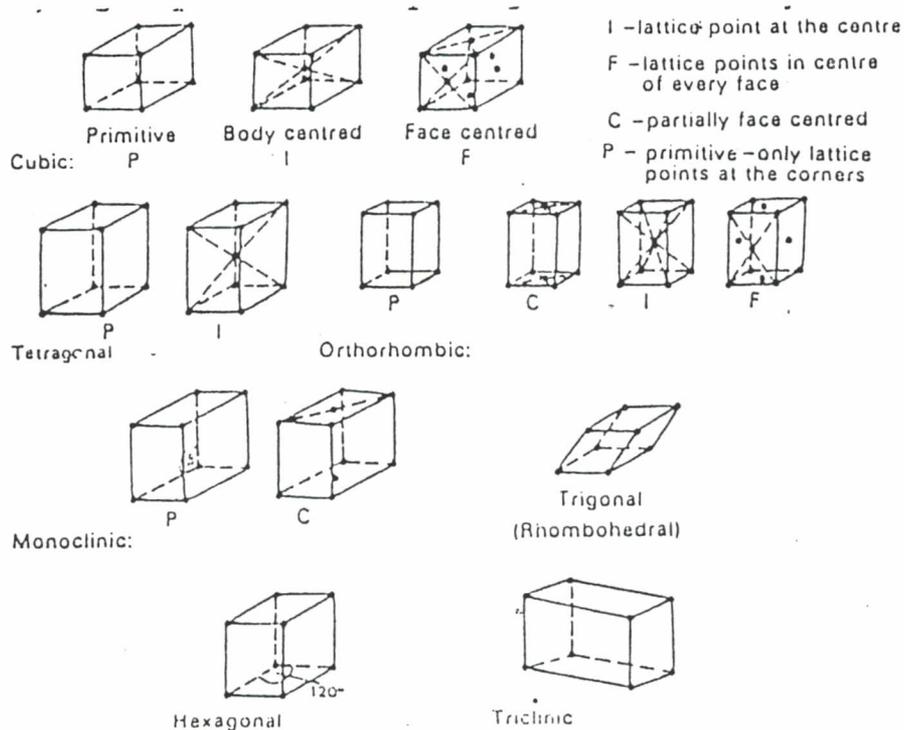
Perubahan struktur kristal yang terdapat dalam logam juga mengakibatkan adanya perbedaan sifat fisis dan mekanis dari masing-masing struktur kristal.

Dengan demikian setiap transformasi yang terjadi antara struktur kristal logam akan diikuti dengan perubahan sifat-sifat fisis dan mekanisnya, yang sesuai de-

ngan sifat dari masing-masing struktur kristalnya. Perubahan ini secara fisis dapat dilihat sebagai perubahan bentuk atau dimensi didalam konstruksi serta terdapatnya titik lemah dalam konstruksi yang terdiri dari beberapa macam logam dalam struktur kristal yang berbeda. Dengan demikian transformasi struktur kristal yang tidak terkendali akan dapat menyebabkan kegagalan didalam suatu konstruksi yang dibangun.

Struktur material apapun selalu terdiri dari atom-atom yang mempunyai ikatan diantaranya. Khusus atom-atom logam mempunyai ikatan tersendiri yaitu ikatan metalik. Atom-atom dan ikatan ini mempunyai beberapa elektron yang mengitari seluruh atom untuk mendapatkan keseimbangan ikatan atom tersebut. Elektron-elektron ini bergerak bebas didalam orbitnya yang berbentuk awan elektron. Dengan adanya elektron bebas ini maka logam pada umumnya mempunyai sifat penghantar panas yang baik.

Ikatan-ikatan atom ini membentuk struktur kristal dari material tertentu, yaitu berupa unit sel. Bentuk dari unit sel ini dapat beberapa macam, dan mengandung beberapa atom material pada posisi-posisi tertentu seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gbr. 2.12. Struktur Unit Sel Dengan Atom Atom Pembentuknya.

Material yang mempunyai dua atom atau lebih bentuk kristal dapat terjadi pada fasa tertentu, dan ditandai dengan adanya perbedaan sifat-sifatnya yang dinamakan sifat allotrop. Adanya sifat allotrop ini (dari baja khususnya) amat berperan dalam perkembangan proses pengerjaan yang dapat dilakukan pada baja tertentu. Karna tanpa memiliki sifat ini baja tersebut akan sulit diproses untuk mendapatkan sifat dan baja tersebut yang berbeda.

2.4.2. Deformasi Kristal Tunggal

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa deformasi pada struktur logam adalah merupakan suatu transformasi pada struktur kristalnya dari satu bentuk ke bentuk lainnya, serta untuk mengurangi dampak batas butir yang menambah kerumitan dan hambatan oleh butir-butir disekitarnya maka pada pembahasan ini kita khususnya pada deformasi kristal tunggal. Dengan demikian maka partikel fasa kedua diabaikan. Deformasi pada logam fasa tunggal menurut prosesnya meliputi deformasi elastis dan deformasi plastis serta diakhiri dengan perpatahan.

2.4.3. Deformasi Elastis

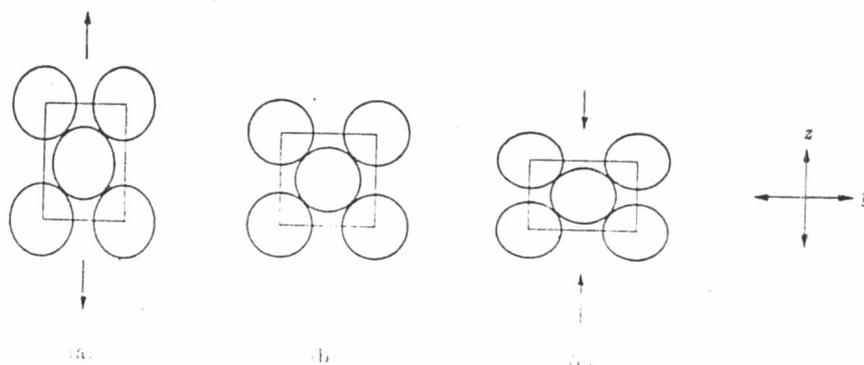
Deformasi elastis (elastis deformation) sering disebut sebagai perubahan yang tidak tetap, karena akan segera hilang bila gaya luar yang bekerja ditiadakan.

Elastis deformation tidak mengakibatkan perubahan bentuk yang nyata dalam struktur material. Dengan bekerjanya beban maka terjadi perpindahan atom secara elastis ketingkat yang lebih tinggi relatif terhadap lainnya. Karena sela deformasi bahan menyerap energi akibat gaya yang bekerja sepanjang garis deformasi.

Untuk sebagian besar bahan, selama beban tidak melampaui batas elastis, deformasi sepadan dengan beban. Hubungan ini dikenal sebagai hukum Hooke's .

Hal ini sering dinyatakan sebagai tegangan sepadan -- dengan regangan. Hukum Hooke's mensyaratkan bahwa hubungan beban deformasi itu linear. Tetapi tidak harus disimpulkan bahwa semua beban berprilaku elastis akan memiliki hubungan tegangan-tegangan linear.

Bila beban yang bekerja berupa beban tarik, benda akan bertambah panjang. setelah gaya diitiadakan - beban akan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya bila - beban berupa gaya tekan akan mengakibatkan benda tersebut akan menjadi lebih pendek sedikit. Regangan elastis hasil dari perpanjangan sel satuan dalam arah tegangan tarik, atau konstruksi dari sel satuan dalam arah tekanan, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini .



Gbr. 2.13. Regangan Elastis Normal (Sangat Berlebihan). Atom mengalami pemindahan yang tidak tetap (a) Tarikan (b) tidak ada regangan (c) tekanan.

Keterangan gambar :

- a. Tarikan
- b. Tidak ada regangan
- c. Tekanan

Bila hanya ada deformasi elastis, regangan akan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara regangan disebut modulus elastisitas atau modulus Young, dan merupakan karakteristik dari suatu logam tertentu.

Makin besar gaya tarik antara atom logam, maka akan makin tinggi pula modulus elastisitasnya.

Setiap perpanjangan atau perpendekan struktur kristal dalam satu arah tertentu karena gaya searah, akan menghasilkan perubahan dimensi dalam arah tegak-lurus dengan gaya tarik.

Pada gambar (2.11a) terlihat adanya konstruksi tegak lurus gaya tarik. Perbandingan negatif antara regangan melintang (Y) dan regangan tarik (Z) disebut - bilangan poisson. Harganya berkisar antara 0,25---0,5.

$$\nu = \frac{Y}{Z}$$

Pada beban geser, bekerja dua gaya yang sejajar seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.14b).

Tegangan geser (Y) adalah gaya (FS) dibagi dengan luas bidang geser (AS).

$$Y = \frac{FS}{AS}$$

Gaya geser menyebabkan adanya pergeseran sudut alfa (α). Regangan geser (γ) didefinisikan sebagai tanggen sudut (α) tersebut sama dengan (X), lihat gambar (2.14b) .

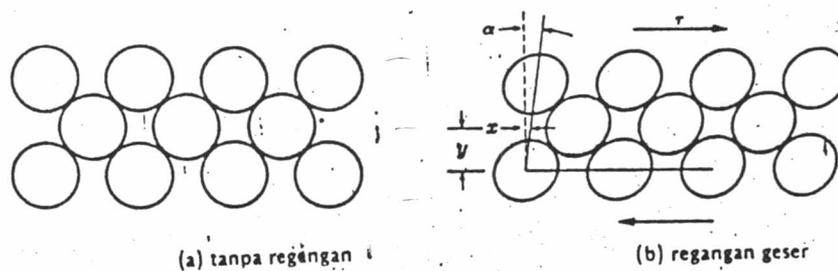
Regangan geser elastis sebanding dengan tegangan geser.

$$G = \tau / \gamma \quad \text{dimana} \quad \tau = F_s / A_s$$

Dimana G adalah modulus geser.

Modulus geser atau modulus kekakuan berbeda dengan modulus elastisitas (E) namun untuk regangan kecil berlaku.

$$E = 2 G (1 + \nu) .$$

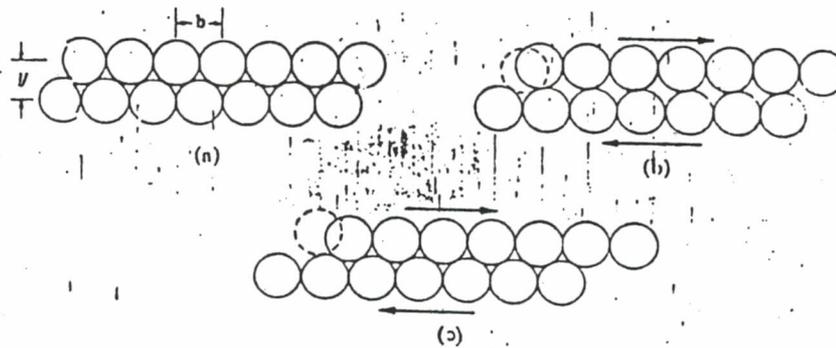


Gambar 2.14. Regangan Elastisitas.

Regangan ini elastis selama atom-atom tetap berdekatan dengan atom semula.

2.4.4. Plastis Deformation (Deformasi Plastis)

Apa bila tegangan yang bekerja sampai mencapai batas elastis, suatu batas dimana tegangan maximum - yang dapat dikenakan tanpa menghasilkan suatu deforma si permanen yang dapat diukur atau tepat setelah te gangan dihilangkan. Pada kondisi ini dapat diperoleh apa yang disebut deformasi plastis. Deformasi plas - tis (plastis deformation) berkaitan dengan perpinda han atom-atom didalam butiran dan mengakibatkan peru- bahan permanen pada bentuk specimen. Untuk logam ku- bik dan paduannya terutama berdeformasi dengan gese - ran plastis atau slip, dimana bidang atom bergeser pa da bidang atom didekatnya. Deformasi geser juga terja di bila ada gaya tekan atau tegangan, karena gaya- ga ya ini dapat diuraikan menjadi tegangan geser. Tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan su- atu slip dalam bidang kristal tertentu disebut tegang an geser kristal. Gambar 2.15 menunjukkan mekanisme - slip yang disederhanakan.



Gambar 2.15. Mekanisme Slip Yang Disederhanakan

Deformasi plasti dapat merubah struktur intern logam-oleh karena deformasi tersebut dapat merubah pula sifat-sifat dari suatu logam. Bukti dari perubahan ini-dapat dibuktikan dengan mengukur tahanan. Sifat lain-yang berubah yang mempunyai nilai teknik yang lebih -besar ialah kekuatan.

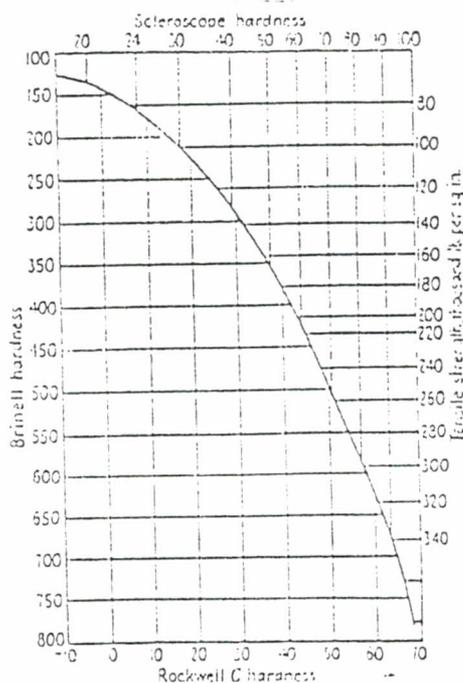
2.5. Hubungan Antara Kekuatan Tarik Dengan Kekerasan Suatu

Material

Sifat kekerasan suatu material dapat diuji dengan - berbagai macam cara, yang pada dasarnya adalah dengan melakukan percobaan penekanan pada permukaan material.

Besarnya bekas penekanan atau dalamnya penekanan menunjukkan - kan sejauh mana kekerasan suatu material tersebut, semakin besar atau dalam bekas yang ditinggalkan maka semakin lunak material tersebut. Beberapa cara pengujian yang dilakukan - dengan memberikan penekanan tertentu mendapatkan nilai keke - rasan yang berlainan seperti nilai kekerasan Brinell, Vic - kers, Rockwell atau Scleroscop.

Hubungannya dengan kekuatan tarik dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.16. Hubungan Antara Sifat Kekerasan Dan Sifat Kekuatan Tarik Baja Karbon.

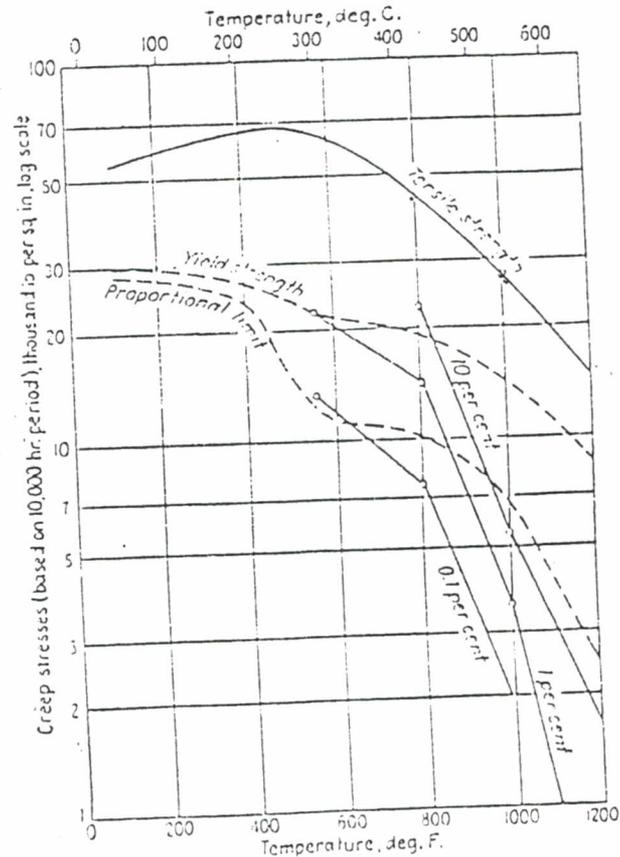
Hubungannya dengan kekuatan tarik ini sesuai dengan keterkaitan antara nilai kekerasan yang ada dengan kekuatan tekan. Dimana pada kekuatan tekan beban yang diberikan mirip dengan penekanan pada pengujian kekerasan material. Jadi korelasi tersebut cukup akurat, meskipun tidak selamanya benar untuk setiap material.

Sifat kekenyalan material berhubungan dengan ketangguhan material secara umum dan kekuatan material pada beban dinamis yang berkaitan dengan ketahanan dalam perambatan retak. Sifat inipun berkaitan dengan sifat kekerasan material dimana material dengan kekerasan tinggi dan kekuatan tarik-tinggi mempunyai sifat getas. Hingga material tersebut mampu menerima beban yang besar, tetapi bila terdapat sedikit keretakan akan mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Sifat-sifat mekanis tersebut tentunya akan tergantung sekali pada struktur material. Dimana khusus pada baja dengan beberapa macam struktur pembentukannya akan terdapat perubahan-perubahan sifat mekanis sesuai dengan adanya perubahan struktur baja tersebut.

Pengaruh suhu pun tidak sedikit pada perubahan sifat mekanis ini, mengingat perubahan suhu mengakibatkan perubahan struktur alotropi dari baja.

Beberapa hal yang dapat dicatat pada perubahan suhu akan mengakibatkan perubahan kekuatan tarik seperti dapat dilihat pada gambar berikut ini :

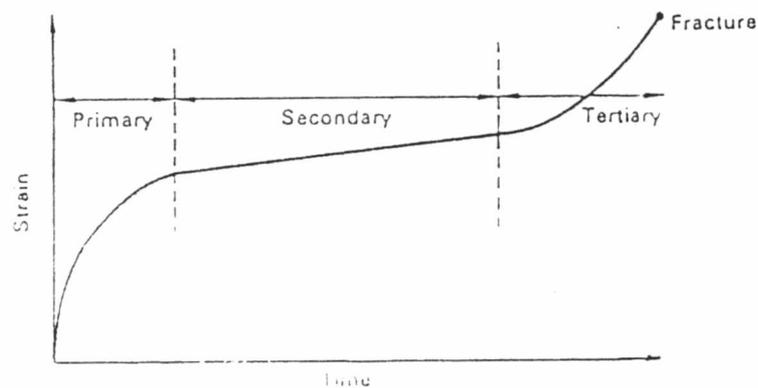


Gbr. 2.17. Pengaruh Suhu Pada Sifat Kekuatan Tarik Pada Baja Karbon.

Selain itu pada suhu yang sangat rendah sifat ketangguhan baja akan menurun, sejalan dengan itu kekerasan akan meningkat karena ketangguhan menurun akibat adanya kepecahan getas pada material yang sangat keras.

Fenomena perubahan bentuk yang tidak menentu pada baja dapat terjadi pada suhu yang cukup tinggi.

Hal ini berkaitan dengan sifat ketahanan material terhadap perubahan bentuk, yaitu akibat adanya regangan pada benda uji itu sendiri. Fenomena itu adalah "Creep" yang berupa terjadinya perubahan bentuk secara lambat pada benda uji dengan percepatan yang rendah, tetapi dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Secara grafis fenomena tersebut dapat digambarkan sebagai berikut ;



Gbr. 2.18. Fenomena Perpanjangan Material Pada Suhu Yang Tinggi (Creep/Mulur).

Pada tahap awal, creep dapat terjadi secara elastis- maupun plastis dan naik dengan cepat untuk mencapai harga-rata-ratanya. Periode selanjutnya creep berjalan dengan percepatan yang tidak tinggi, tetapi pada saat tertentu akan semakin cepat dan akan mengakibatkan kepecahan.

Sejalan dengan fenomena perpanjangan ini maka baja - pun mempunyai sifat yang cenderung menahan laju percepatan

creep ini, yaitu sifat naiknya kekerasan akibat adanya regangan dari baja (strain hardening).

Sehingga dengan adanya peningkatan kekerasan yang tentunya sejalan dengan hal tersebut adalah naiknya kekuatan tarik, maka kecepatan dari struktur dapat dihindari.

Sifat-sifat yang berubah dari baja tersebut secara umum terlihat sebagai pengaruh suhu, tetapi tentunya perubahan itu juga berkaitan dengan perubahan struktur baja itu sendiri. Dalam penerapannya, perubahan yang terjadi sejauh dapat dikontrol dengan baik, dapat dipergunakan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu dari baja tersebut sesuai dengan penggunaannya. Juga dapat dipakai sebagai pembatasan pada saat perencanaan struktur yang akan dibangun.

Tidak lepas dari terjadinya struktur-struktur baja murni, maka unsur-unsur paduan dan karbon yang terdapat didalam suatu struktur baja tersebut mempunyai pengaruh yang tidak sedikit pada proses perubahan-perubahan secara umum, termasuk perubahan sifat mekanis itu.

2.5.1. Sifat Kekerasan Baja/Besi

Hal tersebut dilaksanakan karena bahan baja atau besi tersebut telah mengalami beberapa proses pengerjaan diantaranya adalah telah mengalami proses pemanasan dan pendinginan dengan air secara mendadak, maka perlu diadakan peninjauan terhadap material tersebut karena material telah berubah sifat maupun strukturnya. Oleh karena itu untuk mengetahui kekerasan ma

terial baja/besi tersebut diantaranya menggunakan pe
ngujian kekerasan Brinell.

Pengertian umum tentang kekerasan adalah peno-
lakan suatu bahan untuk melawan desakan suatu badan -
atau bahan lainnya . Derajat kekerasan diungkapkan de-
ngan angka kekerasan yang berlainan untuk setiap cara
dan angka tersebut dapat dihitung alih dari yang satu
ke yang lainnya dengan menggunakan tabel (disetara -
kan satu dengan yang lainnya). Angka ini mengijinkan
perbandingan antara kekerasan bahan yang berlainan, -
bahkan juga pernyataan yang pengalaman mengenai keku-
atan dan sifat lainnya. Pengujian kekerasan memiliki-
keunggulan berupa kenyataan bahwa disini benda yang -
diuji tidak dihancurkan.

Pengertian pengujian kekerasan Brineel adalah -
sebuah bola baja atau logam keras yang sangat keras -
dengan diameter D (mm) ditekankan pada permukaan ben-
da uji yang telah diratakan/dihaluskan permukaannya -
benda uji tersebut, kedalam mesin uji dengan suatu te-
kanan F (da N) yang dinaikkan secara perlahan-lahan
setelah beban dilepaskan, maka garis tengah d (mm) -
dampak tekan bola yang terjadi diukur dengan pertolo-
ngan kaca pembesar atau mikroskop.

Dengan pertolongan besaran D, F dan kemudian dibaca ke-
kerasan Brinell HB dalam da N/mm^2 dari sebuah tabel.
Tergantung dari tebal benda kerja, digunakan sebuah -

ukuran standart garis tengah bola $D = 10 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 2,5 \text{ mm}$, masing-masing dengan tekanan uji F yang besarnya berlainan, menurut tabel 2.

Distandarisasikan dalam DIN 50.351.

Tabel 2.2

Tingkat Pembebanan Dan Tekanan Uji Dalam daN

' Garis tengah ' bola $D \text{ mm}$	' Tingkat pembebanan dan tekanan uji ' dalam daN					
		$30 \cdot D^2$	$10 \cdot D^2$	$5 \cdot D^2$	$2,5 \cdot D^2$	$1,25 \cdot D^2$
10	3000	1000	500	250	125	50
5	750	250	125	62,5	31,3	12,5
2,5	187,5	62,5	31,3	15,6	7,9	3,1

Persyaratan percobaan terikat sekali oleh nilai tabel garis tengah bola D dan tekanan uji F harus dipilih dari nilai tabel, sedemikian rupa sehingga garis tengah dampak tekan d hanya mendapat nilai $0,2 \dots 0,5 D$.

Didalam kasus normal, sebagaimana halnya pada benda uji dari baja, besi tuang, dan perunggu keras - dipilih : $D = 10 \text{ mm}$, $F = 30 \cdot D^2 = 3000 \text{ da N/mm}^2$, lama pembebanan 10 detik. Tingkat (dalam hal ini 30) disebut dalam hasil pengujian.

Hal 4/5

Gambar 2.19. Pengujian Kekerasan Brinell.

Pada baja terdapat hubungan antara kekerasan Brinell dengan kekuatan tarik B .

Misalnya kekuatan tarik $B = 0,35 \cdot HB$, misal $HB = 400$ da N/mm^2 maka memberikan :

$$B = 0,35 \cdot 400 = 140 \text{ da } N/mm^2.$$

2.5.2. Perpatahan

Percobaan tegangan regangan diakhiri dengan - perpatahan. Proses perpatahan terdiri atas dua tahap yaitu timbulnya retak dan penjalaran retak.

Patah (Fracture) dapat diklompokkan dalam dua kategori umum, yakni patah liat serta patah getas.

Patah liat ditandai dengan deformasi plastis yang cukup besar, sebelum dan sesudah perjalanan retak. Pada permukaan perpatahan biasanya nampak adanya deformasi yang cukup besar. Patah getas pada logam, ditandai -

oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, - tanpa terjadi deformasi mikro. Patah getas ada kaitannya dengan adanya pembelokan pada kristal ionik.

Kecenderungan terjadi patah getas akan bertambah besar, bila temperatur turun, kemudian lajunya regangan bertambah, dan tegangan yang bekerja adalah tegangan-tiga sumbu (biasanya dihasilkan adanya takik).

Bagaimanapun juga patah getas harus dihindari, karena terjadi tanpa tanda-tanda permulaan patah dan biasanya menimbulkan konsekuensi yang sangat berbahaya.

Jadi bila ada deformasi elastis maka dinamakan perpatahan liat (ductile fractur), dan bila tidak diiringi dengan deformasi plastis maka disebut perpatahan-getas (rapuh) atau brittle fractur.