

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Baja

Baja merupakan paduan, yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk plat, lembaran, pipa, batang, profil dan sebagainya (Amstead, 1997).

2.2 Baja Paduan

Pada baja paduan rendah/sedang, dengan kandungan paduan total sekitar 5%, kandungan paduan terutama ditentukan oleh persyaratan kemampukerasan dan penemperan, meski pengerasan larutan padat dan pembentukan karbida juga penting. Telah dibahas beberapa aspek, dan kesimpulan utamanya adalah bahwa Mn dan Cr meningkatkan kemampukerasan dan secara umum menghambat pelunakan dan penemperan; Ni memperkuat ferit dan meningkatkan kemampukerasan serta ketangguhan; tembaga memiliki sifat sama tetapi juga menghambat penemperan; Co memperkuat ferit dan menghambat pelunakan pada penemperan; Si menghambat dan mengurangi perubahan volume ketika terjadi

tansformasi martensit, dan baik Mo maupun V menghambat penemperan dan menghasilkan pengerasan sekunder (Djaprie, 2000).

2.3 Pentingnya Karbon

Meskipun kebanyakan paduan baja mengandung kurang dari 1,0% karbon, namun ini dimasukkan dalam penandaan karena pengaruhnya terhadap sifat-sifat baja. Semakin bertambah kadar karbonnya, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah dan kondisi pemrosesan dan perlakuan panas yang sama. Karena keuletan akan berkurang seiring dengan bertambahnya kadar karbon, maka pemilihan baja yang tepat meliputi beberapa kompromi antara kekuatan dan keuletan.

Sebagai pola klasifikasi kasar, baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kurang dari 30 poin karbon (0,30%). Baja tersebut memiliki kekuatan yang relatif rendah, tetapi dengan sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik. Baja karbon sedang mengandung 30 hingga 50 point karbon (0,30%-0,50%). Kebanyakan elemen mesin yang memiliki syarat kekuatan sedang hingga tinggi dengan keuletan yang cukup baik dan syarat kekerasan sedang berasal dari kelompok ini.

Baja karbon tinggi memiliki 50-95 poin karbon (0,50%-0,95%). Kadar karbon yang tinggi memberikan sifat-sifat keausan yang lebih baik yang sesuai untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan sisi-sisi pemotongan yang tahan lama dan untuk aplikasi-aplikasi dimana permukaan mengalami pengikisan yang tetap (Rines Dkk, 2009).

2.4 Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan padanya. Beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi (Murtiono, 2012).

Sifat –sifat mekanik yang terpenting antara lain :

1. Kekuatan (*Strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
2. Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi)

atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.

5. Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding*, dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*).
6. Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cylinder stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan.
8. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

2.5 Pisau Pemotong Rumput

Pisau-pisau bermerek pada umumnya terbuat dari baja SK-5. Baja SK-5 adalah baja karbon tinggi standar JIS G4401 setara dengan standar Amerika SAE 1085. Sebagai paduan, baja SK-5 memiliki kekerasan sekitar HRC 65 dan menghasilkan campuran martensit kaya karbon dengan beberapa larutan karbida. Kelebihan karbida meningkatkan ketahanan abrasi dan memungkinkan baja untuk mencapai keseimbangan yang ideal,. Karena karakteristik ini, baja SK-5 telah digunakan secara tradisional untuk membuat berbagai alat-alat tangan, termasuk pahat, gergaji dan pisau, dan telah melewati ujian waktu dan digunakan selama bertahun-tahun di banyak negara. Seperti terlihat pada gambar 1 dan 2, gambar 1 adalah gambar Baja SK-5 dan gambar 2 adalah gambar Pisau pemotong rumput yang terbuat dari baja SK-5.



Gambar 2.1 Baja SK-5

(Sumber BeyondStell, 2011)



Gambar 2.2 pisau pemotong Rumput jenis palang

(Sumber BeyondStell, 2011)

Tabel 1 standar komposisi baja JIS G4401 / SK5

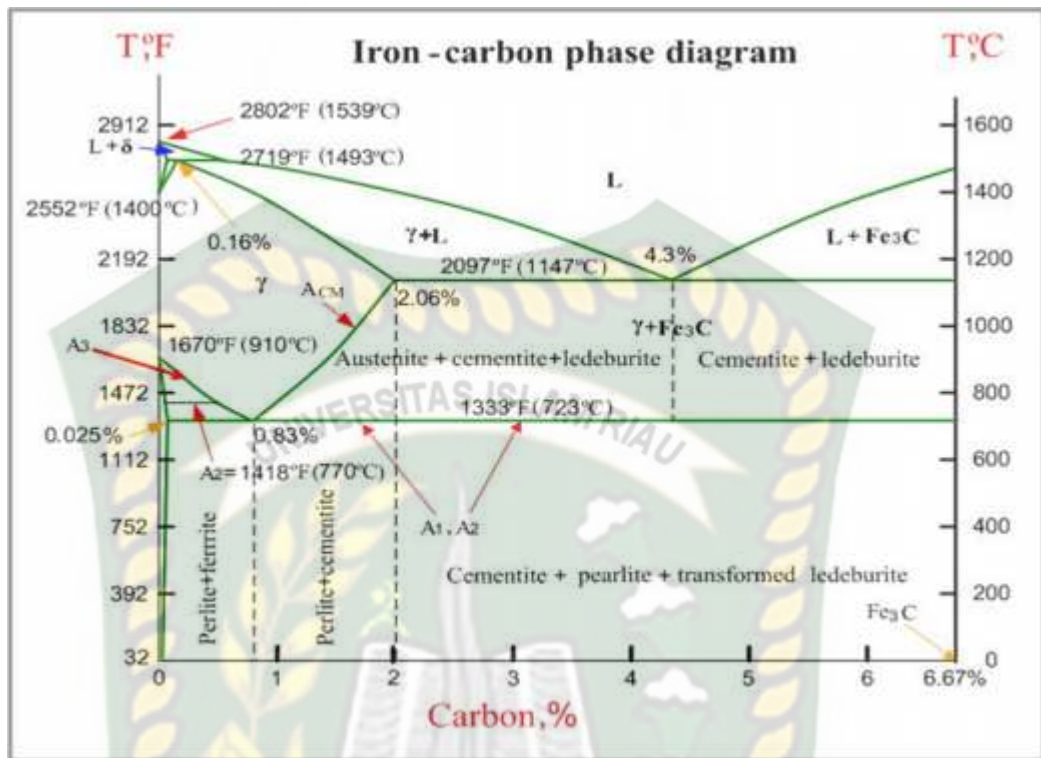
JIS Standard	SAE Standard	Chemical Composition (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
SK85		0.80-	0.10-	0.10-	0.030	0.030	0.25	0.25	0.30
[SK5]		0.90	0.35	0.50					

(Sumber : Nippon Steel, 2007)

Tabel diatas menjelaskan bahwa komposisi karbon pada baja SK5 adalah 0.80-0.90% dan Silikon 0.10-0.35% Mangan 0.10-0.50% pospor 0.30% copper 0.25% nikel 0.25% dan chrom 0.30%.

2.6 Diagram Fasa Fe-C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikro. Pada diagram fasa Fe-C yang ditampilkan muncul larutan padat (α , δ) atau disebut besi delta (δ), austenit (γ) dan ferit (α). Ferit mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta (δ) mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras.



Gambar 2.3. Diagram Fasa Fe₃C

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut ini adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-C yang ditampilkan pada Gambar 5.

1. A₁ adalah reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa menjadi +Fe₃C (perlit) untuk baja *hypoeutectoid*.
2. A₂ adalah titik *Currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3. A₃ adalah temperatur transformasi dari fasa menjadi (ferrit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

4. A_{cm} adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5. A_{12} , adalah temperatur transformasi γ menjadi $\gamma + Fe_3C$ (perlit) untuk baja *hypereutectoid*.

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar $727^{\circ}C$ terjadi temperatur transformasi austenit menjadi fasa perlit (gabungan fasa ferit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutektoid dan merupakan dasar proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur antara $912^{\circ}C$ dan $1394^{\circ}C$ merupakan daerah besi gamma (γ) atau disebut austenit. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal FCC (Face Centered Cubic). Besi gamma tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,11% maksimum pada temperatur sekitar $1148^{\circ}C$. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,77% maksimum pada temperatur $727^{\circ}C$. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram fasa Fe-C yaitu perubahan fasa ferit atau besi alfa (α), austenit atau besi gamma (γ), sementit atau karbida besi, perlit dan martensit.

1. Ferit atau besi alfa (α)

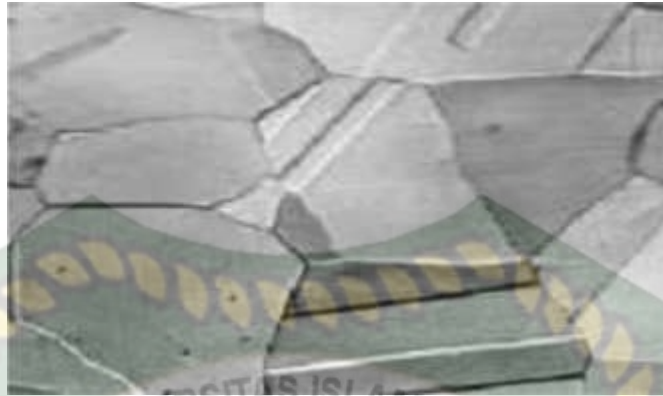
Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet. Karena ferit memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali sekitar 0,02% C. Fasa ferit mulai terbentuk pada temperatur antara 300°C hingga mencapai temperatur 727°C.



Gambar 2.4. Struktur mikro fasa ferit
(Sumber : Callister, 2007)

2. Austenit atau besi gamma

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

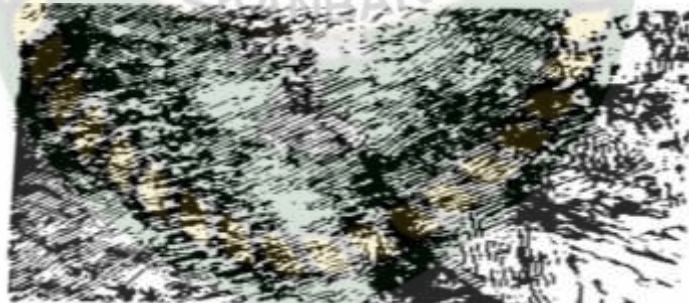


Gambar 2.5. Struktur mikro fasa austenit

(Sumber : Callister, 2007)

3. Perlit

Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara sementit dan ferit. Fasa perlit ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0,76% C, besi pada fase perlit akan memiliki sifat keras, ulet dan kuat.



Gambar 2.6. Struktur mikro fasa perlit

(Sumber : Callister, 2007).

4. Karbida besi atau sementit

Karbida besi adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi tersebut karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada ferit akan meningkatkan

kekerasan pada baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN .

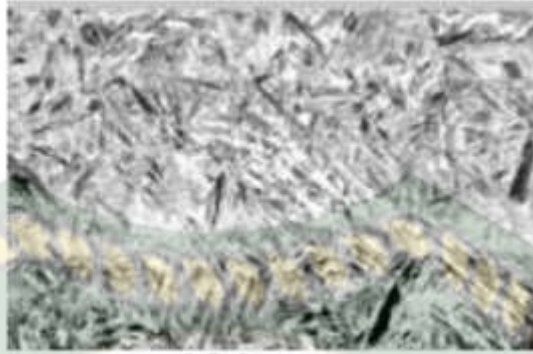


Gambar 2.7. Struktur mikro fasa sementit

(Sumber : Callister, 2007)

5. Martensit

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat. Jenis fasa martensit tergolong kedalam bentuk struktur kristal BCT. Pada fase ini terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase martensit akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh.



Gambar 2.8 Struktur mikro fasa martensit

(Sumber : Callister, 2007)

2.7 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakan memudahkan pemesinan lebih lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet (Amstead, 1997).

2.8 Jenis-Jenis Perlakuan Panas

2.8.1 Hardening

Hardening adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis (daerah austenit), ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur austenit dan kemudian didinginkan secara mendadak. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan struktur kristal martensit. Martensit adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh

kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal.

2.8.2 Quenching

Quenching adalah suatu proses pengerasan baja dengan cara baja dipanaskan hingga mencapai batas austenit dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin air, oli, atau air garam, sehingga fasa austenit bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit. Tujuan utama dari proses *quenching* ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi.

2.8.3 Tempering

adalah proses pemanasan kembali suatu logam yang telah dikeraskan melalui proses *quenching* pada suhu di bawah suhu kritisnya selama waktu tertentu dan didinginkan secara perlahan-lahan. Tujuan proses ini adalah untuk mengurangi *internal stress*, mengubah susunan, mengurangi kekerasan dan menaikkan keuletan logam sehingga didapatkan perpaduan yang tepat antara kekerasan dan keuletan logam.

Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut:

- a. *Tempering* pada suhu rendah (150°C - 250°C)

Tempering ini untuk mengurangi tegangan dan kerapuhan baja, biasanya untuk alat yang tidak mengalami beban berat seperti alat potong, mata bor dan lainnya.

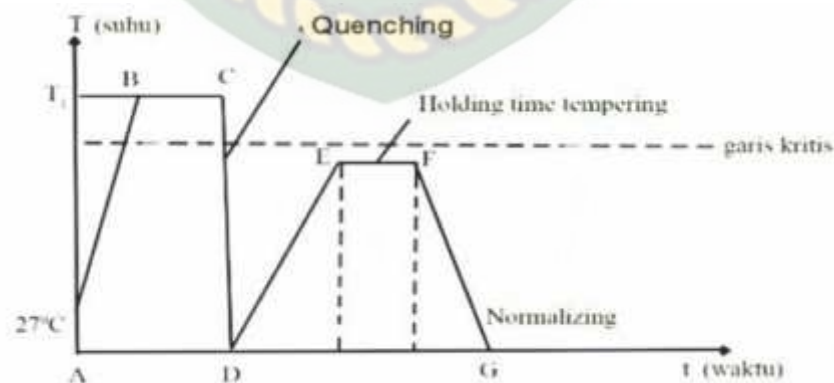
b. *Tempering* pada suhu menengah (350°C - 450°C)

Tempering ini bertujuan menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Biasanya untuk alat yang mengalami beban berat seperti palu, pahat dan pegas.

c. *Tempering* pada suhu tinggi (500°C - 650°C)

Tempering ini bertujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar dan kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Proses perlakuan tempering biasanya juga digambarkan kedalam diagram perlakuan panas *tempering*. Gambar 2.9 menunjukkan diagram perlakuan panas tempering, dimana pada diagram pemanasan tersebut menunjukkan baja yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenisasi (*hardening*) kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*). Baja yang telah didinginkan secara *quenching* kemudian dilakukan pemanasan lanjutan yaitu pemanasan tempering dan disusul dengan pendinginan secara lambat (*normalizing*).



Gambar 2.9 Diagram *tempering*

Keterangan :

A-B-C-D = Proses *quenching*

D-E = Proses pemanasan awal sehingga suhu dibawah kritis

E-F = Waktu tahan pada suhu isothermal

F-G = Proses pendinginan normal

2.8.4 Full annealing

Merupakan proses memanaskan baja sampai temperatur tertentu kemudian sehingga didinginkan secara lambat melewati temperatur transformasinya didalam *furnace*. Tujuan proses ini untuk menghaluskan butir, melunakan, memperbaiki sifat magnet dan sifat listrik.

2.8.5 Spherodizing

Merupakan proses pemanasan baja sedikit dibawah temperatur kritis bawahnya sehingga menghasilkan karbida berbentuk bola-bola kecil (*sphere*) dalam *matrix ferit*. Tujuan proses ini adalah untuk memperbaiki sifat mampu mesin (*machinability*) dari baja.

2.8.6 Stress-relief annealing

Merupakan proses pemanasan baja dibawah temperatur kritisnya sekitar 1000°F 1200°F. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pengerjaan dingin.

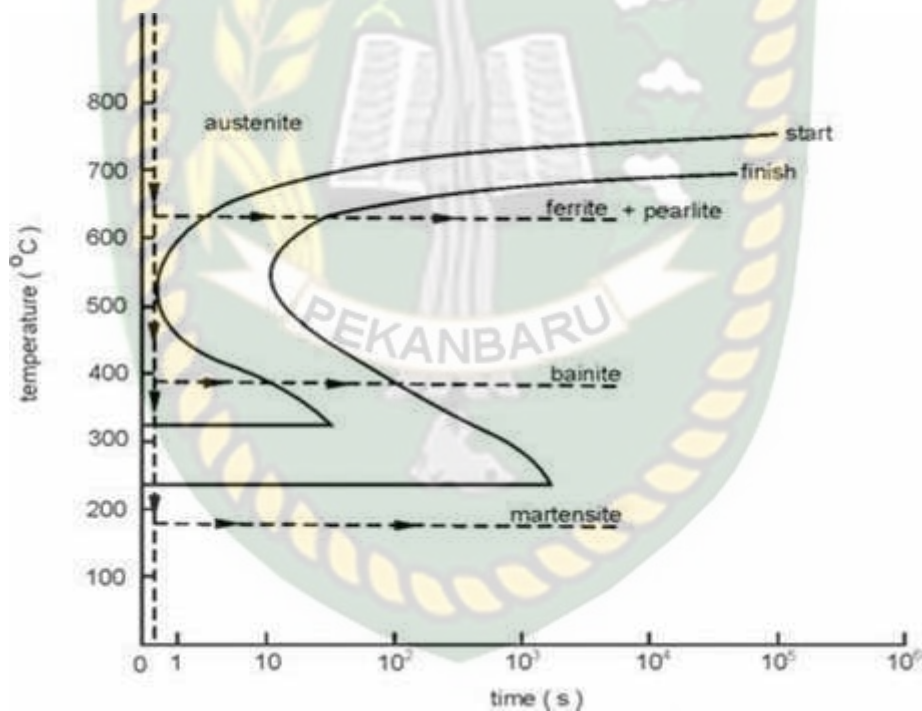
2.8.7 Normalizing

Merupakan proses pemanasan 100°F diatas temperatur kritis atas sekitar temperatur 1000°F-1250°F. Tujuan proses ini adalah untuk menghasilkan baja

yang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja hasil proses *full annealing*, jadi aplikasi penerapan dari proses *normalizing* digunakan sebagai *final treatment*.

2.9 Heat Treatment dengan pendinginan

1. Heat Treatment dengan pendinginan tak menerus Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram: Isothermal Transformation Diagram.



Gambar 2.10 Diagram *Time Temperature Transformasion*

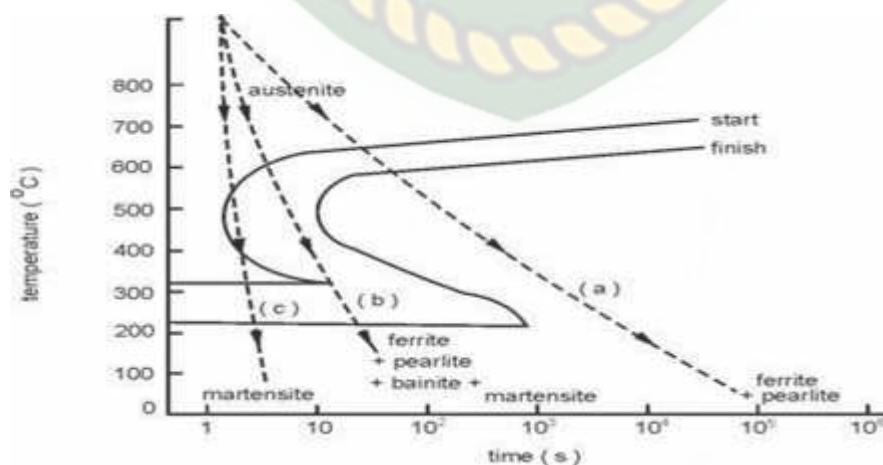
Penjelasan diagram:

Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja. Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0.83% yang ditahan suhunya

dititik tertentu yang letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit. Bila ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit). Bila ditahan suhunya pada titik tertentu dibawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas). Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan. Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2. Heat treatment dengan pendinginan menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan manerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram Continuous Cooling Transformation Diagram.



Gambar 2.11 Diagram *Continuous Cooling Transformation*

Penjelasan diagram :

Pada proses pendinginan secara perlahan seperti pada garis (a) akan menghasilkan struktur mikro perlit dan ferlit. Pada proses pendinginan sedang, seperti, pada garis (b) akan menghasilkan struktur mikro perlit dan bainit. Pada proses pendinginan cepat, seperti garis (c) akan menghasilkan struktur mikro martensit.

2.10 Media Pendingin

Setelah baja dipanaskan (*heat treatment*) hingga mencapai suhu yang telah ditentukan lalu baja didinginkan (*Quenching*) dengan *Annealing* untuk mendapatkan jenis struktur mikro. Jenis media pendingin biasanya dibedakan atas kekentalan atau viskositasnya, dimana kekentalan ini akan berpengaruh terhadap laju pendinginan, sedangkan laju pendinginan akan berpengaruh terhadap struktur mikro yang terentuk.

2.10.1 Collant

Secara umum *coolant* adalah media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan benda kerja dan alat potong pada saat proses permesinan. Digunakan pula untuk melumasi alat potong sehingga memiliki umur pakai yang lebih lama.

Collant merupakan cairan hasil campuran *ethylene* atau *propylene glycol* dan air. Biasanya rasio perbandingan zat mineral itu berkisar 50/50.

a) Fungsi Coolant

Di dalam proses permesinan, kita harus mengenal coolant sebagai suatu cara menambah/ memperpanjang umur pahat.

Fungsi dari coolant secara umum adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan temperatur pahat pada saat pemotongan
2. Menurunkan gaya potong
3. Memperpanjang umur pahat
4. Melumasi elemen pembimbing (*ways*)
5. Memperhalus atau memperbaiki kualitas permukaan benda kerja
6. Membersihkan geram dari bidang geram pada saat proses pemotongan
7. Proteksi korosi pada permukaan benda kerja yang baru terbentuk

b) **Jenis-Jenis Coolant**

Jenis *coolant* kimia

Agar cairan media pendingin bisa berfungsi optimal, maka adakalanya harus ditambahkan beberapa unsur kimia. Untuk itu, berikut ini akan dijelaskan unsur-unsur apa saja yang sering ditambahkan kedalam cairan coolant, termasuk kegunaannya.

Zat kimia yang ditambahkan pada coolant:

1. Amina dan Nitrit: bertujuan untuk mencegah karat
2. Nitrat: dimaksudkan untuk menstabilkan Nitrit
3. Fospat dan Borak: untuk me lunakkan air
4. Soda dan air: untuk melumasi dan mengurangi tegangan permukaan.
5. Fosfor, Chlorin dan Belerang: untuk pelumasan secara kimiawi
6. Chlorin: untuk pelumasan
7. Glikol: sebagai bahan pengaduk dan pembasah
8. Germisida: untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri

Jenis coolant mineral :

1. *Straight Oils* (Minyak murni)

Minyak murni (*Straight Oils*) adalah minyak yang tidak dapat diemulsikan dan digunakan pada proses pemesinan dalam bentuk sudah diencerkan. Minyak ini terdiri dari bahan minyak mineral dasar atau minyak bumi, dan kadang mengandung pelumas yang lain seperti lemak, minyak tumbuhan, dan ester. Selain itu bisa juga ditambahkan aditif tekanan tinggi seperti *Chlorine*, *Sulphur* dan *Phosporus*. Minyak murni menghasilkan pelumasan terbaik, akan tetapi sifat pendinginannya paling jelek diantara cairan pendingin yang lain.

2. *Soluble Oils*

Soluble Oil akan membentuk emulsi ketika dicampur dengan air. Konsentrat mengandung minyak mineral dasar dan pengemulsi untuk menstabilkan emulsi. Minyak ini digunakan dalam bentuk sudah diencerkan (biasanya konsentrasinya = 3 sampai 10%) dan unjuk kerja pelumasan dan penghantaran panasnya bagus. Minyak ini digunakan luas oleh industri pemesinan dan harganya lebih murah diantara cairan pendingin yang lain.

c) **Jenis coolant yang sering digunakan**

1. *Water coolant*

Adalah salah satu jenis coolant yang biasanya digunakan dan dikhususkan untuk pengerjaan benda-benda yang hanya mengalami proses permesinan (pemotongan) skala kecil, yang sedikit berpengaruh pada material total. Misal: digunakan untuk pengerjaan facing benda dengan material kecil.

2. *Oil coolant*

Berkebalikan dengan *water coolant*, *Oil coolant* biasanya digunakan untuk pengerjaan benda yang mengalami hard process. Proses permesinan (pemotongan) biasanya berlangsung secara continou dan berefek besar pada material total. Misal: pengerjaan pada mesin pfauter.

3. *Air spray coolant*

Digunakan untuk pengerjaan benda-benda yang menghasilkan sisa pemotongan berupa serbuk, biasanya akan menyebabkan kerusakan jika menempel pada bagian mesin yang bergeser. Misal: pengerjaan material *brass* dan *cash*.

4. *Water and oil coolant*

Digunakan untuk pengerjaan material secara umum. Bisa digunakan untuk proses ringan maupun proses yang berat. Karena campuran antara oli dan air memiliki ketahanan panas yang baik dan ketahanan terhadap karat yang cukup baik. Misal: pengerjaan st.60 pada mesin VG45.

5. *Ethanol coolant*

Masih sangat jarang digunakan dalam proses permesinan, tetapi merupakan coolant yang ideal untuk high speed and *micro machining* karena viskositas *ethanol* yang lebih dari oli menjadikan *ethanol* lebih mudah “mengcover” bagian yang mengalami proses permesinan. Dikhususkan untuk material non-ferro. Misal: nillon.

6. *Liquid ice coolant*

Merupakan salah satu dari jenis coolant terbaru yang belum banyak digunakan. Sangat mudah larut dalam air, dan cocok digunakan untuk proses *metalworking*. Cocok untuk berbagai macam mesin mulai dari milling, turning dan juga grinding. Tidak beracun, tidak menyebabkan penyakit, dan tidak menimbulkan bau.

d) **Aplikasi Coolant**

Pemakaian cairan pendingin biasanya mengefektifkan, walaupun dari beberapa produsen mesin perkakas masih mengijinkan adanya pemotongan tanpa cairan pendingin.

Aplikasi coolant untuk beberapa proses pemesinan yaitu:

1. Gurdi (drilling)
2. Reamer (reaming)
3. Pengetapan (taping)
4. Bubut (turning)
5. Pembuatan ulir (threading).

2.11 Penahanan Suhu Stabil (Holding time)

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang *homogeny* pada struktur austenitnya atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite dan difusi karbon dan unsur paduannya.

Pedoman untuk menentukan *holding time* dari berbagai jenis baja :

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah, mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan *holding time* singkat, 5-15 menit.

2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan *holding time* 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. *Low alloy tool steel*, memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. *High alloy chrome steel*, membutuhkan *holding time* yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya.
5. *Hot work tool steel*, mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 1000°C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi, 15 – 30 menit.
6. *High speed steel*, memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir *holding time* diambil hanya beberapa menit saja.

2.12 Uji kekerasan

Kekerasan suatu bahan adalah peristilah yang kabur, yang mempunyai banyak arti tergantung pada pengalaman pihak-pihak yang terlibat. Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk orang-orang yang berkecimpung dalam mekanika pengujian bahan, banyak yang mengartikan kekerasan sebagai ukuran ketahanan terhadap lekukan (Djaprie, 1993).

2.12.1 Kekerasan Brinell

Uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya adalah metode yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Uji kekerasan Brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, untuk menghindari jejak yang dalam, dan untuk bahan yang sangat keras, digunakan paduan karbida tungsten, untuk memperkecil terjadinya distorsi indenter. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari harga rata-rata dari 2 buah pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus. Angka kekerasan Brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan. Rumus untuk kekerasan tersebut adalah:

(Djaprie, 1993).

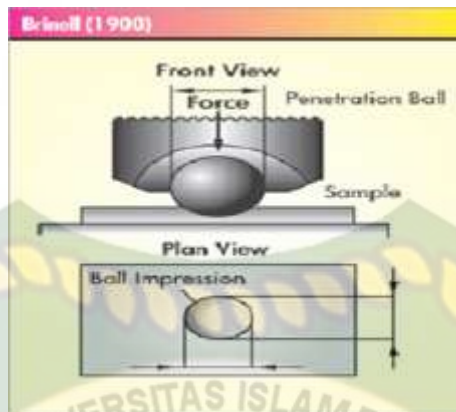
$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana P = beban yang diterapkan, kg

D= diameter bola, mm

d= diameter lekukan, mm

t= kedalaman jejak, mm



Gambar 2.12 Skematik prinsip indentasi dengan metode *Brinell*

2.12.2 Kekerasan Vickers

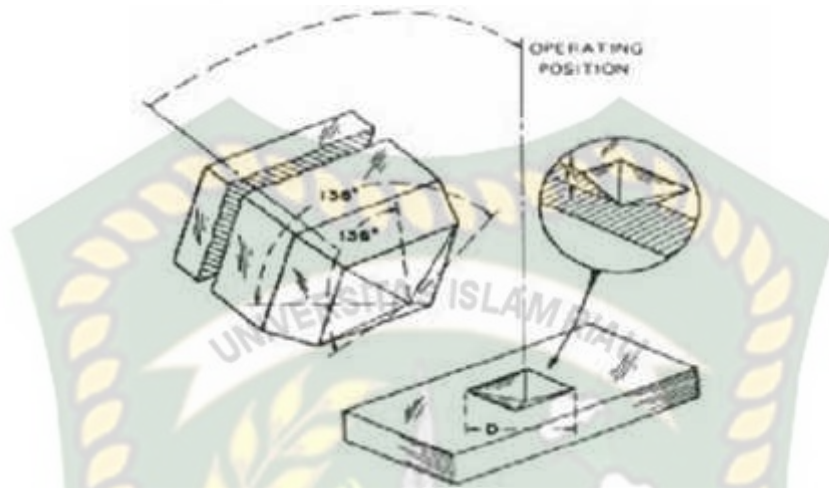
Uji kekerasan vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih, karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan Brinell. Karena bentuk penumbuknya piramid, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramid intan. Angka kekerasan piramid intan (DPH), atau angka kekerasan vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. DPH dapat ditentukan dari persamaan berikut : (Djaprie, 1993)

$$DPH = \frac{2P \sin(A/2)}{L^2} = \frac{1.8 P}{L^2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana P = beban yang diterapkan, kg

L = panjang diagonal rata-rata, mm

A = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°



Gambar 2.13 Skematis prinsip indentasi dengan metode *Vickers*

2.12.3 Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan yang paling banyak dipergunakan di Amerika serikat adalah uji kekerasan Rockwell. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapatkan perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kekerasan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk (Djaprie, 1993).

2.13 Pengamatan Metalography

Pengamatan *Metalography* adalah pengujian untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat dalam logam, dimana struktur logam merupakan penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal, pada umumnya logam terdiri dari banyak kristal. Dalam logam, pengertian kristal sering pula disebut sebagai butiran. Batas pemisah antara dua kristal disebut batas butir (*grain boundry*). Di desain juga untuk mengetahui ikatan yang terjadi pada logam campuran.



Gambar 2.14 Alat Pengamatan *Metalography*

2.14 Uji Impak

Material mungkin mempunyai kekuatan tarik tinggi tapi tidak tahan terhadap beban kejut. Untuk menentukannya perlu dilakukan uji ketahanan impak. Ketahanan impak biasanya diukur dengan uji impak *Izod* atau *Charpy* terhadap benda uji bertakik atau tanpa takik. Pada pengujian ini beban diayunkan dari

ketinggian tertentu dan mengenai benda uji, kemudian diukur energi disipasi pada patahan. Pengujian ini bermanfaat untuk memperlihatkan penurunan keuletan dan kekuatan impact material berstruktur bcc pada temperatur rendah (Djaprie, 2000).



Gambar 2.15 Alat Uji Impact

Energi yang diserap (Eserap) yaitu :

$$E_s = G \times R (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

Eserap = Energi yang diserap (J)

G = Berat beban/pembebanan (N)

R = Jari-jari pusat putar ketitik berat pembentur (m)

θ_1 = Sudut ayunan tanpa benda uji

θ_2 = Sudut ayunan mematahkan benda uji

Harga Impak (HI) yaitu :

$$H = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

HI = Harga Impak (J/mm³)

Eserap = Energi yang diserap (N.mm²)

A_o = Luas penampang dibawah takik (mm²)

