

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Bucket Teeth Excavator Backhoe

Excavator, backhoe atau shovel adalah suatu alat berat yang diperuntukkan memindahkan suatu material, sehingga dapat meringankan pekerjaan yang berat apabila dilakukan dengan tenaga manusia. Dan juga untuk mempercepat waktu pengerjaan sehingga dapat menghemat waktu. ^[1]



Gambar 2.1 Excavator ^[1]

Excavator sering digunakan untuk :

- Menggali parit, lubang, pondasi
- Penghancuran gedung
- Perataan permukaan tanah
- Mengangkat dan memindahkan material
- Mengeruk sungai
- Pertambangan

Beberapa bidang industri yang sering menggunakan *Excavator* antara lain *Konstruksi*, *Pertambangan*, dan *Infrastruktur*. ^[1]

2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi Bucket excavator backhoe

Dalam melakukan kegiatan penggalian, banyak hal yang mempengaruhi pencapaian produksi, diantaranya :

1. Faktor alat

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi penggalian atau kapasitas penggalian Bucket excavator backhoe adalah:

- a. Karakteristik bahan dan *bucket*
- b. Kecepatan Penggalian
- c. Desain kapasitas *bucket* dan jumlah *bucket*
- d. Jumlah dan bentuk gigi *bucket* ^[2]

2. Faktor alam

a. Kekerasan Material

Kekerasan material mempengaruhi produksi karena semakin pengisian *bucket* , maka semakin besar produksi yang dicapai. Jenis material ini akan sangat berpengaruh terhadap konstruksi *bucket* karena saat menggali material keras ini akan terjadi vibrasi yang tinggi yang akan menyebabkan kerusakan pada konstruksi *bucket*. Agar tidak terjadi vibrasi maka kecepatan penggalian harus dikurangi untuk menurunkan vibrasi.

b. Kelengketan material (*sticky material*)

Jenis material lengket akan menyebabkan tanah galian yang telah masuk ke dalam bucket tidak tumpah ke tempat yang di sediaka, tetapi akan jatuh ke lantai lain atau ikut berputar bersama *bucket* sehingga pada pengisian berikutnya *bucket* tidak terisi penuh.

c. *Material abrasive*

Material *abrasive* ini akan berpengaruh terhadap kecepatan ausnya *bucket teeth*. Akibatnya, maka pengerukan yang dilakukan *bucket teeth* tidak bisa terlalu dalam sehingga pengisian *bucket* menjadi rendah.

d. *Selective mining*

Merupakan sistem penggalian dengan cara memilih lapisan tanah oleh *bucket teeth*, dimana prinsip kerja *bucket teeth* menggali batubara yang di atasnya terhadap lapisan tanah penutup yang tipis akibat sisa penggalian *bucket teeth* pada lapisan atasnya.

e. Kondisi permukaan kerja

Kondisi permukaan kerja yang dihadapi adalah hal yang menyangkut geometri blok penggalian. Kondisi permukaan kerja ini merupakan suatu pola dimana *bucket teeth* dapat bekerja dengan leluasa, aman, dan sesuai kemampuan.

f. Kemampuan Operator

Kemampuan operator yang sangat berpengaruh pada penggalian adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan untuk membatasi sudut ayunan (*slewing*) dan pembalikan arah ayun.
2. Keahlian dalam berpindah *slice* sehingga angka pengisian *bucket* tetap tinggi
3. Kemampuan operator dalam meng-*inching* (mengatur ketebalan sayatan) sehingga tidak terjadi *overload* atau *bucket* kurang penuh. [2]

2.3 Jenis – jenis *Bucket Excavator*

Karena perbedaan kebutuhan dalam pemakaian Excavator dalam suatu bidang industri, sehingga Excavator dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan jenis bucketnya, antara lain :

1. **Standart Bucket** : adalah jenis bucket yang sering digunakan karena flexible untuk beberapa kondisi pekerjaan.



Gambar 2.2 *Bucket* standar [3]

2. **Ripper Bucket** : Bucket jenis ini cocok untuk menggali lapisan bebatuan dan tanah liat yang keras. Bucket ini mempunyai penetrasi cukup dalam.



Gambar 2.3 Ripper Bucket^[3]

3. **Trapezoid bucket** : Digunakan untuk membangun kanal atau irigasi.



Gambar 2.4 Trapezoid Bucket^[3]

4. **Slope finishing bucket** : Digunakan untuk meratakan permukaan tanah karena memiliki bucket yang datar dan lebar. Biasa untuk meratakan jalan, kanal, sisi lereng, sisi sungai, dll.



Gambar 2.5 *Slope Finishing Bucket* ^[3]

5. **Ditch cleaning bucket** : Berfungsi untuk membersihkan sungai atau mengeruk lumpur di dasar sungai. Bucket ini mempunyai beberapa lubang yang berfungsi sebagai tempat keluarnya air.



Gambar 2.6 *Ditch Cleaning Bucket* ^[3]

6. **Single shank ripper** : digunakan untuk mempersiapkan lahan yang akan digali terutama untuk lahan bebatuan dan juga untuk mencabut akar batang pohon.



Gambar 2.7 Single Shank Ripper^[3]

2.4 Bucket Teeth Excavator

Bucket teeth adalah salah satu komponen yang penting untuk excavator. Pada penggunaannya bucket ini akan mengalami pembebanan impak dan *vibrasi* yang cukup tinggi, maka material yang digunakan untuk membuat komponen ini harus memiliki sifat ketahanan terhadap aus, kekuatan dan keuletan yang cukup tinggi.



Gambar 2.8 Bucket teeth excavator backhoe

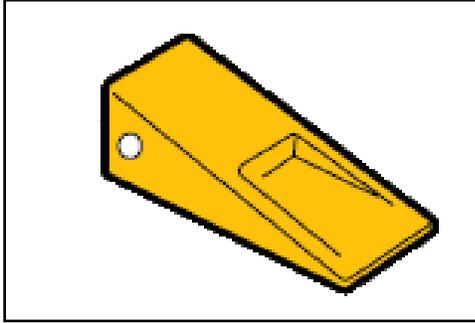
A. Jenis-jenis Bucket teeth excavator

Bucket tip terdiri dari bermacam jenis, yaitu:

1. Long tip

- Bagus untuk sebagian besar pekerjaan.
- Memiliki kekuatan yang baik.

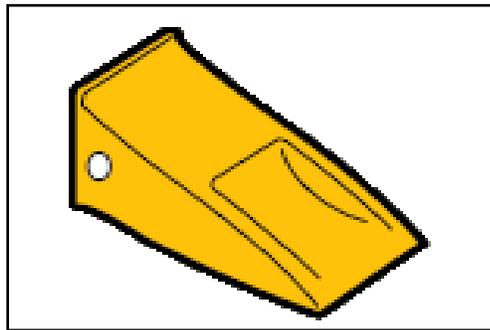
- Tahan aus.



Gambar 2.9 Long tip^[4]

2. Heavy duty long tip

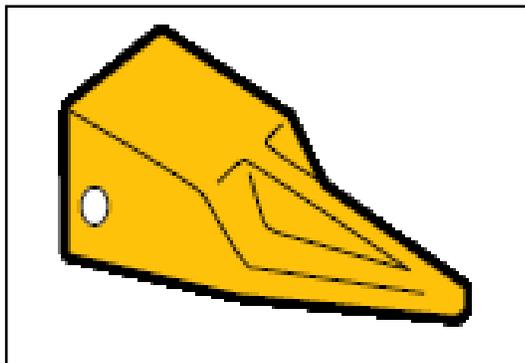
- Lebih tahan aus dari *long tip* dan lebih kuat.
- Digunakan pada unit yang besar dalam pekerjaan pengangkutan dan penggalian



Gambar 2.10 Heavy duty long tip^[4]

3. Sharp tip

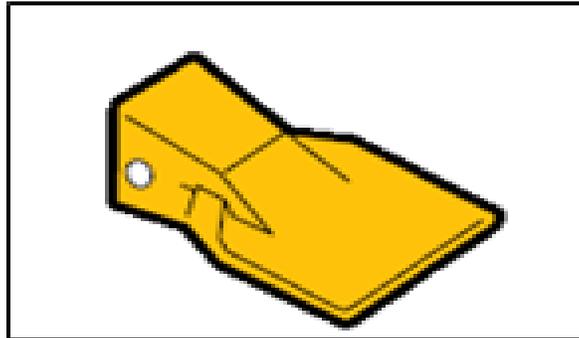
- Digunakan dimana penetrasi menjadi perhatian utama.
- Digunakan pada material yang kurang menyebabkan aus.
- Kurang tahan terhadap benturan.



Gambar 2.11 Sharp tip^[4]

4. *Wide tip*

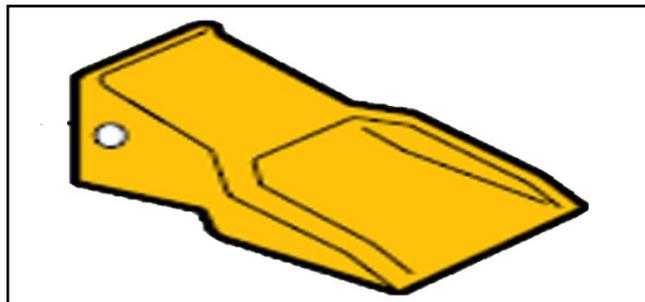
- Digunakan untuk membersihkan lantai.
- Kurang tahan terhadap benturan.
- Tahan terhadap material yang menyebabkan aus.



Gambar 2.12 *Wide tip* ^[4]

5. *Heavy duty abrasion tip*

- Digunakan pada unit yang besar ketika bekerja dengan pasir, kerikil, dan batu.



Gambar 2.13 *Heavy duty abrasion tip* ^[4]

B. Proses pembuatan *Bucket Teeth*

Bucket teeth excavator terbuat dari material baja dengan proses pengecoran. Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan parts dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi

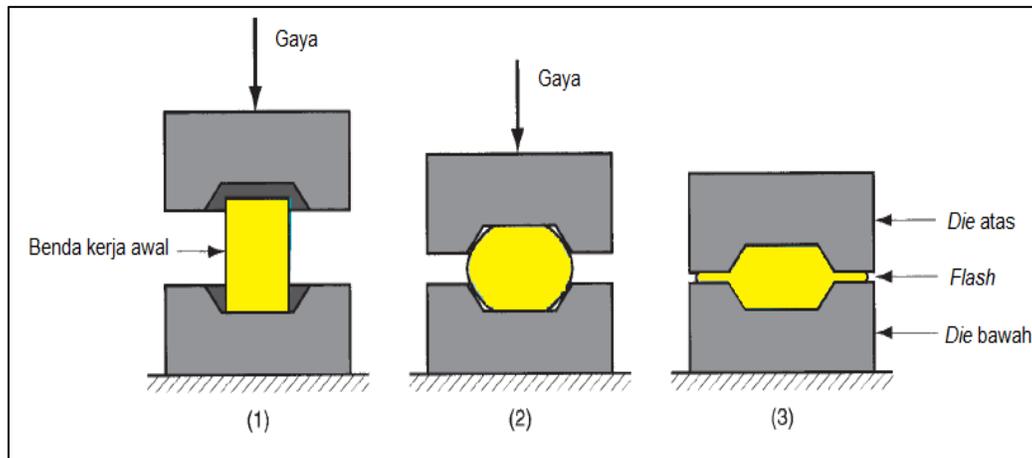
rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan disingkirkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder. ^[5]



Gambar 2.14 Hasil pengecoran *Bucket teeth* ^[5]

Proses pengecoran juga dapat dikatakan sebagai proses pembentukan karena logam cair tersebut dibentuk dalam cetakan dan di diamkan hingga membeku. Bahan dengan komposisi tersebut dalam keadaan struktur normal terlalu lunak untuk *bucket teeth*, jadi harus dihardening dan tempering. Untuk komposisi tersebut dipanaskan pada T 850 °C – 900 °C kemudian diquench kedalam oli. Selanjutnya harus dilakukan tempering agar kuku tidak terlalu getas. Gunakan temperatur antara 450°C-500°C (tergantung kekerasan akhir yang diinginkan). ^[6]

Pada *bucket teeth* ini ada yang dibentuk dengan proses *forging* (tempa), *forging* merupakan penekanan pada logam diantara dua cetakan (die) menggunakan beban tiba-tiba (impact) dengan daya tekan yang tinggi pada benda kerja sehingga membentuk produk jadi.

Gambar 2.15 Mekanisme proses *forging* [6]

2.5 Baja

Baja adalah paduan besi dengan karbon dimana kadar karbonnya maksimal 2%. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur peneras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (manganese), krom (chromium), vanadium, dan tungsten. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). [7]

2.5.1 Klasifikasi Baja

1. Baja karbon

Baja Karbon merupakan baja dengan paduan utamanya adalah karbon. Baja ini diklasifikasikan berdasarkan jumlah karbonnya yaitu:

A. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25%C. Sifatnya mudah ditempa, mudah dimesin (*machining*) dan dilas. Baja karbon rendah memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik tetapi kekerasannya dan keausannya rendah. Baja karbon rendah biasa digunakan untuk komponen bodi mobil, struktur bangunan, jembatan dan lain-lain.

B. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja ini memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Baja karbon sedang mengandung kadar karbon 0,25%C-0,5%C. Penggunaan dengan kandungan 0,30 % - 0,40 % C digunakan pada *connecting rods, crank pins, and axles*, kandungan 0,40 % - 0,50 % C digunakan untuk *car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits, and screwdrivers*.

C. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kadar karbon 0,5%C-1,7%C. Memiliki sifat tahan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, namun keuletannya rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas.

2. Baja Paduan

Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu:

- Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keliatan, kekuatan tarik dan sebagainya)
- Untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah
- Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi)
- Untuk membuat sifat-sifat spesial

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi:

- *Low alloy steel*, jika elemen paduannya $\leq 2,5$ %
- *Medium alloy steel*, jika elemen paduannya 2,5 – 10 %
- *High alloy steel*, jika elemen paduannya > 10 %

A. Berdasarkan persentase paduan

Baja paduan juga dibagi menjadi dua golongan yaitu baja campuran khusus (*special alloy steel*) & *high speed steel*.

a. Baja paduan rendah

Bila jumlah unsur tambahan selain karbon lebih kecil dari 8% (menurut Degarmo 2005). Sumber lain, misalnya Smith dan Hashemi menyebutkan 4%, misalnya : suatu baja terdiri atas 1,35%C; 0,35%Si; 0,5%Mn; 0,03%P; 0,03%S; 0,75%Cr; 4,5%W (Dalam hal ini 6,06% $<$ 8%)

b. Baja paduan tinggi

Bila jumlah unsur tambahan selain karbon lebih dari atau sama dengan 8% (atau 4% menurut Smith dan Hashemi), misalnya : baja HSS (High Speed Steel) atau SKH 53 (JIS) atau M3-1 (AISI) mempunyai kandungan unsur :

1,25%C; 4,5%Cr; 6,2%Mo; 6,7%W; 3,3%V. Sumber lain menyebutkan:

- Lowalloy steel (baja paduan rendah), jika elemen paduannya $\leq 2,5$ %
- Medium alloy steel (baja paduan sedang), jika elemen paduannya 2,5 – 10 % C.
- High alloy steel (baja paduan tinggi), jika elemen paduannya > 10 %.

B. Berdasarkan jumlah komponennya

a. Baja tiga komponen

Terdiri satu unsur pepaduan dalam penambahan Fe dan C.

b. Baja empat komponen atau lebih

Terdiri dua unsur atau lebih pepaduan dalam penambahan Fe dan C. Sebagai contoh baja paduan yang terdiri: 0,35% C, 1% Cr, 3% Ni dan 1% Mo.

C. Berdasarkan strukturnya

Terdiri dua unsur atau lebih pepaduan dalam penambahan Fe dan C. Sebagai contoh baja paduan yang terdiri: 0,35% C, 1% Cr, 3% Ni dan 1% Mo.

1. Baja pearlit (sorbit dan troostit)

Unsur-unsur paduan relatif kecil maximum 5% Baja ini mampu dimesin, sifat mekaniknya meningkat oleh heat treatment (hardening & tempering).

2. Baja martensit

Unsur pepadunya lebih dari 5 %, sangat keras dan sukar dimesin .

3. Baja austenit

Terdiri dari 10 – 30% unsur pepaduan tertentu (Ni, Mn atau CO) Misalnya : Baja tahan karat (Stainless steel), nonmagnetic dan baja tahan panas (heat resistant steel).

4. Baja ferrit
Terdiri dari sejumlah besar unsur pepadu (Cr, W atau Si) tetapi karbonnya rendah. Tidak dapat dikeraskan.
 5. Karbid atau ledeburit
Terdiri sejumlah karbon dan unsur-unsur pembentuk karbid (Cr, W, Mn, Ti, Zr).
- D. Berdasarkan penggunaan dan sifat-sifatnya
1. Baja konstruksi (structural steel)

Dibedakan lagi menjadi tiga golongan tergantung persentase unsur pepadunya, yaitu baja paduan rendah (maksimum 2 %), baja paduan menengah (2- 5 %), baja paduan tinggi (lebih dari 5 %). Sesudah di-heat treatment baja jenis ini sifat-sifat mekaniknya lebih baik dari pada baja karbon biasa.
 2. Baja perkakas (tool steel)

Dipakai untuk alat-alat potong, komposisinya tergantung bahan dan tebal benda yang dipotong/disayat, kecepatan potong, suhu kerja. Baja paduan jenis ini dibedakan lagi menjadi dua golongan, yaitu baja perkakas paduan rendah (kekerasannya tak berubah hingga pada suhu 250 °C) dan baja perkakas paduan tinggi (kekerasannya tak berubah hingga pada suhu 600°C). Biasanya terdiri dari 0,8% C, 18% W, 4% Cr, dan 1% V, atau terdiri dari 0,9% C, 9 W, 4% Cr dan 2-2,5% V.
 3. Baja dengan sifat fisik khusus

Dibedakan lagi menjadi tiga golongan, yaitu baja tahan karat (mengandung 0,1-0,45% C dan 12-14% Cr), baja tahan panas (yang mengandung 12-14% Cr tahan hingga suhu 750-800oC, sementara yang mengandung 15-17% Cr tahan hingga suhu 850-1000oC), dan baja tahan pakai pada suhu tinggi (ada yang terdiri dari 23-27% Cr, 18-21% Ni, 2-3% Si, ada yang terdiri dari 13-15% Cr, 13-15% Ni, yang lainnya terdiri dari 2-2,7% W, 0,25-0,4% Mo, 0,4-0,5% C).

4. Baja paduan istimewa

Baja paduan istimewa lainnya terdiri 35-44% Ni dan 0,35% C, memiliki koefisien muai yang rendah yaitu :

- Invar : memiliki koefisien muai sama dengan nol pada suhu 0 – 100 °C, digunakan untuk alat ukur presisi.
- Platinite : memiliki koefisien muai seperti glass, sebagai pengganti platina.
- Elinvar : memiliki modulus elastisitet tak berubah pada suhu 50°C sampai 100°C. Digunakan untuk pegas arloji dan berbagai alat ukur fisika.

5. Baja Paduan dengan Sifat Khusus

- Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Sifatnya antara lain:

- Memiliki daya tahan yang baik terhadap panas, karat dan goresan/gesekan
 - Tahan temperature rendah maupun tinggi
 - Memiliki kekuatan besar dengan massa yang kecil
 - Keras, liat, densitasnya besar dan permukaannya tahan aus
 - Tahan terhadap oksidasi
 - Kuat dan dapat ditempa
 - Mudah dibersihkan
 - Mengkilat dan tampak menarik
- High Strength Low Alloy Steel (HSLA)

Sifat dari HSLA adalah memiliki tensile strength yang tinggi, anti bocor, tahan terhadap abrasi, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, ulet, sifat mampu mesin yang baik dan sifat mampu las yang tinggi (weldability). Untuk mendapatkan sifat-sifat di atas maka baja ini diproses secara khusus dengan menambahkan unsur-unsur seperti: tembaga (Cu), nikel (Ni), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Vanadium (Va) dan Columbium.

- Baja Perkakas (Tool Steel)

Sifat-sifat yang harus dimiliki oleh baja perkakas adalah tahan pakai, tajam atau mudah diasah, tahan panas, kuat dan ulet. Kelompok dari tool steel berdasarkan unsur paduan dan proses pengerjaan panas yang diberikan antara lain:
- Later hardening atau carbon tool steel (ditandai dengan tipe W oleh AISI), Shock resisting (Tipe S), memiliki sifat kuat dan ulet dan tahan terhadap beban kejut dan repeat loading. Banyak dipakai untuk pahat, palu dan pisau.
- Cool work tool steel, diperoleh dengan proses hardening dengan pendinginan yang berbeda-beda. Tipe O dijelaskan dengan mendinginkan pada minyak sedangkan tipe A dan D didinginkan di udara.
- Hot Work Steel (tipe H), mula-mula dipanaskan hingga (300 – 500) °C dan didinginkan perlahan-lahan, karena baja ini banyak mengandung tungsten dan molybdenum sehingga sifatnya keras.
- High speed steel (tipe T dan M), merupakan hasil paduan baja dengan tungsten dan molybdenum tanpa dilunakkan. Dengan sifatnya yang tidak mudah tumpul dan tahan panas tetapi tidak tahan kejut.
- Campuran carbon-tungsten (tipe F), sifatnya adalah keras tapi tidak tahan aus dan tidak cocok untuk beban dinamis serta untuk pemakaian pada temperatur tinggi. ^[8]

2.5.2 Pengaruh Unsur Paduan Dalam Baja ^[8]

Pengaruh unsur paduan pada baja tersebut yaitu:

A. Karbon (C)

Karbon (C) adalah unsur penguat yang utama pada baja, jika berkombinasi dengan besi akan membentuk sementit yang sifatnya keras. Penambahan lebih lanjut akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja diiringi dengan penurunan harga impaknya.

B. Mangan (Mn)

Unsur ini senantiasa ada pada seluruh jenis baja komersil, mempunyai sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan (*impact load*) selain itu berperan dalam meningkatkan kekuatan dan kekerasan, menurunkan laju pendinginan kritis sehingga mampu keras baja dapat ditingkatkan dan juga meningkatkan ketahanan terhadap abrasi.

C. Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan pendinginan kritis. Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus, mampu alir dan tahan terhadap panas.

D. Chorm (Cr)

Chrom (Cr) merupakan unsur paduan penting setelah C, dapat membentuk karbida (tergantung pada jenis perlakuan panas yang diterapkan dan kadarnya). Selain itu Cr dapat meningkatkan ketahanan korosi karena dapat membentuk lapisan oksida Cr dipermukaan baja terutama digunakan untuk meningkatkan mampu keras baja, kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan abrasi.

E. Molibdenum (Mo)

Molibdenum (Mo) sangat besar sekali pengaruhnya terhadap mampu keras dibanding dengan unsur paduan lainnya. Molibdenum (Mo) ini dapat membentuk karbida sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap keausan, meningkatkan ketangguhan dan kekuatan pada temperatur tinggi. Mo ini jika berkombinasi dengan unsur paduan lainnya akan meningkatkan ketangguhan dan ketahanan mulur serta dapat meningkatkan ketahanan baja pada temperatur tinggi.

F. Vanadium (V)

Pada baja-baja konstruksi, Vanadium dapat menaikkan kekuatan tarik dan batas mulur serta memperbaiki rasio diantara kekuatan tarik dan mulur. V merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat dan karbida yang terbentuk sifatnya sangat stabil. Dengan penambahan sekitar 0,04 – 0,05 % mampu keras baja karbon medium dapat ditingkatkan. Diatas harga tersebut, mampu kerasnya turun karena adana pembentukan karbida yang tidak larut.

G. Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

H. Sulfur (S)

Saat ditambahkan dalam jumlah kecil sulfur dapat memperbaiki mampu mesin tapi tidak menyebabkan hot shortness. Hot shortness merupakan fenomena getas pada kondisi suhu tinggi yang disebabkan oleh sulfur.

I. Posfor (P)

Unsur posfor biasanya ditambahkan dengan sulfur (S) untuk memperbaiki mampu mesin di baja paduan rendah. Dengan penambahan sedikit unsur posfor dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Penambahan posfor juga dapat meningkatkan kerentangan terhadap crack saat pengelasan.

J. Tembaga (Cu)

Dapat meningkatkan ketahanan baja terhadap atmosfer (tahan korosi), meningkatkan kekuatan dengan sedikit mengorbankan keuletannya.

K. Titanium (Ti)

Dapat meningkatkan kemampuan untuk diperkeras, mengoksidasi baja.

L. Wolfram (W)

Penambahan unsur ini memberikan pengaruh yang sama seperti penambahan molibdenum dan biasanya juga dicampur dengan unsur Ni dan Cr.

M. Timah (Sn)

Dapat meningkatkan kemampuan untuk diproses permesinan.

N. Timbal (Pb)

Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau tangan dan dapat dibentuk dengan mudah. Tahan terhadap korosi atau karat, sehingga logam timbal sering digunakan sebagai *coating* titik lebur rendah hanya 327,5 °C. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa.

O. Niobium (Nb)

Memberikan ukuran butir yang terbaik, dan meningkatkan kekuatan, serta ketangguhan terhadap beban impak dan kemampuan untuk diperkeras.

P. Zirkonium (Zr)

Mengontrol bentuk dari inklus dan meningkatkan ketangguhan pada baja karbon rendah, serta meng-deoksidasi baja.

Q. Zink (Zn)

Unsur seng sangat kuat dan dapat dibentuk dengan menggunakan panas. Dapat menghasilkan permukaan produk yang halus. Biaya rendah dan hanya sejumlah kecil seng digunakan dalam paduan, ia membawa kekuatan tambahan untuk campuran. Hal ini juga membuat logam tahan creep atau mampu mempertahankan kekuatannya di bawah beban yang berat, sementara disuhu tinggi hal ini juga meningkatkan kemampuan paduan untuk menjadi tahan terhadap getaran dan kebisingan. ^[8]

2.6 Identifikasi Material

Identifikasi pada material dapat dilakukan dengan melakukan pengujian pada material uji. Dengan melakukan pengujian, sifat-sifat material yang diuji dapat diketahui. Untuk mengidentifikasi suatu material dapat dilakukan pengujian mekanis, fisik dan kimia. Uji mekanis dilakukan dengan uji keras, dan uji fisik dilakukan dengan uji metalografi. Serta dilakukan uji kimia untuk mengetahui komposisi bahan yang terdapat pada *bucket teeth*.

2.7 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan. Yaitu :

1. Brinell (HB/BHN)
2. Rockwell (HR/RHN)
3. Vickers (HV/HVN)
4. Knoop

Pemilihan masing-masing skala (metode pengujian) tergantung pada :

- a. Permukaan material
- b. Jenis dan dimensi material
- c. Jenis data yang diinginkan
- d. Ketersediaan alat uji

2.7.1 Brinell Hardness

Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*identor*) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan Brinell sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian Rockwell ataupun Vickers. Angka Kekerasan Brinell (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan bola baja (A) dalam milimeter persegi. *Identor* biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter *Identor* 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter *Identornya* 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N. Dalam Praktiknya, pengujian Brinell biasa dinyatakan dalam (contoh) : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan Brinell hasil pengujian dengan bola baja (*Identor*) berdiameter 5 mm, beban Uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.

$$HB = \frac{2F}{\frac{\pi}{2} D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (2.1)$$

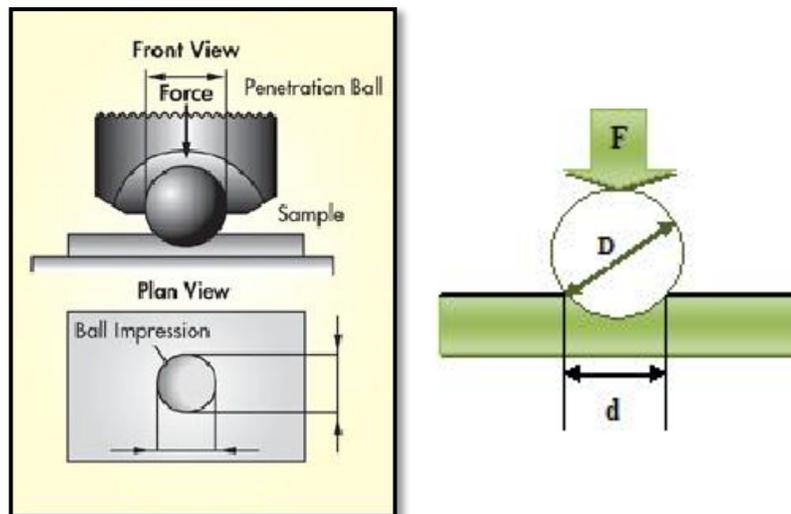
Dimana :

D = Diameter bola (mm)

d = Impression diameter (mm)

F = Load (beban) (kgf)

HB = Brinell result (HB)

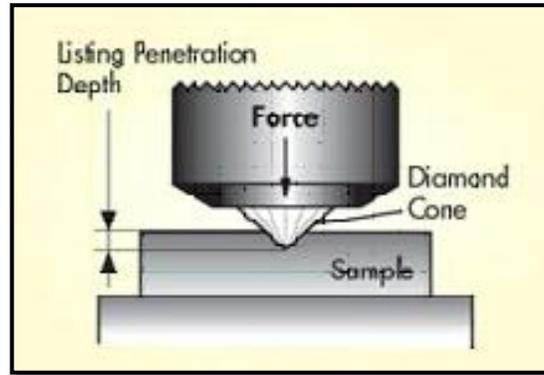


Gambar 2.16 Pengujian Brinell [9]

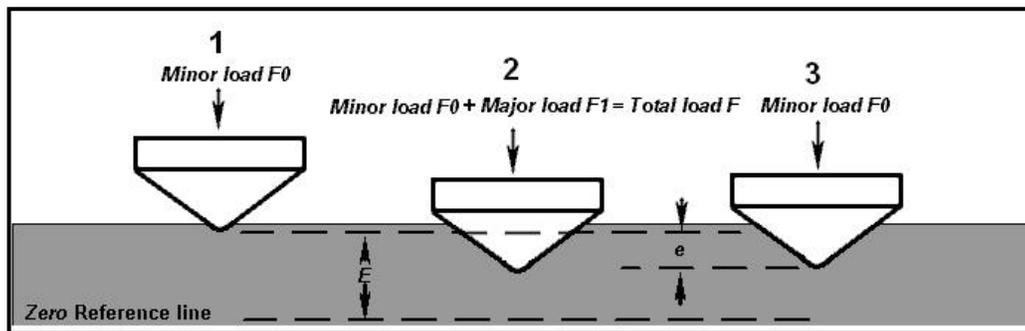
2.7.2 Rockwell Hardness

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell dijelaskan pada gambar 2.5, yaitu pada langkah 1 benda uji ditekan oleh indenter dengan beban minor (*Minor Load* F_0) setelah itu ditekan dengan beban mayor (*major Load* F_1) pada langkah 2, dan pada langkah 3 beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah minor load dimana pada kondisi 3 ini indenter ditahan seperti kondisi pada saat total load F yang terlihat pada Gambar 2.5. Besarnya *minor load* maupun *major load* tergantung dari jenis material yang akan di uji.



Gambar 2.17 Pengujian Rockwell [9]



Gambar 2.18 Prinsip kerja metode pengukuran kekerasan Rockwell [9]

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$HR = E - e \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

F0 = Beban Minor (*Minor Load*) (kgf)

F1 = Beban Mayor (*Major Load*) (kgf)

F = Total beban (kgf)

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002 mm

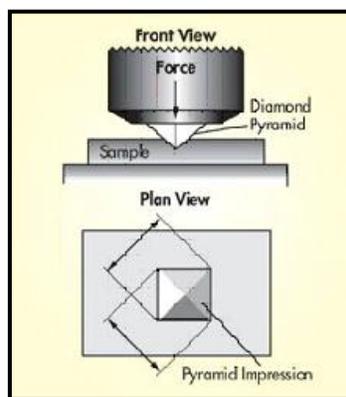
E = Jarak antara indenter saat diberi minor load dan zero reference line yang untuk tiap jenis indenter berbeda-beda yang bias dilihat pada table 1

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness

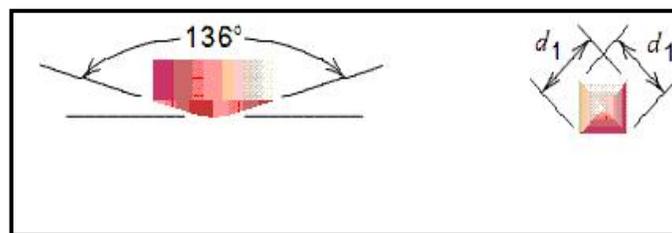
2.7.3 Vickers Hardness

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida

dengan sudut puncak 136° yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 N per 0,102; 10 N per 0,102; 30 N per 0,102N dan 50 per 0,102 N. Dalam Praktiknya, pengujian Vickers biasa dinyatakan dalam (contoh) : HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik.



Gambar 2.19 Pengujian Vikers [9]



Gambar 2.20 Bentuk indentor Vickers [9]

$d = \frac{d_1+d_2}{2}$	$HVN = \frac{P}{A} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$	Maka : $HVN = 1,8 \frac{P}{d^2}$ (2.3)
-------------------------	--	--

Dimana :

A = Luas Penampang, mm²

$$A = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \cdot 0,92} \text{ in, kg}$$

d = Diameter rata-rata bekas penekanan, mm

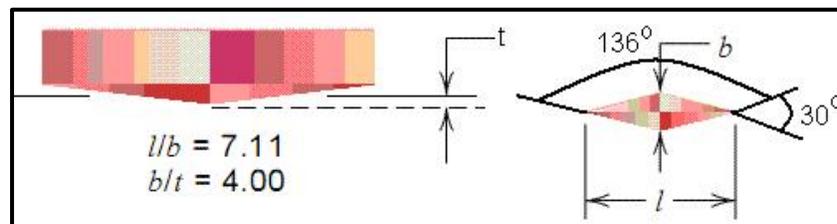
Dengan bentuk penetrator ini maka beban yang diuji dapat divariasikan dengan skala mikro sampai makro.

Beban **P**, yang termasuk skala mikro : 25 gr, 50 gr, 100 gr

Beban **P**, yang termasuk skala makro : beban diatas 100 gr, max 100 kg.

2.7.4 Knoop Hardness

Mikrohardness test tahu sering disebut dengan *knoop hardness* testing merupakan pengujian yang cocok untuk pengujian material yang nilai kekerasannya rendah. Knoop biasanya digunakan untuk mengukur material yang getas seperti keramik. Pengukuran kekerasannya hanya dilakukan di laboratorium, dan permukaan yang akan diuji harus bersih, halus betul-betul rata.



Gambar 2.21 Bentuk indenter Knoop ^[9]

$$HK = 14,2 \frac{F}{l^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

HK = Angka kekerasan Knoop

F = Beban (kgf)

l = Panjang dari indenter (mm)

2.8 Metalografi

Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Adapun secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan pada metalografi adalah:

1. Pemotongan spesimen (*sectioning*)
2. Pembikaian (*mounting*)

3. Penggerindaan, abrasi dan pemolesan (*grinding, abrasion and polishing*)
4. Pengetsaan (*etching*)
5. Observasi pada mikroskop optik

Pada metalografi, secara umum yang akan diamati adalah dua hal yaitu *macrostructure* (struktur makro) dan *microstructure* (struktur mikro). Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 hingga 50 kali. Sedangkan struktur mikro adalah struktur dari sebuah permukaan logam yang telah disiapkan secara khusus yang terlihat dengan menggunakan mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 hingga 3000 kali.

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses Pemotongan merupakan pemindahan material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan ukuran yang kecil. Pemotongan yang salah akan mengakibatkan struktur mikro yang tidak sebenarnya karena telah mengalami perubahan. Kerusakan pada material pada saat proses pemotongan tergantung pada material yang dipotong, alat yang digunakan untuk memotong, kecepatan potong dan kecepatan makan. Pada beberapa spesimen, kerusakan yang ditimbulkan tidak terlalu banyak dan dapat dibuang pada saat pengamplasan dan pemolesan.

b. Pembungkaihan (*Mounting*)

Pembungkaihan seringkali diperlukan pada persiapan spesimen metalografi, meskipun pada beberapa spesimen dengan ukuran yang agak besar, hal ini tidaklah mutlak. Akan tetapi untuk bentuk yang kecil atau tidak beraturan sebaiknya dibungkai untuk memudahkan dalam memegang spesimen pada proses pengamplasan dan pemolesan. Sebelum melakukan pembungkaihan, pembersihan spesimen haruslah dilakukan dan dibatasi hanya dengan perlakuan yang sederhana detail yang ingin kita lihat tidak hilang. Sebuah perbedaan akan tampak antara bentuk permukaan fisik dan kimia yang bersih. Kebersihan fisik secara tidak langsung bebas dari kotoran padat, minyak pelumas dan kotoran lainnya, sedangkan kebersihan kimia bebas dari segala macam kontaminasi. Pembersihan ini bertujuan agar hasil pembungkaihan tidak retak atau pecah akibat pengaruh kotoran yang ada. Dalam pemilihan material untuk

pembingkai, yang perlu diperhatikan adalah perlindungan dan pemeliharaan terhadap spesimen. Bingkai haruslah memiliki kekerasan yang cukup, meskipun kekerasan bukan merupakan suatu indikasi, dari karakteristik abrasif. Material bingkai juga harus tahan terhadap distorsi fisik yang disebabkan oleh panas selama pengamplasan, selain itu juga harus dapat melakukan penetrasi ke dalam lubang yang kecil dan bentuk permukaan yang tidak beraturan.

c. Pengerindaan, Pengamplasan dan Pemolesan

Pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok dimana permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja. Partikel itu dilengkapi dengan partikel abrasif yang menonjol untuk membentuk titik tajam yang sangat banyak. Perbedaan antara pengerindaan dan pengamplasan terletak pada batasan kecepatan dari kedua cara tersebut. Pengerindaan adalah suatu proses yang memerlukan pergerakan permukaan abrasif yang sangat cepat, sehingga menyebabkan timbulnya panas pada permukaan spesimen. Sedangkan pengamplasan adalah proses untuk mereduksi suatu permukaan dengan pergerakan permukaan abrasif yang bergerak relatif lambat sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

Dari proses pengamplasan yang didapat adalah timbulnya suatu sistem yang memiliki permukaan yang relatif lebih halus atau goresan yang seragam pada permukaan spesimen. Pengamplasan juga menghasilkan deformasi plastis lapisan permukaan spesimen yang cukup dalam.

Proses pemolesan menggunakan partikel abrasif yang tidak melekat kuat pada suatu bidang tapi berada pada suatu cairan di dalam serat-serat kain. Tujuannya adalah untuk menciptakan permukaan yang sangat halus sehingga bisa sehalus kaca sehingga dapat memantulkan cahaya dengan baik. Pada pemolesan biasanya digunakan pasta gigi, karena pasta gigi mengandung Zn dan Ca yang akan dapat mengasikkan permukaan yang sangat halus. Proses untuk pemolesan hampir sama dengan pengamplasan, tetapi pada proses pemolesan hanya menggunakan gaya yang kecil pada abrasif, karena tekanan yang didapat diredam oleh serat-serat kain yang menyangga partikel.

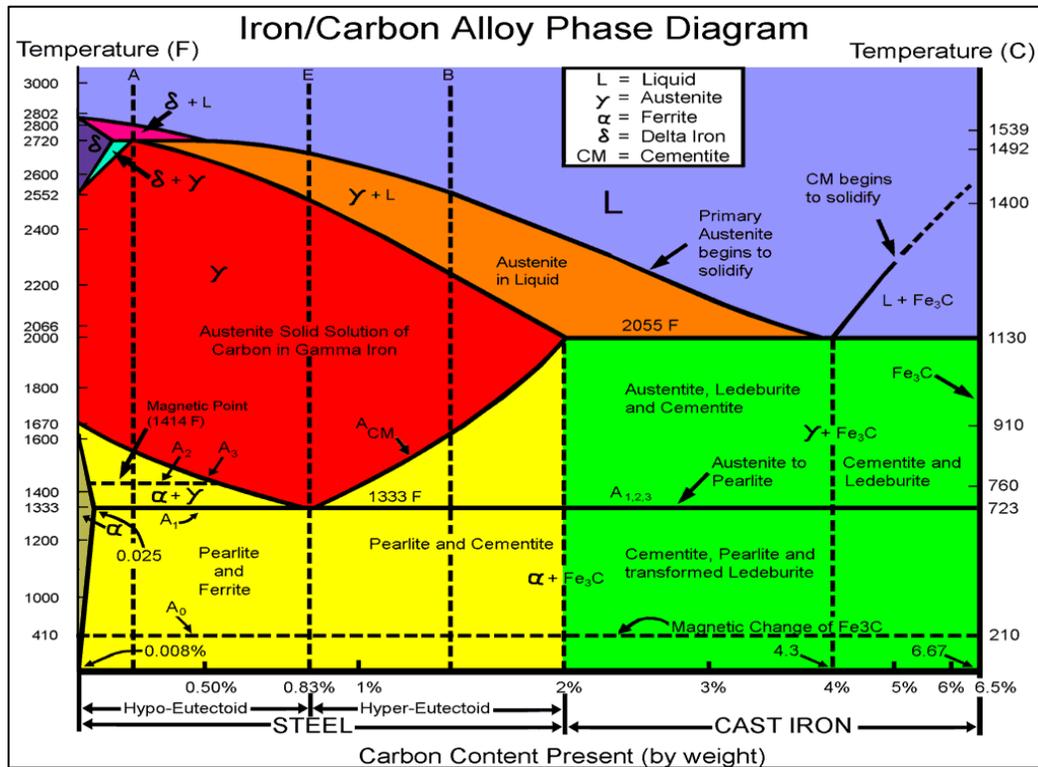
d. Pengetsaan (*Etching*)

Etsa dilakukan dalam proses metalografi adalah untuk melihat struktur mikro dari sebuah spesimen dengan menggunakan mikroskop optik. Spesimen yang cocok untuk proses etsa harus mencakup daerah yang dipoles dengan hati-hati, yang bebas dari deformasi plastis karena deformasi plastis akan mengubah struktur mikro dari spesimen tersebut. Proses etsa untuk mendapatkan kontras dapat diklasifikasikan atas proses etsa tidak merusak (*non disctructive etching*) dan proses etsa merusak (*disctructive etching*).^[10]

2.9 Diagram Fasa Besi Karbon (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. Diagram fasa berfungsi untuk memprediksi fasa-fasa yang terbentuk pada berbagai kondisi temperatur seiring dengan penambahan kadar karbon. Pada diagram fasa seperti terlihat pada gambar 2.9, muncul larutan padat (δ , α , γ) atau disebut besi delta (δ), *austenite* (γ), dan *ferrite* (α).

Ferrite mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan *austenite* mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi.



Gambar 2.22 Diagram fasa besi karbon (Fe-C). [11]

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram fasa Fe₃C yaitu perubahan fasa *ferrite* atau besi alpha, *austenite* atau besi gama, *cementite* atau karbida besi, *perlite*, dan *martensite*.

1. Ferrite atau besi alpha (α)

Ferrite merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana *ferrite* menjadi lunak dan ulet karena *ferrite* memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat.

2. Austenite atau besi gama (γ)

Austenite merupakan modifikasi struktur besi murni dengan struktur FCC (*face centered Cubic*) yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan *ferrite* 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.

3. Karbida dan *cementite*

Karbida besi adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada *pearlite* akan meningkatkan kekerasan baja. Sifat dasar *cimentite* adalah sangat keras.

4. *Pearlite*

Pearlite merupakan campuran antara *ferrite* dengan karbida (*cementite*). Laju pendinginan yang lambat dapat menghasilkan *pearlite* kasar dengan sifat dan ketangguhan yang rendah. Sedangkan bila laju pendinginan cepat dapat menghasilkan *pearlite* halus yang bersifat keras dan tangguh. *Pearlite* memiliki bentuk seperti pelat-pelat yang disusun bergantian antara *cementite* dan *ferrite*. Pada baja *hypoeutektoid*, struktur mikro terdiri dari daerah-daerah *pearlite* yang dikelilingi oleh *ferrite*.

5. *Martensite*

Martensite adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat dan terjadi pada suhu dibawah eutektoid tetapi masih diatas suhu ruang karena struktur *austenite* FCC tidak stabil sehingga akan berubah menjadi struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*) secara serentak. Pada reaksi ini tidak terjadi difusi tetapi pergeseran. *Martensite* terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom-atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini menimbulkan distorsi pada struktur kristal *martensite* dan membentuk BCT. Maka *martensite* akan menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan rapuh menjadi tinggi. Kekerasan yang meningkat ini sangat penting karena dapat menciptakan baja yang keras, tahan gesekan dan deformasi. Pada suhu dibawah suhu eutektoid dalam waktu yang cukup lama, larutan karbon yang lewat jenuh ini terus berubah menjadi bentuk *ferrite* dan karbida yang lebih stabil. Proses ini dikenal dengan nama *tempering*.

M (martensit) \longrightarrow α +karbida (martensit temper)

Mikrostruktur (α +karbida) yang terjadi tidak berbentuk lamel seperti perlit. Martensit temper ini lebih tangguh sehingga banyak digunakan. ^[11]

2.10 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada elektrik terance (tungku) pada temperature rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.

Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperature sangat menentukan.

Tujuan dari Heat Treatment adalah :

1. memulihkan sifat semula suatu bahan yang terganggu karena proses pengerjaan.
2. membuat sifat tertentu sesuai kebutuhan operasional/fungsional dan spesifikasi desain. ^[12]

2.10.1 Jenis-jenis Heat Treatment

a. Quenching (pengerasan)

Proses quenching atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fasa mertensit, ini berupa fasa yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

b. Anneling

Proses anneling atau melunakkan baja adalah prose pemanasan baja di atas temperature kritis ($723\text{ }^{\circ}\text{C}$) selanjutnya dibiarkan bebrapa lama sampai temperatur merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperatur bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan, proses pendinginannya dilakukan didalam tungku.

Tujuan proses anneling :

1. Melunakkan material logam
2. Menghilangkan tegangan dalam / sisa
3. Memperbaiki butir-butir logam.

c. Normalizing

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian diinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih mulus dari anneling. Prinsip dari proses normalizing adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak. Mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon.

d. Tempering

Proses temper adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Proses temper terdiri dari memanaskan baja sampai dengan temperatur dibawah temperatur kritis (A_1), dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan diudara.

Pada saat tempering, karbon dapat melepaskan dari martensit sehingga keuletan baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun. Hal ini menyatakan sifat-sifat mekanik baja yang telah di temper dengan cara mengubah suhu tempering.

Berdasarkan tujuannya proses tempering dibedakan menjadi tiga yaitu :

- a. Tempering pada suhu rendah (150°C - 300°C)

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan sisa dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

- b. Tempering pada suhu menengah (300°C - 550°C)
Tempering pada suhu menengah bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat misalnya palu, pahat dan pegas.
- c. Tempering pada suhu tinggi (550°C - 650°C)
Tempering pada suhu tinggi bertujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi rendah penggunaannya untuk roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

2.11 Faktor Yang Diperhatikan Pada Proses *Heat Treatment*

2.11.1 Laju Pemanasan (*Rate of Heating*)

Jika laju pemanasan terlalu cepat maka perkakas akan retak, jika sebuah produk yang akan dilakukan proses perlakuan panas mempunyai ketebalan yang berbeda, maka akan terjadi perbedaan laju pemanasan antara daerah tipis dan tebal, untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan melakukan *preheating*. *Preheating* dilakukan dibawah garis transformasi A_1 . Jika material kecil dan simetris maka *preheating* dapat dihilangkan.

2.11.2 Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Waktu penahanan pada temperatur *hardening* tergantung dari karbida yang larut. Jumlah karbida berbeda untuk beberapa tipe baja dan waktu penahanan tergantung pada *grade* dari baja tersebut.

Baja karbon dan baja paduan rendah mengandung karbida yang mudah larut sehingga membutuhkan waktu penahanan yang sedikit setelah temperatur *hardening* tercapai. Waktu penahanan biasanya setelah temperatur *hardening* tercapai. Waktu penahanan biasanya 5-15 menit. Baja paduan sedang membutuhkan waktu penahanan 15-25 menit.

Baja paduan *tool steels* membutuhkan waktu 0,5 menit per milimeter tebal. Waktu minimum dan maksimum yang dibutuhkan 5 menit dan 1 jam. *High alloy chrome* membutuhkan waktu yang lama dari semua baja perkakas dan waktu pemanasan tergantung pada temperatur *hardening*. Waktu penahanan yang sedikit dan terlalu lama akan menghasilkan kekerasan yang rendah. Waktu yang paling aman adalah 1 jam per inci tebal.

2.11.3 Media Pendingin

tujuan utama dari proses pengerasan adalah agar diperoleh struktur martensit yang keras, sekurang-kurangnya dipermukaan baja. Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

a. Air (*water*)

Medium air cocok untuk media pendinginan karena efisien laju pendinginannya lebih cepat dari pada oli dan pembentuk struktur martensit.

b. Oli (*Oil*)

Oli digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas dapat memberikan lapisan karbon pada kulit benda kerja. Struktur yang terbentuk adalah martensit. Semakin banyak unsur karbon maka struktur martensit yang terbentuk juga akan semakin banyak.

c. Udar (*air*)

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara.

d. Garam (*salt*)

Garam dipakai sebagai bahan pendingin karena memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahkan yang didinginkan di dalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras. ^[12]