

## BAB II

### TEORI DASAR

#### 2.1 Material

Material adalah sesuatu yang disusun/dibuat oleh campuran dari beberapa jenis bahan. Material digunakan untuk membuat peralatan mesin industri, transportasi, suku cadang hingga peralatan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Ilmu material/bahan merupakan pengetahuan dasar tentang struktur, sifat-sifat dan pengolahan bahan. Secara umum penggolongan material dibedakan menjadi dua, yaitu:

##### 1) Logam

Logam memiliki sifat kuat, ulet, mudah dibentuk dan bersifat penghantar panas dan listrik yang baik. Ada dua jenis logam, yaitu ferrous dan non ferrous. Contoh dari logam ferrous adalah besi cor, baja, dll, sedangkan non ferrous seperti tembaga, perunggu, aluminium dll.

##### 2) Non-Logam

Terdapat beberapa jenis material non-logam, yaitu keramik, polimer, kayu dan komposit.

Berdasarkan wujudnya material/bahan teknik dibedakan menjadi tiga yaitu:

##### 1) Padat

Berbentuk masif, relatif tetap, ikatan kuat (contoh: logam, keramik, plastik, kaca, karet, kayu, dll).

## 2) Cair

Bentuknya mengikuti bejana, ikatan lemah (contoh: pelumas, air, bensin, solar, bahan kimia lain).

## 3) Gas

Bentuknya mengikuti bejana, tidak terlihat (contoh: oksigen, CO<sub>2</sub>, asitelin, hidrogen, dll).

### 2.1.1 Sifat Material

Secara garis besar material mempunyai sifat-sifat yang mencirikannya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat – sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat tersebut adalah:

- Sifat mekanik
- Sifat fisik
- Sifat teknologi

Dibawah ini akan dijelaskan secara terperinci tentang sifat-sifat material tersebut

#### 1. Sifat Mekanik

Sifat mekanik material merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik.

Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal

dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekeuatan leleh dan sebagainya.

Sifar-sifat mekanik material yang perlu diperhatikan:

1. Tegangan yaitu gaya diserap oleh material selama berdeformasi persatuan luas.
2. Kekuatan yaitu besarnya tegangan untuk mendeformasi material atau kemampuan material untuk menahan deformasi.
3. Kekuatan luluh yaitu besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk mendeformasi plastis.
4. Keuletan yaitu besar deformasi plastis sampai terjadi patah.
5. Ketangguhan yaitu besar energi yang diperlukan sampai terjadi perpatahan.
6. Kekerasan yaitu kemampuan material menahan deformasi plastis lokal akibat penetrasi pada permukaan.

## 2. Sifat Fisik

Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain : temperatur cair, konduktivitas panas dan panas spesifik.

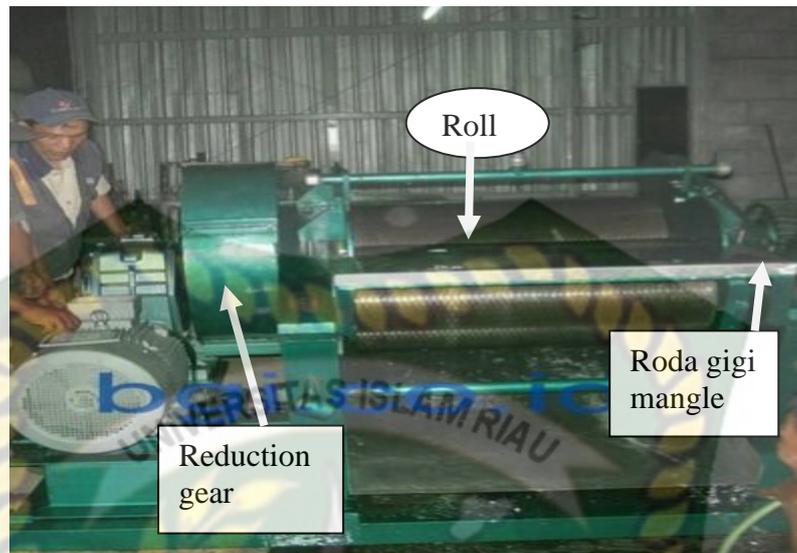
Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

### 3. Sifat Teknologi

Sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengerolan atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk.

#### 2.2 Mesin Mangle

Mesin penggiling karet (mangle) adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat lembaran karet dengan ketebalan 8-10 mm, kemudian karet tersebut digulung pada trolly roll kemudian diangkut ketempat penjemuran dengan kurun waktu 7 hari - 10 hari untuk rnendapatkan hasil yang diinginkan. Prinsip kerja alat pengiling karet horizontal adalah lebih mudah pengoperasiannya dan praktis, juga tidak bersinggungan langsung dengan dinding bejana. SeHINGA bahan olah tidak rnenyebabkan bejana menjadi korosi. Prinsip kerja alat penggiling karet ini menggunakan *elektrik dynamo*/elektro motor. Proses kerja alat ini masih dibantu oleh tenaga manusia. Gambar mesin mangle dapat dilihat seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gambar Mesin Mangle

Cara kerja alat penggiling karet ( sheet ) sistim roll adalah sebagai berikut :

1. Putaran motor listrik diteruskan ke gir box.
2. Setelah putaran diturunkan oleh gir box putaran diteruskan ke pully.
3. Dari pully putaran di lanjutkan ke roll mangle.
4. Dari roll mangle putaran diteruskan ke rodagigi mangle 1.
5. Roda gigi mangle 1 memutar roda gigi mangle 2 yang gunanya untuk memutar roll pada roda gigi2.

### 2.2.1. Komponen-Komponen Utama Alat

Untuk dapat menggiling getah karet menjadi lembaran tipis, mesin mangle memiliki beberapa komponen utama diantaranya adalah sebagai berikut:

### 1. Roll

Roll Fungsinya meneruskan putaran dari roda gigi penggerak roll untuk mengepres karet lateks gulungan menjadi karet lembaran. Roll dibuat menyerupai tabung selinder seperti halnya roll konveyor pada pabrik batu bara. Roll ini direncanakan khusus oleh para teknisi untuk alat penggiling karet sesuai dengan jenis karet yang akan diolah/digiling. Pada alat penggiling karet terdapat 2 roll yang berdiameter 440 mm.

### 2. Roda gigi penggerak roll

Roda gigi penggerak roll pada alat penggiling karet ini memakai jenis roda gigi lurus, yang berjumlah 2 buah yang masing-masing besar diameternya sama. Roda gigi penggerak roll ini terbuat dari besi cor kelabu yang dicetak secara langsung. Roda gigi lurus ( spur gear ) dipakai untuk memindahkan gerakan putar antara poros – poros yang sejajar, biasanya berbentuk silindris, dan gigi-giginya adalah lurus dan sejajar dengan sumbu putaran.

### 3. Poros Roll

Poros (*Shaft*) adalah suatu bagian *stasioner* yang berputar, biasanya berpenampang bulat, dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi, pully dan bantalan.

Poros mencakup berbagai variasi seperti as (*Axle*) dan *spindle*. As adalah poros yang diam atau berputar, yang tidak mendapat beban puntir. Suatu poros berputar yang pendek disebut *spindle*. Bila lendutan lateral dari poros harus dijaga pada batas yang tertentu, maka poros tersebut harus ditentukan ukurannya

berdasarkan nilai lendutan sebelum melakukan analisa atas tegangan-tegangan pada poros. Hal ini dilakukan jika poros tersebut dibuat cukup kaku sehingga lendutan tidak terlalu besar. Ada kemungkinan tegangan-tegangan yang dihasilkan akan arnan. Roda gigi mesin mangel sendiri terbuat dari besi cor kelabu. Roda gigi mesin mangel bisa dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Roda Gigi Mesin Mangel.

### 2.3 Roda Gigi

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya, selain itu rodagigi juga memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya, yaitu :

1. Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
2. Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana.
3. Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
4. Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.
5. Kecepatan transmisi rodagigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

Roda gigi harus mempunyai perbandingan kecepatan sudut tetap antara dua poros. Di samping itu terdapat pula rodagigi yang perbandingan kecepatan sudutnya dapat bervariasi. Ada pula rodagigi dengan putaran yang terputus-putus. Dalam teori, roda gigi pada umumnya dianggap sebagai benda kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk dalam jangka waktu lama.

### 2.3.1 Klasifikasi Roda gigi

Roda gigi diklasifikasikan sebagai berikut :

- Menurut letak poros.
- Menurut arah putaran.
- Menurut bentuk jalur gigi

#### A. Menurut Letak Poros

Menurut letak poros maka rodagigi diklasifikasikan seperti tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Roda gigi

Letak Poros	Roda gigi	Keterangan
Roda gigi dengan poros sejajar	Roda gigi lurus	Klasifikasi atas dasar bentuk alur gigi
	Roda gigi miring Roda gigi miring ganda	
Roda gigi dengan poros silang	Roda gigi luar	Arah putaran berlawanan
	Roda gigi dalam dan pinion	Arah putaran sama
	Batang gigi dan pinion	Gerakan lurus dan berputar
Roda gigi dengan poros berpotongan	Roda gigi kerucut lurus	Klasifikasi atas dasar bentuk jalur gigi
	Roda gigi kerucut spiral	
	Roda gigi kerucut zerol	
	Roda gigi kerucut miring	
	Roda gigi kerucut miring ganda	
Roda gigi dengan poros berpotongan	Roda gigi permukaan dengan poros berpotongan	Roda gigi dengan poros berpotongan berbentuk istimewa
	Roda gigi miring silang Batang gigi miring silang	Kontak gigi Gerak lurus dan berputar
Roda gigi dengan poros silang	Roda gigi cacing silindris	
	Roda gigi cacing selubung ganda	
	Roda gigi cacing samping	
	Roda gigi hiperboloid	
	Roda gigi hipoid	
	Roda gigi permukaan silang	

## B. Menurut arah putaran

Menurut arah putarannya, rodagigi dapat dibedakan atas :

1. Roda gigi luar ; arah putarannya berlawanan.
2. Roda gigi dalam dan pinion ; arah putarannya sama

### C. Menurut bentuk jalur gigi

Berdasarkan bentuk jalur giginya, roda gigi dapat dibedakan atas :

#### a. Roda gigi Lurus

Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang sejajar atau paralel. Dibandingkan dengan jenis roda gigi yang lain roda gigi lurus ini paling mudah dalam proses pengerjaannya (machining) sehingga harganya lebih murah. Roda gigi lurus ini cocok digunakan pada sistim transmisi yang gaya kelilingnya besar, karena tidak menimbulkan gaya aksial.

#### b. Roda gigi Miring

Roda gigi miring kriterianya hampir sama dengan roda gigi lurus, tetapi dalam pengoperasiannya roda gigi miring lebih lembut dan tingkat kebisingannya rendah dengan perkontakan antara gigi lebih dari 1.

#### c. Roda gigi Kerucut

Roda gigi kerucut digunakan untuk mentransmisikan 2 buah poros yang saling berpotongan.

## 2.4 Pengertian Besi Cor

Besi cor merupakan paduan dari besi dan karbon dengan kadar karbon yang lebih tinggi dari 2,0 %, namun yang biasa digunakan sekitar 2,5 – 4,0 %. Pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur metalografinya yang sangat

dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon dalam besi tuang dapat berupa sementit ( $Fe_3C$ ) atau karbon bebas (grafit). Bentuk dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik besi cor. Namun selain karbon, terdapat juga unsur-unsur lain seperti silikon, mangan, phosphor, dan belerang yang dapat mempengaruhi struktur metalografi besi cor. Secara umum besi cor dapat dikelompokkan berdasarkan keadaan dan bentuk karbon yang terkandung di dalamnya menjadi empat golongan di bawah ini :

- a. Besi cor putih (*white cast iron*), seluruh karbon dalam besi cor berupa sementit.
- b. Besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*), karbonnya berupa temper karbon dengan matriks perlitik atau ferritik.
- c. Besi cor kelabu (*grey cast iron*), karbonnya berupa grafit berbentuk flake (serpilh) dengan matriks ferritik atau perlitik.
- d. Besi cor nodular (*nodular cast iron*), karbonnya berupa nodular graphite (grafit nodular, berbentuk bola) dengan matriks ferritik atau perlitik.

Pada umumnya besi cor mempunyai bentuk yang rumit, sebagai contoh (*pipe fitting, sprocket, pump, crank shaft* mesin mobil dan beberapa peralatan yang terdapat pada pabrik). Karena peralatan yang dibutuhkan sangat rumit, maka besi yang berbentuk batangan tidak dapat langsung digunakan. Untuk dapat memanfaatkan besi menjadi peralatan atau mesin maka besi harus di cetak atau dicor. Untuk dapat mencetak logam besi tentu tidak mudah, harus dilakukan peleburan atau mencairkan logam agar dapat dicetak menjadi barang atau alat yang dapat digunakan baik di dunia industri ataupun kehidupan sehari – hari.

## 2.5 Klasifikasi Besi Cor

Besi cor digolongkan dalam dua kelompok utama yaitu :

- a. Besi cor yang mengandung grafit (besi cor kelabu).
- b. Besi cor yang tidak mengandung grafit (besi cor putih).

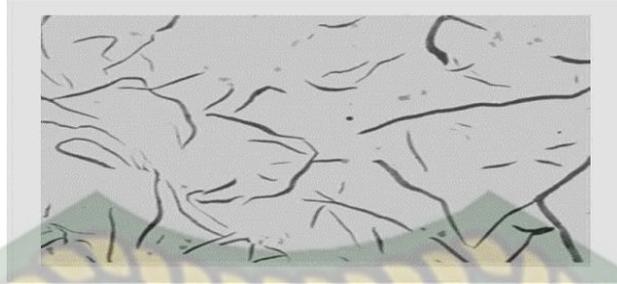
Besi cor biasanya di klasifikasikan menurut struktur metalografinya. Dalam hal ini karbon dalam besi cor sangat menentukan. Karbon dalam besi cor dapat berupa interstisial yaitu sementit karbida besi atau berupa grafit karbon bebas. Pengelompokan dapat dimulai berdasarkan kondisi karbonnya. Bila seluruh karbon berupa sementit maka ia adalah besi cor putih, selanjutnya dikelompokkan berupa bentuk fisik grafitnya,. Terjadinya struktur yang berbeda-beda ini di pengaruhi oleh beberapa faktor terutama kadar karbon, kadar paduan dan pengotoran, laju pendinginan selama dan sesudah pendinginan.dan laku panas sesudah penuangan.

Biasanya besi cor dikelompokkan menjadi:

1. Besi cor putih, dimana seluruh karbon berupa sementit.
2. Besi cor mampu tempa, dimana karbonnya berupa temper karbon, dengan matrik berupa perlitik dan feritik.
3. Besi cor kelabu, dimana karbonnya berupa grafit berbentuk flake dengan matrik ferlitik dan perlitik.
4. Besi cor nodular, dimana karbonnya berupa nodular graphite dengan matrik feritik dan perlitik.

### 2.5.1 Besi Cor Kelabu

Besi cor kelabu merupakan besi cor yang paling banyak digunakan dalam industri. Grafit pada besi cor kelabu terbentuk pada saat pembekuan. Proses grafitisasi ini didorong oleh tingginya kadar karbon, adanya unsur *grafite stabilizer*, terutama silikon, temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Banyaknya grafit pada besi cor ini mengakibatkan patahan pada penampang tampak kelabu, oleh karena itu dinamakan besi cor kelabu. Grafit besi cor kelabu berbentuk *flake* (serpih), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Ujung-ujung ini runcing sehingga dapat dianggap sebagai ujung takikan, menyebabkan ketangguhan besi tuang ini rendah. Grafit merupakan bagian terlemah dalam besi cor, kekuatan besi cor tergantung dari kekuatan matriksnya. Matriks ini tergantung pada kondisi dari sementit pada eutektoid. Bila komposisi dan laju pendinginan diatur sedemikian rupa sehingga sementit pada eutektoid menjadi grafit, maka struktur dari matriks seluruhnya ferritik. Namun jika grafitisasi dari sementit pada eutektoid dapat dicegah, maka struktur dari matriks adalah seluruhnya perlitik. Struktur dari matriks ini dapat diatur mulai dari kedua keadaanekstrim diatas, seluruhnya ferritik atau seluruhnya perlitik, ataupun yang merupakan campuran dari ferrit dan perlit dengan berbagai perbandingan. Oleh karena itu sifat dan kekuatan besi cor ini akan bervariasi. Struktur matriks yang ferritik adalah struktur dari besi cor kelabu yang paling lunak dan lemah. Kekuatan dan kekerasan besi cor kelabu dapat dinaikkan dengan cara menaikkan jumlah karbon yang berupa sementit dalam eutektoid dan akan mencapai maksimum pada struktur matriks perlitik. (Raymond A Higgins, 1984). Perhatikan struktur mikro pada gambar 2.3 :



Gambar. 2.3 Struktur mikro besi cor kelabu dengan perbesaran 200x

#### 2.5.1.1. Tipe Grafit Besi Cor Kelabu

Tipe-tipe grafit besi cor kelabu dapat dikelompokkan menjadi lima tipe, yaitu :

##### 1. Tipe A

Tipe A memiliki serpih-serpih grafit yang terbagi rata dan orientasinya sembarang. Struktur seperti ini timbul pada besi cor kelas tinggi dengan matriks perlit dan ukuran grafit yang cocok. Selain itu terdapat juga potongan-potongan grafit yang bengkok yang memberikan kekuatan tertinggi pada besi cor. Grafit bengkok ini diperoleh dengan cara meningkatkan pengendapan kristal-kristal sepanjang austenit proeutektik. Besi cor dengan kandungan karbon tinggi sukar mempunyai potongan-potongan grafit bengkok disebabkan oleh pengendapan kristal yang sedikit. Karena itu perlu dilakukan penghilangan oksida dan inokulasi penggrafitan pada besi cair.

##### 2. Tipe B

Potongan grafit tipe B memiliki bentuk seperti bunga ros (rosette) dengan orientasi sebarang. Struktur ini merupakan salah satu sel eutektik yang bagian tengahnya mempunyai potongan-potongan eutektik halus dari grafit dan serpih-serpih grafit radial di sekitarnya. Struktur seperti ini biasanya ditemukan pada

produk coran tipis yang mengalami pendinginan cepat. Tipe rosette tersebar dalam besi cor yang mempunyai kandungan karbon tinggi karena banyak pengendapan grafit. Hal ini mengakibatkan struktur menjadi lemah dan kadang-kadang pada bagian-bagian tengahnya dapat terjadi retak atau lubang lubang kecil yang disebabkan adanya bagian yang hilang oleh gaya potong pada waktu proses machining.

### 3. Tipe C

Struktur ini muncul pada system hipereutektik. Pada tipe C ukuran serpih saling menumpuk dengan orientasi sebarang. Hal ini disebabkan oleh jumlah grafit yang begitu banyak sehingga ferrit sangat mudah mengendap. Namun demikian, pengendapan ferrit mengakibatkan struktur menjadi lemah sehingga besi cor dengan type grafit seperti ini sangat jarang dipakai.

### 4. Tipe D

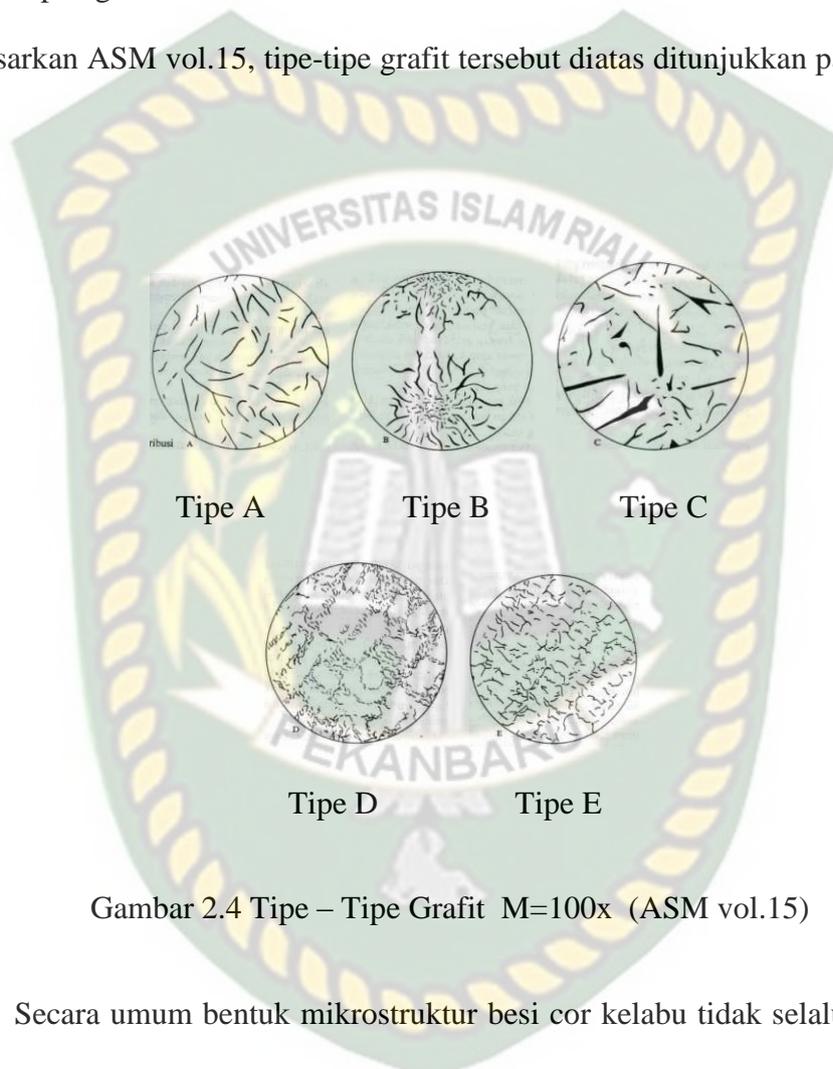
Struktur ini mempunyai potongan-potongan grafit eutektik yang halus yang mengkristal di antara dendrit-dendrit kristal austenit. Karena itu potongan grafit type ini dikenal juga sebagai penyisihan antar dendrit dengan orientasi sebarang. Keadaan ini disebabkan oleh pendinginan lanjut pada proses pembekuan eutektik seperti oksidasi dalam pencairan. Potongan grafit seperti ini menyebabkan besi cor memiliki kekuatan yang tinggi dengan keuletan yang rendah.

### 5. Tipe E

Potongan grafit tipe E muncul apabila kandungan karbon agak rendah. Hal ini akan mengurangi kekuatan karena jarak yang dekat antara potongan-potongan

grafit terdistribusi seperti pada type D. Tetapi kadang-kadang kekuatannya tinggi yang disebabkan karena kandungan karbon yang rendah dan berkurangnya pengendapan grafit.

Berdasarkan ASM vol.15, tipe-tipe grafit tersebut diatas ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tipe – Tipe Grafit M=100x (ASM vol.15)

Secara umum bentuk mikrostruktur besi cor kelabu tidak selalu sama, hal ini dipengaruhi oleh komposisi atau pengaruh dari perlakuan panas.

Besi cor kelabu terbentuk dari paduan besi dan karbon dengan laju pendinginan medium (dengan matrik berupa perlit) dan pendinginan lambat (dengan matrik berupa ferit). Untuk mengetahui jenis jenis besi cor kelabu yang dijual di pasaran berdasarkan komposisi kimia yang terkandung di dalamnya dimana kisaran karbonnya antara 3 – 3,7 %, seperti diplihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Besi Cor Kelabu (ASM volume 1, 2005)

UNS SAE grade	C %	Mn %	Si %	P %	S %
F10004G1800(b)	3.4 – 3.9	0.5 – 0.8	2.8 – 3.0	0.15	0.15
F10005G2500(b)	3.2 – 3.5	0.6 – 0.9	2.4 – 2.2	0.12	0.15
F10006G3000(c)	3.1 – 3.4	0.6 – 0.9	2.3 – 1.9	0.10	0.15
F10007G3500(c)	3.0 – 3.3	0.6 – 0.9	2.2 – 1.8	0.08	0.15
F10008G4000(c)	3.0 – 3.3	0.7 – 1.0	2.1 – 1.8	0.07	0.15

Ditinjau dari sifat mekanisnya, besi cor kelabu mempunyai kekuatan tegangan yang rendah dibanding jenis besi cor yang lain. Hal ini karena bentuk mikrostrukturnya berupa grafit yang meruncing diujungnya sehingga dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah tersebut. Salah satu sifat yang paling efektif dari besi cor kelabu adalah kemampuan meredam energi getaran dibandingkan baja.

#### 2.5.1.2 Sifat dan Aplikasi Besi Cor Kelabu

Sama seperti logam yang lainnya besi cor kelabu memiliki beberapa sifat, yang menjadi ciri dari besi cor kelabu adalah sebagai berikut:

1. Keras dan mudah melebur/mencair
2. Getas, sehingga tidak dapat menahan benturan
3. Temperatur leleh 1250 derajat .
4. Tidak berkarat
5. Tidak dapat diberi muatan magnet

6. Dapat dikeraskan dengan cara dipanasi kemudian didinginkan secara mendadak
7. Menyusut waktu pendinginan/waktu dituang
8. Kuat dalam menahan gaya tekan, lemah dalam menahan tarik kuat tekan sekitar 600 Mpa, kuat tarik 50 Mpa
9. Tidak dapat disambung dengan las dan paku keling, disambung dengan baut dan sekrup.

Dibandingkan dengan baja tuang, ada beberapa keunggulan besi tuang ini, misalnya:

1. Hasilnya akan lebih murah dibandingkan dengan baja tuang
2. Temperatur peleburan lebih rendah, oleh karena itu dapur kupola dapat dipakai.
3. Besi tuang cair akan lebih baik mengalirnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga cetakan (mould) dengan lebih sempurna.
4. Hasilnya siap untuk dikerjakan lebih lanjut

Selain memiliki kelebihan besi cor kelabu juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Tidak dapat di tempa.
2. Tidak dapat disambung dengan paku keling atau dilas, dua buah besi tuang hanya dapat disambung dengan baut dan sekrup.
3. Tidak dapat diberi muatan magnet.

Besi cor krlabu memiliki banyak kelebihan dan harganya yang lebih murah, maka sangat banyak digunakan didalam dunia industri. Aplikasi besi cor kelabu sangat luas diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Besi Cor Kelabu, Aplikasi besi cor kelabu antara lain untuk silinder blok, plat kopling, *gear box*, bodi mesin Perkakas. Karena kemampuannya meredam getaran yang cukup baik.
2. Besi Tuang Kelabu 15 digunakan untuk benda cor yang tipis yang dapat beban tidak berat, tetapi bentuknya sulit seperti : deksel, kas untuk nok as roda gigi dengan kuat tarik minimum =  $14 \text{ kg/mm}^2$
3. Besi Tuang Kelabu 20 digunakan sebagai kerangka mesin yang bentuknya sulit seperti frame, kolom, kruk as, dan lain sebagainya, kuat tarik minimum =  $18 \text{ kg/mm}^2$
4. Besi Tuang Kelabu 25 digunakan untuk pembuatan silinder kereta api, kompresor, silinder mesin uap, dan sebagainya, kuat tarik minimum =  $25 \text{ kg/mm}^2$
5. Besi Tuang Kelabu 30 digunakan untuk kerangka mesin yang sangat berat bebannya dan bentuknya sederhana.
6. Besi Tuang Nodular, Aplikasi besi cor putih digunakan untuk membuat komponen yang membutuhkan permukaan material tahan aus akibat abrasi seperti plat landasan, liner pompa, komponen mesin yang bergesekan, dan penggiling pasir.

7. Besi Tuang Malleable, Aplikasi dari besi cor *malleable* ini antara lain peralatan agrikultur, komponen lokomotif, jangkar kapal, komponen mesin industri
8. Besi Tuang Nodular, Aplikasi dari besi cor Nodular biasanya digunakan untuk ring piston, karena memiliki kemampuan yang cukup tinggi.

### 2.5.2 Besi cor Putih

Besi cor putih mempunyai bidang patahan berwarna putih, yang disebabkan oleh sementit yang putih. Bahan baku untuk pembuatan besi cor putih adalah besi kasar putih. Besi kasar putih memiliki kandungan silisium yang rendah kurang dari 0,5 % dan kadar mangan yang rendah. Karena kadar silisium yang rendah menyebabkan hanya terbentuk sementit dan pearlit. Dengan demikian besi cor putih setelah didinginkan hanya terdiri atas pearlit dan sementit. Besi cor putih dibuat dengan pendinginan yang sangat cepat. Pada laju pendinginan yang cepat akan terbentuk karbida  $Fe_3C$  yang metastabil dan karbon tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Karbida yang terbentuk mencapai sekitar 30 persen volume.

Besi cor putih mengandung karbon antara 1,8 – 3,6 persen, dan kandungan mangan antara 0,25 – 0,80 persen. Sedangkan kandungan fosfornya antara 0,06 – 0,2 persen, dan sulfur antara 0,06 – 0,2 persen. Struktur mikro besi cor putih dapat dilihat pada gambar 2.5 :



Gambar 2.5. Mikro Struktur Besi Cor Putih (laboratorium polman ceper )

Besi cor ini memiliki sifat yang getas, namun memiliki kekerasan yang tinggi. Sifat yang dimilikinya menyebabkan besi cor ini lebih aplikatif untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus tinggi.

### 2.5.3 Besi Cor Nodular

Besi cor Nodular disebut juga sebagai besi cor *spherulitic* karena bentuk grafitnya yang bulat atau sering disebut *ductile iron*. Besi cor nodular ini mudah dicor seperti besi cor kelabu dengan keuntungan teknis seperti kekuatan yang tinggi, tangguh, ulet, mampu kerja temperatur tinggi, dan kekerasannya yang mendekati sifat-sifat baja. Sifat mampu alir dan mampu cornya sangat baik, juga mudah diproses pemesinan dan tahan aus. Penambahan magnesium, cerium (master Alloy Fe- Si- Mg) pada saat besi cor dalam keadaan cair, merupakan penyebab grafit menjadi bulat (Nodularisasi). Besi tuang nodular mempunyai kekuatan yang lebih dibanding besi tuang kelabu, karena bentuk grafitnya yang bulat maka konsentrasi regangannya lebih kecil.

Besi cor nodular dibuat dengan menambahkan sedikit unsur magnesium atau serium. Penambahan unsur ini menyebabkan bentuk grafit besi cor menjadi nodular, atau bulat, atau sferoid. Perubahan bentuk grafit ini diikuti dengan perubahan keuletan. Keuletan besi cor naik. Maka dari itu, besi cor nodular disebut besi cor ulet. Besi cor ini memiliki keuletan antara 10 – 20 persen. Sutruktur mikro besi cor nodular dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini :



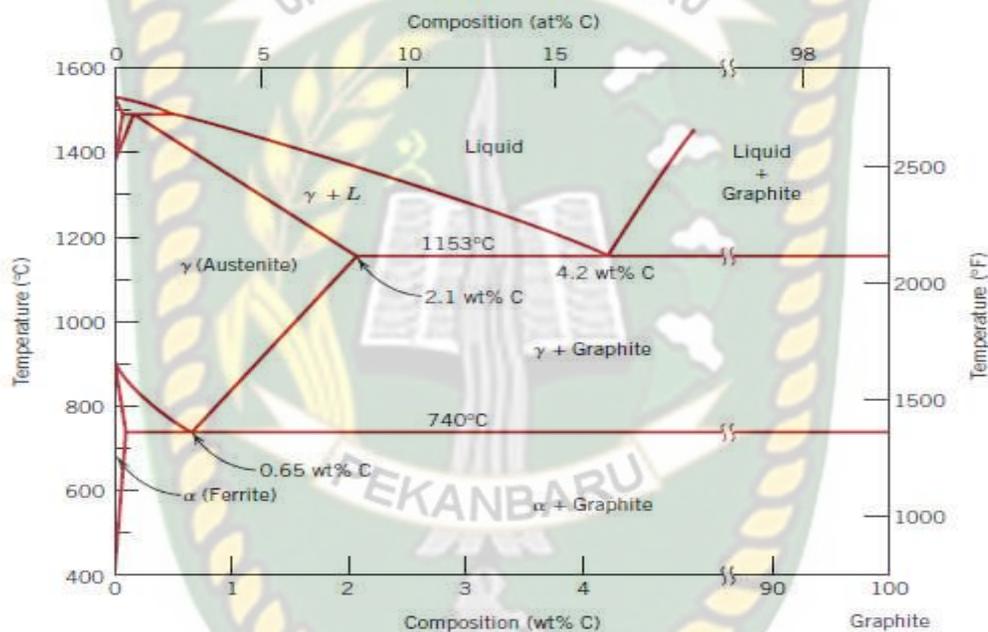
Gambar 2.6. Besi Cor Nodular (laboratorium polman ceper )

Besi cor nodular memiliki kandungan karbon antara 3,0 – 4,0 persen, kandungan silicon antara 1,8 – 2,8 persen dan mangan antara 0,1 – 1,0 persen. Sedangkan kandungan fosfornya antara 0,01 – 0,1 persen, dan sulfur antara 0,01 – 0,03 persen.

Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor nodular akan menghasilkan besi cor ferit, perlit atau martensit temper. Dengan sifat yang dimilikinya, besi cor ini banyak digunakan untuk aplikasi poros engkol, pipa dan suku cadang khusus.

## 2.6 Diagram Fasa Besi Cor Kelabu

Diagram fasa dibuat oleh dua orang, yang bernama Elliot J.F. dan Benz M.G. pada tahun 1949. Diagram ini tidak dibuat dalam semalam, tapi selama bertahun – tahun, dan mengalami penyempurnaan hingga tahun 1992 oleh Springerlink. Komponen dari diagram fasa ada dua : komposisi karbon (sumbu X) dan temperatur (sumbu Y). Di tengah diagram tersebut ada “peta” dari jenis fasa yang terbentuk. Perhatikan gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gambar diagram fasa besi cor( Sumber : *Anonymous 7* : 2012 )

### 1. Delta Iron (Delta Ferrite)

Delta Iron merupakan fasa yang terbentuk dan stabil pada temperatur sekitar 1500 derajat celcius. Pada daerah ini, karbon yang bisa menjadi interstisi didalam besi maksimal sekitar 0.09%. Delta, di sebelah kiri memiliki garis kelarutan karbon (lebih dari 0.025% dan kurang dari 0.5%), garis mendatar di sebelah kanan, menunjukkan kelarutan karbon maksimal. Fasa delta ini cenderung

lunak dan tidak stabil pada suhu kamar. Struktur kristal yang terbentuk adalah BCC. Gambar di sebelah kanan menunjukkan gambar struktur mikro Delta Iron yang di etching menggunakan teknik metalurgi khusus pada baja stainless steel.

## 2. Ferrite ( $\alpha$ )

Ferrite ( $\alpha$ ) merupakan fasa yang terbentuk pada temperatur sekitar 300-723 derajat celcius. Pada daerah ini, kelarutan karbon maksimalnya adalah 0,025% pada temperatur 725 derajat celcius, dan turun drastis menjadi 0% pada 0 derajat celcius. Fasa ini biasa terjadi bersamaan dengan cementite, membentuk pearlite pada pendinginan lambat. Fasa ini lunak, dan memberikan kemampuan bentuk pada logam. Gambar di sebelah kiri menunjukkan struktur fasa ferrite yang berwarna hitam, dan austenite yang berwarna putih. Hal ini menunjukkan bahwa, selain lunak, ferrite sendiri cenderung lebih mudah berkarat dibandingkan austenite.

## 3. Pearlite ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )

Pearlite merupakan satu fasa yang terbentuk dari gabungan dua fasa, Ferrite dan Cementite. Pearlite dianggap sebagai satu fasa sendiri, karena memberikan kontribusi sifat yang seragam. Seperti dijelaskan di atas, di dalam satu fasa, biasa terbentuk dalam satu butir. Namun, untuk Pearlite berbeda, karena ada dua fasa dalam satu butir. Karena butir berukuran lebih besar dari ukuran fasa Ferrite dan Cementite itu sendiri (ukuran terkecil yang bisa dikarakterisasi sebesar ukuran indentasi dari uji keras mikro vickers, sekitar 50 mikron), maka Pearlite, atas kesepakatan bersama para ahli material, digolongkan sebagai satu fasa dalam satu butir. Pearlite memiliki morfologi mirip seperti lapisan (lamellar) antara

Ferrite (hitam) dan Cementite (putih). Pada gambar di sebelah kiri, bisa dilihat struktur mikro dari pearlite tersebut. Perhatikan juga pembesaran yang ada di sebelah kanan bawah, hal ini menunjukkan perbedaan gambar ini dengan gambar pada baja cor putih. Apa perbedaannya dengan baja cor putih, pada pembesaran yang sama? distribusi dari fasa Pearlite dan Cementite nya.

#### 4. Austenite ( $\gamma$ )

Gamma Iron merupakan fasa yang terbentuk pada temperatur 1140 derajat celcius, dengan kelarutan karbon 2,08%. Kelarutan karbon akan turun menjadi 0,08% pada 723 derajat celcius. Fasa austenite terlihat jelas pada gambar di bagian Ferrite di atas, berwarna putih. Hal ini menunjukkan bahwa fasa ini memiliki ketahanan karat yang lebih baik daripada fasa yang lain. Austenite merupakan fasa yang tidak stabil di temperatur kamar, sehingga dibutuhkan komposisi paduan lain yang akan berfungsi sebagai penstabil fasa austenite pada temperatur kamar, contohnya adalah mangan (Mn).

### 2.7. Laku Panas Besi Cor Kelabu

Besi tuang yang mengalami pemanasan biasanya jauh di bawah daerah temperature kritis, temperature transformasi perlit menjadi austenit, yaitu sekitar 510-565<sup>0</sup>C dengan pemanasan selama 1 jam pada temperature tersebut akan menghilangkan 75-85% dari tegangan yang diinginkan.

Macam-macam proses perlakuan panas

1. *Thermochemical Treatment.*
2. *Inovatif Surface Treatment.*

Pada tiap perlakuan panas yang dilakukan akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada kekerasan misalnya *thermochemical treatments*, pengaruhnya terhadap kekerasan hanya pada kedalaman tertentu dari benda kerja, sesuai dengan yang diinginkan pada pengujian kekerasan yang dilakukan, perlakuan panas yang digunakan adalah thermal treatment yang meliputi : annealing (*full annealing, recrystalization annealing, stress relief annealing*), normalizing, hardening, tempering.

Tiap-tiap perlakuan panas memberikan efek yang berbeda pada bahan yang dikenai, sedangkan pada thermal treatment prosesnya meliputi:

1. Hardening

Adalah proses pemanasan logam ( baja ) diatas temperatur kritis untuk beberapa waktu, lalu dicelupkan kedalam media pendingin, dengan cara seperti ini tingkat kekerasan akan meningkat. Hardening juga dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang bertujuan untuk mendapatkan struktur martensite yang keras dengan sifat kekerasan yang tinggi dan kekenyalan yang rendah.

2. Anneling

Adalah proses heat treatment dimana pemanasannya dilakukan sampai mencapai temperatur tertentu, dan ditahan pada temperatur tertentu yang diinginkan, kemudian didinginkan perlahan. Tujuan anealing adalah untuk menghilangkan tegangan dalam. Pada peristiwa ini dilakukan pemanasan sampai diatas suhu kritis (  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  ), kemudian setelah suhu rata didinginkan diudara.

Keuntungan yang didapat dari proses annealing yaitu:

1. Menurunkan kekerasan
2. Menghilangkan tegangan sisa
3. Memperbaiki sifat mekanik
4. Memperbaiki mampu mesin dan mampu bentuk
5. Menghilangkan terjadinya retak panas
6. Menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas.

Proses annealing terdiri dari beberapa tipe:

1. Full Annealing

Full annealing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakan logam yang keras sehingga mampu dikerjakan dengan mesin. Proses ini banyak dilakukan pada baja medium, dilakukan dengan cara memanaskan material baja pada temperatur 15 hingga 40 °C di atas temperatur  $A_3$  atau  $A_1$  tergantung kadar karbonnya. Pada temperatur tersebut pemanasan ditahan untuk beberapa lama hingga mencapai kesetimbangan. Selanjutnya material didinginkan dalam dapur pemanas secara perlahan-lahan hingga mencapai temperatur kamar. Struktur mikro hasil full annealing berupa perlit kasar yang relatif lunak dan ulet.

2. Spheroidizing

Baja karbon medium dan tinggi memiliki kekerasanyang tinggi dan sulit untuk dikerjakan dengan mesin dan dideformasi. Untuk melunakan baja ini dilakukan proses Spheroidizing, dengan cara memanaskan baja pada temperatur sedikit bawah temperature eutectoid, yaitu sekitar 700 °C. Pada temperature

tersebut ditahan selama 15 hingga 25 jam. Kemudian didinginkan secara perlahan-lahan didalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur kamar.

### 3. Sintering

Proses sintering merupakan perlakuan panas pada suatu agregat serbuk yang dikompakkan atau serbuk yang lepas dengan maksud untuk menyempurnakan sifat-sifatnya. Melalui proses ini, terjadi berbagai perubahan fisis pada bahan yang disinter.

Banyak fenomena yang dapat terjadi selama penyinteran baik secara berurut atau bersama-sama. Secara umum ada 2 fenomena yaitu adhesi atau pelasan pada permukaan partikel dan perubahan bentuk partikel, sedemikian hingga adhesi lebih kuat. Selain itu ada fenomena lain yaitu reduksi porositas total, atau densifikasi dan penghalusan "permukaan dalam" pori. Kedua fenomena tersebut dapat terjadi dengan dua mekanisme yaitu penyusunan ulang partikel-partikel dan perpindahan bahan dari bagian padat kompak ke pori-pori.

Beberapa tahap yang terjadi pada proses sintering yaitu:

- a. Tahap pertama terjadi pembulatan pada butir
- b. Tahap kedua terjadi pembentukan leher dititik kontak antar butir, yang disebabkan adanya perbedaan tekanan pada permukaan butir dan daerah leher, dan pori tertutup dan pada batas butir terjadi pembentukan pori yang dimulai sebagai jaringan yang tidak beraturan dan saling berdekatan.

- c. Tahap ketiga disebut tahap antara. Pada tahap ini ukuran leher bertambah besar, jumlah porositas menurun, terbentuknya pori yang berbentuk pipa jarak antar butir semakin dekat dan terjadi penyusutan.
- d. Tahap keempat disebut tahap akhir sintering. Pada tahap ini pori yang berbentuk pipa akhirnya menjadi pori yang bulat serta ukuran butir meningkat dan laju penyusutan pori lebih kecil terutama bila pori terpisah dari batas butir.

#### 4. Kalsinasi

Proses kalsinasi didefinisikan sebagai pengerjaan biji besi pada temperatur tinggi tetapi masih dibawah titik leleh tanpa disertai penambahan reagen dengan maksud untuk mengubah bentuk senyawa dalam konsentrat. Kalsinasi juga merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap biji agar terjadi dekomposisi dan senyawa yang berikatan secara kimia dengan biji yaitu karbondioksida dan air yang bertujuan mengubah suatu senyawa karbon menjadi senyawa oksida yang sesuai dengan keperluan pada proses selanjutnya.

Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi yaitu (james S.R.1988):

- a. Pelepasan air bebas ( $H_2O$ ) dan terikat ( $OH$ ) berlangsung sekitar suhu  $100^{\circ}C$  hingga  $300^{\circ}C$
- b. Pelepasan gas-gas, seperti  $CO_2$  berlangsung sekitar suhu  $600^{\circ}C$  dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.

- c. Pada suhu yang lebih tinggi, sekitar  $800^{\circ}\text{C}$  struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas.

### 3. *Normalizing*

Adalah suatu proses heat treatment yang dilakukan untuk mendapatkan struktur butiran yang halus dan seragam. Pada proses ini dilakukan pemanasan diatas suhu kritis  $721^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 60^{\circ}\text{C}$ ), kemudian setelah merata didinginkan diudara. Proses normalizing bertujuan untuk memperbaiki dan menghilangkan struktur butiran kasar dan ketidak seragaman struktur dalam baja menjadi struktur yang normal kembali yang otomatis mengembalikan keuletan baja lagi. Struktur butiran kasar terbentuk karena waktu pemanasan dengan temperatur tinggi atau di daerah *austenite* yang menyebabkan baja berstruktur butiran kasar.

Adapun penyebab ketidak seragaman struktur yaitu :

- a. Pengerjaan rol atau tempa
- b. Pengerjaan las atau potong las
- c. Temperatur pengerasan yang terlalu tinggi
- d. Menahan terlalu lama di daerah austenite
- e. Pengepresan, penglubangan dengan punch, dan penarikan.

Pada proses ini baja di panaskan secara pelan-pelan sampai suhu  $20^{\circ}\text{C}$  sampai  $30^{\circ}\text{C}$  diatas suhu pengerasan, ditahan sebentar lalu didinginkan dengan perlahan dan kontinue. Proses normalizing dilakukan sebelum kita melakukan proses soft annealing. Secara umum proses normalizing ini dilakukan dengan cara

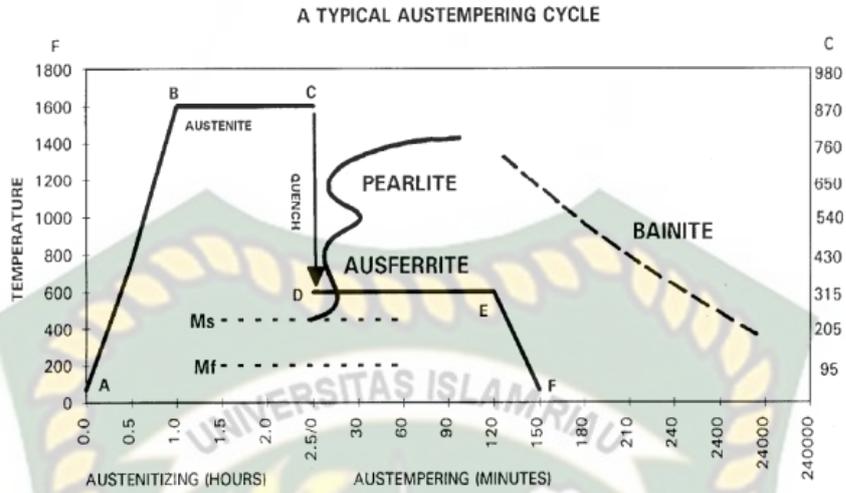
memanaskan besi cor 850 sampai 900 derajat, kemudian setelah suhu merata didinginkan diudara.

Manfaat dari proses normalizing yaitu :

- a. Menghilangkan struktur yang berbutir kasar yang di peroleh dari proses pengerjaan yang sebelumnya dialami oleh besi cor.
- b. Mengeliminasi struktur yang kasar yang diperoleh dari akibat pendinginan lambat pada proses anil
- c. Menghaluskan ukuran ferit dan perlit
- d. Memodifikasi dan menghaluskan struktur cor dendritik
- e. Penormalan dapat mencegah distorsi dan memperbaiki mampu mesin-mesin baja paduan yang dikarburasi karena temperatur penormalan lebih tinggi dari temperatur pengkarbonan
- f. Penormalan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik

#### 4 Austempering

Austempering adalah proses perlakuan panas isothermal yang menghasilkan struktur mikro berupa bainit. Austempering dilakukan dengan cara memanaskan logam sampai terbentuk austenit kemudian dicelup ke dalam garam cair (*salth bath*) pada suhu di atas suhu terbentuknya martensit ( $M_s$ ), ditahan beberapa lama kemudian didinginkan di udara. Tujuan dari austempering ini adalah meningkatkan ketangguhan dari besi cor yang cenderung getas.



Gambar 2.8. Siklus austemper. ( Hayrynen dkk., 2002 )

Pada Gambar 2.8, proses austemper terdiri dari dua tahap, yaitu :

#### 1. Austenitisasi

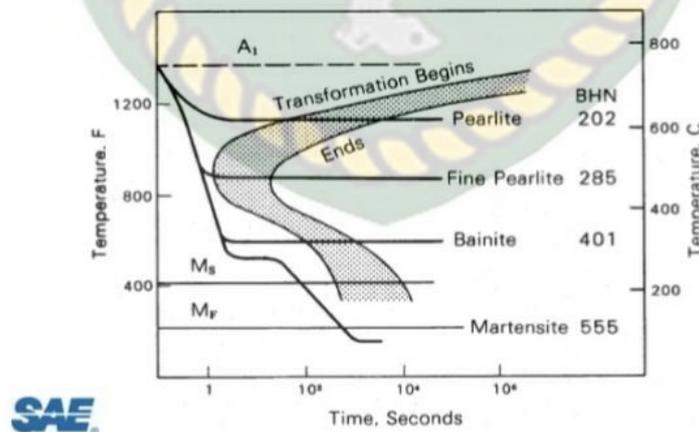
Proses pemanasan besi pada temperatur antara 840 °C - 950 °C (dari A ke B) kemudian ditahan selama 15 menit sampai 1 jam agar matrik austenit dalam besi homogen

#### 2. Austemper

Material dicelup cepat dari temperatur austenit ke temperatur austemper (dari C ke D) dalam salt bath dengan temperatur salt bath antara 250 °C sampai 450 °C dan ditahan selama 0,5 sampai 3 jam (dari D ke E). Kemudian material didinginkan dalam temperatur kamar (dari E ke F). Besi cor dengan matrik yang sama, bentuk grafit bulat menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding dengan bentuk lainnya. Grafit bulat hanya dapat diperoleh dengan pengaturan

komposisi kimia yang tepat dan proses pengecoran yang terkontrol. Karena sulitnya memperoleh grafit bulat, bentuk lainnya yang dikehendaki adalah grafit serpih tipe A. Grafit tipe ini dapat diperoleh secara *as-cast* karena pengontrolannya mudah dilakukan dan kekuatan impak dan kekerasan yang diperoleh masih cukup tinggi. Media yang digunakan sebagai pendingin dalam proses austemper adalah garam  $KNO^3$  dan  $NaNO^2$ . Temperatur austenit yang digunakan dalam proses austemper ini adalah  $850\text{ }^\circ\text{C}$  dengan lama penahanan 20 – 180 menit dan variasi temperatur media pendingin dalam salt bath adalah  $300\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $350\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $450\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $500\text{ }^\circ\text{C}$  dan  $550\text{ }^\circ\text{C}$  dengan lama pencelupan adalah 2 jam. Setelah itu spesimen didinginkan di udara terbuka sampai temperturnya stabil (temperatur kamar) (Suherman, 1987)

Pendinginan dilakukan dengan *quenching* sampai temperatur di atas  $M_s$  dan dibiarkan demikian sampai transformasi selesai. Skema pendinginannya dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 TTT diagram besi cor kelabu ( Sumber : *Anonymous 7* : 2012)

## 2.8 Macam Macam Pengujian Mekanis

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*)

### **2.8.1 Uji Impak**

Uji impak merupakan teknik yang digunakan untuk mengkarakterisasi patahan material yang sulit dilakukan pada uji tarik khususnya untuk material yang memiliki transisi deformasi yang sangat kecil.

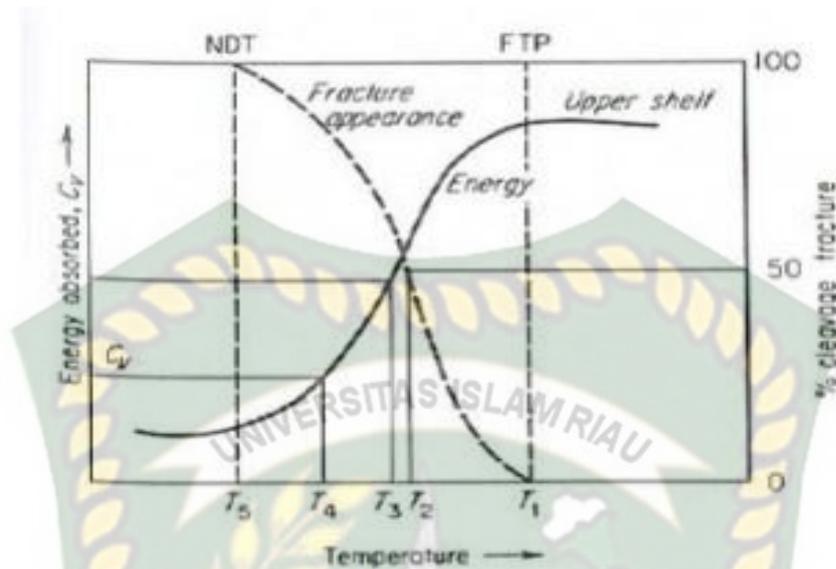
Pemilihan uji impak penting karena:

1. Deformasi dapat dilakukan pada temperatur yang rendah
2. Laju deformasi yang tinggi
3. Adanya notch dapat didekati dengan tegangan triaxial

Ada dua metoda standar pengujian yang dapat dilakukan pada uji impak yaitu Metoda Charpy dan Metoda Izod.

#### **2.8.1.1. Energi Impak**

Energi impak diserap dihitung berdasarkan perbedaan ketinggian  $h$  dan  $h'$  yang menunjukkan ketangguhan material. Transisi ulet-getas material, merupakan fungsi utama pemakaian uji impak. Pengujian dapat dilakukan dengan merubah atau mengatur temperatur spesimen dengan cara pemanasan dan pendinginan. Hasil pengujian pengaruh temperatur dapat dilihat pada gambar 2.10 di bawah ini:



Gambar 2.10 : kurva impact yang dipengaruhi oleh temperature ( google.com )

Pada kurva A dan B menunjukkan adanya temperatur transisi dari ulet ke getas. Pada temperatur yang tinggi material cenderung bersifat ulet begitu sebaliknya akan menjadi getas bila temperaturnya rendah. Bentuk patahan spesimen uji impact memiliki permukaan fibruos atau berserabut, flatness (rata) mengindikasikan bahwa material tersebut bersifat ulet dan getas.

Pemilihan material hendaknya memperhatikan ketahanan terhadap temperatur transisi (ulet-getas).

Secara umum perpatahan dapat digolongkan menjadi 2 golongan umum yaitu :

- Patah Ulet/ liat

Patah yang ditandai oleh deformasi plastis yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjalaran retak.

- Patah Getas

Patah yang ditandai oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi kasar, dan sedikit sekali terjadi deformasi mikro.

Terdapat 3 faktor dasar yang mendukung terjadinya patah dari benda ulet menjadi patah getas :

1. Keadaan tegangan 3 sumbu/ takikan.
2. Suhu yang rendah.
3. Laju regangan yang tinggi/ laju pembebanan yang cepat.

#### 2.8.1.2. Perhitungan Energi Impact

Untuk menghitung energi yang diserap material dapat dihitung dengan persamaan energi potensial sebagai berikut:

$$Ep_1 = m.g.H_1$$

Dimana  $Ep_1$  = Energi sebelum tumbukan

$m$  = masa pendulum ( kg )

$g$  = gravitasi (  $m/s^2$  )

$H_1$  = tinggi pendulum sebelum tumbukan terhadap acuan ( m )

Energi setelah tumbukan (  $Ep_2$  )

$$Ep_2 = m.g.H_2$$

Dimana  $H_2$  = tinggi pendulum setelah tumbukan ( m )

Sehingga,  $Ep_1 - Ep_2 = m.g ( H_1 - H_2 )$  ( J )

Maka Harga impact ( HI ) =  $\frac{Ep_1 - Ep_2}{A}$

#### 2.8.1.3 Metode Pengujian Impact

Metode pengujian impact dibedakan menjadi 2 yaitu Metode Charpy dan Metode Izod

a) Metode Charpy

Pada metode sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 a spesimen diletakkan mendatar dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (*notch*) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Biasanya metode ini digunakan di Amerika dan banyak negara yang lain termasuk Indonesia.

b) Metode izod

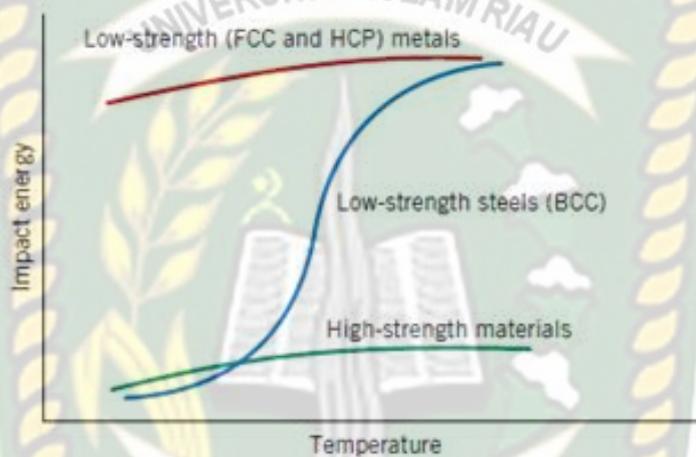
Pada metode ini sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 b spesimen dijepit pada salah satu ujungnya dan diletakkan tegak. Arah pemukulan dari depan takikan. Biasanya metode ini digunakan di Negara Inggris.

#### **2.8.1.4. Temperatur Transisi**

Kemampuan suatu material untuk menahan energi impact sangat dipengaruhi oleh temperatur kerja. Pengaruh temperatur terhadap kekuatan impact setiap jenis material berbeda-beda. Baja karbon merupakan salah satu contoh logam yang kekuatan impactnya turun drastis bila berada pada temperatur yang sangat dingin ( $-49,9^0$  C). Sebaliknya aluminium adalah contoh logam yang masih mempunyai kekuatan impact yang cukup tinggi pada temperatur yang sangat dingin tersebut.

Pada umumnya kenaikan temperatur akan meningkatkan kekuatan impact logam,

sedangkan penurunan temperatur akan menurunkan kekuatannya. Diantara kedua kekuatan impact yang ekstrim tersebut ada suatu titik temperatur yang merupakan transisi dari kedua titik ekstrim tersebut yakni suatu temperatur yang menunjukkan perubahan sifat material dari *ductile* menjadi *brittle*. Titik temperatur tersebut disebut ‘temperatur transisi’ (Gambar 2.11)



Gambar 2.11 Temperatur Transisi

Apabila temperatur operasi dari suatu peralatan berada dibawah temperatur transisi dari material yang digunakan, maka adanya crack pada material fracture akan menyebabkan kerusakan pada peralatan, sedangkan apabila temperatur operasi terendah masih diatas temperatur transisi dari material, maka *brittle fracture* bukan merupakan masalah.

### 2.8.2. Uji Kekerasan

Kekerasan suatu bahan pada umumnya, menyatakan terhadap deformasi dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap

deformasi plastik atau deformasi permanen. apabila yang menyatakan kekerasan sebagai ukuran terhadap lekukan dan ada pula yang mengartikan kekerasan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam.

Di dalam aplikasi manufaktur, material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu.

Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yakni :

1. Brinell (HB / BHN)

Uji 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 menghindarkan jejak yang dalam, dan untuk bahan yang sangat keras, digunakan paduan karbida tungsten, untuk memperkecil terjadinya distorsi indenter. Beban diterapkan selama selang 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, permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak. Angka kekerasan Brinell (BHN) dinyatakan sebagai

beban  $P$  dibagi luas permukaan lekukan. Rumus untuk angka kekerasan tersebut adalah :

$$\text{BHN} = P = P$$

$$(\pi D/2) (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \pi Dt$$

Dimana  $P$  = beban yang diterapkan, kg

$D$  = diameter bola, mm

$d$  = diameter lekukan, mm

$t$  = kedalaman jejak, mm

Satuan dari BHN adalah kilogram per meter kuadrat. Akan tetapi, BHN tidak memenuhi konsep fisika, karena rumus diatas tidak melibatkan tekanan rata-rata pada permukaan lekukan. Dari persamaan diatas dilihat bahwa  $d = D \sin$ . Dengan memasukan harga ini ke dalam persamaan diatas, akan dihasilkan bentuk persamaan kekerasan Brinell yang lain, yaitu:

$$\text{BHN} = P$$

$$(\pi/2)D^2(1 - \cos)$$

## 2. Rockwell (HR / RHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor

berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$HR = E - e$$

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

Tabel dibawah ini merupakan skala yang dipakai dalam pengujian Rockwell skala dan range uji dalam skala Rockwell.

Tabel 2.3 Rockwell Hardness Scales ( teknik mesin.org )

Scale	Indentor	F0 (kgf)	F1 (kgf)	F (kgf)	E	Jenis Material Uji
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tugsen carbides, dll

<b>B</b>	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll
<b>C</b>	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys
<b>D</b>	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed kuningan dan tembaga
<b>E</b>	1/8" steel ball	10	90	100	130	Beryllium copper, phosphor bronze, dll
<b>F</b>	1/16" steel ball	10	50	60	130	Alumunium sheet
<b>G</b>	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, alumunium alloys
<b>H</b>	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah
<b>K</b>	1/8" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
<b>L</b>	1/4" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
<b>M</b>	1/4" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
<b>P</b>	1/4" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
<b>R</b>	1/2" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
<b>S</b>	1/2" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
<b>V</b>	1/2" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale

### 3. Vickers (HV / VHN)

Permukaan benda uji ditekan dengan penetrator intan berbentuk piramida dasar piramida berbentuk bujur sangkar dan sudut antara dua bidang miring yang berhadapan  $136^\circ$ . 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 piramida intan. Angka kekerasan piramida 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:

Dimana : 
$$\text{VHN} = \frac{\theta \times P}{d^2}$$

P = Beban yang digunakan (kg)

d = Panjang diagonal rata-rata dari bekas penekanan (mm)

$\theta$  = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

Uji kekerasan Vickers banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni DPH-nya 5 hingga logam yang sangat keras, dengan DPH 1500. Dengan uji kekerasan *Rockwell*, yang atau uji kekerasan Brinell, biasanya diperlukan perubahan beban atau penumbuk pada nilai kekerasan tertentu, sehingga pengukuran pada suatu skala kekerasan yang ekstrem tidak bisa dibandingkan dengan skala kekerasan yang lain. Karena jejak yang dibuat dengan penumbuk piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka DPH tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji Vickers berkisar 1 hingga 120 kg, tergantung kepada kekerasan logam yang diuji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode Vickers adalah: uji kekerasan Vickers tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban; memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati; dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Ketelitian pengukuran diagonal bekas penekanan cara Vickers akan lebih tinggi dari pada pengukuran diameter bekas penekanan Brinell. Cara Vickers dapat digunakan untuk material yang sangat keras.

Kekerasan sulit untuk didefinisikan karena memiliki arti yang berbeda sesuai dengan bidang pemakaiannya. Pada pengujian logam kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu logam terhadap indentasi (penekanan) sedangkan didalam mineralogi kekerasan merupakan ketahan suatu mineral terhadap goresan dengan menggunakan standar kekerasan mohs. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian yaitu:

1. Kekerasan goresan ( *Stracht Hardness* ),

Kekerasan goresan merupakan perhatian utama para ahli mineral. Dengan mengukur kekerasan, berbagai mineral dan bahan-bahan yang lain, disusun berdasarkan kemampuan goresan yang satu terhadap yang lain. Kekerasan goresan diukur dengan skala Mohs. Skala ini terdiri dari atas 10 standar mineral disusun berdasarkan kemampuannya untuk digores. Tabel 2.3 menunjukkan skala dari kekerasan mohs. Suatu jenis lain pengukuran kekerasan goresannya adalah mengukur kedalaman atau lebar goresan pada permukaan benda uji yang dibuat oleh jarum penggores yang terbuat dari intan dan diberi beban yang terbatas. Cara ini merupakan metode yang sangat berguna untuk mengukur kekerasan relatif kandungan–kandungan mikro, tetapi metode ini tidak memberikan ketelitian yang besar atau kemampu-ulangan yang tinggi.

2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)

Menurut Brinel, *Rockwell*, Vicker, dan Mikrohardness Tekukan atau Knoop untuk logam.

3. Kekerasan Pantulan atau kekerasan dinamik ( *Dinamic Hardness* ),

Adalah harga kekerasan yang diukur dari hasil pantulan yang dilakukan pada saat pengujian. Misalnya cara penekanan : *Brinell*, *Meyer*, *Vickers*, *Rockwell*, dan lain-lain.

Penentuan kekerasan untuk keperluan industri biasanya digunakan metode. Pengukuran ketahanan penetrasi bola kecil, kerucut atau piramida. Pengujian kekerasan adalah salah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai.

Tabel 2.4. Skala Kekerasan Mohs ( Teknik mesin.org )

<i>Mineral</i>	<i>Scale Number</i>	<i>Common Object</i>
<i>Talc</i>	1	
<i>Gypsum</i>	2	<i>Finger nail</i>
<i>Calcite</i>	3	<i>Copper Penny</i>
<i>Fluorite</i>	4	<i>Steel Nail</i>
<i>Apatite</i>	5	<i>Glass Plate</i>
<i>Orthoclase</i>	6	
<i>Quartz</i>	7	<i>Streak Plate</i>
<i>Topaz</i>	8	
<i>Corundum</i>	9	
<i>Diamond</i>	10	

Untuk mendapatkan BHN yang sama dengan beban atau diameter bola yang tidak standar, diperlukan keserupaan lekukan secara geometris. Keserupaan geometris diperoleh, sejauh besar sudut 2 tidak berubah. Tanpa menjaga  $P/D^2$  konstan, yang dalam percobaan sering merepotkan maka BHN akan bervariasi terhadap beban. Pada daerah dengan beban yang beragam, BHN akan

mencapai harga maksimum pada beban menengah. Oleh karena itu, tidak mungkin menggunakan beban tunggal untuk mencakup seluruh daerah harga kekerasan yang terdapat pada logam-logam komersial. Jejak yang relatif besar dari pada kekerasan Brinell memberikan keuntungan dalam membagikan secara pukul rata ketidakseragaman lokal, selain itu uji Brinell tidak begitu dipengaruhi oleh goresan dan kekerasan permukaan dibandingkan dengan uji kekerasan yang lain. Dilain pihak, jejak Brinell yang besar ukurannya, dapat menghalangi pemakaian uji tersebut untuk benda uji yang kecil, atau pada bagian yang kritis terhadap tegangan, dimana lekukan yang terjadi dapat menyebabkan kegagalan (*failure*).