

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Analisis studi tentang mikrostruktur dan *ductile iron* paduan aluminium diperiksa dengan teknik pengukuran kekerasan SEM, XRD, EPMA dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan, peningkatan unsur paduan-Al menyebabkan penurunan bebas ferit dan karbida, serta peningkatan fraksi volume mutiara. Hal ini juga ditemukan bahwa pada nilai Al yang lebih tinggi, sekitar 85% matrik akan berupa perlit. Hal ini diindikasikan bahwa peningkatan kadar aluminium juga menyebabkan penurunan jarak antar lapisan perlit. Hasil XRD menunjukkan, dengan adanya Al, senyawa intermetalik seperti  $Al_6Fe$ ,  $AlFe_3C_{0.5}$ ,  $Fe_3Al$  dan  $FeAl$  diproduksi. Lebih lanjut, pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa dengan meningkatkan Al konten, kekerasan mikro ferit dan perlit serta kekerasan spesimen telah meningkat secara signifikan. (Zerrati Et al, 2010)

Pengujian mengenai *ductile iron* dan aluminium yang dilakukan dalam penelitian ini. Hasil penelitian yang dilakukan membuktikan bahwa *ductile iron* lebih unggul dari pada aluminium dalam banyak aplikasi. Secara khusus telah dibuktikan bahwa dimungkinkan untuk menghasilkan pelek roda dinding tipis yang terbuat dari *ductile iron* tanpa menimbulkan rasa dingin, putaran dingin, atau misruns. Selain itu, pelek dinding tipis yang terbuat dari *ductile iron* telah terbukti memiliki bobot yang sama, dan sifat mekanik yang lebih baik, daripada penggantinya yang terbuat dari paduan aluminium. (Fras et al, 2013)

Penelitian yang memfokuskan tentang pemanasan awal cetakan dan kandungan silikon *ductile iron* pada presentase karbida, jumlah bintil grafit dan volume *penyusutan* diselidiki. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa persentase karbida dan volume susut menurun saat preheating cetakan ditingkatkan. Besi ulet dengan karbon setara 4,45% dan

kandungan silikon 2,5% tanpa cacat porositas dicapai ketika pemanasan awal cetakan adalah 450 C. Meningkatkan kandungan silikon dalam kisaran 2,1% -3. 3% menyebabkan peningkatan jumlah bintil grafit dan ukuran grafit serta penurunan persentase karbida. Hal ini disebabkan oleh peningkatan tekanan muai yang diinduksi selama pembentukan grafit dengan peningkatan kandungan silikon. Kondisi yang cocok untuk pengecoran produk suara besi ulet tanpa riser pada temperatur pemanasan awal cetakan 300 'C adalah kandungan silikon 3,3% dan setara karbon 4,7%. (Allafi dan Behnam, 2011)

Meneliti sifat fisis dan mekanis besi cor nodular / FCD 50 hasil pengecoran dengan material steel scrap tanpa inokulasi menunjukkan hasil pengujian kuat tarik masing-masing spesimen, yaitu : 525,48 N/mm<sup>2</sup>; 560,51 N/mm<sup>2</sup>; 560,51 N/mm<sup>2</sup>. Untuk uji impact, masing-masing spesimen didapatkan harga *impact* , yaitu : 0,0375 J/mm<sup>2</sup>; 0,053 J/mm<sup>2</sup>; 0,053 J/mm<sup>2</sup>. Melalui pengamatan struktur mikronya didapatkan fase perlit dan ferit serta terjadi pembulatan grafit. Dari hasil komposisi kimia didapatkan komposisi unsur dari spesimen benda uji berturut-turut sebagai berikut : Fe = 93,9%; C = 3,82%; Si = 2,37%; Mn = 0,4%; P = 0,040%; S = 0,021%; Mg = 0,029%; Cu = 0,0014%. (Nugroho, 2002)

Penelitian yang dilakukan untuk adalah untuk menentukan parameter proses pembubutan yang optimal untuk pemesian batang besi ulet dengan perlakuan panas menggunakan alat sisipan tungsten karbida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju penyisihan material (MRR) dan kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong, laju pengumpanan dan kedalaman potong. Persamaan regresi linier dibuat dan divalidasi dengan eksperimen konfirmatori. (Ramesh, K. et al, 2020)

Penelitian yang meneliti tentang evolusi kandungan martensit di Austempered Ductile Iron selama uji kompresi uniaksial pada tingkat regangan yang berbeda dipelajari dengan pencitraan neutron selektif energi pada resolusi spasial 150µm. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan menggunakan difraksi

neutron. Kesepakatan yang baik antara teknik ini ditemukan. Peta fase distribusi martensit dalam sampel massal telah diperoleh. Sampel yang dikompresi menunjukkan laras dan peningkatan kandungan martensit diamati di daerah yang terkait dengan deformasi yang lebih tinggi selama uji kompresi, yang menunjukkan bahwa gesekan antara sampel dan pelat kompresi memengaruhi distribusi martensit spasial. (Soria,S.R. et al, 2020)

Analisa pengaruh struktur mikro dan sifat mekanik besi cor nodular menunjukkan bahwa sifat mekanik (kekuatan kekerasan, dan keuletan) besi cor nodular dipengaruhi oleh fraksi fasa ferit atau perlit dari matrik dan besarnya ukuran grafit. Jika fraksi fasa perlit semakin tinggi maka kekuatan dan kekerasan juga akan semakin tinggi. Selanjutnya jika ukuran grafit semakin besar maka kekuatan dan keuletan besi cor nodular akan semakin rendah. (Kenawy dkk, 2001)

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pengecoran Logam**

Pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku / bahan benda kerja dengan proses peleburan/pencairan logam di dalam tungku peleburan yang kemudian hasil peleburan di masukkan kedalam cetakan. Tahapan dalam proses pengecoran adalah pembuatan model (pola), pembuatan pasir cetak, pembuatan cetakan pasir (rongga cetak), peleburan logam, menuang logam ke dalam cetakan dan membongkar serta membersihkan hasil pengecoran (Surdia, 1986).

Jenis logam yang banyak digunakan untuk pembuatan produk cor adalah alumunium. Alumunium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanik yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan paduan alumunium karena sifat-sifat mekaniknya dapat diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, dan sebagainya (Surdia, 2000).

Kualitas coran salah satunya tergantung pada sistem saluran yang diantaranya saluran turun, penambah, keadaan penuangan, dan lain lain. Kondisi aliran logam bergantung pada ingate, karena ingate adalah area

dimana logam memasuki rongga cetakan. Ingate dapat ditempatkan di beberapa lokasi di cetakan, tergantung pada geometri cetakan dan jenis sistem saluran. Selain itu ingate juga berfungsi sebagai saluran cadangan apabila terjadi penyusutan yang dapat menjadikan produk menjadi cacat. Tujuan penelitian ini adalah untuk Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap cacat yang dihasilkan dari pengecoran logam paduan Al-Si, Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap fluiditas hasil pengecoran logam paduan Al-Si, Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap kekerasan hasil pengecoran logam paduan Al-Si.

Di dalam proses pengecoran logam dalam usaha menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu: bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan pasir cetak), sistem peleburan, sistem penuangan dan pekerjaan akhir dari produk coran. (Surdia, 2000).

Cacat-cacat pengecoran yang umum terjadi adalah kekerasan permukaan, cacat porositas di dalam coran dan cacat-cacat yang disebabkan oleh runtuhnya cetakan. Penyebab utama terjadinya cacat pada proses pengecoran yaitu sifat-sifat dari cetakan seperti, permeabilitas yang rendah, kekuatan tekan cetakan yang rendah, sintering poin yang rendah, distribusi butiran pasir tidak sesuai. Sifat-sifat cetakan itu sendiri sangat tergantung pada distribusi besar butir pasir cetak, persentase zat pengikat dan persentase kadar air. Timbulnya cacat-cacat tersebut dipengaruhi oleh kemampuan alir gas (permeabilitas) dan kekuatan cetakan yang kurang baik.

### **2.2.2 Klasifikasi Besi Cor**

Besi cor adalah paduan besi dan karbon dengan kandungan karbon berkisar antara 2,0 – 6,67 %, namun yang biasa digunakan untuk berbagai komponen mesin mempunyai kandungan karbon 2,5 – 4,0 %. Dasar pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur metalografi yang sangat

dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon dapat berupa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ataupun karbon bebas (grafit). Bentuk, ukuran dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur lain berupa silikon, mangan, phosphor dan belerang juga mempengaruhi struktur metalografi besi cor. Pengelompokan besi cor berdasarkan struktur mikro khususnya bentuk karbon dibagi dalam empat golongan yaitu: besi cor putih (*white cast iron*), besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*), besi cor kelabu (*grey cast iron*), besi cor nodular (*nodular cast iron*).

Besi cor kelabu merupakan jenis besi cor yang paling banyak digunakan karena sifat peredam getaran dan self lubrication yang baik. Grafit pada besi cor kelabu yang berbentuk flake terbentuk pada saat pembekuan. Proses penggrafitan dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon, unsur *grafite stabilizer* (silikon), temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Patahan penampang besi cor akan berwarna kelabu yang disebabkan banyaknya jumlah grafit. Grafit besi cor kelabu berbentuk *flake* (serpih), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Ujung-ujung grafit berbentuk runcing yang menyebabkan ketangguhan besi cor kelabu rendah.

Macam-macam besi cor dapat dibagi menjadi beberapa seperti uraian berikut ini:

a. Besi cor kelabu (*grey cast iron*)

Besi cor kelabu mempunyai kekuatan tarik kira-kira 100-300 N/mm<sup>2</sup>, dan sifatnya agak getas. Titik cairnya kira-kira 1200 °C dan mempunyai mampu cor yang sangat baik serta murah. Besi cor kelabu adalah besi cor dengan warna patahan kelabu. Besi cor kelabu sangat rendah keuletannya dan harganya murah. Rendahnya keuletan karena adanya serpihan karbon. Besi cor kelabu dapat mempunyai struktur mikro perlitik, feritik dan martensit serta bainit tergantung pada perlakuan panasnya. Pada besi cor kelabu dengan kadar silikon yang tinggi (>2 %),  $\text{Fe}_3\text{C}$  tidak terbentuk karena kadar silikon yang tinggi mudah membentuk grafit .

b. Besi cor kelas tinggi

Besi cor kelas tinggi mengandung lebih sedikit karbon (C) dan silikon (Si), selain itu ukuran grafit bebasnya agak kecil dibandingkan dengan besi cor kelabu. Kekuatan tariknya umumnya lebih tinggi kirakira 300-500 N/mm<sup>2</sup>. Pembuatan besi cor kelas tinggi agak susah dibanding pembuatan besi cor kelabu.

c. Besi cor kelabu paduan

Besi cor kelabu paduan mengandung unsurunsur paduan dan grafit, serta mempunyai struktur mikro yang stabil sehingga sifat-sifatnya lebih baik. Unsur-unsur yang ditambahkan adalah krom, nikel, molibdenum, vanadium, titanium dan sebagainya, sehingga ketahanan panas, ketahanan aus, ketahanan korosi dan mampu mesin dari besi cor kelabu paduan baik sekali.

d. Besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*)

Besi cor mampu tempa terbuat dari besi cor putih, yang dilunakkan di dalam sebuah tanur dalam waktu yang lama. Struktur sementit dari besi cor putih akan berubah menjadi perlit atau ferit dan karbon yang tertemper mengendap. Besi cor mampu tempa sangat baik keuletannya dan perpanjangannya dibandingkan dengan besi cor kelabu, tetapi harganya mahal karena proses pelunakan, lagi pula tidak cocok untuk coran yang tipis dan kecil karena sebelum proses pelunakan keuletannya kurang.

e. Besi cor grafit bulat (*ductile iron*)

Besi cor grafit bulat dibuat dengan jalan mencampurkan magnesium (Mg), kalsium (Ca) atau cerium (Ce) ke dalam cairan logam sehingga grafit akan mengendap. Besi cor bergrafit bulat ini mempunyai kekuatan, keuletan, ketahanan aus dan ketahanan panas yang baik sekali dibandingkan dengan besi cor kelabu.

f. Besi cor cil

Besi cor cil memiliki permukaan seperti besi cor putih dimana bagian dalamnya memiliki struktur mikro dengan endapan grafit. Besi cor jenis ini mempunyai ketahanan aus yang baik sementara bagian dalamnya

mempunyai keuletan yang baik pula, sehingga dikembangkan sebagai bahan tahan aus.

### **2.2.3 Pengaruh Kandungan Besi Cor**

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, silicon, magnesium, mangan, fosfor, belerang, dan unsur yang lain. Setiap unsur memiliki pengaruh yang besar terhadap besi cor. (Wiryosumarto,H.,Okumura,T.,1995) Adapun pengaruh unsur-unsur tersebut antara lain:

#### **1. Karbon (C)**

Penggarapan pada besi cor yang berperan penting yaitu unsur karbon. Besi karbon juga mempunyai kekerasan, keuletan kemampuan tempa juga untuk menurunkan keuletan.

#### **2. Khrom (Cr)**

Dalam besi cor crom digunakan untuk menghasilkan sifat mekanik yang baik, tahan karat, meningkatkan kekerasan, kelakuan, ketahanan aus dan tahan panas.

#### **3. Mangan (Mg)**

Mangan terkandung dalam semua bahan besi dalam jumlah kecil sebagai panduan logam.

#### **4. Silisium (Si)**

Koefisien muai dalam Si sangat rendah, oleh karena itu paduannya mempunyai koefisien yang rendah jika ditambah Si lebih banyak, fungsi Si untuk meningkatkan kekuatan, keuletan, tahan aus juga mampu untuk menurunkan tegangan.

#### **5. Molibdenum (Mo)**

Pada besi cor unsur ini dipadu dengan kobalt, nikel dan vandum. Sifatnya dapat meningkatkan tarik, batas kemampuan rentang temper, panas tahan, batas kelelahan dan menurunkan kerapuhan.

#### **6. Nikel (Ni)**

Nikel juga digunakan sebagai unsur paduan, fungsinya adalah sebagai tahanan terhadap panas dan korosi.

#### 7. Titanium (Ti)

Bila titanium dipadu dengan magnesium maka besi cor tercegah korosi sampai kedalam.

#### 8. Alumunium (Al)

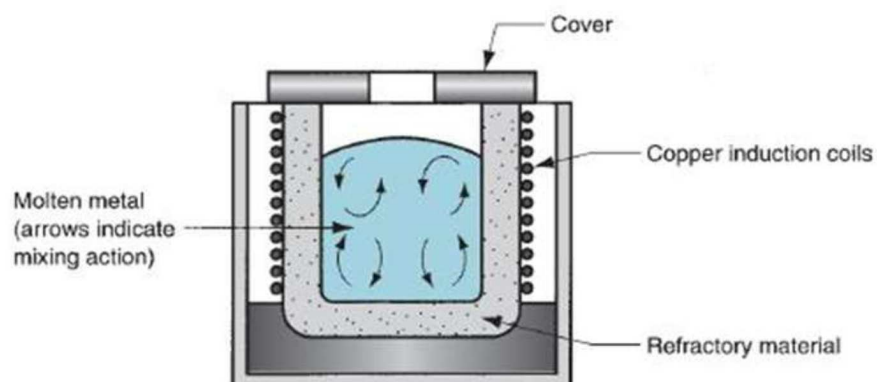
Pada besi cor, bila alumunium dipadu dengan mangan maka besi cor akan tahan terhadap korosi.

#### 9. Vanadium (V)

Mempunyai pengaruh seperti Mo, dapat meningkatkan keuletan, kekakuan dan ketahanan panas.

### 2.2.4 Tungku Induksi

Tanur induksi ini menggunakan bahan bakar berupa daya listrik dalam pengoperasiannya, proses peleburan tanur induksi, sehingga tanur induksi lebih ramah lingkungan. Tanur induksi mampu melebur berbagai macam jenis logam seperti besi dan baja. Selain itu tanur induksi dapat digunakan untuk peleburan berskala kecil, jadi pengusaha bisa kapan saja melakukan pengecoran logam. Tanur ini digunakan untuk peleburan *ferro* (besi). Dalam pengoperasiannya tanur kupola ini tidak memerlukan sumber daya manusia yang banyak.



Gambar 2.1 Tanur Induksi  
(Groover. 2010)

Sesuai dengan frekuensi yang digunakan, tanur induksi dikategorikan menjadi 2 yaitu :



1. Tanur induksi frekuensi jala – jala.

Tanur induksi frekuensi jala – jala ini memiliki (50 Hz – 60 Hz) dengan kapasitas lebur diatas 1 ton/jam.

2. Tanur induksi frekuensi menengah dan tinggi.

Tanur induksi frekuensi menengah dan tinggi ini memiliki (150 Hz – 10000 Hz) untuk tanur dengan kapasitas rendah. (Tridaryanto et al., 2020)

### **2.2.5 Sifat Fisis Pada Besi Cor**

Sifat fisis suatu bahan adalah berkaitan dengan karakteristik fisik material yang bersangkutan. Apabila suatu bahan akan dilakukan pengujian sifat fisisnya maka bisa dikatakan didalam pengujian bahan itu adalah pengujian tak merusak yaitu pengujian dengan tidak menimbulkan kerusakan pada komponen/benda kerja yang diuji. Secara umum sifat fisis bahan dapat dikenali dengan panca indera. Sifat fisis dari suatu bahan logam antara lain: komposisi kimia, struktur kimia, dan lain-lain.

1. Struktur mikro

Struktur dasar besi cor terdiri dari grafit, ferrit, sementit, dan perlit. Struktur ini berbentuk sewaktu besi cor mengalami pendinginan dan pembekuan

- a. Grafit

Grafit adalah suatu bentuk kristal karbon yang lunak dan rapuh, mempunyai berbagai bentuk dan ukuran dari potongan-potongannya yaitu halus dan besar, serpih, atau asteroid, bergumpal atau bulat. Untuk besi cor kelabu grafitnya tersebar berbentuk serpih, untuk besi cor bergrafit bulat bentuk grafitnya bulat, untuk besi cor putih semua karbon terikat dalam sementit. Keadaan potongan-potongan grafit ini memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat mekanik besi cor.

- b. Ferit

Ferit adalah larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Ferit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari austenit baja *hypotektoid* pada saat mencapai  $A_3$ . Ferit

bersifat sangat lunak, ulet, dan memiliki kekerasan sekitar 70-100 BHN dan memiliki konduktivitas yang tinggi.

c. Sementit

Besi dengan karbon selain dapat membentuk larutan padat juga dapat membentuk senyawa, disebut karbida-besi yang merupakan senyawa kimia dengan rumus  $Fe_3C$ . bila kadar karbon dalam baja sedikit lebih unggul dari kemampuan besi  $\alpha$  melarutkan karbon, maka karbon yang tidak dapat larut dalam besi itu akan menjadi sementit. Elemen kristal sementit berbentuk *orthorombik*, kadar karbonnya dalam sementit adalah 6,68% dan senyawa ini bersifat keras tapi rapuh sekitar 5-68 HRC.

d. Perlit

Perlit adalah struktur yang berbentuk lapisan dari ferit yang keras yaitu memiliki 200-230 kekerasan brnel, sehingga untuk besi cor kelas tinggi perlu mempunyai matrik perlit. Kandungan perlit dalam besi cor tergantung pada kadar grafit pada besi. Perlit yang terbentuk sedikit di bawah temperatur eutektoid memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memerlukan waktu inkubasi yang lebih banyak.

e. Martensit

Martensit merupakan fase dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam *lammelar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi  $Fe_3C$  unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada  $260^{\circ}C$  untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks ferit. Martensit bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan atas 1% akan terbentuk martensit pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval  $0,6\% < C < 1,08\%$ . Kekerasan martensit lebih dari 500 HBN

## 2. Komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia adalah suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam dari suatu

benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Optical Emission Spectrometer (OES)* adalah alat yang mampu menganalisis unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Prinsip dasar diketahuinya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atom-atomnya akan menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka elektron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan konsentrasi unsur. Hal ini berarti bahwa jenis suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar.

#### **2.2.6 Sifat Mekanis Pada Besi Cor**

Sifat mekanis berkaitan dengan ketahanan material terhadap pembebanan mekanik. Penggunaan logam secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat-sifat mekanisnya. Adapun sifat mekanis logam adalah sebagai berikut :

##### 1. *Hardnes* (kekerasan)

Didefinisikan sebagai kekuatan bahan terhadap penetrasi pada permukaan. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. Bilangan kekerasan biasanya menurut alat uji yang digunakan untuk menguji kekerasan benda. Brinnel dinyatakan dalam HB, kekerasan *Vickers* dinyatakan dalam HV, dan kekerasan *rockwell* dinyatakan dalam HRB untuk penetrator bola baja atau HRC untuk penetrator kerucut intan.

##### 2. *Ductility* (keuletan)

*Ductility* meruokan ukuran deformasi plastis tertinggi yang dialami beban sampai patah. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik.

### 3. *Elasticity* (elastisitas)

*Elasticity* adalah kemampuan suatu benda untuk kembali berbentuk semula tanpa deformasi plastis. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik. Pengujian tarik merupakan pengujian spesimen dengan bentuk dan ukuran standar tertentu menggunakan alat uji tarik UTM. Perubahan deformasi elastis, plastis dan tegangan maksimum dapat diketahui perubahan grafik tarik yang terpasang pada alat.

### 4. *Strength* (kekuatan)

*Strength* adalah kemampuan suatu benda untuk menahan gaya yang bekerja atau kemampuan bahan menahan deformasi. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik dan uji bending. Uji bending merupakan uji untuk menentukan kekuatan bending material akibat beban tekuk pada bagian tengah spesimen.

### 5. *Strain* (regangan)

*Strain* adalah besarnya deformasi per satuan panjang dari suatu benda. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik.

### 6. *Stress* (tegangan)

*Stress* adalah besarnya gaya pada suatu benda per satuan luas. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik dan uji bending.

### 7. *Toughness* (ketangguhan)

*Toughness* adalah kapasitas atau kemampuan bahan menyerap energi sampai patah. Pengujian yang dilakukan berupa uji impak.

### 8. *Brittleness* (kegetasan)

*Brittleness* adalah sifat benda yang mudah retak atau pecah yang merupakan kebalikan dari *ductility* (keuletan). Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik dan uji impak.

### 9. *Weldability* (mampu las)

*Weldability* adalah kemampuan logam untuk dapat dilas. Besi cor dapat dilas dengan menggunakan las MIG.

#### 10. *Machinability* (mampu mesin)

*Machinability* adalah kemampuan benda untuk dikerjakan dengan mesin seperti: bubut, frais, dan bor.

#### 2.2.7 Flame Hardening

Flame hardening menjadi metode pengerasan permukaan yang berguna banyak dan ekonomis. Proses dari flame hardening meliputi pemanasan permukaan daerah yang akan dikeraskan hingga temperatur di atas temperatur kritis. Permukaan kemudian didinginkan dengan air atau pendingin yang sesuai, dengan tujuan untuk menquench permukaan yang dipanaskan. Pemanasan flame hardening menggunakan gas yang dibakar dengan oksigen sehingga menghasilkan temperatur flame yang tinggi. Gas yang biasa digunakan untuk keperluan flame hardening adalah gas oksiasetilen, gas alam, gas propanabutana. Pengerasan permukaan Flame hardening akan menghasilkan permukaan logam yang keras dengan inti yang ulet. (Clark dan Varney, 1962).

Semakin lama flame bekerja maka tebal pengerasan akan semakin besar. Lamanya flame bekerja dapat diatur menurut kebutuhan melalui kecepatan laju atau jangka waktu diantara pemanasan dan pendinginan. Tingkat kekerasan yang dihasilkan akan meningkat dengan bertambahnya kadar C dalam baja dan kecepatan pendinginan media quench.

Pengerasan permukaan *flame hardening* memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari metode ini antara lain:

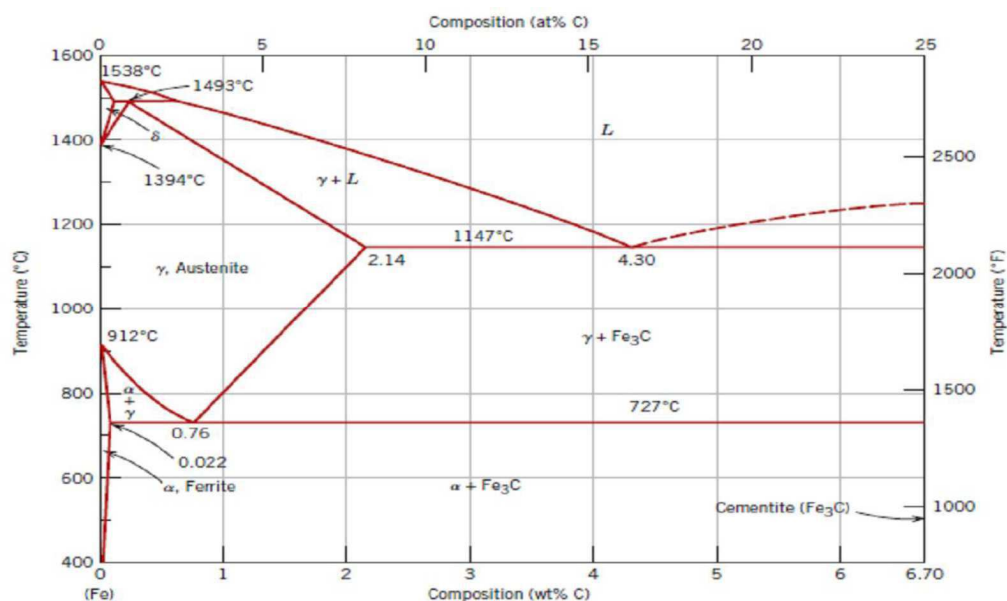
- a. Peralatan pengerasan dapat dibawa ke benda kerja. Hal ini menguntungkan untuk benda kerja dalam jumlah besar (transportasi).
- b. Waktu pengerasan yang singkat.
- c. Kedalaman pengerasan yang besar.
- d. Penyusutan sedikit.
- e. Pemakaian bahan bakar kecil.

Sedangkan kerugian dari metode ini adalah kurang cocoknya metoda ini untuk diterapkan pada benda kerja dengan ukuran kecil dan benda kerja harus bebas dari tegangan (Gruber dan Schonmetz, 1977).

Pengerasan permukaan *flame hardening* dapat dilakukan secara manual ataupun secara otomatis. Peralatan otomatis akan menghasilkan permukaan yang lebih seragam. Manual *flame hardening* dalam aplikasinya sangat tergantung pada operator. Standarisasi pada *head-flame* mungkin tidak diperlukan karena dapat memanfaatkan peralatan flame hardening gas atau peralatan las gas oksasi-asiteli

### 2.2.8 Diagram Kesetimbangan Besi Karbon

Diagram kesetimbangan besi karbon seperti pada gambar adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anealing, normalizing maupun proses pengerasan. (Jordi, 2017)



Gambar 2.2 Diagram Fasa (Callister, 1994)

### 1. Besi ( $\delta$ )

Besi adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal besi bcc, besi mempunyai konstanta kisi yang lebih besar disbanding  $\alpha$ . Kelarutan karbon maksimum dalam  $\delta$  adalah 0.09% pada suhu 1.493°C.

### 2. Ferit ( $\alpha$ )

Ferit adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal bcc besi. Dalam diagram fasa kelarutan karbon maksimum dalam  $\alpha$  adalah 0,022% pada suhu 727°C. Kelarutan karbon dalam ferit menurun menjadi 0,005% pada suhu 0°C.

### 3. Pearlit

Perlit adalah Suatu *eutectoid mixture* dari sementit dan ferit, mengandung 0,8% C, terbentuk pada suhu 727°C.

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

Austenit adalah larutan padat intertisi karbon didalam struktur kristal fcc besi. Kelarutan karbon dalam austenite lebih besar dari ferit. Kelarutan karbon maksimum dalam austenite adalah 2% pada suhu 1.147°C dan menurun menjadi 0,8% C pada suhu 727°C. Tidak stabil pada suhu kamar.

### 5. Ledeburit

Fasa ini adalah Suatu *eutectic mixture* dari austenit dan sementit, mengandung 4,3% C, terbentuk pada suhu 1.130°C.

### 6. Sementit ( Fe<sub>3</sub>C )

Sementit adalah campuran logam dengan karbon. Limit kelarutannya diabaikan, komposisi karbon 6,67% dan 93,3% Fe. Sementit adalah senyawa keras, getas dan berkekuatan rendah. (Purwo & Triyono, 2009)

## 2.2.9 Cetakan Permanen

Cetakan permanen adalah cetakan yang dapat dipakai berulang kali (terbuat dari logam dan grafit). Pengecoran ini dikhususkan untuk pengecoran logam non ferrous atau logam paduan, kualitas pengecoran ini tergantung dari kualitas mold, biasanya dikerjakan dengan proses machining untuk mendapatkan kualitas yang bagus karena proses machining memiliki keakuratan yang tinggi.

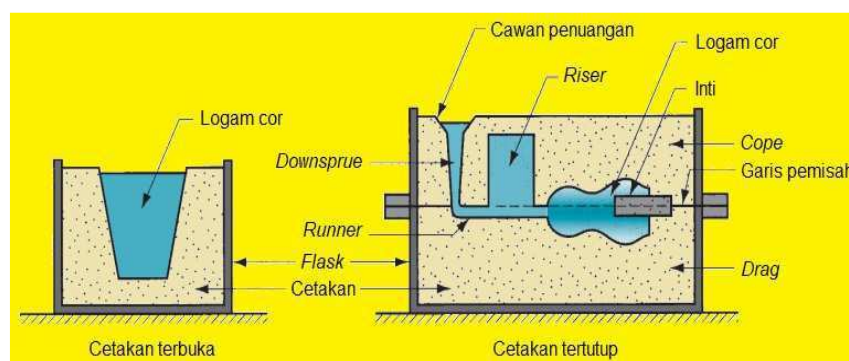
Cetakan permanen berbahan FCD atau dikenal sebagai besi cor nodular (*ductile*), dipilih karena sifatnya mendekati baja namun lebih ekonomis. Cetakan berbahan FCD ini mampu menjadikan dinding besi cor kelabu di dalamnya. Karena mahalanya cetakan yang dibuat dari logam ini, maka proses ini hanya cocok untuk jumlah produksi yang besar dengan produk yang sama. Rata-rata jumlah produksi diatas 500 buah akan memberikan ongkos produksi yang kompetitif bila dibandingkan dengan proses pengecoran dengan cetakan pasir. Pada umumnya proses pengecoran dengan cetakan permanen terbatas pemakaiannya pada pengecoran logam-logam *non ferous* dan paduannya.

### 2.2.10 Jenis Cetakan Dalam Pengecoran Logam

Dalam hal ini cetakan benda cor ada beberapa jenis antara lain :

#### 1. Cetakan pasir (*green sand mold casting*)

Proses ini adalah proses yang tertua, namun sampai saat sekarang masih tetap digunakan karena sangat murah, simpel (sederhana) dan tidak menggunakan mesin yang modern untuk pembuatan cetakan. Secara ini menggunakan pasir sebagai bahan cetakan. Dengan demikian diperlukan syarat-syarat yang dipenuhi untuk pasir cetak tersebut.



Gambar 2.3 Cetakan Pasir Terbuka dan Tertutup

(Groover, Mikell P., 2010)

Keuntungan dari cetakan ini adalah :

- a. Biaya operasional yang murah
- b. Proses yang simpel (sederhana)
- c. Tidak menggunakan mesin-mesin moderen



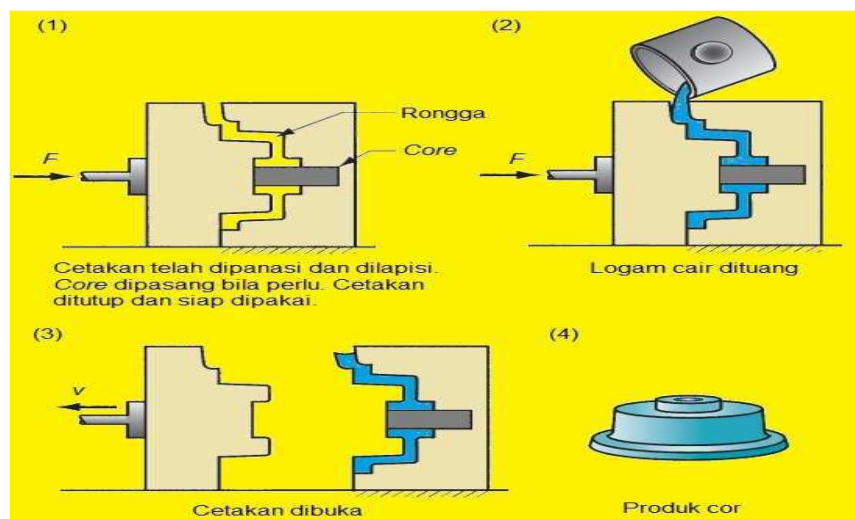
d. Bahan-bahannya mudah didapat

Kerugian dari cetakan ini adalah :

- a. Permukaan coran kasar
- b. Kekuatan coran kurang
- c. Cetakan tidak kuat
- d. Cetakan tidak dapat berulang kali
- e. Diperlukan model dan pola untuk membuat cetakan
- f. Pengecoran kurang teliti

## 2. *Permanent Mold Casting*

Caranya hampir sama dengan cetakan pasir bedanya bahan cetakannya dibuat dari logam. Bahan cetakan biasanya besi tuang kelabu atau baja khusus. Cetakan sangat ekonomis dan dapat dipakai berulang-ulang. Sistem ini digunakan untuk mengecor paduanpaduan bukan besi yang mempunyai titik cair benda seperti Mg, Al dan Cu.



Gambar 2.4 Cetakan Permanen

(Groover, Mikell P., 2010)

Keuntungan dari cetakan ini adalah :

1. Permukaan coran halus dan ukuran lebih teliti
2. Struktur coran rapat sehingga sifat mekanik coran yang baik
3. Baik untuk produksi massal (banyak)

4. Cetakan kuat dan tahan lama, sehingga dapat digunakan berulang-ulang

Kerugian dari cetakan ini adalah:

1. Sulit untuk membuat coran yang rumit
2. Harga cetakan mahal, tidak sesuai untuk produksi kecil
3. Jika terjadi kesalahan cetakan sulit diperbaiki
4. Hanya dapat digunakan untuk membuat benda ukuran kecil
5. Memerlukan mesin yang modern untuk membuat cetakan

### 3. *Die Casting*

Caranya sama dengan proses permanent mold casting, hanya berbeda cara memasukkan cairan logamnya. Pada proses ini cairan logam dimasukkan ke dalam cetakan dengan tekanan, suhu dengan kecepatan tinggi. Penekanan pada die casting dilakukan secara mekanik, sedangkan pada permanent mold casting hanya gravitasi dari logam cair itu sendiri. (Firdaus, 2010).

#### 2.2.11 Bagian-Bagian Cetakan Permanen

secara umum cetakan harus memiliki bagian-bagian utama:

- a. *Core* (inti), bagian ini merupakan bagian yang sangat penting dan harus mempunyai daya tahan yang tinggi untuk menahan temperature logam cair. Bagian ini berfungsi sebagai pembentuk profil dari cetakan.
- b. *Cavity* (rongga cetakan), merupakan bagian utama dari cetakan logam, karena fungsinya sebagai dasar dari bentuk benda yang dicor. Bagian ini juga sebagai penampung cairan logam yang dituangkan ke dalam cetakan.
- c. *Gating system* (sistem saluran masuk), merupakan bagian yang digunakan untuk mengalirkan cairan logam ke dalam rongga cetakan.
- d. *Sprue* (Saluran turun), merupakan bagian yang juga mengalirkan cairan logam namun berposisi *vertical*.
- e. *Pouring basin*, merupakan bagian yang berbentuk lekukan yang digunakan untuk memperlambat cairan logam masuk ke dalam spruedengan tujuan agar tidak terjadi erosi pada *sprue*.

- f. *Raiser* (penambah), merupakan bagian cetakan yang berfungsi sebagai penampung cairan logam untuk menambah jika terjadi penyusutan pada cetakan. Soejono Tjitro, (2011) melakukan penelitian pengaruh bentuk riser terhadap cetakan pasir, menunjukkan cacat penyusutan (*shrinkage defect*) dipengaruhi oleh nilai *casting modulus*. Selain itu, diameter leher *riser* harus memiliki batas minimal untuk menghindari tidak berfungsinya *riser*

### **2.2.12 Sistem Standarisasi Material**

Standarisasi material adalah aturan yang dilakukan oleh asosiasi, institusi suatu negara produsen material yang meliputi pengaturan, cara penulisan, pengelompokan, pengklasifikasian, penserian suatu material. Dengan adanya standarisasi material kalangan teknologi, industri dan masyarakat memperoleh pemahaman dan persepsi yang sama tentang suatu material. Adanya standar yang jelas, semua kalangan akan memperoleh atau mendapatkan jaminan yang sesuai tentang material. Sehingga tidak terjadi kesalahpahaman atau salah mengartikan tentang material yang disepakati.

Dikalangan dunia teknik ada beberapa standar yang berlaku tentang material logam. Klasifikasi untuk cor kelabu biasanya ditetapkan menggunakan standar ASTM Internasional A48. ASTM A247 juga biasa digunakan untuk menggambarkan struktur grafit. Besi cor kelabu dikelompokkan ke dalam kelas-kelas yang sesuai dengan kekuatan tarik minimumnya dalam ribuan pound per inci persegi (ksi); (yaitu cor kelabu kelas 20 memiliki kekuatan tarik minimum 20.000 psi (140 MPa)). Standar ASTM lain yang menangani cor kelabu termasuk ASTM A126, ASTM A278, dan ASTM A319.

Besi abu-abu kelas 20 memiliki matriks ferit dan setara karbon tinggi. Besi abu-abu dengan kekuatan lebih tinggi, hingga kelas 40, memiliki kesetaraan karbon lebih rendah dan matriks perlit. Untuk mendapatkan cor kelabu di atas kelas 40 membutuhkan paduan untuk memberikan

penguatan larutan padat. Besi cor kelabu juga dapat diberi perlakuan panas yang memodifikasi matriks sehingga besi cor menjadi lebih kuat. Kelas 80 adalah kelas tertinggi yang tersedia untuk cor kelabu dan membuat besi memiliki kekuatan tarik tinggi tetapi ketahanan benturan rendah karena bagian kelas 80 lebih rapuh.

Di bawah ini adalah bagan referensi standar ASTM lainnya yang mempengaruhi besi cor kelabu.

1. ASTM G 99 : pengujian keausan dengan *apparatus*
2. ASTM E 92 : pengujian kekerasan *vickers*

### **2.2.13 Pengujian Struktur Mikro**

Struktur mikro merupakan struktur yang dapat diamati di bawah mikroskop optik. Meskipun dapat pula diartikan sebagai hasil dari pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Mikroskop optik dapat memperbesar struktur hingga 1500 kali. Untuk dapat mengamati struktur mikro sebuah material oleh mikroskop optik, maka harus dilakukan tahapan- tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan pemolesan secara bertahap hingga lebih halus dari 0,5 mikron. Proses ini biasanya dilakukan dengan menggunakan amplas secara bertahap dimulai dengan *grid* yang kecil (100) hingga *grid* yang besar (2000). Dilanjutkan dengan pemolesan oleh mesin poles dibantu dengan melakukan pemoles.
2. Etsa dilakukan setelah memperluas struktur mikro. Etsa adalah membilas atau mencelupkan permukaan material yang akan di amati ke dalam sebuah larutan kimia yang di buat sesuai kandungan paduan logamnya. Hal ini dilakukan untuk memunculkan fasa-fasa yang ada di dalam struktur mikro.

Metalografi adalah cara untuk melihat struktur mikro dari sebuah paduan. Metalografi juga dilakukan untuk melihat fasa, persen frasa, ukuran butiran, pemeriksaan mikro memberikan informasi karakteristik-karakteristik struktural mikro seperti ukuran butiran, bentuk dan distribusi fasa- fasa kedua dan inklusi- inklusi nonmetalik.

Pengetahuan tentang semua ini memberikan kemungkinan bagi ahli metalogi untuk dapat memperkirakan dengan pertimbangan ketepatan sifat- sifat atau perilaku dari logam ketika digunakan untuk tujuan tertentu. Struktur mikro dalam batasan tertentu, mampu memberikan sejarah yang hampir lengkap dari logam tertentu yang telah mengalami perlakuan mekanik maupun perlakuan panas.

Di industri- industri bahan dan metalurgi , analisis struktur mikro digunakan secara luas untuk spesifikasi bahan, kendali mutu bahan, evaluasi proses dan analisis kerusakan logam.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui kondisi mikro dari suatu logam. Pengamatan ini biasanya melibatkan batas butir dan fasa- fasa yang ada dalam logam atau aduan tersebut.

#### **2.2.14 Pengujian Kekerasan**

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan dari 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 bentuk semula, lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk mengatakan ssuatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongan sebagai material ulet atau getas.

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. Didalam dunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan empat macam metode yakni :

#### 1. *Brinell* (HB/BHN)

Pengujian kekerasan menurut brinell bertujuan untuk menentukan kekeasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja yang ditekan terhadap permukaan material tersebut. Disarankan agar pengujian brinell ini hanya diperuntukan untuk material yang memiliki kekerasa brnrel sampai dengan 400 (ditulis 400 HBN). Bila kekerasan lebih dari itu di sarankan menggunakan metode pengujian rockwell/ fickers. Cara pengujian kekerasan dengan kekerasan metode brinell adalah dengan menekan bola baja yang dikeraskan dengan diameter  $D$  (mm) kepermukaan bagian material yang diuji dengan beban  $P$  (kgf) dan secara demikian berangsur- angsur sehingga beban uji tercapai dalam waktu 15 detik. Rumus angka kekerasan brinell (BHN):

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

Dimana:

$P$  = gaya yang bekerja pada penetrator (kg)

$D$  = diameter indentor (mm)

$d$  = diameter bekas injakan (mm)

identor (bola baja) biasanya telah dikeraskan dan dipalating ataupun terbuat dari bahan karbida tungsten.

#### 2. *Rockwell* (HR/HRN)

Pengujian kekerasan *rockwell* di mana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter atau diagonal jejak yang dihasilkan maka metode *rockwell* merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis.

Metode yang paling umum dipakai adalah *rockwell* B dengan referensi ASTM E 18 memakai indenter bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg dan *rockwell* C memakai indenter intan dengan beban 150kg (Callister,2007).

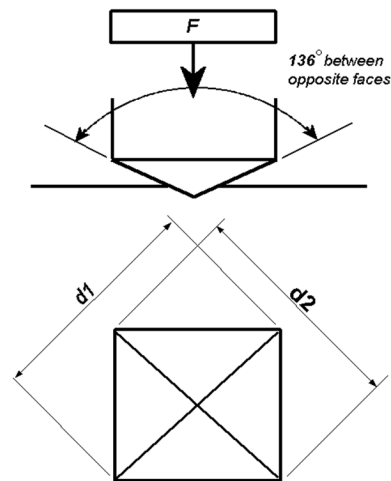
Tabel 2.1 Skala Kekerasan Rockwell

Skala	Beban Mayor (Kg)	Tipe Indentor	Tipe Material Uji
A	60	1/16" bola intan kerucut	Sangat keras, tungsten, karbida
B	100	1/16" bola	Kekerasan sedang, baja karbon rendah dan sedang, kuningan, perunggu
C	150	Intan kerucut	Baja keras, paduan yang dikeraskan, baja hasil tempering
D	100	1/8" bola	Besi cor, paduan alumunium, magnesium yg dianealing
E	100	Intan Kerucut	Baja kawakan
F	60	1/16" bola	Kuningan yang dianealing dan tembaga
G	150	1/8" bola	Tembaga, berilium, fosfor, perunggu
H	60	1/8" bola	Pelat alumunium, timah
K	150	¼" bola	Besi cor, paduan alumunium, timah
L	60	¼" bola	Plastik, logam lunak
M	100	¼" bola	Plastik, logam lunak
R	60	¼" bola	Plastik, logam lunak
S	100	½" bola	Plastik, logam lunak
V	150	½" bola	Plastik, logam lunak

### 3. *Vickers* (HV/VHN)

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Nilai ini dipilih

karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987). Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.



Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujian Vickers

VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2}$$

Bila  $\theta = 136$ , maka :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{136}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854P}{d^2}$$

dengan P = beban yang digunakan (kgf)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan

Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji



vickers berkisar antara 1 hingga 120 kgf. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji.

#### 4. *Micro Hardness (knoop hardness)*

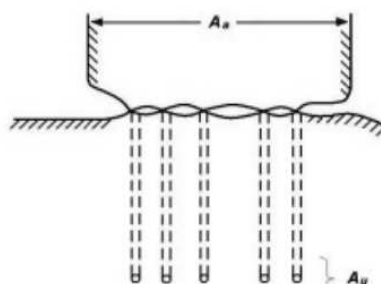
*Micro Hardness* test tahu sering disebut dengan *knoop hardness testing* merupakan pengujian yang cocok untuk pengujian material yang nilai kekerasannya rendah. *Knoop* biasanya di gunakan untuk mengukur material yang getas seperti keramik.

### 2.2.15 Pengujian Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai terlepasnya suatu material dari permukaan padat akibat interaksi mekanis yang saling bersinggungan dan bergerak antara material satu terhadap yang lain. Material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, yaitu : (Yuwono, 2009)

#### 1. Keausan *adhesive*

Keausan ini terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih saling bersinggungan satu sama lain dan akhirnya terjadi pelepasan atau pengoyakan pada salah satu material



Gambar 2.6 Ilustrasi skematis keausan adhesive  
(Yuwono, 2009)

#### 2. Keausan lelah

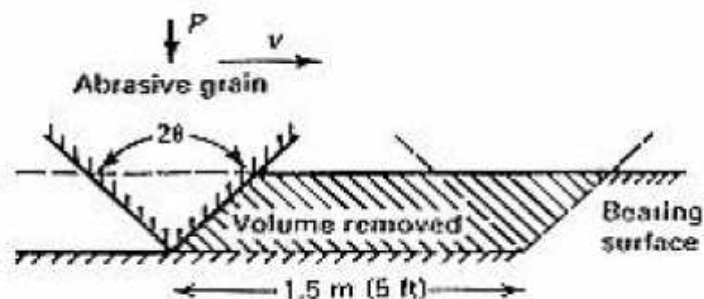
Keausan ini merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan mekanis yang lainnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adhesive maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi sementara pada keausan lelah dibutuhkan interaksi yang multi

### 3. Keausan oksidasi

Keausan ini sering kali disebut keausan korosif. Pada prinsipnya mekanisme ini dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material dibagian permukaan yang disebabkan oleh faktor lingkungan

### 4. Keausan abrasif

Keausan ini terjadi bila suatu partikel keras dari suatu material tertentu meluncur pada permukaan material yang lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan.



Gambar 2.7 Ilustrasi skematis keausan abrasif

Dalam penelitian ini untuk mengetahui tingkat keausan dan laju keausan spesimen. Untuk berbandingan berat spesimen sebelum dan sesudah digesekan menunjukkan tingkat keausan dan laju keausan tiap-tiap spesimen yang dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta m = w_0 - w_1 \text{ (gram)}$$

$$\text{Laju Keausan} = \frac{\Delta m}{T} \text{ (gram/menit)}$$

Dimana :

T = lama pengujian keausan (menit)

w<sub>0</sub> = Berat awal spesimen sebelum diuji (gram)

w<sub>1</sub> = Berat sesudah pengujian (gram)

Δm = Keausan/selisih berat (gram)