

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Cor

Besi cor merupakan paduan antara unsur besi yang mengandung carbon (*c*), silicon (*s*), mangan (*Mg*), phosphor(*p*) dan sulfur (*s*), pada besi cor karbon biasanya antara 2% sampai 6,67% sedang pada baja kandungan karbon hanya mencapai 2%, semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan mengakibatkan besi cor rapuh getas. Selain dari karbon besi cor juga mengandung silicon (*Si*) (1-3%), mangan (0,25-15%), dan phosphor (*p*) (0,05,15%), selain itu juga terdapat unsur-unsur lain yang ditambahkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

Kehadiran silicon dalam besi cor mengakibatkan terjadinya dekomposisi karbida-karbida menjadi besi dan grafit: $Fe_3C \xrightarrow{Si} 3Fe + C$ grafit. Proses dekomposisi ini disebabkan oleh sifat Fe_3C yang stabil. Dekomposisi ini disebut grafitisasi yang menghasilkan grafit dalam besi cor. Selain unsur-unsur yang ditambahkan dalam besi cor, juga terdapat faktor-faktor penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat-sifat besi cor tersebut antara lain proses pembekuan laju pendinginan dan perlakuan panas yang dilakukan.

Besi cor mempunyai keuntungan yaitu mampu tuang (castability) yang baik, kemudahan proses produksi dan rendahnya proses temperatur kamar. Akan tetapi besi cor mempunyai titik lebur yang relatif rendah yakni 1150°C - 1300°C dan dapat dituang kedalam bentuk-bentuk yang sulit. Hal ini merupakan keuntungan dari besi cor karena mendapatkan bentuk benda yang diinginkan hanya diperlukan proses pemanasan dan juga besi cor mempunyai kekerasan,

ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi yang cukup baik. Salah satu logam yang banyak digunakan oleh manusia untuk keperluan industri dan rekayasa adalah besi cor (Surdia & Saito, 1984).

2.2 Klasifikasi Besi Cor

2.2.1 Besi Cor Kelabu (*Gray Cast Iron*)

Besi cor kelabu memiliki kandungan silikon relatif tinggi yaitu antara 1-3%. Dengan silikon sebesar ini, besi cor akan membentuk grafit dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe_3C tidak terbentuk. Grafit serpih besi cor ini terbentuk saat proses pembekuan. Besi cor kelabu memiliki kandungan karbon antara 2,5 - 4,0 persen, dan kandungan mangan antara 0,2 - 1,0 persen. Sedangkan kandungan fosfor antara 0,002 - 1,0 persen, dan sulfur antara 0,02 - 0,025 persen.



Gambar 2.2.1: *Struktur mikro Besi Cor Kelabu.*

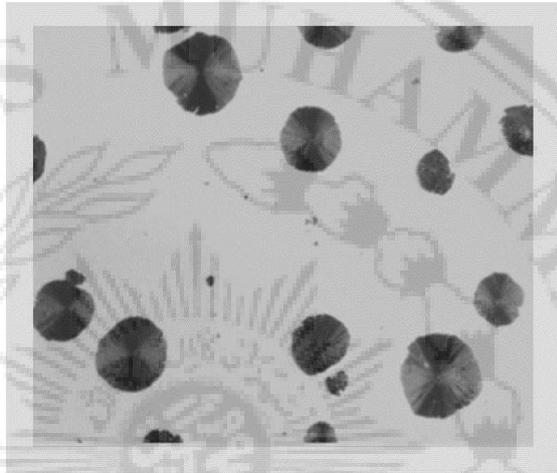
Salah satu Karakteristik dari besi cor ini adalah bidang patahannya, patahan terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih yang lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih grafit, maka permukaannya berwarna kelabu. Untuk itu disebut besi cor kelabu, besi cor ini memiliki kapasitas peredaman tinggi. Perlakuan panas yang

dialami oleh besi cor kelabu dapat menghasilkan besi cor dengan struktur yang berbasis pada fasa feritik, perlitik, atau martensitik. Dengan sifat-sifat yang dimilikinya, besi cor ini lebih banyak digunakan sebagai landasan mesin, poros penghubung, dan alat berat. Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik dari besi tuang kelabu ASTM 40 dapat dilihat pada table di bawah. (*Jurnal Penelitian Sainstek, Voll, 11. No.1*).

Karakteristik Besi Tuang Kelabu		
Komposisi Kimia Besi Cor Kelabu ASTM 40	C=2,7 – 4,0%, Mn=0,8%, Si=1,8 – 3%, S=0,07% max, P=0,2% max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Tuang Kelabu		
Densiti	$7,06 \times 10^3 - 7,34 \times 10^3$	kg/m ³
Modulus Elastisitas	124	Gpa
Thermal Expansion (20 C)	$9,0 \times 10^{-6}$	C ⁻¹
Specific Heat Capacity (25 C)	490	J/(kg x K)
Konduktivitas Thermal	53,3	W/(m x K)
Resistivitas Listrik	$1,1 \times 10^{-7}$	Ohm x m
Kuat Tarik	276	Mpa
Elongasi	1	%
Kekerasan	180 – 302	HB, Hardness Brinell

2.2.2 Besi Cor Nodular

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 ke uletan. Maka dari itu, besi cor nodular disebut besi cor ulet, besi cor ini memiliki keuletan antara 10 - 20%.



Gambar 2.2.2: *Besi Cor Nodular*

Besi cor nodular memiliki kandungan karbon antara 3,0- 4,0%, kandungan silikon antara 1,8-2,8% dan mangan antara 0,1- 1,0%. Sedangkan kandungan fosfornya antara 0,01- 0,1% dan sulfur antara 0,01- 0,03%.

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.

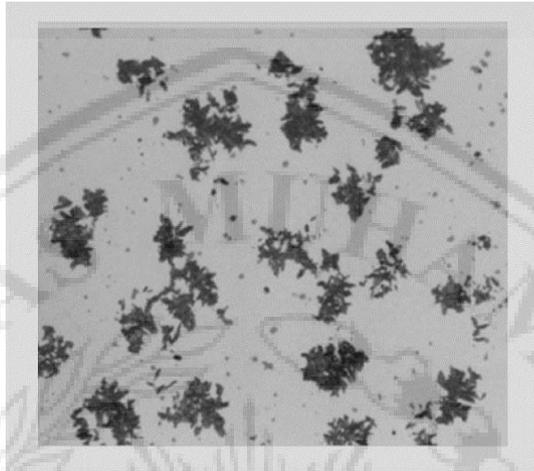
Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik besi cor nodular, ulet ASTM A536 dapat dilihat pada table di bawah (*Jurnal Penelitian Saintek, Voll, 11. No.1*).

Ductile Cast Iron ASTM A536		
Komposisi Besi Cor Nodular ASTM A536	C=3,5 - 3,9%, Mn=0,15 - 0,35%, Si=2,25 -2,75%, S=0,01 - 0,025%, P=0,05% max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Cor Nodular, Ulet ASTM A536		
Densiti	$6,64 \times 10^3 - 7,2 \times 10^3$	Kg/m ³
Modulus Elastisitas	172	Gpa
Thermal Expansion (20 C)	$11,6 \times 10^{-6}$	C ⁻¹
Specific Heat Capacity	506	J/(kg x K)
Konduktivitas Thermal	32,3	W/(m x K)
Resistivitas Listrik	$6,0 \times 10^{-7}$	Ohm x m
Kuat Tarik	496	Mpa
Kuat Luluh	345	Mpa
Elongasi	18	%
Kekerasan	130 – 217	HB, Hardness Brinell

2.2.3 Besi Cor Mampu Tempa

Besi Cor mampu tempa dibuat dari besi cor putih dengan menerapkan suatu perlakuan panas. Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor putih umumnya adalah anil. Dengan perlakuan ini fasa-fasa karbida Fe_3C akan terdekomposisi menjadi besi dan grafit, grafit yang terbentuk tidak serpih atau bulat, namun berbentuk gumpalan grafit yang tidak memiliki tepi-tepi tajam.

Besi cor mampu tempa memiliki kandungan karbon antara 2,2-2,9 persen, kandungan silicon antara 0,9-1,9 persen, dan mangan antara 0,15-1,2 persen, sedangkan kandungan fosfornya antara 0,02-0,2 persen dan sulfur antara 0,02 - 0,2 persen.



Gambar : 2.2.3*Besi Cor Mampu Tempa.*

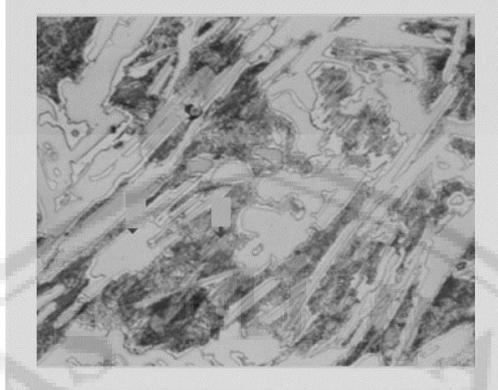
Perlakuan panas yang dialaminya dapat membentuk besi cor berfasa feritik, perlitik atau martensit temper. Perubahan struktur pada laku panas diikuti jugadengan perubahan sifat mekaniknya. Besi cor ini memiliki keuletan yang tinggi dan mampu tempa yang baik. Oleh kerena itu disebut besi cor mampu tempa besicor ini umumnya digunakan untuk perkakas dan alat-alat kereta api.

Secara keseluruhan sifat fisik dan mekanik dari besi tuang mampu tempa ASTM A220 dapat dilihat pada table di bawah (*Jurnal Penelitian Saintek, Voll, 11. No.1*).

Malleable Cast Iron ASTM A220		
Komposisi Kimia: Malleable Cast Iron ASTM A220	C=2 - 2,7%, Mn=0,25 - 1,25%, Si=1 - 1,75%, S=0,03 - 0,18%, P=0,05% max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Taung ASTM A220		
Densiti	$7,2 \times 10^3 - 7,45 \times 10^3$	Kg/m ³
Modulus Elastisitas	172	Gpa
Thermal Expansion (20 C)	$11,9 \times 10^{-6}$	C ⁻¹
Resistivitas Listrik	$3,9 \times 10^{-7}$	Ohm x m
Kuat Tarik	586	Mpa
Kuat Luluh	483	Mpa
Elongasi	3	%
Kekerasan	217-269	HB, Hardness Brinell

2.2.4. Besi Cor Putih

Besi cor putih dibuat dengan pendinginan yang sangat cepat. Pada laju pendinginan yang cepat akan terbentuk karbida Fe_3C yang metastabil dan karbon



Gambar:2.2.4. Besi Cor Putih

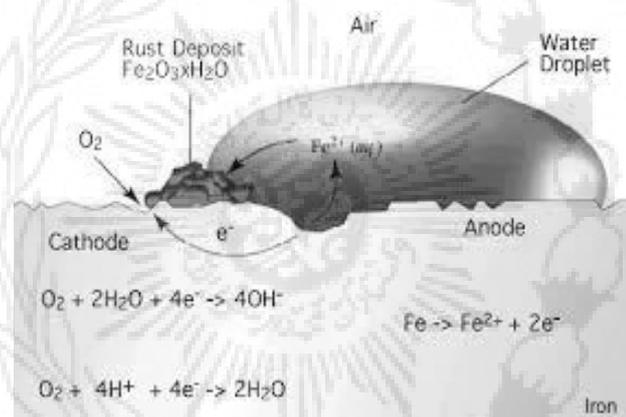
tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Karbida yang terbentuk mencapai sekitar 30 persen volume. Besi cor putih mengandung karbon antara 1,8 - 3,6%, dan kandungan mangan antara 0,25 - 0,80%. Sedangkan kandungan fosfornya antara 0,06 - 0,2%, dan sulfur antara 0,06 - 0,2%. Besi cor ini memiliki 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. Secara umum sifat - sifat yang dimiliki oleh besi cor putih dapat dilihat pada table di bawah. (*Jurnal Penelitian Saintek, Voll, 11. No.1*).

Karakteristik Besi Cor Putih		
Komposisi Kimia	C=2,5%, Mn=0,4%, Cr=17%, Si=1,3%, Ni+Cu=1,5%, Cr=1%, P=0,15%, S=0,15%, Mo=0,5%	
Karakteristik Sifat Fisik Dari Besi Cor Putih		
Densiti	7,7 x 10 ³	Kg/m ³
Modulus Elastisitas	179	Gpa

Thermal Expansion (20 C)	$9,0 \times 10^{-6}$	C^{-1}
Electric Resistivity	8×10^{-7}	Ohm x m

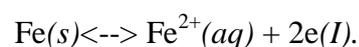
2.3 Pengertian korosi

Korosi adalah perusakan suatu material karena adanya reaksi suatu lingkungannya. Korosi merupakan proses elektro kimia yang terjadi pada logam atau proses perusakan material karena bereaksi dengan lingkungannya,(Fontana, 1987:4).

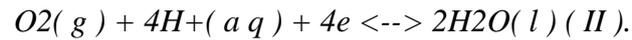


Gambar2.3:Proses Korosi Pada Besi.

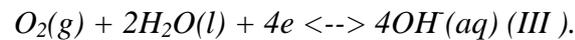
Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Dalam hal ini kita akan menggunakan contoh pada besi, rumus kimia karat besi adalah $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, suatu zat padat yang berwarna coklat- merah.Korosi merupakan proses elektrokimia, Pada korosi besi bagian tertentu dari besi itu berlaku sebagai anoda, dimana besi mengalami oksidasi.



Elektron yang dibebaskan di anoda mengalir kebagian yang lain dari besi itu yang bertindak sebagai katoda.



Atau



Ion besi (I) yang terbentuk pada anoda selanjutnya teroksidasi membentuk ion besi (II) yang kemudian membentuk ion senyawa oksida terhidrasi yaitu karat besi. Mengenai bagian mana dari besi itu yang bertindak sebagai katoda tergantung pada berbagai faktor, misalnya zat pengotor atau perbedaan rapat logam itu, (Chamberlin & Trethewey, 1988: 17- 25).

Korosi dapat terjadi karena adanya lingkungan yang korosif, lingkungan sendiri terbagi dalam dua keadaan yaitu:

a. Lingkungan Korosi Kering.

Adanya peristiwa korosi yang berlangsung tanpa adanya kelembapan atau cairan pada temperatur tinggi dimana beberapa senyawa kimia menyublim, mencair atau meleleh sehingga pada permukaan logam dapat terjadi keadaan antara fase logam dan cairan atau lelehan senyawa kimia. Korosi merupakan reaksi kimia murni karena tidak adanya elektrolit maupun mediumnya dan biasanya terjadi pada temperatur tinggi. Korosi ini banyak terjadi pada temperatur tinggi di pabrik besi baja atau pabrik semen.

b. Lingkungan Korosi Basah.

Adalah suatu peristiwa basah yang berlangsung akibat lingkungan yang bersifat cair, uap dan kelembapan udarayang bercampur dengangas-gas polusi. Korosi basah merupakan reaksi elektro kimia, karena adanya elektrolit dan medium yang menyebabkan timbulnya reaksi kimia dari perpindahan elektron (fontana, 1987:9).

Dari definisi korosipeneliti akan mengelompokkan lagi agar bisa di pahami bahwa:

- Korosi berkaitan dengan logam, baik ferro atau non ferro kelompok besi non ferro: Allumunium, tembaga, seng, timah hitam, dan timah putih.
- Korosi adalah proses yang merugikan dan sangat tidak di inginkan, karna berkaitan dengan degradasi kualitas logam.
- Degradasi kualitas logam bukan hanya diakibatkan oleh reaksi kimia namun melibatkan reaksi elektrokimia.

c. Prinsip Dasar Korosi

Ketika logam berada dalam lingkungan yang korosif maka logam tersebut akan menunjukkan reaksi tahan, aktif atau pasif. Logam dikatakan tahan jika tidak terjadi reaksi dan tidak ada korosi pada logam. Bila logam diukur beratnya sebelum dan sesudah dimasukan dalam larutan maka tidak ada kehilangan berat dari logam tersebut. Sifat tahan berasal dari kestabilan termodinamika dalam lingkungan yaitu reaksi korosi tidak terjadi secara spontan. Logam mengalami korosi (aktif) jika logam terkorosi dalam larutan. Logam terurai dalam larutan dan membentuk produk korosi yang tidak protektif. Korosi logam akan berlanjut dalam larutan sebab produk korosi tidak menghalangi korosi berikutnya. Korosi dikatakan tinggi jika kehilangan berat logam tinggi.

Relative Corrosion	mpy	Mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	Nm/h	Pm/s
Resistance					
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20

Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 150	20 - 50
Poor	50 - 200	1 - 5	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
Unceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Logam mengalami pasif jika logam terkorosi tetapi produk korosinya mempunyai sifat protektif. Lapisan protektif ini dikenal dengan lapisan pasif. Ketahanan korosi pada logam berkaitan dengan pasif tergantung pada ketahanan lapisan pasif. Seandainya lapisan pasif rusak atau terlarut maka logam biasa kembali pada sifat aktif.

Ada empat syarat terjadinya korosi, jika salah satu syarat tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi korosi. Keempat syarat tersebut meliputi:

Anode, Cathode, Ionic Path, dan Electronic path.

2.4 Laju Korosi Dan Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan 2 cara yaitu:

- Metode kehilangan berat
- Metode Elektrokimia

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukurkekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi.

Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut:

$$W = (W_o - W_a)$$

W = kehilangan logam/berat (mg)

W_a = berat sesudah

W_o = berat sebelum

$$\text{Laju korosi (CR)} = \text{mil per year (mpy)} = \frac{W}{D A t}$$

A = Luas permukaan logam (in)

D = densitas logam (gr/cm³)

W = kehilangan logam (mg)

CR = laju korosi (mm/year)

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin di ketahui laju korosinya). Kekurangan berat dari pada berat awal, merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat di kembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya. Metode ini bila di jalankan dengan waktu yang lama dan suistainable dapat di jadikan acuan terhadap kondisi tempat objek diletakkan (dapat di ketahui seberapa korosif daerah tersebut) juga dapat dijadikan refrensi untuk treathment yang harus diterapkan pada daerah dan kondisi tempat objek tersebut (fontana,1987:13-14).

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat di ukur saja, dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda), kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat, karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatment tidak dapat di ketahui laju korosi pada saat di ukur hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Metode ini menggunakan rumus yang di dasari pada hukum *Faraday* yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CR (mpy) = K \frac{ai}{nD}$$

CR=Corrosion rate

K=Constan factor, mpy=0,129; $\mu\text{m}/\text{yr}$ =3,27; mm/yr =0,00327

a = Atomic weight of metal

i = Current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

n = Number of electron lost

D = Density (g/cm^3)

Metode ini menggunakan perbandingan dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan di uji, hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya perbandingan tersebut (Atkins, p.W.1999. Kimia Fisika Jilid 1. Terjemahan Irna 1. Kartohadiprajo. Jakarta: Erlanga).

2.5 Faktor yang mempengaruhi korosi

Korosi pada permukaan suatu logam dapat di percepat oleh beberapa faktor, antara lain:

2.5.1 Kontak langsung dengan H_2O dan O_2

Suatu material yang berada pada lingkungan yang memiliki kandungan oksigen lebih tinggi akan bersifat katodik terhadap bagian lain yang memiliki kandungan oksigen lebih rendah dan bersifat anodik. Efek pada penambahan oksidasi atau kehadiran oksigen pada laju korosi tergantung pada keduanya yaitu media dan logam yang di libatkan korosi pada permukaan logam merupakan proses yang mengandung reaksi redoks. Reaksi yang terjadi ini merupakan sel volta mini, sebagai contoh, korosi bersih terjadi apa bila ada oksigen (O_2) dan air (H_2O). Logam besi tidaklah murni, melainkan mengandung campuran karbon yang menyebar secara tidak merata dengan logam tersebut. Akibatnya menimbulkan perbedaan potensial listrik antara atom logam dengan atom karbon (c). Atom logam besi (Fe) bertindak sebagai anoda dan atom C sebagai katoda. Oksigen yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air sendiri berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa

korosi. Semakin banyak jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam tersebut (Fontana, 1987:23-24).

2.5.2 Keberadaan zat pengotor.

Zat pengotor pada permukaan logam dapat menyebabkan reaksi reduksi tambahan sehingga lebih banyak atom logam yang teroksidasi. Sebagai contoh adanya tumpukan debu karbon dari hasil pembakaran BBM (bahan bakar minyak) pada permukaan logam mampu mempercepat reaksi reduksi gas oksigen pada permukaan logam, dengan demikian reaksi korosi semakin cepat.



Gambar 2.5.2: Korosi Adanya Tumpukan Zat pengotor.

2.5.3 Kontak Dengan Elektrolit.

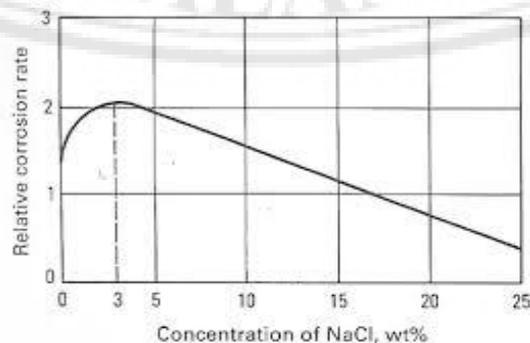


Gambar 2.5.3: korosi elektrolit oleh kandungan garam.

Keberadaan elektrolit seperti garam dalam air laut dapat mempercepat laju korosi dengan menambah dengan reaksi tambahan. Sedangkan konsentrasi elektrolit yang besar dapat melakukan laju aliran elektron sehingga korosi meningkat.

2.5.4 Pengaruh Dari NaCl

Dalam larutan garam akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya, ion-ion tersebut akan menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang mengalir dalam larutan tersebut, hal ini mengakibatkan nilai konduktifitas dari larutan garam akan sebanding dengan konsentrasi garam terlarut dalam larutan tersebut. Proses korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia antara logam sebagai anoda dengan lingkungan yang bertindak sebagai katoda. Akibatnya kecepatan berlangsungnya reaksi akan sangat ditentukan oleh konduktifitas dari larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda. Larutan dengan konduktifitas yang baik akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat sehingga akan meningkatkan laju korosi. Namun adanya ion-ion terlarut dalam larutan garam akan menurunkan agen pereduksi yang ada pada larutan tersebut. Salah satu contoh, semakin besar konsentrasi (NaCl) dalam larutan teraerasi akan menurunkan kelarutan oksigen dalam larutan tersebut.



Gambar 2.5.4: Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi.

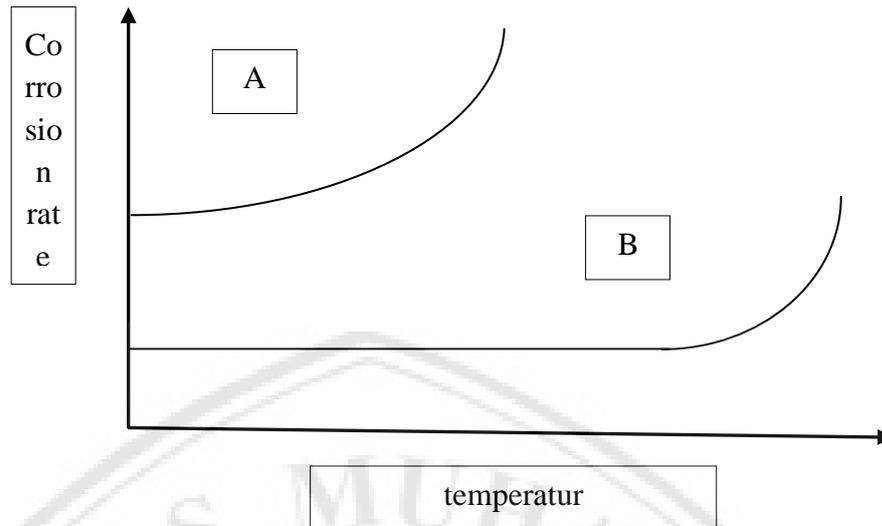
Pengaruh konsentrasi (NaCl) dalam larutan akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi besi dalam larutan tersebut. Peningkatan konsentrasi (NaCl) dalam larutan akan meningkatkan konduktivitas larutan sehingga meningkatkan laju korosi. Namun sebaliknya, peningkatan konsentrasi (NaCl) akan mengurangi kelarutan agen pereduksi dalam larutan sehingga akan menurunkan laju korosi besi dalam larutan tersebut. Oleh karena itu, konsentrasi (NaCl) dapat meningkatkan dan menurunkan laju korosi besi dalam larutan tersebut tergantung pada pengaruh yang dominan yang ditimbulkan oleh konsentrasi (NaCl).

Penggunaan larutan garam telah dimulai sejak abad 18. Pada saat itu, bak larutan garam memiliki banyak keuntungan diantaranya mudah mengontrol dan pemeliharaan serta hasilnya memiliki kualitas yang konsisten konduksi pada larutan garam pada balok baja 1 inci membutuhkan waktu 4 menit dan ini jauh jika dibandingkan dengan konveksi atau radiasi dalam atmosfer/ ruang vakum yang dapat mencapai 20-30 menit, logam akan mengalami laju pendinginan lambat di udara tetapi lebih cepat jika berada di larutan. Hal ini menjadikan bagian dalam logam akan mengalami lebih cepat mencapai suhu seperti di permukaan. Larutan garam mampu meminimalisir efek buruk dari pemanasan yang tidak seragam. Pemanasan tidak seragam ini mampu menyebabkan distorsi atau perubahan bentuk, logam yang direndam dalam larutan garam akan terlindungi dari oksigen dan karbondioksida sehingga kerusakan akibat oksigen, karbondioksida dan uap air dari tungku dapat diminimalisir. Dekarborasi beberapa bagian logam akibat kontak dengan oksigen dan karbondioksida juga dapat dieliminasi dengan menggunakan larutan garam, pemilihan garam harus memperhatikan beberapa hal diantaranya harus bekerja pada daerah kerja yang

tepat sesuai temperatur yang diinginkan, harus memiliki titik cair yang tepat, harus kompatibel dengan garam lain atau inhibitor yang digunakan dalam satu bak (Brian Reid, 1996).

2.5.5 Pengaruh Dari Temperatur.

Metal yang berada pada elektrolit yang sama tetapi temperturnya berbeda maka metal yang berada pada temperatur yang bersuhu rendah akan bersifat sebagai anoda dan yang berada pada suhu yang lebih tinggi akan bersifat katoda, efek temperatur di ikuti oleh kenaikan laju korosi pada temperatur lebih tinggi. Dengan terjadinya kenaikan temperatur maka akan meningkatkan tenaga oksidasinya hal ini menyebabkan peningkatan laju korosi pada materialnya. Kenaikan temperatur tidak asing pada semua reaksi kimia temperatur pada laju korosi memberikan penjelasan dua pengamatan umum pengaruh temperatur pada laju korosi logam. Kurva (A) menunjukkan peningkatan yang sangat cepat pada laju korosi bersamaan dengan meningkatnya temperatur, pada kurva (B) peningkatan laju korosi akan cepat jika dalam keadaan temperatur tinggi. Laju korosi pada temperatur rendah akan berjalan lambat dan akan meningkat secara eksponensial pada harga temperatur tertentu seperti di tunjukkan oleh kurva (B) (Fontana, 1987:26), (Sanjaya, 2013), (Smalman & Bishop, 2000:100).



Gambar 2.5.5 Pengaruh temperatur pada laju korosi (Fontana,1987:26)

2.5.6 Pengaruh P H.

Korosi juga terjadi bila suatu besi di celupkan dalam larutan aqueous (larutan berair/ mengandung elektrolit), kemudian terjadi dua lokasi yang disebut anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi (besi terkorosi menghasilkan elektron) dan pada katoda terjadi reaksi reduksi (larutan air dan ion H^+ menerima elektron dan terurai menghasilkan ion hidroksida), dan reaksi redoks ini akan berlangsung terus menerus (hingga besi habis terkorosi), bila tidak terbentuk lapisan penghalang di permukaan besi/ baja tersebut. Keberadaan ion-ion dan elektron- elektron ini menjadikan korosi selalu berlangsung. Karena Ph berbanding lurus dengan konsentrasi ion (H^+ dan OH^-) maka laju korosi bergantung pada Ph lingkungannya, di lingkungan aqueous dan PH netral ($Ph=7$) atau agak basa ($Ph>7$), seperti halnya kondisi di alam terbuka di bumi ini pada umumnya, bila melihat potensial korosinya, maka besi dan bajalah yang selalu siap terkorosi. Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi ($Ph<$

7) akan semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda yaitu:



Adanya reaksi reduksi tambahan pada katoda penyebab lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar (Fontana, 1987; 65-66), (Chamberlain & Trethewey, 1988: 27-28), (Sanjaya, 2003).

2.6 Korosi Pada Besi Cor

Toifur (1998), menjelaskan pengaruh implantasi ion argon dapat menurunkan laju korosi dengan aquatridest sebagai media korosifnya (Sujipto, 1990). Asam klorida sebagai media korosif terbukti memiliki laju korosi lebih tinggi dibanding dengan aquatridest sebagai media korosifnya.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, masih terbatas pada penelitian dengan media korosif yang mendekati lingkungan dimana bahan tersebut dipakai mutlak diperlukan. Penelitian dilakukan terhadap besi cor kelabu dengan media korosif air laut, larutan garam (*NaCl* 5%), dan larutan kapur (5%). Pemilihan air laut sebagai media korosif karena air laut banyak mengandung unsur organik dan anorganik air laut bersifat asam sehingga mempunyai PH dibawah 7. Larutan garam (*NaCl* 5%) dan larutan kapur (5%) dianggap dapat mewakili lingkungan garam dan basa. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah besi cor kelabu dengan kandungan karbon (3%) yang dibentuk menjadi lingkaran-lingkaran berdiameter (10mm), ketebalan (3mm) sebanyak 15 buah. Agar diperoleh permukaan yang lebih halus dan homogen, maka permukaan besi

cor kelabu digosok dengan kertas abrasif (160, 400, 800 dan 1200), selanjutnya untuk lebih memperhalus dan mengkilapkan permukaanya, dipoles dengan autosol dan dibersihkan dengan alkohol.

(Rizal M dan Bendiyasa) telah melakukan penelitian tentang efek inhibitor (NaOH) dan (NaNO₃) pada korosi mild steel dalam lingkungan garam (NaCl) dengan suhu larutan (27^o C). Hasil penelitian menunjukkan inhibitor (NaOH dan NaNO₃) cukup baik dalam menghambat laju korosi besi cor dalam larutan (NaCl) terutama pada konsentrasi larutan (NaCl 1%) (Jurnal Material Teknologi), (ISSN: 2477 - 2135), Voll 1, No 1, 2015).

(Moller), melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi kimia besi cor yang dapat mengakibatkan timbulnya lapisan pelindung korosi di air laut. Hasil penelitian menunjukkan, komposisi kimia dari besi akan membentuk lapisan oxy-hidroxide dalam lingkungan air laut, yang menghambat terjadinya korosi. Adanya porous, crack pada lapisan akan mengakibatkan difusi oksigen pada permukaan besi yang menyebabkan timbulnya korosi. Penambahan unsur (Cr dan Mo) akan membentuk lapisan yang lebih tahan korosi.

(Nugroho,2005), menghitung laju korosi dengan metode pencelupan yang dilakukan dari benda uji didapat nilai selisih dari berat awal dan berat akhir dari tiap-tiap proses korosi. Untuk benda uji dengan suhu pemanasan 4000C durasi pencelupan 4 jam didapat laju korosi (34,795 mm/tahun), pada benda uji dengan suhu pemanasan 5000C durasi pencelupan 4 jam didapat laju korosi (30,667 mm/tahun), dan pada benda uji yang sama dengan suhu pemanasan 6000C durasi pencelupan selama 4 jam didapat laju korosi (35,148 mm/tahun).

Korosi tidak dapat dicegah tetapi lajunya dapat dikurangi, berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satunya dengan pemakaian inhibitor. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, 2007).

(Toifur,1998) menjelaskan laju korosi pada media korosif aquatridest sebagai fungsi dari dosis ion. Perlambatan terhadap korosi ketika korosi berjalan juga dapat terjadi dengan terbentuknya lapisan pelindung daerah yang menunjukkan terbentuknya lapisan pelindung disebut daerah pasivasi. Setelah daerah pasivasi, korosi dapat berjalan kembali, daerah ini disebut daerah transpasivasi (Dieter, 1990).

2.7 Metalurgi

1. Sifat-sifat logam.

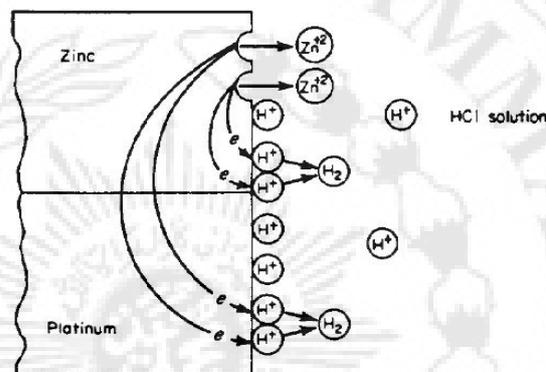
Logam dan paduan logam adalah suatu kristal yang padat terdiri atas atom logam yang tersusun dengan temperatur dalam bentuk barisan. Susunan atom berbentuk simetri tertentu dimana bentuk simetri terkecil susunan atom di sebut sel satuan. Ada beberapa bentuk (*sel*) satuan pada logam, yaitu:

- Bila(*sel*) satuan tersusun memenuhi ruang tiga dimensi.
- *Sel*satuan nya mempunyai dimetri yang tinggi.

Terbentuknya susunan atom pada logam, di mulai ketika proses pembentukan pada pengecoran. Atom-atom yang tersebar secara acak dalam cairan logam akan tersusun dengan sendirinya membentuk barisan kristal.pengkristalan ini mulai dari satu titik kecil pada cairan logam, yang dekat dengan permukaan cetakan atau

udara bebas, yang kemudian membesar. Peristiwa semacam ini biasanya terjadi hampir bersamaan pada titik yang lain pada logam cair, sehingga pada pertemuan butiran-butir kristal tersebut terjadilah suatu tempat pertemuan kristal yang disebut batas butir. Kristal adalah susunan (*se*) satuan yang orientasinya sama, batas butir merupakan tempat kedudukan dislokasi atau susunan atom paling tidak teratur, sehingga batas butir adalah merupakan tempat yang paling mudah terserang korosi, terutama korosi intergranular.

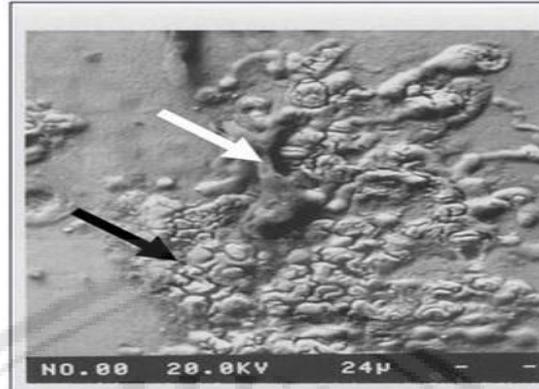
A. Efek Galvanik Kope



Gambar A. Korosi galvanik sistem besi zinc.

Sebuah batang dari zinc dicelupkan dalam larutan hidroklorida dan dihubungkan dengan logam yang lebih nobel yaitu platinum. Selama platinum dalam medium, hal itu cenderung untuk meningkatkan terjadinya pembentukan hydrogen pada permukaan kedua logam tersebut. Selanjutnya pembentukan hydrogen akan lebih cepat pada permukaan platinum dari pada permukaan zinc, ada dua faktor ini meningkatkan laju korosi pada zinc. Pengaruh galvanik pada contoh ini laju konsumsi electron meningkat dan oleh karena itu pengeroposan logam meningkat. Hal ini penting untuk diketahui bahwa galvanik tidak selalu meningkatkan laju korosi (Fontana, 1986:100).

B. Mikroba



Gambar B. *Korosi pada permukaan logam yang disebabkan mikroba.*

Adanya koloni mikroba pada permukaan logam dapat menyebabkan peningkatan korosi pada logam. Hal ini disebabkan karena mikroba tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energi bagi keberlangsungan hidupnya. Mikroba yang mampu menyebabkan korosi, antara lain: protozoa, bakteri besi mangan oksida, bakteri reduksi sulfat, dan bakteri oksidasi sulfur-sulfida (Fontana, 1986).

2.8 Penerapan pengujian Bahan

2.8.1 Pengujian Kekerasan

Makna nilai kekerasan suatu material berbeda untuk kelompok bidang ilmu yang berbeda. Bagi insinyur metalurgi nilai kekerasan adalah ketahanan material terhadap penetrasi sementara untuk para insinyur disain nilai tersebut adalah ukuran dari tegangan alir, untuk insinyur lubrikasi kekerasan berarti ketahanan terhadap mekanisme keausan, untuk para insinyur mineralogi nilai itu adalah ketahanan terhadap goresan, dan untuk para mekanik work-shop lebih bermakna kepada ketahanan material terhadap pemotongan dari potong. Begitu

banyak konsep kekerasan material yang dipahami oleh kelompok ilmu, walaupun demikian konsep- konsep tersebut dapat dihubungkan pada satu mekanisme yaitu tegangan alir plastis dari material yang diuji.

Dari uraian singkat di atas maka kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (scratching), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal dengan 3 metode uji kekerasan:

➤ Metode Gores.

Metode gores metode ini tidak lagi digunakan dalam dunia metalurgi dan material lanjut, tetapi masih sering dipakai dalam dunia mineralogi. Metode ini dikenalkan oleh Friedrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala (yang kemudian dikenal sebagai skala Mohs). Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagai dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai nilai kekerasan tertinggi, sebagai dimiliki oleh intan. Dalam skala Mohs urutan nilai kekerasan material di dunia ini diwakili oleh:

- | | |
|-------------|---------------------|
| 1. Talc | 6. Orthoclase |
| 2. Gypsum | 7. Quartz |
| 3. Calcite | 8. Topaz |
| 4. Fluorite | 9. Corundum |
| 5. Apatite | 10. Diamond (intan) |

Prinsip pengujian : bila suatu mineral mampu digores oleh Orthoclase (no. 6) tetapi tidak mampu digores oleh Apatite (no. 5), maka kekerasan mineral tersebut

berada antara 5 dan 6. Berdasarkan hal ini, jelas terlihat bahwa metode ini memiliki kekurangan utama berupa ketidakakuratan nilai kekerasan suatu material. Bila kekerasan mineral-mineral diuji dengan metode lain, ditemukan bahwa nilai-nilainya berkisar antara 1-9 saja, sedangkan nilai 9-10 memiliki rentang yang besar.

➤ Metode elastik/ pantul (rebound)

Dengan metode ini, kekerasan suatu material ditentukan oleh alat Scleroscope yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (hammer) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

➤ Metode Indentasi

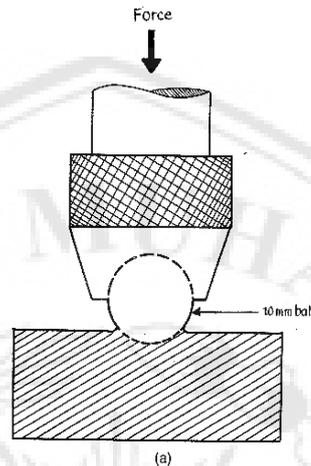
Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material kekerasan dilakukan dengan memakai ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya metode kekerasan dengan cara indentasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Metode Brinell

Kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.9. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjeakan diberikan oleh Gambar

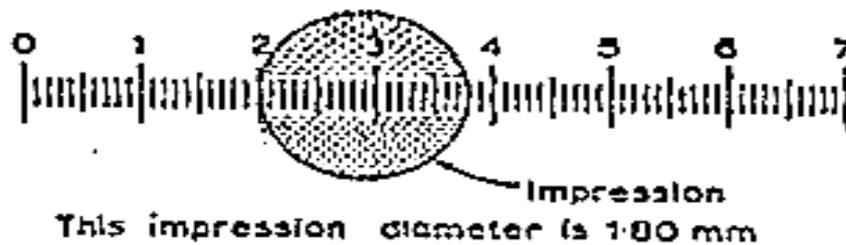
$$BHN = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

dimana (P) adalah beban (kg), (D) diameter indentor (mm) dan (d) diameter jejak(mm).



Gambar 2.8.1 Skematis prinsip indentasi dengan metode brinell

Prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam- logam ferrous, atau 500 kg untuk logam- logam non ferrous. Untuk logam- logam ferrous, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam- logam non ferrous sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikandengan 'HB' tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indentor bola baja 10 mm, 3000 kg selama waktu 1- 15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka- angka yang menyatakan kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indentor 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik.



Gambar 2.9. Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm.

2. Metode Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter/ diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (direct-reading). Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indetor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indetor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rocwell C (dengan indetor intan dengan beban 150 kg). Walaupn demikian metode Rockwell lainnya juga bisa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B: indetor 1/6 inci dan beban 100 kg. Skala yang umum dipakai dalam pengujian rockwell adalah.:

- a. Hra (Untuk material yang sangat keras)
- b. HRb (untuk material yang lunak). Indetor berupa bola baja dengan diameter 1/16 inchi dan beban uji 100 Kgf.
- C. HRc (untuk material dengan kekerasan sedang). Indetor berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 Kgf.

SIMBOL	INDENTER	BEBAN MAJOR (kg)
A	Intan	60
B	Bola 1/16 inch	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inch	100
F	Bola 1/16	60
G	Bola 1/16	150
H	Bola 1/18	60
K	Bola 1/18	150

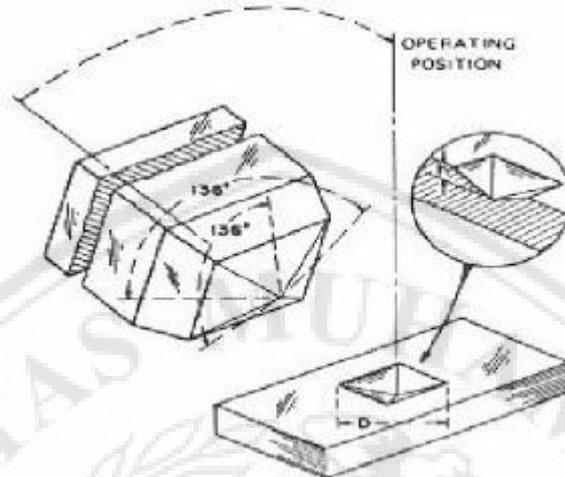
Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*specimen*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. (Sumber: *Laboratorium Material. Teknik Mesin. FT. Mesin. UMM, 2011*).

3. Metode Vickers

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° , seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.9. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinnell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2}$$

dimana (d) adalah panjang diagonal rata- rata dari jejak berbentuk bujur sangkar.



Gambar 2.9. Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers.

2.8.2 Pengujian Struktur Mikro (Microscope)

(Teori Singkat). Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungan dengan sifat- sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, elektron dan neutron), analisis (X-ray fluorescence, elektron mikroprobe) dan juga stereomeric metalografi. Pada penelitian metalografi ini digunakan metode mikroskop, sehingga pemahaman akan cara kerja mikroskop, baik optik maupun elektron perlu diketahui. Pengamatan metalografi dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10- 100 kali,
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali. Sebelum dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop maka diperlukan proses- proses persiapan sampel.

Mikrostruktur Besi Tuang

Besi tuang pada dasarnya merupakan perpaduan antara besi dan carbon, dimana pada diagram $Fe-Fe_3C$ terlihat bahwa besi tuang mengandung kadar karbon lebih besar dibandingkan dengan yang dibutuhkan untuk menjenuhkan austenit pada temperatur eutectic, yaitu pada rentang $2,14 - 6,67\%$. Secara komersil besi tuang yang dipakai adalah besi tuang dengan kadar karbon $2,5-4\%$, karna kadar karbon yang terlalu tinggi membuat besi tuang sangat rapuh. Secara metalografi besi tuang dibagi dalam 4 tipe yang didasarkan pada variabel kadar karbon, kadar impuritis dan paduan serta proses perlakuan panasnya. Tipe- tipe tersebut yaitu:

- Besi tuang putih, merupakan besi tuang dimanah semua kadar karbonnya terpadu dalam bentuk cementit.
- Besi tuang mellaebe, dimanah hampir semua karbonya dalam bentuk partikel tak beraturan yang dikenal dengan karbon temper. Besi tuang malleable diperoleh dengang memberikan perlakuan panas pada besi tuang putih.
- Besi tuang kelabu, dimana semua atau hampir semua karbonya dalam bentuk flake- flake grafit.
- Besi tuang nodular, dimana semua atau hampir semua karbonya dalam bentuk spheroidal. Bentuk spheroidal ini terjadi akibat adanyapenambahan elemen paduan khusus yang dikenal sebagai nodulizer (*sumber: Laboratorium Material, Teknik Mesin. FT. Mesin. UMM, 2011*).