

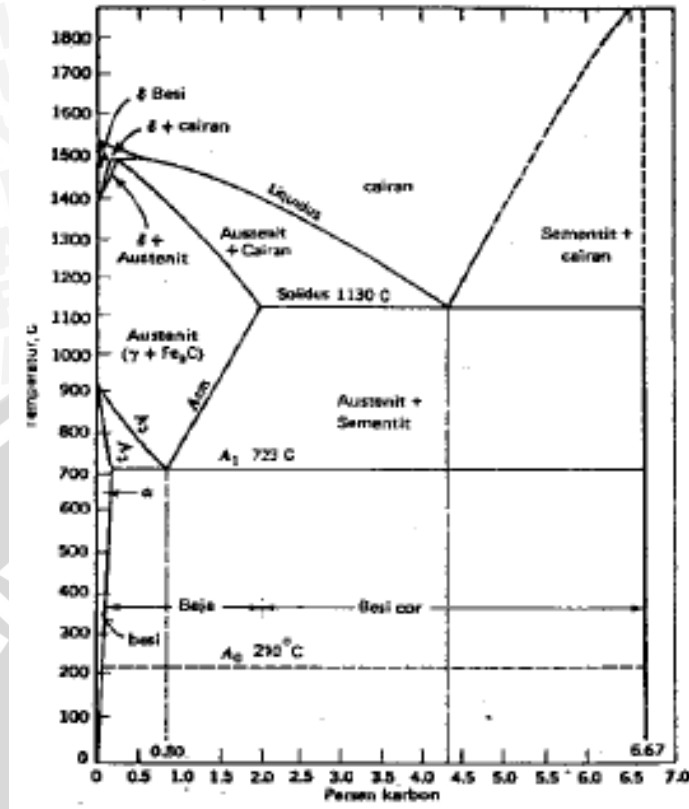
BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pengujian keausan terhadap komponen yang nantinya hasilnya dapat dipertimbangkan untuk dipergunakan dalam memperpanjang umur sebuah komponen dalam mesin. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa spesimen memiliki ketahanan terhadap keausan sebanding dengan peningkatan kekerasan pada permukaannya. Spesimen dengan suhu pemanasan *carburizing* 850°C memiliki ketahanan terhadap keausan yang rendah hal ini disebabkan spesimen ini memiliki kekerasan permukaan yang rendah. Pada spesimen dengan suhu pemanasan *carburizing* 900°C memiliki ketahanan terhadap keausan yang meningkat sesuai dengan peningkatan kekerasan pada permukaannya. spesimen dengan suhu pemanasan *carburizing* 950°C memiliki ketahanan terhadap keausan yang relatif tinggi dibandingkan dengan pada suhu pemanasan *carburizing* 850°C, dan 900°C. Pada spesimen yang telah di *quenching* pada suhu 900°C dengan *holding time* 30 menit mempunyai nilai ketahaan terhadap keausan semakin tinggi pada pemanasan yang semakin tinggi pula. (soffiyudin :2007).

2.2 Baja

Di dunia industri baja mempunyai peranan yang sangat penting. Baja sebagai bahan baku pelat, pipa, lembaran, profil dan sebagainya. Pembentukan baja dapat melalui proses pengecoran, penempaan, pencanaian. Karbon merupakan salah satu unsur penting dalam baja, Karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Tinggi rendahnya kadar karbon mempengaruhi tinggi rendahnya suhu kritis (batas zona struktur logam).



Gambar 2.1 Diagram Besi-karbida-Besi

Sumber : Amstead, Teknologi Mekanik Jilid I Edisi ketujuh versi S1,1989 : 10

Bila kadar karbon baja melampaui 0,20%, suhu dimana sifat *ferrite* mulai terbentuk dan mengendap dari *austenite* turun. Baja yang berkarbon 0,80% disebut baja *eutectoid* dan struktur terdiri dari 100% *pearlite*. Titik *eutectoid* adalah suhu terendah dalam logam dimana terjadi perubahan dalam keadaan larut padat dan merupakan suhu keseimbangan terendah dimana *austenite* terurai menjadi *ferrite* dan *cementite*. Bila kadar karbon baja lebih besar dari pada *eutectoid*, perlu diamati garis pada diagram besi-karbida besi. Garis ini menyatakan suhu dimana karbida besi mulai memisah dari *austenite*. Karbida besi ini dengan rumus Fe_3C disebut *cementite*. *Cementite* sangat keras dan rapuh. Baja yang mengandung kadar karbon kurang dari *eutectoid* (0,80%) disebut baja *hypoeutectoid* dan baja yang mengandung kadar karbon lebih dari *eutectoid* disebut baja *hypereutectoid* (Amstead, 1989 : 141).

Pada proses perlakuan panas diperlukan pengetahuan tentang transformasi fasa, sehingga memungkinkan memperoleh sifat-sifat mekanik bahan dengan mengubah struktur mikro baja. Struktur yang terdapat pada baja adalah :

a. *Ferrite*

Ferrite mempunyai sel satuan *Body Centered Cubic* (BCC) yang hanya dapat menampung unsur karbon maksimum 0,025% pada temperatur 723°C. *Ferrite* menjadi getas pada temperatur rendah, dan merupakan struktur yang paling lunak pada baja.

b. *Pearlite*

Pearlite adalah campuran *ferrite* dan *cementite* berlapis dalam suatu struktur butir. Laju pendinginan lambat menghasilkan *pearlite* kasar dan laju pendinginan cepat menghasilkan *pearlite* halus, bersifat keras dan lebih tangguh.

c. *Austenite*

Austenite mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *Face Centered Cubic* (FCC) yang mengandung unsur karbon maksimum hingga 1,7%. Fasa ini hanya mungkin ada pada temperatur tinggi.

d. *Martensite*

Martensite merupakan fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *Body Centered Tetragonal* (BCT). Makin tinggi kejenuhan karbon maka semakin keras dan getas. Jika baja didinginkan secara cepat dari fasa *austenite*, maka sel satuan FCC akan bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Pendinginan yang cepat ini menyebabkan unsur karbon yang larut dalam BCC tidak sempat keluar (terperangkap) dan tetap berada dalam sel satuan tersebut. Hal ini menyebabkan distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT.

e. *Cementite*

Cementite merupakan senyawa bersifat sangat keras yang mengandung 6,67% karbon. *Cementite* sangat keras, tetapi bila bercampur dengan *ferrite* yang lunak maka kekerasan keduanya menurun.

f. *Ledeburite*

Ledeburite merupakan campuran eutektik antara *austenite* dan *cementite*, mengandung 4,3% karbon dan terbentuk pada suhu 1130°C.

2.2.1 Struktur Baja

Baja mempunyai berbagai sifat mekanis, misalnya kekerasan, kekuatan, dan regangan. Sifat-sifat tersebut terjadi dikarenakan karbon yang dikandung baja tidak terpadu. Hal ini tidak hanya disebabkan konsentrasi karbon, tetapi juga cara karbon berikatan dengan besi yang dapat mempengaruhi sifat baja. Baja yang didinginkan sangat lambat menuju suhu ruangan (keadaan baja pada waktu pengiriman dari pabrik) dibedakan dalam tiga bentuk utama kristal (Schonmetz.1985:40).

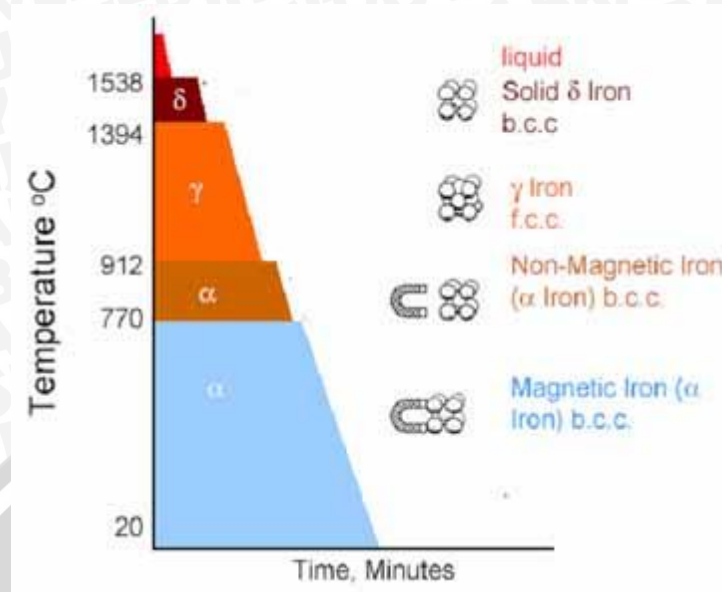
Menurut kadar kandungan karbonnya baja dibedakan menjadi tiga kelompok utama baja bukan paduan :

1. Baja dengan kandungan kurang dari 0,8%C (baja *hypoeutectoid*), himpunan ferrit dan perlit
2. Baja dengan kandungan 0,8%C (baja *eutectoid* atau perlitis), terdiri atas perlit murni.
3. Baja dengan kandungan lebih dari 0,8%C (baja *hypereutectoid*), himpunan perlit dan sementit

2.3 Besi

Besi adalah logam dasar pembentuk baja yang merupakan salah satu material teknik yang sangat populer. Sifat alotropi dari besi yang menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro pada berbagai jenis baja. Disamping itu, besi merupakan pelarut yang sangat baik bagi beberapa jenis logam lain. Pengertian alotropik adalah adanya transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain (Rochim, 1994). Besi sangat stabil pada temperatur di bawah 910°C dan disebut sebagai besi *alfa* ($Fe \alpha$). Pada temperatur antara 910°C dan 1392°C, besi dikenal dengan besi *gamma* ($Fe \gamma$) dan pada temperatur di atas 1392°C disebut sebagai besi *delta* ($Fe \delta$).

Adanya fenomena alotropi dari besi merupakan suatu hal yang sangat penting dan mencakup dua bentuk susunan atom. Pada temperatur di bawah 910°C susunan atomnya berbentuk *Body Centered Cubic* (BCC). Mulai suhu 910°C akan terjadi perubahan susunan atom. Di atas suhu tersebut susunan atomnya berubah menjadi bentuk *Face Centered Cubic* (FCC). Jika proses pemanasan dilanjutkan, bentuk susunan atomnya pada temperatur 1392°C berubah kembali menjadi bentuk BCC lagi dan dikenal dengan sebutan besi *delta*.



Gambar 2.2. Diagram Transformati

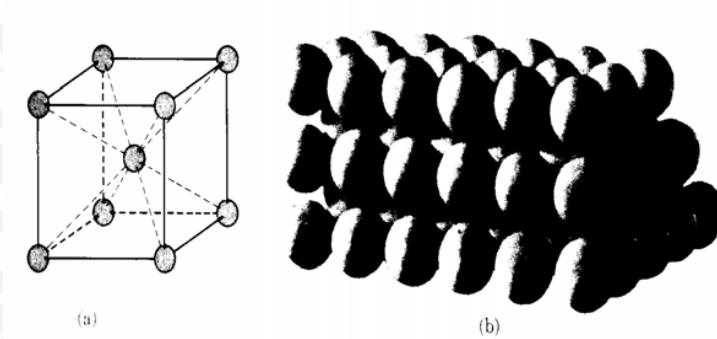
Sumber : <http://hand1anto.wordpress.com/2012/03/08/diagram-fasa/>

Pemanasan lebih lanjut akan mengakibatkan getaran atom semakin besar sehingga pada temperatur 1536° C gaya kohesif yang memelihara susunan atom tersebut tidak ada lagi dan membuat besi menjadi cair. Pada saat membekukan besi cair ke temperatur kamar, maka akan terjadi transformasi yang urutannya kebalikan dari proses pemanasan. Penambahan unsur paduan pada besi, khususnya karbon, memungkinkan membuat berbagai jenis baja yang jika dikombinasikan dengan berbagai metode perlakuan panas akan menghasilkan sifat-sifat yang memadai untuk penggunaan yang tertentu. Jika besi yang mengalami pemanasan dan pendinginan maka akan mengakibatkan perubahan bentuk kisi ruang, adapun macam bentuk kisi ruang yang dipengaruhi oleh faktor tersebut :

a. *Body Centered Cubic (BCC)*

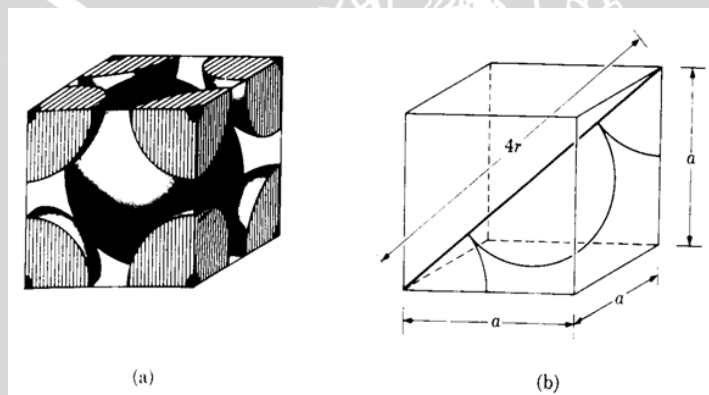
Struktur kubik pemusatan ruang logam. Besi mempunyai struktur kubik. Pada suhu ruang sel satuan besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada pusat kubus. Besi merupakan logam yang paling umum dengan struktur kubik pemusatan ruang, tetapi bukan satu-satunya. Tiap atom besi dalam struktur kubik pemusatan ruang ini dikelilingi oleh delapan atom tetangga hal ini berlaku untuk setiap atom, baik yang terletak pada titik sudut maupun dipusat sel satuan. Oleh karena itu setiap atom mempunyai lingkungan geometrik yang sama. Sel satuan

logam kubik pemusatan ruang mempunyai dua atom. Satu atom dipusat atom dan seperdelapan atom pada delapan titik sudutnya.



Gambar 2.3. Struktur kubik pemusatan ruang logam. Bagian (a) merupakan gambaran skematik dan terlihat atom pada titik pusat. Bagian (b) model bola keras

Sumber : Van Vlack, Ilmu dan teknologi bahan 1992 : 78



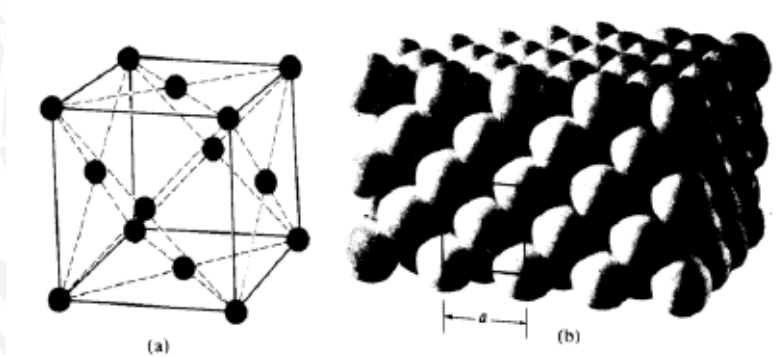
Gambar 2.4 Sel satuan kubik pemusatan ruang (logam). Struktur logam kubik pemusatan ruang mempunyai dua atom per sel satuan dan faktor tumpukan atom sebesar 0,68

Sumber : Van Vlack, Ilmu dan teknologi bahan 1992: 79

b. Face Centered Cubic (FCC)

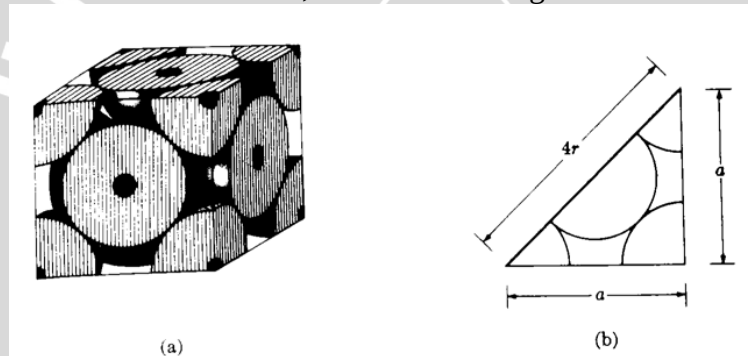
Struktur kubik pemusatan sisi logam. Pengaturan atom dalam tembaga tidak sama dengan pengaturan atom dalam besi, meski keduanya kubik. Disamping atom pada setiap titik sudut sel satuan tembaga, terdapat sebuah atom ditengah setiap bidang permukaan, namun tak satupun dititik pusat kubus. Struktur kubik pemusatan sisi ini lebih sering dijumpai pada logam antara lain aluminium, tembaga, timah hitam, perak dan nikel mempunyai pengaturan atom seperti ini (demikian pula halnya dengan besi pada suhu tinggi). Logam dengan struktur kubik pemusatan

sisi mempunyai empat kali lebih banyak atom. Kedelapan atom pada titik sudut menghasilkan satu atom, dan keenam bidang sisi menghasilkan tiga atom per sel satuan.



Gambar 2.5. Struktur kubik pemusatan sisi pada logam. Bagian (a) pandangan skematis yang memperlihatkan letak pusat atom, dan bagian (b) model bola keras

Sumber : Van Vlack, Ilmu dan teknologi bahan 1992 : 80

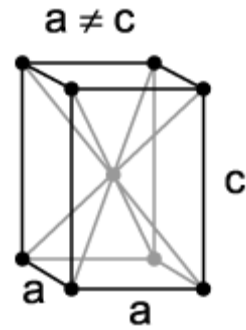


Gambar 2.6. Sel satuan kubik pemusatan sisi (logam). Struktur logam kubik pemusatan sisi mempunyai empat atom per sel satuan dan faktor tumpukan 0,74

Sumber : Van Vlack, Ilmu dan teknologi bahan 1992 : 80

c. Body Centered Tetragonal (BCT)

Body centered tetragonal hampir sama dengan bentuk BCC. BCT juga dikelilingi 8 atom disetiap sudutnya dan satu atom di pusat, yang membedakan BCC dan BCT adalah bentuk BCC yang cenderung kubus sedangkan BCT berbentuk balok. Pada struktur BCT jarak antar atom lebih renggang disbanding dengan BCC hal ini menyebabkan struktur BCT lebih mudah terdifusi.



Gambar 2.7 Struktur susunan atom *body centered tetragonal*
 Sumber : <http://threeplanes.net/martensite.html>

2.4 Crusher mill

a. Grinding ball

Yaitu alat penghancur/penggiling material yang terbuat dari besi..Berputarnya *roller* ini karena adanya material yang diputar oleh *grinding table* yang bersinggungan dengan *grinding ball*.



Gambar 2.8 *Grinding ball*
 Sumber : Dokumentasi pribadi ,2013

b. Grinding Table

Yaitu alat penghancur/penggiling material, dimana *Grinding table* ini berputar yang digerakkan oleh motor melalui *gear box*. *Grinding table* ini berbentuk bundar yang terbuat dari besi tuang. Bagian yang bersentuhan dengan *roller* yaitu sebagai penggilingnya dilapisi dengan besi nihard dengan tebal kira-kira 20 cm.

c. Gear Box

Yaitu alat yang mentransmisikan putaran dari motor ke *Grinding table*.

2.5 Surface Treatment (Perlakuan Permukaan)

Perlakuan pada permukaan (*surface treatment*) dipergunakan untuk mendapatkan keadaan yang lebih baik pada bagian permukaan. Dalam hubungan dalam suatu komponen produksi, seperti *grinding ball* dalam keadaan yang terbaik dengan adanya kekerasan permukaan yang di variasikan, karena hal ini berhubungan dengan keausan dan kekuatan terhadap proses produksi. Perlakuan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dapat dilakukan dengan jalan pengarbonan, karbonitriding, cyaniding, nitriding.

1. Karbonisasi atau *Carburizing*

Karbonisasi atau *carburizing* adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja karbon rendah, pemanasan karbonisasi dilaksanakan pada suhu 900°C – 950°C (Beumer, 1980 : 50). Unsur karbon dapat diperoleh dari arang kayu, arang tempurung kelapa atau suatu material yang mengandung unsur karbon. Pengarbonan bertujuan memberikan kandungan karbon yang lebih banyak pada bagian permukaan dibanding dengan dinding bagian dalam, sehingga kekerasan pada permukaan lebih meningkat. Tebal lapisan yang dikarbonasikan dalam lingkungan yang menyerahkan karbon tergantung dari waktu, dan suhu karbonisasi. Karbonisasi dapat dilakukan dengan tiga (3) cara, yaitu Karbonisasi padat, Karbonisasi cair dan Karbonisasi gas.

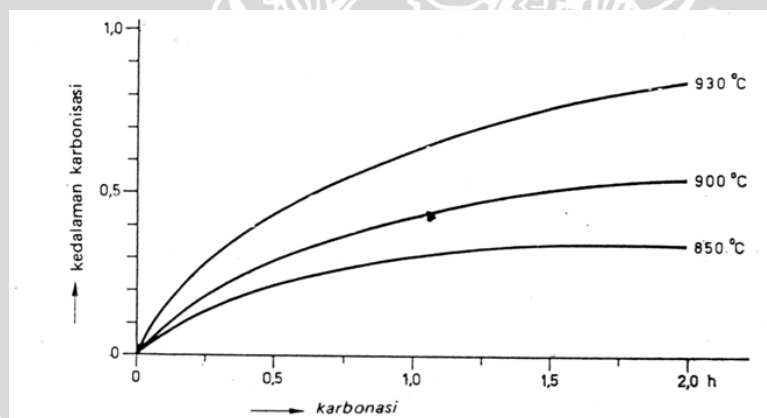
a. Karbonisasi dengan perantara zat padat (*Pack Carburizing*)

Menurut Daryanto dan Amanto (1999 : 86) jika karbonisasi menggunakan zat padat maka prosesnya disebut karbonisasi tertutup. Pada proses ini caranya adalah benda kerja dimasukkan ke dalam suatu kotak atau peti tertutup yang terbuat dari plat baja dan di kelilingi dengan bahan karbonisasi. Bahan yang biasanya digunakan adalah arang kayu, arang batok kelapa, arang tulang, arang kulit. Keuntungan dari karbonisasi adalah jangka waktu pemanasan awal lebih pendek, sedangkan kelemahannya adalah karbonisasi dalam kotak tidak menguntungkan untuk jumlah besar dan benda kerja yang sulit, karena waktu pemijarannya lama dan penyelenggaraannya berbelit-belit. Mekanisme karbonisasi dengan difusi *intertisi*, dimana atom karbon menempati

ruang antara atom – atom besi dan dengan menaikkan temperatur maka meningkatkan energi aktivasi yang memungkinkan berpindahnya atom karbon ke posisi *intertisi* berikutnya. Tempat yang ditinggalkan diisi oleh atom karbon yang lainnya.

b. Liquid Carburizing

Karbonisasi dengan perantara zat cair (*Liquid Carburizing*) Karbonisasi ini dilakukan dengan rendaman air garam yang terdiri dari karbonat natrium (sodium) dan sianida natrium yang dicampur dengan salah satu bahan klorid natrium atau klorid barium. Proses karbonisasi dengan perantara zat cair sesuai untuk menghasilkan suatu lapisan yang tebalnya sekitar 0,3 mm (Daryanto dan Amanto, 1999 :87). Karbonisasi dengan perantara zat cair dilaksanakan pada suhu antara 8500 C-9500 C (Vijendra, 1998 : 345) Keuntungan menggunakan karbonisasi dengan perantara zat cair adalah pengarangan yang pesat, merata ke semua arah dan mendalam tanpa ada bagian yang lunak, serta permukaan tetap rata oleh karena itu hanya dibutuhkan sedikit pengasahan (Schonmetz, 1985 : 68).



Gambar 2.9 Grafik untuk menentukan waktu karbonisasi dalam bahan karbonasi cair

Sumber : Beumer, Ilmu bahan logam, 1980 : 43

Dari gambar kedalaman karbonisasi yang terdalam untuk penahanan selama 2 jam ditunjukkan pada suhu 930°C yaitu dengan menghasilkan kedalaman sebesar lebih kurang 0,85 mm.

c. Karbonitriding

Karbonitriding, sianida kering adalah suatu proses pengerasan permukaan di mana baja dipanaskan dia atas suhu kritis di dalam lingkungan gas dan terjadi penyerapan karbon dan

nitrogen. Dapat di gunakan gas amonia atau gas yang kaya akan karbon. Lapisan yang tahan aus mempunyai ketebalan antara 0,08 sampai 0,75 mm. keuntungan *karbonitriding* ialah bahwa kemampuan pengerasan lapisan luar meningkat bila ditambahkan nitrogen sehingga dapat dimanfaatkan baja yang relatif murah.

d. Cyaniding

Cyaniding atau *karbonitriding* cair merupakan proses di mana terjadi absorpsi karbon dan nitrogen untuk memperoleh permukaan yang keras pada baja karbon rendah yang sulit dikeraskan. Benda yang dikeraskan dimasukkan ke dalam dapur yang mengandung garam cyanida natrium, suhunya sedikit di atas daerah AC1. Lama pemanasan tergantung pada permukaan yang dikeraskan. Benda kemudian dicelupkan dalam air atau minyak untuk mendapatkan permukaan yang keras. Tebal lapisan berkisar antara 0,10 sampai 0,40 mm. *cyaniding* terutama diterapkan untuk perlakuan panas bagian-bagian yang kecil.

e. Nitriding

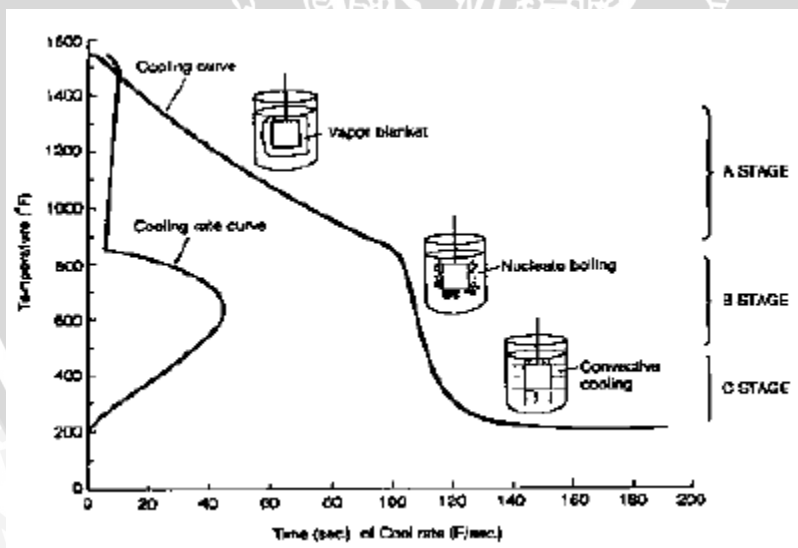
Proses *nitriding* adalah proses pengerasan permukaan, disini digunakan bahan dan suhu pemanasan yang berlainan. Logam dipanaskan sampai 510°C didalam lingkungan gas ammonia selama beberapa waktu. Nitrogen yang diserap oleh logam akan membentuk nitrida yang keras yang tersebar merata pada permukaan logam. Telah dibuat logam paduan khusus untuk proses ini. Aluminium sebanyak 1 sampai 1,5%, berkombinasi dengan gas membentuk partikel yang stabil dan keras. Suhu pemanasan berkisar antara 495°C - 565°C . Pada *nitriding* cair (*liquid nitriding*) digunakan garam cyanida cair sedang suhunya dipertahankan dibawah daerah transformasi. Penyerapan

nitrogen lebih mudah sedang karbon yang menyerap lebih sedikit di bandingkan dengan proses *cyaniding* atau karburisasi. Dapat dicapai ketebalan 0,03-0,30 mm. Pada proses *nitriding* terbentuk lapisan permukaan yang sangat tinggi dengan kekerasan antara 900-1100 brinell. Baja *nitriding* karena pengaruh unsur paduan tertentu lebih kuat daripada baja biasa dan lebih mudah perlakuan panasnya. Sebaiknya jenis ini dibentuk dan mengalami perlakuan panas sebelum *nitriding*, karena selama *nitriding* tidak terbentuk kerak. Perlakuan *nitriding* tidak mempengaruhi struktur dan sifat-sifat bagian dalam karena tidak diperlakukan pencelupan, kemungkinan

terjadinya distorsi, retak atau perubahan lainya kecil sekali. Permukaan luar tahan korosi, khususnya dalam air, kabut air garam, alkali minyak kasar atau gas alam.

f. Quenching

Quenching adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Perkerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Banyak material dan cara yang dapat digunakan dalam proses *quenching* pada baja. Media *quenching* meliputi: air, air asin, oli, air – *polymer*, dan beberapa kasus digunakan *inert gas*. Air sebagai media *quenching* mempunyai beberapa keuntungan. Air banyak tersedia mudah didapat, murah, dan tidak berbahaya.



Gambar 2.10. Mekanisme Pendinginan

Sumber :Totten,GE Handbook of quenchant and quenching 1993: 70

Pada Gambar 2.10 memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Awal pencelupan tahap A, logam akan diselimuti selubung uap yang akan pecah saat logam mendingin.

Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan lamanya proses pendinginan tahap A sangat dipengaruhi oleh *agitasi*, umumnya waktu pendinginan tahap ini berkurang dengan peningkatan *agitasi*.

Tahap B Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan menguap. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Tahap C, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi. Dimana permukaan logam telah bertemperatur dibawah titik didih air. Tahap ini hanya mengalami perpindahan panas melalui paksa yang terjadi karena gaya luar. Secara umum perpindahan panasnya lebih cepat daripada konveksi alamiah laju pendinginan.

2.6 Definisi Perpindahan Massa (Difusi)

Perpindahan massa atau difusi adalah gerakan molekul-molekul atau fluida yang disebabkan adanya perbedaan gradien konsentrasi, molekul tersebut berpindah dari daerah berkonsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah (Treybul, 1980)

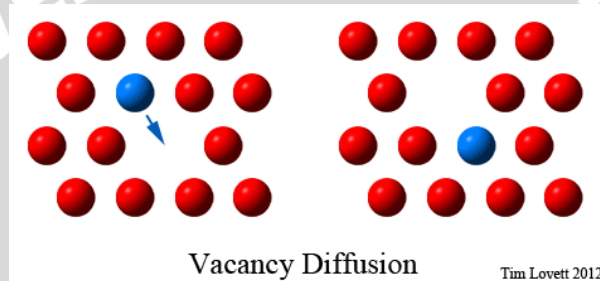
2.7 Mekanisme Difusi

Ditinjau berdasarkan perspektif atom, difusi merupakan perpindahan atom dari satu sisi ke sisi yang lain. Kenyataannya, atom dalam material padat bergerak secara konstan, berganti posisi secara cepat. Gerakan tersebut terjadi apabila terpenuhi dua kondisi berikut.

- 1) Adanya kisi kosong yang berdekatan
- 2) Atom tersebut harus mempunyai energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dengan atom tetangganya yang kemudian menyebabkan terjadinya distorsi antara beberapa kisi sekama proses perpindahan tersebut. Energi ini akan bergetar secara alami. Pada temperatur tertentu, sebagian atom-atom tersebut dapat melakukan gerak difusi karena adanya energi getar (Aktivasi) ini. Jumlah atom yang bergerak akan bertambah seiring dengan bertambahnya suhu. Adapun gerakan yang paling sering terjadi pada difusi logam adalah difusi *vacancy* dan difusi interstisi.

2.7.1 Difusi Vacancy

Mekanisme perpindahan atom dari kisi normal menuju kisi kosong di dekatnya atau *vacancy*, disebut difusi *vacancy*. Seperti terlihat pada gambar 2.11, mekanisme difusi ini memerlukan suatu kisi kosong yang dapat terjadi karena adanya cacat atom pada material. Banyaknya difusi *vacancy* yang terjadi sebanding dengan peningkatan temperatur pemanasan. Atom-atom yang berpindah ke kisi kosong, akan ditempati oleh atom yang lain di dekatnya. Mekanisme inilah yang terjadi pada peristiwa *self-diffusion* dan interdifusi. Sedangkan pada peristiwa *impurity* atom, kisi kosong akan disubstitusi oleh atom lain yang berukuran sama.

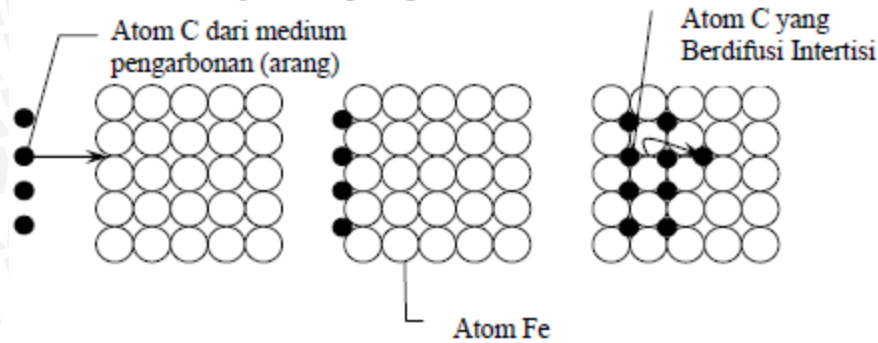


Gambar 2.11 Difusi *vacancy*
Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

2.7.2 Difusi interstisi

Merupakan perpindahan atom dari satu posisi antar atom (*Interstisi*) *host* menuju posisi interstisi di dekatnya yang masih kosong sebagaimana terlihat pada gambar 2.12. Mekanisme ini terjadi pada interdifusi atom pengotor seperti, hidrogen, karbon, nitrogen dan oksigen yang mempunyai ukuran atom kecil sehingga memungkinkan untuk mengisi ke kisi interstisi.

Pada sebagian besar logam paduan, difusi interstisi ini terjadi lebih cepat daripada difusi *vacancy*, karena ukuran atom interstisi yang lebih kecil sehingga perpindahannya lebih cepat. Selain itu, kekosongan pada posisi interstisi jauh lebih banyak daripada *vacancy* sehingga kemungkinan perpindahan atom interstisi lebih besar daripada *vacancy*.



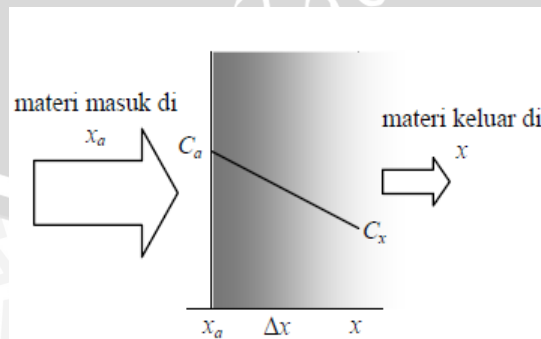
Gambar 2.12 Difusi Intertisi

Sumber : <http://kharismaworld2022.blogspot.com/>

Setiap proses pengarbonan mencakup tiga proses dasar (lakhtin, 1965), yang meliputi : proses yang terjadi pada medium eksternal berupa pembebasan elemen difusi menjadi atom (*ion*), kontak elemen difusi dengan permukaan matrik membentuk ikatan kimia, dan penetrasi elemen difusi menuju inti setelah menjadi keadaan jenuh dipermukaan . Selama pemanasan di dalam kotak *carburizing* terjadi dua macam gas yaitu:

- Gas karbondioksida (CO_2)
- Gas karbomonooksida (CO)

Kondisi Mantap kita bayangkan suatu peristiwa difusi dalam keadaan mantap yang terjadi pada satu lapis material. Materi yang terdifusi menyebar dari konsentrasi yang tinggi ke arah konsentrasi yang lebih rendah, seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.13 Konsentrasi materi yang terdifusi bervariasi secara linier sebesar C_a di x_a menjadi C_x di x . Secara termodinamis, faktor pendorong untuk terjadinya difusi, yaitu penyebaran materi, adalah adanya perbedaan konsentrasi. Situasi ini dengan peristiwa aliran muatan listrik di mana faktor pendorong untuk terjadinya aliran muatan adalah perbedaan potensial.



Gambar 2.13 Difusi dalam keadaan mantap

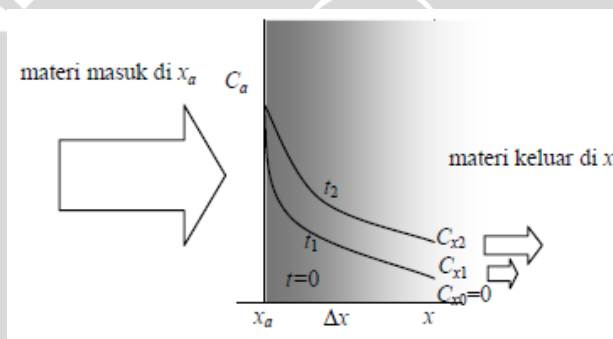
Sumber : S.Sudaryatno, Mengenal sifat-sifat material, 2011:3

Analog dengan peristiwa listrik, fluksi materi yang berdifusi dapat kami tuliskan sebagai

$$J_x = -D \frac{dc}{dx} \quad (2.1)$$

D adalah koefisien difusi, $\frac{dc}{dx}$ adalah variasi konsentrasi dalam keadaan mantap dimana C_a dan C_x bernilai konstan, Relasi (2.1) ini disebut Hukum *Fick* Pertama yang secara formal menyatakan bahwa fluksi dari materi yang berdifusi sebanding dengan gradien konsentrasi.

Kondisi Transien. peristiwa yang lebih umum terjadi adalah peristiwa transien, dimana konsentrasi berubah terhadap waktu ; C_x merupakan fungsi waktu yang juga berarti bahwa fluksi materi juga merupakan fungsi waktu. Keadaan transien ini digambarkan pada gambar 2.10 pada $t = 0$ konsentrasi di x adalah $C_{x0} = 0$; pada $t = t_1$ difusi telah terjadi dan konsentrasi di x meningkat menjadi C_{x1} ; pada $t = t_2$ konsentrasi di x meningkat lagi menjadi C_{x2} dan seterusnya.



Gambar 2.14 Difusi dalam keadaan transien
Sumber : S.Sudaryatno, Mengenal sifat-sifat material, 2011:3

Perubahan konsentrasi adalah selisih antara fluksi yang masuk di x_a dan fluksi yang keluar di x , $J_{x_a} - J_x$. Selisih yang terjadi pada setiap saat ini merupakan laju perubahan konsentrasi, $\frac{dC_x}{dt}$. Sementara itu fluksi yang keluar di x adalah $J_x = J_{x_a} + \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x$. Oleh karena itu maka

$$\frac{dC_x}{dt} = - \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x = \frac{d}{dx} \left[D \frac{dC_x}{dx} \right] \quad (2.2)$$

Relasi (2.2) ini disebut Hukum *Fick* kedua jika D tidak tergantung pada konsentrasi maka (2.2) dapat ditulis

$$\frac{dC_x}{dt} = D \frac{d^2 C_x}{dx^2} \quad (2.3)$$

Hukum *fick* kedua menyatakan bahwa laju perubahan komposisi sebanding dengan turunan kedua konsentrasi.

2.7.3 Difusi Pada Kondisi *Steady-state*

Difusi merupakan suatu proses yang tergantung waktu. Besarnya massa yang dipindah ke tempat lain dipengaruhi oleh fungsi waktu. Hal ini mempengaruhi seberapa cepat suatu difusi terjadi, atau bisa disebut perpindahan massa (Fluks difusi). Besarnya fluks difusi (J) didefinisikan sebagai banyaknya massa (atau sebanding dengan banyaknya atom) yang berdifusi dan tegak lurus terhadap suatu luasan benda padat per satuan waktu. Rumus matematisnya :

$$J = \frac{m}{A \cdot t} \quad (2.4)$$

Atau dalam bentuk diferensialnya :

$$J = \frac{1}{A} \frac{dm}{dt} \quad (2.5)$$

Keterangan :

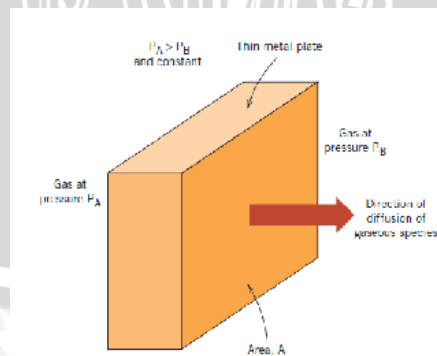
J = Fluks (laju) difusi ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

M = Massa (Kg)

A = Luasan yang dilalui (m^2)

t = Waktu difusi (s)

Apabila fluks difusi tidak berubah sesuai dengan pertambahan waktu, maka tercapailah suatu kondisi *steady-state*. Difusi dalam kondisi ini dapat dimisalkan dengan perpindahan atom gas melalui plat logam dimana konsentrasi (tekanan) di kedua permukaan plat konstan sebagaimana gambar 2.12.



Gambar 2.15 *Steady-state diffusion* melalui plat tipis

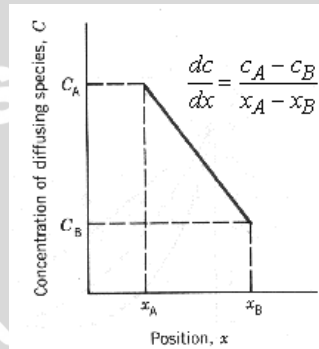
Sumber : Johnson, 2006:130

Jika konsentrasi pada percobaan di atas dibandingkan dengan posisi (jarak) dalam suatu grafik maka akan dihasilkan suatu kurva yang disebut gradient konsentrasi (gambar 2.16).

$$\text{Gradien konsentrasi } \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B} = \frac{dC}{dx} \quad (2.6)$$

Keterangan : ΔC = Beda konsentrasi (Kg/m^3)

Δx = Jarak (Kedalaman difusi) (m)



Gambar 2.16 : Gradien konsentrasi pada *steady-state diffusion*
Sumber : Johnson,2006:130

Rumus matematika untuk *steady-state diffusion* dalam satu arah aksial (x) didapatkan pada kondisi dimana fluks difusi sebanding dengan gradient konsentrasi, dan gradient konsentrasi tidak berubah mengikuti perubahan waktu. Keadaan ini disebut juga dengan Hukum 1 Fick (*Fick's first law*).

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (2.7)$$

Keterangan :

J = Fluks difusi ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)

D = Koefisien difusi (*diffusivity*) (m^2/s)

C = Konsentrasi (Kg/m^3)

x = Jarak difusi (m)

$J \sim dC/dx$ (fluks difusi tidak bergantung waktu)

Tanda (-) menandakan bahwa fluks difusi bergerak berlawanan dengan arah gradien konsentrasi.

2. Panjang Difusi

(Bokshtein, 2005) Panjang $2\sqrt{Dt}$ disebut *panjang difusi* dan memberikan ukuran seberapa jauh konsentrasi telah disebarkan di -x arah dengan difusi dalam waktu t (Bird, 1976).

2.7.4 Koefisien difusi (Diffusivity)

Koefisien difusi (*diffusivity*) merupakan suatu konstanta yang sebanding dengan fluks berdasarkan difusi molekuler dan gradient konsentrasi pada suatu zat. *Diffusivity* dapat ditentukan berdasarkan hukum Fick atau beberapa persamaan kimia fisik lainnya (Johnson, 2006).

Koefisien difusi menggambarkan banyaknya substansi yang berdifusi pada suatu permukaan dalam waktu tertentu. Semakin besar koefisien difusi, maka proses difusi akan semakin cepat. Penentuan besarnya koefisien ini dapat membantu proses optimasi suatu industri dan memproduksi biaya yang diperlukan. Satuan SI untuk koefisien difusi adalah m^2/s .

2.8 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Koefisien Difusi

Besarnya koefisien difusi dipengaruhi oleh beberapa faktor sesuai dengan kondisi yang diterapkan. Faktor-faktor tersebut akan berpengaruh pada rumus matematis dan metode pendekatan yang akan digunakan untuk menentukan koefisien difusi. Pada pembahasan ini faktor-faktor yang mempengaruhi koefisien difusi difokuskan pada jenis bahan dan temperatur.

2.8.1 Jenis Bahan Yang Berdifusi

Besarnya koefisien difusi (D) dalam perspektif *atomic*, mengkondisikan laju perpindahan atom secara difusi. Beberapa contoh koefisien pada *self diffusion* dan *interstitial diffusion* beberapa logam sebagaimana tercantum pada table 2.x jenis bahan yang berdifusi juga jenis host material mempengaruhi besarnya koefisien difusi. Misalnya saja adanya perbedaan yang besar antara self difusi dan interstitial didifusi karbon ($2,4 \times 10^{-12}$) jauh lebih besar dari nilai D pada self difusinya ($3,0 \times 10^{-21}$). Hal ini karena self difusi terjadi dengan mekanisme vacancy sedangkan difusi karbon terjadi dengan mekanisme vacancy sedangkan difusi karbon terjadi dengan mekanisme intersisi. Perbedaan mekanisme inilah yang memungkinkan perbedaan jumlah karbon yang berdifusi.

2.8.2 Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap koefisien maupun laju difusi. Misalnya pada self difusi Fe ke dalam α -Fe, koefisien difusi meningkat sekitar 6 digit ($3,0 \times 10^{-21}$ menjadi $1,8 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$) pada peningkatan temperatur mulai 500°C menjadi 900°C

Pengaruh temperatur terhadap koefisien difusi dijelaskan melalui rumus matematis berikut :

$$D = D_0 \exp\left(\frac{Q_d}{RT}\right) \quad (\text{Johnson, 2006 : 136}) \quad (2-8)$$

Keterangan :

- D_0 = Koefisien difusi pre-eksponensial (m^2/s)
- Q_d = Energi aktivasi pada difusi (J/mol, kal.K atau eV/atom)
- R = Konstanta gas
= $8,31 \text{ J/mol, kal.K}$ atau $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$
- T = Temperatur mutlak (K)

2.8.3 Carburizer

a. Ukuran Carburizer

Bahan *Carburizing* yang aktif biasanya adalah arang atau campuran antara arang kayu, norit, dan arang kulit dikeringkan kemudian dihaluskan dan disaring untuk menghilangkan debunya. Arang yang telah disaring dicampur sempurna dengan energi pengaktif (Sachrosa, Barium Carbonat, atau natrium Carbonat) kemudian disimpan dalam penyimpanan yang kering atau tidak lembab.

b. Komposisi Carburizer

Komposisi dari *Carburizer* bervariasi, karena itu tiap-tiap pabrik industri mempunyai resep yang berbeda-beda, dalam hal ini dituntut kejelian dan pengalaman guna mencapai keberhasilan produk yang diinginkan. Adapun macam-macam komposisi dari *pack carburizing* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 *Composition of the solid carburizer most frequently used*

Name of carburizer	Ingredients	Percent by weight	Notes
“Bondug carburizer”	Charcoal (birch charcoal)	74 to 78	To be delivered in ready-made condition
	Barium carbonate	10 to 15	
	Sodium carbonate	1.0 to 1.5	
	Calcium carbonate	3 to 5	
	Fuel oil	4.5 to 5.0	
	Charcoal	90	To be prepare at the respective plants
	Sodium carbonate	10	
	Peat cake	85 to 90	Ditto
	Sodium carbonate	10 to 15	
Carburizer of the semo coke type (U.S.S.R state standard type)	Grains of actived bituminous semo coke,covered with a film of barium carbonate		To be delivered in ready-made condition

Sumber : Zakharov B, Heat treatment of metal, Foreign Language publishing house, 1962,179

2.9 Reaksi kimia yang terjadi pada saat *pack carburizing*

Selama pemanasan *pack carburizing* dalam kotak atau dapur listrik menghasilkan rekasi gas yaitu CO dan CO₂,gas-gas ini terutama diperoleh dari hasil oksidasi karbon dari *carburizer* padat,proses ini di tunjukkan oleh pemanasan berikut.

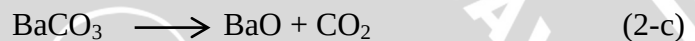
Pemanasan pendahuluan untuk pengeringan dan pengeluaran gas-gas pada temperatur 200°C - 400°C dari pemanasan ini terjadi penguapan sehingga terjadi ikatan antara karbon dan zat asam :



Darigas CO_2 yang dihasilkan akan menguap dan memanaskan arang yang ada dalam kotak pemanas atau dapur listrik, dan terjadi reaksi :



Selain itu *energizer* yang ditambahkan, *energizer* akan membantu menghasilkan karbon monoksida yang lebih banyak sehingga karbon akan lebih aktif dan dalam hal ini tidak ada *energizer* yang hilang yaitu BaCO_3 sebelum dan sesudah reaksi tetap ada seperti dijelaskan dalam reaksi berikut :



Reaksi *carburizing* yang terjadi pada permukaan baja adalah :



Setelah reaksi ini, karbon tersebut pada temperatur *carburizing* akan diserap oleh lapisan logam pada permukaan logam dan secara perlahan-lahan pada temperatur *carburizing* akan berpindah atau terdifusi ke bagian permukaan, pada kenyataannya baja tersebut bisa menyerap elemen-elemen pada proses *pack carburizing*.

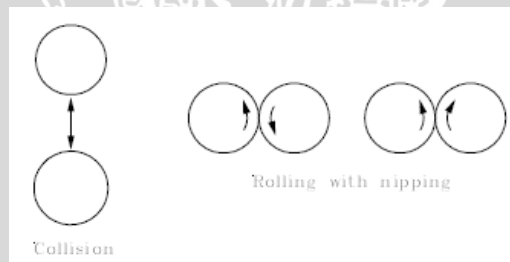
Semakin banyak kandungan karbon dipermukaan, atom karbon mulai berpindah menuju inti melalui mekanisme difusi. Masuknya karbon ke dalam baja tergantung pada temperatur, waktu penahanan (*holding time*), dan bahan pengarbonan (Clark, 1961).

2.10 Holding time

Holding time dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi difusi yang lebih besar. Semakin lama waktu penahanan pada suhu tertentu, maka akan semakin banyak jumlah karbon yang mengisi kisi interstisi material. Selain itu penahanan pada temperatur austenit akan menyebabkan struktur atom homogen dan kelarutan karbida akan semakin banyak sehingga baja akan dikeraskan secara maksimal.

2.11 Keausan

Keausan biasanya terjadi akibat material/komponen yang bekerja dengan pergerakan juga gesekan. Wujud dari keausan adalah berkurangnya dimensi material secara berkala dari suatu permukaan komponen. Faktor – faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, kekasaran permukaan dan ketahanan *impact*. Sehingga laju keausan ini merupakan faktor yang mempengaruhi *life time* atau ketahanan sebuah material/komponen. Pada *grinding ball* gerakan yang dilakukannya pada proses *grinding* dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 2.17 tipe aksi *grinding media*

Sumber : Technical Notes Grinding, R.P.King

Berat material yang telah terabrasi (B) dapat dihitung, maka laju keausan dapat pula dihitung dengan rumusan :

$$V = \frac{B}{t} \quad (2 - 11)$$

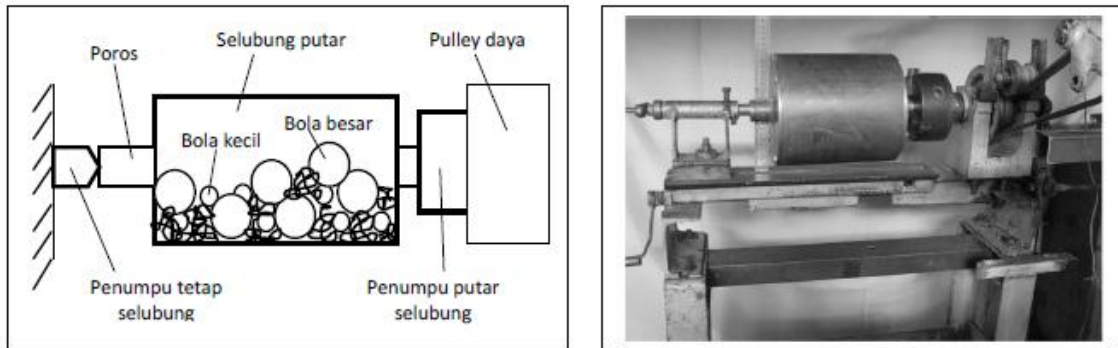
Dengan :

B : Berat *grinding ball* sebelum di uji keausan – dikurangi berat *grinding ball* sesudah di uji keausan (gram)

t : Waktu pengujian (detik)

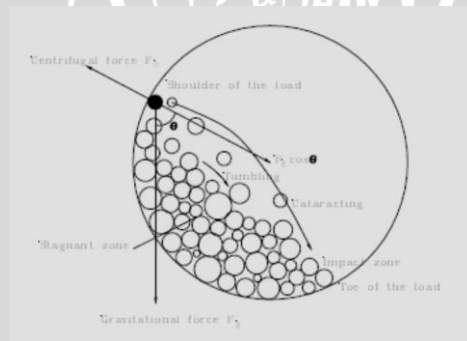
V : Laju keausan (gram/detik)

Pada penelitian ini pengujian laju keausan dilakukan dengan cara memasukkan *grinding ball* yang telah di *pack carburizing* ke dalam instalasi *ball mill*. *Grinding ball* tersebut digunakan menghaluskan pasir kuarsa selama waktu yang ditentukan. Dari hasil proses, dapat dilihat dari ukuran pasir kuarsa dan lapisan yang terkelupas/aus akibat gaya *impact* dan gaya gesek.



Gambar 2.19 Mesin *ball mill*

Sumber : Prosiding – Seminar Nasional, Wahyono Suprpto, 2013



Gambar 2.20 Ilustrasi proses *Ball Mill*

Sumber : Technical Notes Grinding, R.P.King

2.12 Hipotesa

Pengaruh Temperatur dan *holding time*, semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* maka semakin banyak karbon yang tersisip kedalam logam.