

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Adinata (2017), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan yang sering digunakan sebagai bahan konstruksi dengan metode *pack carburizing* dengan penambahan karbon yang bersumber dari arang kayu jati. Spesimen bersama campuran arang kayu jati dan natrium karbonat (NaCO_3) dimasukkan dalam gerabah kemudian di *carburizing* dengan temperatur 980°C dengan *Holding time* 2 jam. Hasilnya kekerasan yang paling tinggi sebesar 260, 199 VHN.

Wisnujati (2017), pada penelitian ini *sprocket* mengalami proses *carburizing* (karbonisasi) yaitu proses memanaskan bahan sampai diatas suhu kritis $900^\circ\text{-}950^\circ\text{C}$ dengan penahanan selama 1 (satu) jam kemudian didinginkan dengan media air. Hasil pengujian kekerasan *sprocket* imitasi didapat nilai kekerasan rata-rata 219.23 VHN dan *sprocket genuine* tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 217.68 VHN. Hal ini dikarenakan pada *sprocket* imitasi terdapat kandungan kadar karbon dan silikon lebih besar setelah dilakukan *carburizing*. Hasil pengujian struktur mikro pada *sprocket imitasi*, struktur ferrit terbentuk dari proses pendinginan yang lambat dari austenit (*baja hypoeutectoid*) dan mempunyai konduktivitas panas yang tinggi sehingga struktur ini bersifat lunak serta ulet.

Sujita (2016), melakukan penelitian proses *pack carburizing* dengan media *carburizer* alternatif serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara sebagai katalisator, dengan serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara ditimbang sesuai dengan komposisi yang diinginkan dengan pencampuran serbuk cangkang kerang mutiara 5, 10, 20, dan 25 (% dari berat arang tongkol jagung). *Specimen* dilakukan perlakuan panas pada temperatur 910°C , 930°C , 950°C , dengan penahanan waktu selama 90 dan 150 menit. Nilai kekerasan tertinggi rata-rata pada penambahan 20% serbuk cangkang.

Dewa (2016), melakukan penelitian terhadap baja karbon rendah dengan metode *carburizing*, pada penelitian ini diteliti efektifitas penggunaan karbon dari arang bambu, arang tulang bebek, arang tulang kambing, dan arang pelepah kelapa sebagai sumber *carburizer*. Karbon-karbon tersebut dicampur dengan barium karbonat dengan komposisi 20%. Spesimen di *carburizing* sampai dengan suhu 900°C, *diholding* selama 3 jam, menggunakan air sebagai media *quenching*. Hasilnya *carburizing* dengan arang tulang kambing memberikan kekerasan permukaan paling tinggi (556,37 HV).

Jamil dan Abdullah (2013), telah melakukan penelitian terhadap sifat mekanik dan keausan Baja St37 dengan metode karburisasi padat dengan katalisator cangkang kerang darah (CaCO_3), dengan perbandingan cangkang kerang darah (CaCO_3) sebanyak 30% dan karbon tempurung kelapa 70% pada proses karburisasi padat serta membandingkan kekerasan baja sebelum dan sesudah proses karburisasi. *Holding time* selama 1 jam dengan temperatur 950°C, menggunakan air sebagai media *quenching*, menggunakan arang tempurung dengan ukuran butir 0,149 mm. Dan rata-rata nilai kekerasan St 37 sebelum di karburisasi yaitu 41,2 HRC dan terjadi kenaikan rata-rata kekerasan pada setiap ukuran butir. Pada ukuran butir 0,149 mm kenaikan rata-rata kekerasan 36,89 %. Ukuran butir 0,595 mm kenaikan rata-rata kekerasan 38,83 % ukuran butir 1,19 mm kenaikan rata-rata kekerasan 42,23 % ukuran butir 1,6 mm kenaikan rata-rata kekerasan 44,39 % dan kekerasan tertinggi pada ukuran butir 2 mm dengan kenaikan rata-rata kekerasan 45,63 %.

Setyono Y (2012), melakukan penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbonisasi arang kayu sengon. Penelitian ini menggunakan temperatur 900° C variasi waktu 2 jam dan 4 jam dengan proses karbonisasi, harga kekerasan yang semula 247,0 VHN (raw material) meningkat menjadi 250,2 VHN (karbonisasi 2 jam) dan 260,3 VHN (karbonisasi 4 jam).

Nanulaitta dan Patty (2011), melakukan penelitian analisa nilai kekerasan baja karbon rendah (S35C) dengan pengaruh waktu penahanan (*Holding time*) melalui proses pengarbonan padat (*pack carburizing*) dengan pemanfaatan cangkang kerang sebagai katalisator, pada proses carburizing ini dipakai bahan bubuk karbon dengan komposisi 60% dan cangkang kerang (CaCO_3) 40%

sebagai *energizer* yang mempercepat proses karburasi dengan waktu penahanan adalah 15 menit, 30 menit, dan 45 menit dengan media pendingin berupa oli SAE 20-50. Laju penyerapan karbon paling cepat terjadi pada proses dengan penahanan waktu 45 menit dengan komposisi dari 1 kg campuran yang terdiri 60% karbon (arang kayu nani) dan 40% Cangkang kerang (CaCO_3) yaitu sebesar 123,38 HRC. Kemudian di ikuti dengan penahanan waktu (Holding Time) 30 menit dan 15 menit dengan nilai 108,96 dan 101,19 dimana Peningkatan laju nilai kekerasan rata-rata terbesar juga terjadi pada penahanan waktu 45 menit, sebesar 0,636, atau 30,2%.

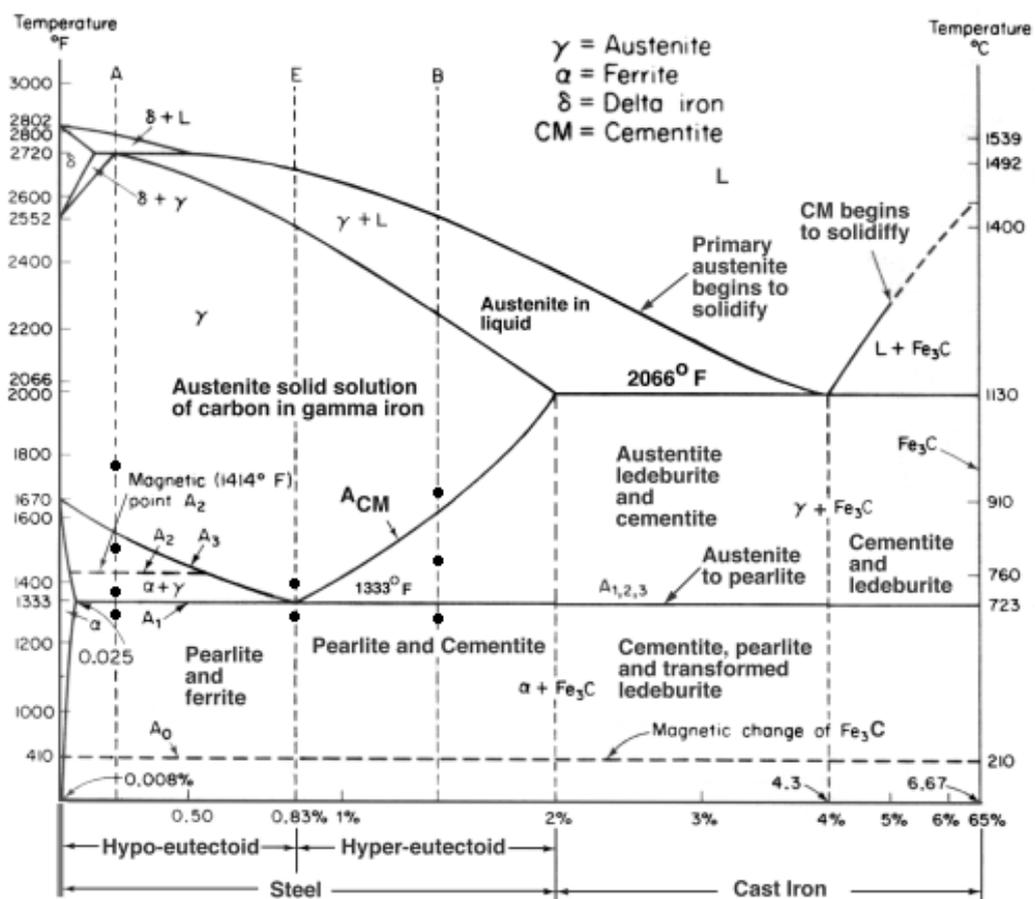
Mas'ad dkk. (2008), melakukan penelitian terhadap *sprocket* imitasi Suzuki dengan menggunakan *pack carburizing* dengan memakai arang kayu mlanding untuk menaikkan kadar karbon pada *sprocket* Suzuki imitasi dan sudah mengalami perlakuan panas, media *quenching* menggunakan oli mesin SAE 40, dengan variasi temperatur 850°C-950°C dengan penahanan waktu 7 jam. Peningkatan nilai kekerasan optimum pada suhu autenisasi dengan temperatur 950°C.

Darmanto (2006), telah melakukan penelitian tentang sifat mekanis baja dipengaruhi oleh prosentase karbon dalam paduan. Kadar karbon dapat diubah prosentasenya dengan cara *carburizing*, yaitu suatu proses untuk menaikkan kadar karbon dengan cara *thermochemical heat treatment*. Proses pada penelitian ini menggunakan arang batok kelapa. Setelah dilakukan proses *carburizing* akan diperoleh sifat mekanis (kekerasan, kerapuhan, keuletan, kemampuan bentuk) yang berbeda dari sebelumnya.

Soelaiman (2006), berdasarkan pada hasil komposisi kimia pada benda uji *gear sprocket standart* dan *gearsprocket racing*, pada material *gear sprocket* tersebut diklarifikasikan termasuk baja karbon rendah jika dilihat pada nilai karbonnya (0,025% - 0,35% C). Pada *gear sprocket standart* mengandung unsur C: 0,159% Fe: 98,20% Si: 0,007% Ni: 0,006% Cr: 0,020% Mn: 0,979% Zn: 0,541% dan *gear sprocket racing* mengandung unsur C: 0,333% Fe: 98,33% Si: 0,209% Cr: 0,029% Ni: 0,313% Mn: 0,700%. Untuk material *gearsprocketstandart* nilai kekerasan rata-rata 448 HVN, sedangkan *gearsprocket racing* nilai kekerasan rata-rata 544,8 HVN.

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) (Sofiyyudin, 2007).



Gambar 2.1. Diagram fasa Fe-C
(Sumber: Pollack, 1988)

Diagram fasa sangat penting sebagai alat untuk menangani baja. Ini menunjukkan fase yang berbeda dari sistem Fe-C sampai 25 atom% atau 6,67% berat C dan memberikan suhu kritis dan komposisi yang berbeda yang sesuai dengan perubahan fasa dalam sistem ini. Campuran Fe-C dengan sampai 2% berat C disebut baja; Hal ini karena hanya sampai 2 % C seseorang dapat mencapai fase

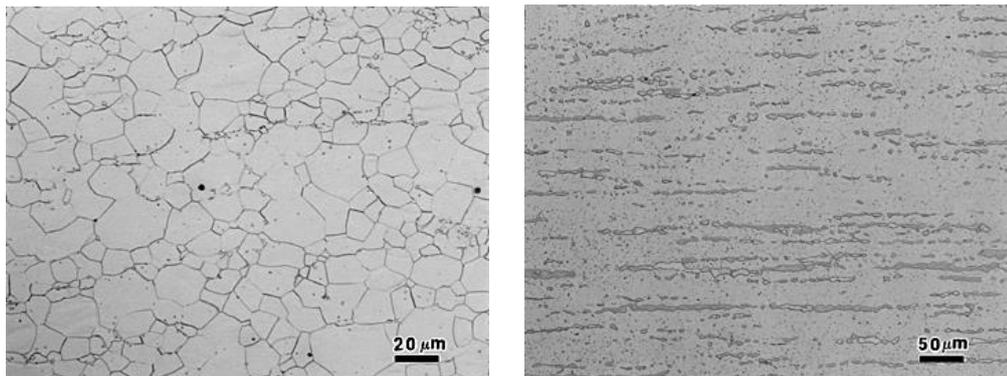
austenit tunggal dengan memanaskannya sampai suhu tinggi dan karenanya dapat disesuaikan dengan proses deformasi panas yang berbeda untuk pembentukannya. Paduan di luar ini disebut sebagai besi tuang karena ini sesuai untuk aplikasi pengecoran. Jika komposisi baja atau besi tuang diketahui seseorang dapat memprediksi komposisi fase ekuilibrium material dari diagram ini (Pollack, 1988).

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).

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 antara lain adalah (Sofiyudin, 2007):

1. *Ferrite*

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



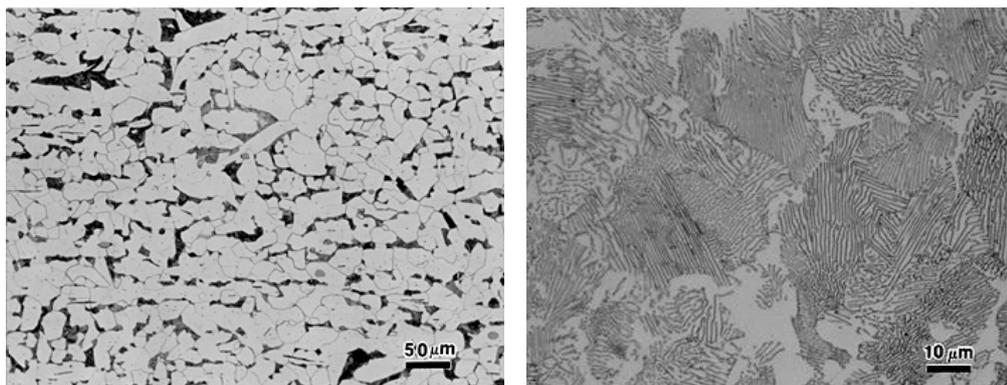
(a)

(b)

Gambar 2.2 (a) *Ferrite*, (b) *Delta ferrite*
(Sumber: Vander Voort, 1999)

2. *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.



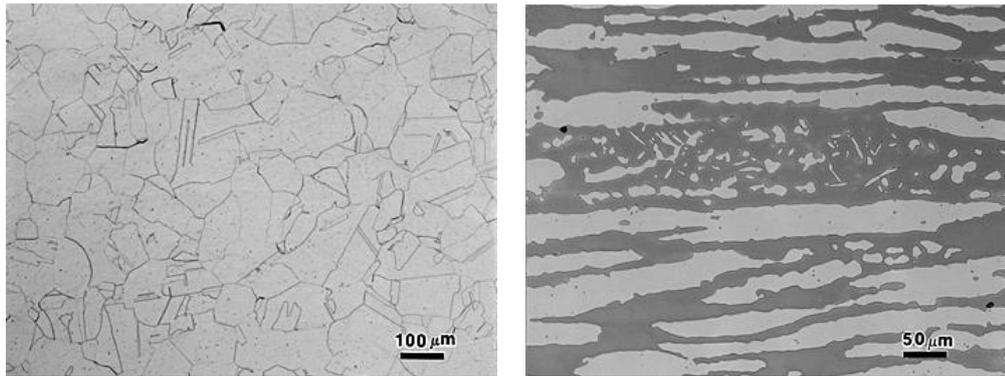
(a)

(b)

Gambar 2.3 (a) *Proeutectoid ferrite* dan *pearlite*, (b) *pearlite* dan *proeutectoid ferrite* in fully annealed
(Sumber: Vander Voort, 1999)

3. *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.



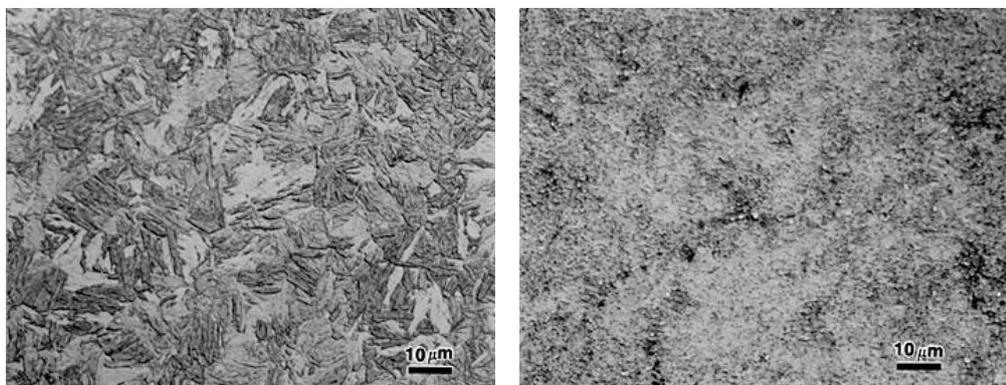
(b)

(b)

Gambar 2.4 (a) *Austenite*, (b) *Ferrite (dark)* dan *austenite (white)*
(Sumber: Vander Voort, 1999)

4. *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.



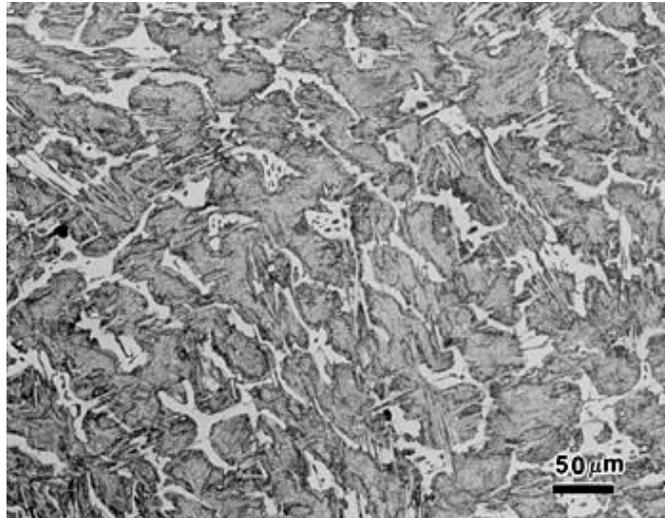
(a)

(b)

Gambar 2.5 (a) *Lath martensite*, (b) *Plate martensite*
(Sumber: Vander Voort, 1999)

5. *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.



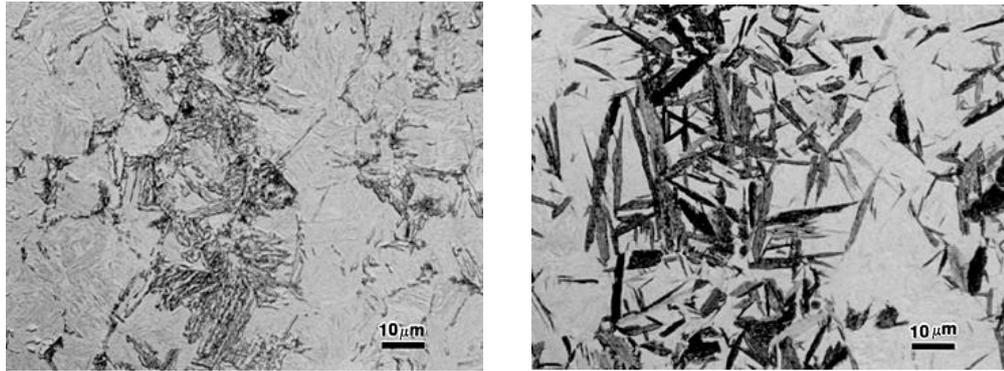
Gambar 2.6 *Cementite* (white) dan *pearlite* (dark) in white cast iron
(Sumber: Vander Voort, 1999)

6. *Ledeburite*

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

7. *Bainite*

Bainite menggambarkan struktur mikro pada baja yang dihasilkan dari dekomposisi *austenite* ke *ferrite* dan *cementite*. *Bainite* terbentuk pada kisaran temperatur di atas transformasi *martensite* dan di bawah pembentukan *pearlite*. Transformasi *austenite* ke struktur bainitik dapat terjadi bila baja didinginkan ke temperatur antara sekitar $300\text{-}550^{\circ}\text{C}$. *Bainite* sering dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu *upper bainite* dan *lower bainite*. Terbentuknya *upper bainite* dan *lower bainite* sangat tergantung pada rentang temperatur dimana transformasi terjadi.



(a)

(b)

Gambar 2.7 (a) *Upper bainite (dark) dan martensite (light)*, (b) *Lower bainite (dark) dan martensite (light)*
(Sumber: Vander Voort, 1999)

2.2.1 Baja Karbon

Baja karbon mempunyai sifat yang ditentukan oleh banyaknya kadar karbon yang ada dalam baja dan struktur mikro dari baja. Kandungan baja karbon tinggi tanpa paduan berkisar dari 0,03% - 1,7% karbon. Namun biasanya tidak melebihi 1,5% karbon. Secara umum baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga golongan antara lain yaitu (Anwar, 2009) :

1. Baja karbon rendah : kandungan karbon ini 0,10% - 0,30%, penggunaannya sangat luas, sebagai contoh pengaplikasian baja karbon rendah yaitu untuk konstruksi kapal, konstruksi kendaraan, plat, pipa serta mur baut. Contoh baja karbon rendah, SCM 420, SCM 415, SWRM 17, SAE 8620, dll.
2. Baja karbon sedang : kandungan karbon pada baja ini 0,30% - 0,60%, baja karbon sedang lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah, penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah, untuk perancangan konstruksi pembebanan yang lebih berat dan memerlukan kekuatan, kekerasan tinggi, maka baja karbon sedang lebih tepat. Contoh baja karbon sedang, SWRH 42A, SAE 1050, S45C, dll.
3. Baja karbon tinggi : karbon yang dikandung lebih dari 0,70% - 1,5%, kekerasannya tinggi bila dibandingkan dengan baja karbon keduanya tetapi keuletannya lebih rendah, hampir jarak tegangan luluhnya terhadap tegangan

proporsionalnya tidak dapat diketahui pada grafik tegangan regangan. Pengaplikasiannya pada Tool steel, dies, jig, dan komponen yang membutuhkan kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang baik. Contoh baja karbon tinggi, SK-5, dll.

2.2.2 Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan di dalam industri atau pabrik Baja paduan dapat didefinisikan sebagai baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibdenum, vanadium, mangan, dan wolfram yang digunakan untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat, dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran. Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat khas dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling, dan ditarik tanpa mengalami patah tau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibdenum, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas (Sofiyyudin, 2007).

Baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial daripada baja, keterbatasan daripada baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dengan pencampuran termasuk sifat-sifat kelistrikan, magnetis, dan koefisien spesifik dari pemuaiian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam (Amanto, 1999).

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut (Schonmetz, 1985).

1. Silisium (Si), terkandung dalam jumlah kecil di dalam semua bahan besi dan dibutuhkan dalam jumlah yang lebih besar pada jenis-jenis istimewa.

Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas dan karat, ketahanan terhadap keras. tetapi menurunkan regangan, kemampuan untuk dapat ditempa dan dilas.

2. Mangan (Mn), meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, ketahanan aus, penguatan pada pembentukan dingin, tetapi menurunkan kemampuan serpih.
3. Nikel (Ni), meningkatkan keuletan, kekuatan, pengerasan menyeluruh, ketahanan karat, tahanan listrik (kawat pemanas), tetapi menurunkan kecepatan pendinginan regangan panas.
4. Krom (Cr), meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang ketahanan aus, kesudian diperkeras, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, ketahanan panas, kerak, karat dan asam, kemudahan pemolesan, tetapi menurunkan regangan (dalam tingkat kecil).
5. Molibdenum (Mo), meningkatkan kekuatan tarik, batas rentang, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, batas rentang panas, ketahanan panas dan batas kelelahan, suhu pijar pada perlakuan panas, tetapi menurunkan regangan, kerapuhan pelunakan.
6. Kobalt (Co), meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan karat dan panas, daya hantar listrik dan kejenuhan magnetis.
7. Vanadium (V), meningkatkan kekuatan, batas rentang, kekuatan panas dan ketahanan leleh, suhu pijar pada perlakuan panas, tetapi menurunkan kepekaan terhadap sengatan panas yang melewati batas pada perlakuan panas.
8. Wolfram (W), meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang, kekuatan panas, ketahanan terhadap normalisasi dan daya sayat, tetapi menurunkan regangan.
9. Titanium (Ti), memiliki kekuatan yang sama seperti baja, mempertahankan sifatnya hingga 400 C, karena itu merupakan kawat las.

Menurut *FSCM Engineering Department* (2012), Baja karbon juga dapat diklasifikasikan menjadi **3** menurut banyaknya unsur paduan yang terkandung, yaitu:

1. Plain-carbon steels (flat/minimal)
2. Low-alloy carbon steels (paduan rendah)

3. High-alloy carbon steels (paduan tinggi)

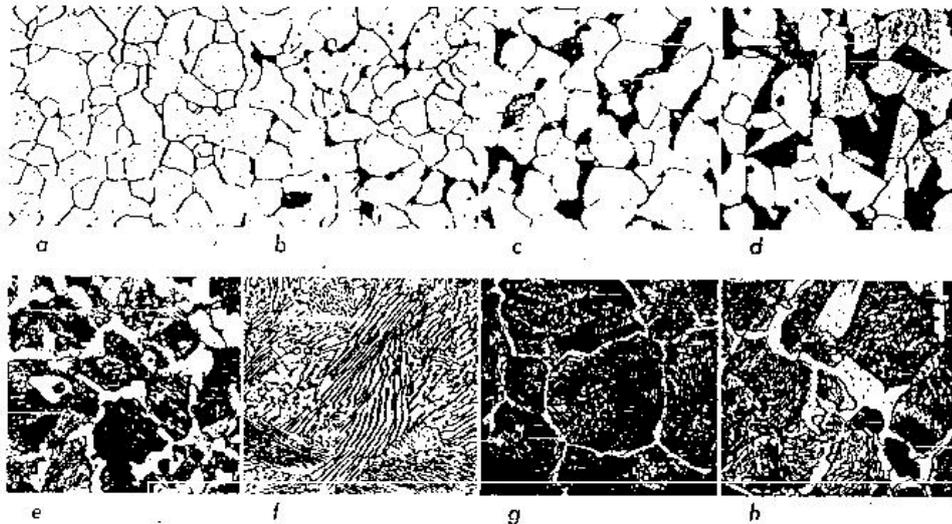
Pada baja *plain-carbon*, unsur-unsur penguat seperti (Cr, Mo, Ni, Mn, Ti, V, W, dll) jumlahnya sangat sedikit sekali, sehingga sifat materialnya (kekuatan & ketangguhan) hanya berpengaruh dari % Karbon saja. Sedangkan pada baja *low-alloy & high-alloy*, sifat materialnya akan semakin tinggi seiring dengan nilai % karbon & jumlah paduan yang ada di dalamnya.

2.2.3 Struktur Mikro Baja Karbon

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 intensitas zat arang, tetapi juga cara mengadakan ikatan 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) :

1. *Ferrit*, kristal besi murni (*ferrum* = Fe) terletak rapat saling mendekap, tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferrit merupakan bagian baja yang paling lunak. Ferrit murni tidak akan cocok dipergunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban, hal ini dikarenakan kekuatannya kecil. (gambar a)
2. *Karbid besi* (Fe_3C), suatu senyawa kimia antara (Fe) dengan zat arang (C). Sebagai unsur struktur tersendiri, dia dinamakan *cementit* dan mengandung 6,7% zat arang. Rumus kimia Fe_3C menyatakan bahwa senantiasa ada 3 atom besi yang menyelenggarakan ikatan dengan sebuah atom zat arang (C) menjadi sebuah molekul karbid besi. Dengan meningkatnya kandungan C, maka semakin besar pula kandungan *cementit*. *Cementit* dalam baja, merupakan unsur yang paling keras (270 kali lebih keras dari besi murni).
3. *Perlit*, merupakan kelompok campuran antara ferrit dan cementit dengan kandungan zat arang seluruhnya sebesar 0,8%. dalam struktur perlitis, semua kristal *ferrit* dirasuki sepih sementit halus yang memperoleh penempatan

saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel. diperlihatkan pada gambar f.



Gambar 2.8. Struktur Baja Zat Arang
(Sumber: Schonmetz, 1985)

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| a. ferrit 0,0% C | e. ferrit + perlit 0,60% C |
| b. ferrit + perlit 0,10% C | f. perlit laminar 0,85% C |
| c. ferrit + perlit 0,16% C | g. perlit + sementit 1,1% C |
| d. ferrit + perlit 0,45% C | h. perlit + sementit 1,5% C |

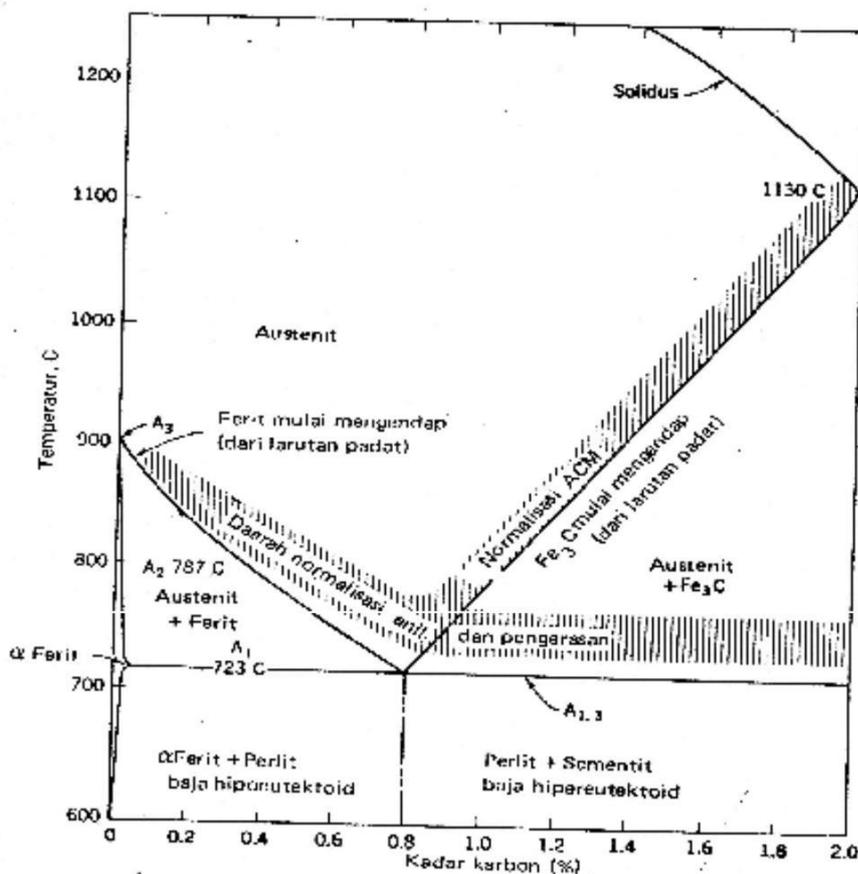
Menurut kadar kandungan zat arangnya baja dibedakan menjadi tiga kelompok utama baja bukan paduan (Schonmetz, 1985) :

1. Baja dengan kandungan kurang dari 0,8% C (baja *hypoeutectoid*), himpunan ferrit dan perlit (bawah perlitis).
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 (atas perlitis).

Zat arang yang kadarnya melampaui 0,8% mengendap sebagai karbid besi terang membentuk kulit pada batas butiran kristal perlitis yang lebih gelap dan menyelubungi menyerupai jaringan (*cementit* sekunder). Baja demikian sejak semula keras dan berkebutiran kasar.

2.2.4 Peralihan Wujud Struktur pada Pemanasan Lambat

Menurut Amstead, B. H (1985), Jika baja dengan kandungan karbon (C) 0,8 % dipanaskan secara lambat, maka pada temperatur 723 ° C besi karbon terurai menjadi besi dan karbon. Akibatnya karbon pada saat itu menjadi bebas melarut didalam besi. Oleh karena untuk melarutkan karbon hanya dimiliki oleh besi γ , maka akibatnya temperatur peralihan wujud diturunkan dari 906 ° C menjadi 723 ° C. Pusat kubus kisi besi γ menjadi kosong, dan ditempati oleh sebuah atom karbon. Karena larutan terjadi pada temperatur ketika baja masih padat, struktur ini disebut juga larutan padat atau austenit. Baja eutektoid (0,8 % C) beralih kelarutan padat (austenit) pada saat melampaui temperatur 723 ° C. Baja bawah eutektoid yang mempunyai kandungan karbon (C) lebih kecil dari 0,8 %, austenit dan kristal ferrit berada di atas garis temperatur 723 ° C . Jika temperatur terus dinaikkan, maka kristal ferrit melarut didalam austenit. Pada waktu melampaui garis temperatur $A_3 - A_1$, semua kristal ferrit telah larut dan menjadi struktur austenit murni. Selanjutnya semakin tinggi temperaturnya semakin rendah kandungan karbon di dalamnya.



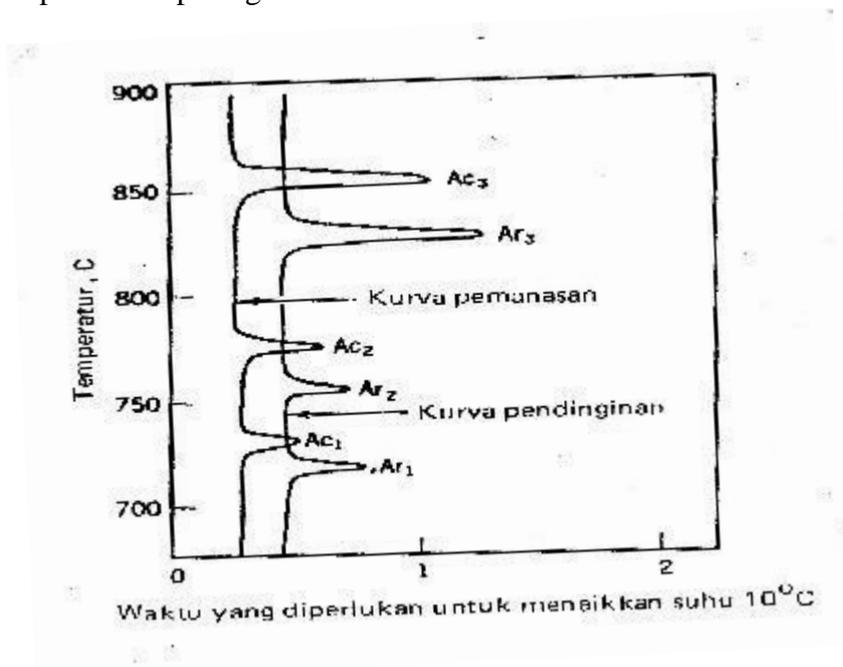
Gambar 2.9 Diagram besi-besi karbon (Fe_3C) sebagian
(Sumber: Amstead, B. H , 1985)

Baja dengan kandungan karbon di atas 0,8 % atau baja hyper eutektoid, austenit dan kristal baja karbon berada di atas garis $A_{1,3}$. Jika temperatur naik, maka kristal besi karbon (sementit) melarut di dalam larutan padat (austenit). Semakin tinggi temperaturnya, semua kristal karbon larut dan terbentuklah struktur austenit murni. Temperatur yang diperlukan semakin tinggi, semakin banyak karbon terkandung di dalamnya (Amstead, B. H , 1985).

2.2.5 Kurva Laju Inverse

Menurut Amstead, B. H (1985) Disamping perubahan wujud struktur baja yang diakibatkan oleh pemanasan lambat, perubahan tersebut berlaku juga pada pendinginan lambat. Perbedaan keduanya terletak pada awal proses yaitu: untuk

pemanasan lambat berawal dari baja padat dingin dan untuk pendinginan lambat dimulai dari baja cair padat (austenit). Sifat mampu balik dari kedua peristiwa tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.10 Kurva laju inverse untuk baja SAE 1020
(Sumber: Amstead, B. H , 1985)

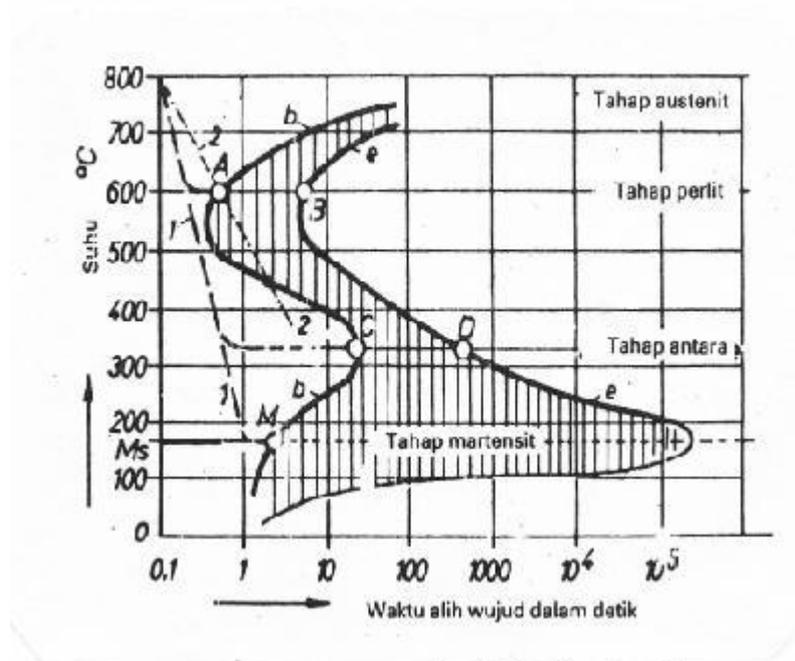
Kurva ini untuk material baja karbon 0,20 % yang dipanaskan atau didinginkan secara merata dan perlahan-lahan, Perubahan temperatur dicatat setiap kenaikan 10°C , akan diperoleh kurva seperti gambar 2.10. Sumbu mendatar (*horizontal*) merupakan waktu untuk memanaskan atau mendinginkan setiap perubahan 10°C . Sumbu tegak (*vertikal*) adalah besarnya temperatur yang dicapai selama pemanasan atau pendinginan secara perlahan-lahan. Hasil percobaan yang dilakukan pada baja dengan kandungan karbon 0,20 % ini, menunjukkan garis vertikal lurus kecuali pada titik-titik dimana laju pemanasan atau pendinginan yang mengalami perubahan. Terlihat ada tiga titik yang mengalami perubahan pada saat dilakukan pemanasan ataupun pendinginan. Titik ini yang bertepatan dengan terjadinya perubahan struktur disebut titik transformasi. Titik transformasi pada saat terjadi proses pemanasan diberi lambang Ac_1 , Ac_2 dan Ac_3 . Huruf "c" adalah huruf permulaan dari kata Perancis *chauffage* yang berarti memanaskan. Sedangkan untuk proses pendinginan disebut dengan memberi lambang Ar_1 , Ar_2 dan Ar_3 . Huruf "r"

diambil dari kata *refroidissement* yang berarti mendinginkan (Amstead, B. H , 1985).

Perubahan-perubahan yang terjadi pada titik-titik kritis tersebut, dinamakan perubahan "alotropik" . Pada titik ini baja mengalami susunan kimia tetap, tetapi terjadi perubahan sifat seperti: tahanan listrik, struktur atom dan kehilangan sifat magnetik. Perubahan "alotropik" adalah perubahan mampu balik (*reversibel*) pada struktur atom logam yang diikuti dengan perubahan sifat. Titik-titik kritis tersebut harus diketahui, mengingat perlakuan panas pada baja meliputi pemanasan di atas daerah tersebut. Misalnya baja akan menjadi lebih keras bila dipanaskan di atas daerah kritis bawah (Ac_1) dan kadang-kadang di atas daerah kritis atas (Ac_3) (Amstead, B. H , 1985).

2.2.6 Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan wujud (*Time-Temperature -Transformation*)

Menurut Alois Schonmetz (1985), Hasil yang diharapkan dari perlakuan panas pada baja berupa meningkatnya kekerasan material dapat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginannya. Hal ini disebabkan karena kecepatan pendinginan tertentu dapat membentuk struktur yang dikehendaki. Perubahan bentuk struktur dan besar temperatur atau suhunya dapat diperhatikan pada diagram *Time-Temperature-Transformation* (*T-T-T*) gambar 2.5.



Gambar 2.11 Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan wujud untuk baja karbon dengan kandungan 0,9 % C.
(Sumber: Alois Schonmetz dkk, 1985).

Keterangan:

1. Garis pendinginan cepat menuju tahap martensit.
2. Garis pendinginan lambat melalui tahap perlit dan tahap antara.

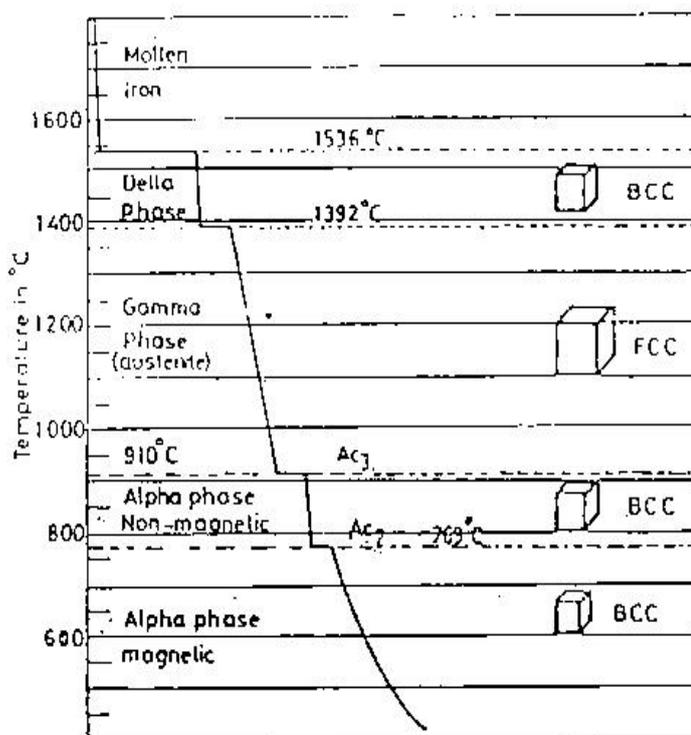
Diagram ini memiliki skala suhu pada sumbu tegak dan sumbu mendatarnya adalah skala waktu. Pendinginan yang merupakan penurunan temperatur dari sebelumnya, terhadap waktu yang dibutuhkan adalah fungsi dari kecepatan. Kecepatan pendinginan dari suatu temperatur tertentu menjadi temperatur yang lebih rendah, akan berakibat pada perubahan wujud struktur. Jika baja panas didinginkan dari kondisi austenit ke temperatur yang lebih rendah dan dipertahankan disini, lintasan mendatar dari sumbu tegak hingga memotong garis liku “ S “ pertama (sebelah kiri) menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai awal terbentuknya austenit. Sedangkan titik potong kedua pada garis liku “ S “ (sebelah kanan), menunjukkan saat berakhirnya perubahan wujud. Jarak antara titik potong pertama sampai titik potong ke dua pada garis liku “ S “ adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses peralihan wujud. Sebuah garis yang melintas dari kiri atas ke kanan bawah, menunjukkan pendinginan merata. Waktu yang

dibutuhkan untuk pendinginan merata ini dapat dibaca pada sumbu mendatar. Semakin pendek waktu yang dibutuhkan, akan semakin tinggi kecepatan pendinginannya. Hal ini nampak pada semakin curamnya garis pendinginan. Komponen mesin yang memiliki bentuk besar, perambatan pendinginan untuk sampai ke bagian dalam membutuhkan waktu yang lebih lama. Perambatan pendinginan ini akan berakibat pada peralihan wujud akan berlangsung lebih perlahan-lahan. Pendinginan lambat ini diperlihatkan pada garis pendinginan nomor “2”, dimana garis ini tidak begitu curam dan memotong garis liku “ S “ pertama di dua titik. Nampak disini akan terbentuk sebagian peralihan wujud tahap perlit ataupun tahap antara termasuk dalam daerah temperatur yang terpotong. Setiap jenis baja memiliki diagram T-T-T nya sendiri, diagram ini selalu menampilkan daerah temperatur yang mencerminkan kecenderungan terbesar austenit untuk melakukan peralihan wujud, dan kecepatan pendinginan yang dibutuhkan untuk membentuk martensit tanpa melalui tahap perlit. Bila hal ini dikehendaki, garis pendinginan tidak boleh memotong garis liku “ S “ pertama dititik manapun. Letak bentuk garis liku “ S “ untuk masing-masing jenis baja dipengaruhi jumlah kandungan karbon yang ada di dalamnya. Semakin sedikit kandungan karbon pada baja, akan semakin ke kiri letak garis liku “ S “ yang pertama. Akibatnya akan semakin curam pula garis pendinginannya. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan harus dilakukan lebih cepat agar terbentuk wujud martensit (Alois Schonmetz dkk, 1985).

2.3 Besi

Menurut Sofiyudin (2007), 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* ($\text{Fe } \alpha$). Pada temperatur antara 910°C dan 1392°C , besi dikenal dengan besi *gamma* ($\text{Fe } \gamma$) dan pada temperatur di atas 1392°C disebut sebagai besi *delta* ($\text{Fe } \delta$).

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* (Alois Schonmetz dkk, 1985).



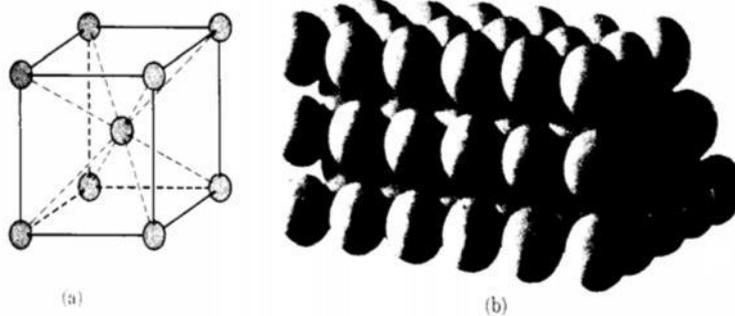
Gambar 2.12. Diagram transformasi
(Sumber: Alois Schonmetz dkk., 1985)

Menurut Alois Schonmetz (1985), 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.

a. *Body Centered Cubic* (BCC)

Logam kubik pemusatan ruang. 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 (Van Vlack, 1992).

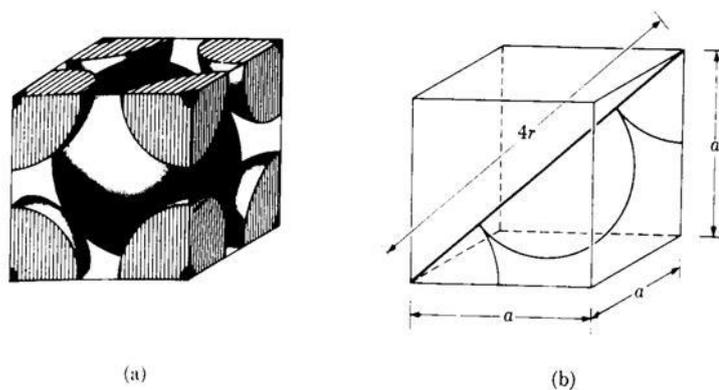


Gambar 2.13. Struktur kubik pemusatan ruang logam.

Bagian (a) merupakan gambaran skematik dan terlihat atom pada titik pusat.

Bagian (b) model bola keras.

(Sumber: Van Vlack, 1992).

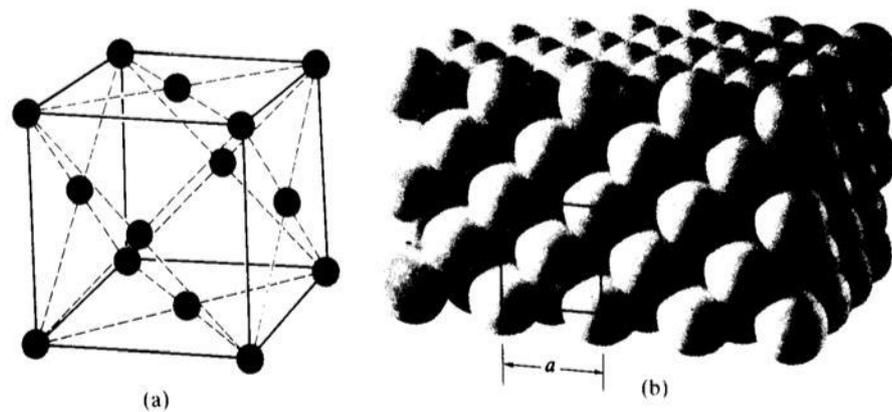


Gambar 2.14. Sel satuan kubik pemusatan ruang (logam). Struktur logam kubik pemusatan ruang mempunyai dua atom per sel satuan dan faktor tumpukan atom sebesar 0,68.

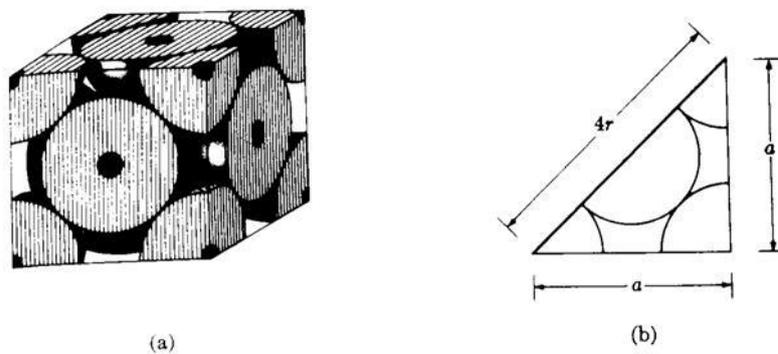
(Sumber: Van Vlack, 1992)

b. *Face Centered Cubic* (FCC)

Logam kubik pemusatan ruang. 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 (Van Vlack, 1992).



Gambar 2.15. Struktur kubik pemusatan sisi pada logam. Bagian (a) pandangan skematis yang memperlihatkan letak pusat atom dan bagian (b) model bola keras. (Sumber: Van Vlack, 1992).

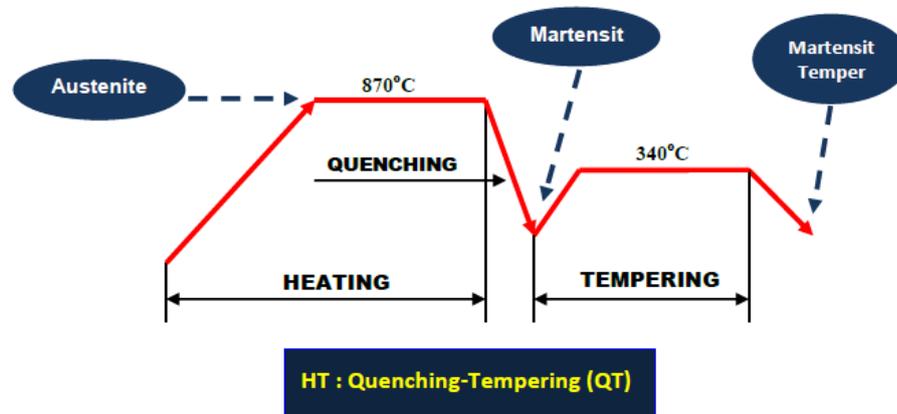


Gambar 2.16. Sel satuan kubik pemusatan sisi (logam). Struktur logam kubik pemusatan sisi mempunyai empat atom per sel satuan dan faktor tumpukan 0,74. (Sumber: Van Vlack, 1992).

2.4 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan Panas adalah suatu proses yang bertujuan untuk mendapatkan & meningkatkan sifat mekanis dari material seperti kekerasan, ketangguhan, kekuatan dan lain-lain. Tahapan Proses *Heat Treatment* sederhana yang biasa kita kenal dengan *Quenching-Tempering* (QT); selalu diawali dengan pemanasan (*Heating*) kemudian diikuti dengan pendinginan cepat (*Quenching*), baru kemudian diikuti dengan *Tempering* (FSCM Engineering Department, 2012).

Untuk memperoleh sifat mekanik dan struktur mikro yang diinginkan dari suatu baja, dapat dilakukan dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas didefinisikan sebagai suatu proses yang terdiri dari pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat (*solid state*) untuk tujuan memperoleh kondisi atau sifat bahan yang diinginkan (Clark dan Varney, 1962).



Gambar 2.17. Tahapan Proses *Heat Treatment*
(Sumber: FSCM Engineering Department, 2012).

1. Heating

Pada Proses pemanasan ini baja dipanaskan dari temperatur ruang ke temperatur *hardening* (Austenisasi) dalam waktu tertentu (*hardening time/passing time*). Pada proses *Carburizing* atau *Nitriding*, disinilah dimana atom Karbon (C) & Nitrogen (N) akan masuk ke dalam baja sebagai lapisan penguat permukaan. Material baja (BHD) yang memiliki struktur mikro *Ferit & Perlit*, pada temperatur tinggi akan berubah menjadi struktur *Austenite*. *Austenite* inilah yang nantinya berubah menjadi *Martensit* pada saat dilakukannya *quenching* (FSCM Engineering Department, 2012).

Faktor penting pada proses pemanasan (*Heating*): (FSCM Engineering Department, 2012).

- a. Temperatur & waktu pemanasan yang optimal akan mempengaruhi bentuk struktur *austenit* (baik/tidak). Ukuran *austenite* akan berpengaruh pada hasil *quenching*.
- b. Temperatur pemanasan harus optimal;

Temperatur terlalu rendah = *Austenite* belum terbentuk atau ukurannya masih terlalu kecil.

Temperatur terlalu tinggi = *Austenite* sudah terbentuk, tapi ukurannya terlalu besar.

c. Waktu harus optimal;

Waktu terlalu cepat = *Austenite* belum terbentuk atau ukurannya masih terlalu kecil.

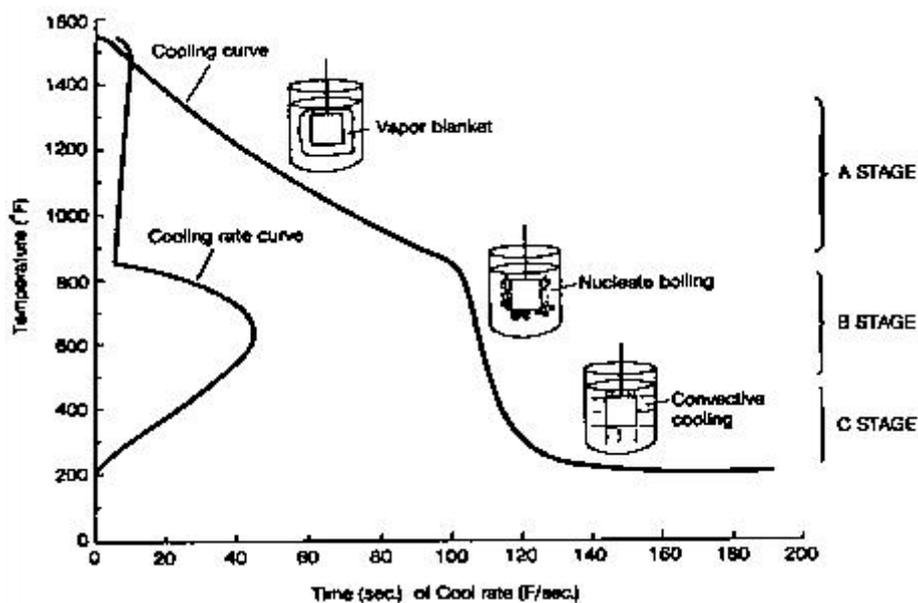
Waktu terlalu lambat = *Austenite* sudah terbentuk tapi ukurannya terlalu besar.

d. Temperatur & waktu pemanasan yang optimal untuk setiap baja akan berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh unsur paduan yang terdapat di dalamnya.

e. Proses pemanasan yang baik juga tidak lepas dari kestabilan atmosfer/gas di dalam *furnace*.

2. *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. Analoginya, ketika baja didinginkan secara cepat/drastis, maka atom Karbon tidak sempat kembali keluar. Ini membuat Karbon terjebak di dalam baja dan membuat kekerasan baja sangat tinggi (Totten.GE ,1993).



Gambar 2.18. Mekanisme Pendinginan
(Sumber: Totten.GE ,1993)

Pada Gambar 2.12. memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Awal pencelupan tahap A, logam akan diselubungi 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 mendidih. 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 (Totten.GE ,1993).

3. *Tempering*

Proses pemanasan baja di temperatur sedang (110-250°C) setelah proses quenching. Tempering bertujuan untuk mengurangi getas (hardness terlalu tinggi)

& meningkatkan kekuatan. Pada proses *Tempering* Struktur martensit akan berubah menjadi martensit temper, baja yang tadinya keras & getas akan menjadi lebih lunak & tangguh. Atom karbon yang tadinya terjebak di proses *Quenching* akan mampu keluar sedikit demi sedikit selama proses *Tempering* (FSCM *Engineering Department*, 2012).

Menurut FSCM *Engineering Department* (2012), Faktor penting yang harus diperhatikan pada saat *Tempering*:

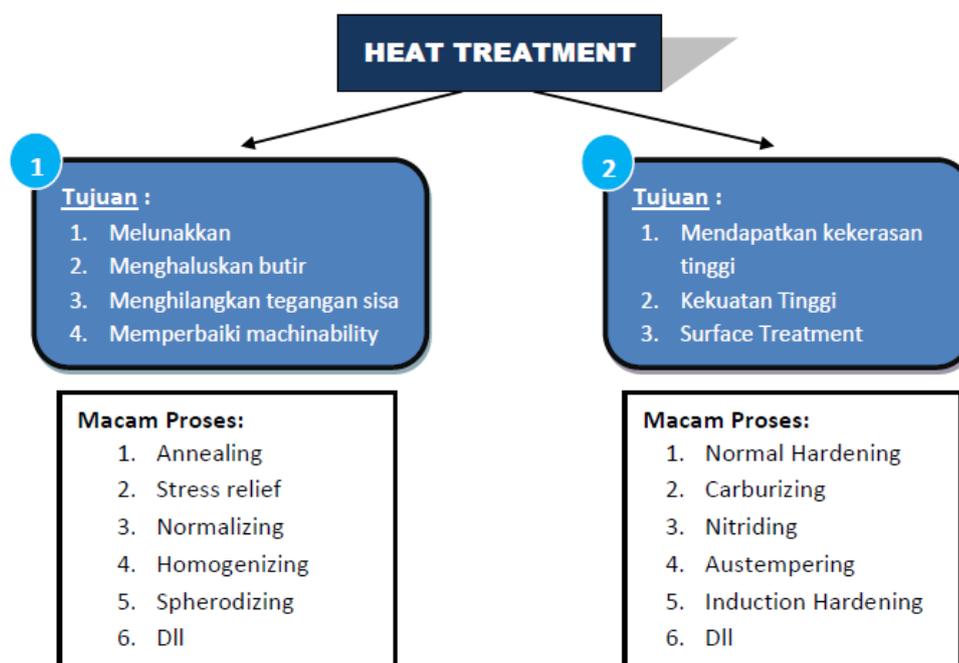
- a. Temperatur tempering harus optimal;
 1. Temperatur terlalu rendah = kekerasan masih terlalu tinggi (atom karbon terlalu sedikit yang keluar, struktur martensit masih banyak)
 2. Temperatur terlalu tinggi = kekerasan terlalu rendah (atom karbon terlalu banyak keluar, terlalu banyak struktur martensit temper yang terbentuk)
- b. Waktu harus optimal;
 1. Waktu terlalu cepat = kekerasan masih terlalu tinggi (atom karbon terlalu sedikit yang keluar, struktur martensit masih banyak)
 2. Waktu terlalu lama = kekerasan terlalu rendah (atom karbon terlalu banyak keluar, terlalu banyak struktur martensit temper yang terbentuk).

2.4.1 Jenis Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Dalam industri manufaktur, terdapat beberapa proses Heat Treatment (HT) yang paling sering digunakan, antara lain (FSCM *Engineering Department*, 2012):

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Normal <i>Hardening</i> | 5. <i>Normalizing</i> |
| 2. <i>Carburizing</i> | 6. <i>Annealing</i> |
| 3. <i>Nitriding</i> | 7. <i>Austempering</i> |
| 4. <i>Carbu-Nitriding/Nitro-Carburizing</i> | 8. Dll |

Proses *heat treatment* secara garis besar dibagi menjadi 2 berdasarkan tujuannya, yaitu pelunakan dan pengerasan. Pembagiannya digambarkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 2.19. Proses *Heat Treatment* berdasarkan tujuan
(Sumber: FSCM *Engineering Department*, 2012).

Jenis Heat Treatment **Nomor 1**, biasanya dilakukan pada material yang sudah melewati proses *Cold-Working* (pengerjaan dingin) atau *machining* yang berat. Misalnya pada proses *rolling*, *sliting*, dan *extrusion raw material*. Proses *heat treatment* seperti *annealing* & *stress relief* perlu dilakukan untuk memperbaiki butir material & menghilangkan tegangan sisa akibat proses *Cold-Working*. Untuk jenis Heat Treatment **Nomor 2** dilakukan untuk mendapatkan sifat kekerasan & kekuatan material baik di dalam (*core*) maupun di permukaan saja (*surface*). (FSCM *Engineering Department*, 2012).

1. Normal *Hardening*

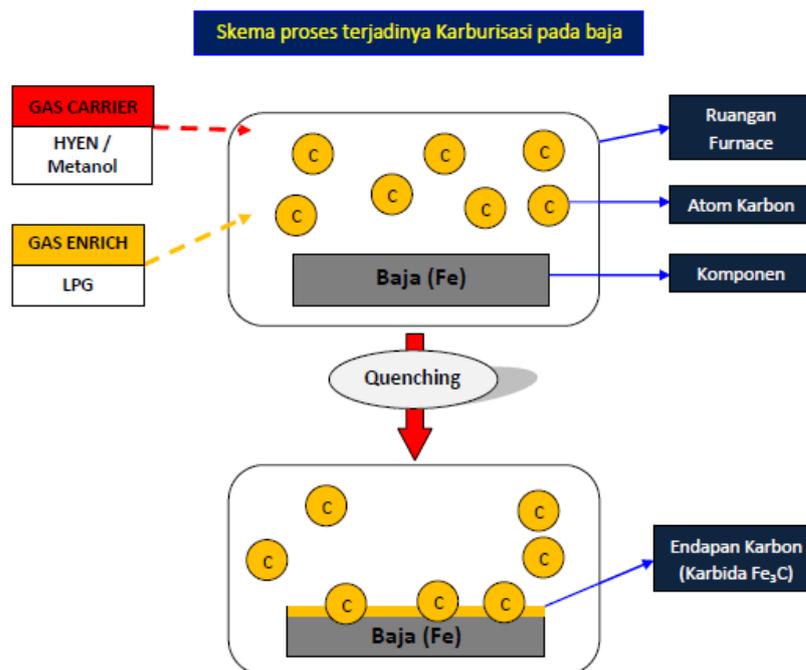
Proses *heat treatment* Normal *hardening* adalah proses *hardening*/pengerasan yang di *Heating* dalam keadaan atmosfer *furnace* yang normal. Komponen hasil proses normal *hardening* ini kekerasannya meningkat karena terbentuknya struktur Martensit (tanpa adanya pengerasan lagi di permukaan). *Hardening* disebut juga penyepuhan merupakan salah satu proses perlakuan panas yang sangat penting dalam produksi komponen-komponen mesin. Untuk mendapatkan

struktur baja yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat diperoleh melalui proses ini (FSCM *Engineering Department*, 2012).

Menurut Kenneth Budinski (1999), pengerasan baja membutuhkan perubahan struktur kristal dari body-centered cubic (BCC) pada suhu ruangan ke struktur kristal face-centered cubic (FCC). Dari diagram keseimbangan besi karbon dapat diketahui besarnya suhu pemanasan logam yang mengandung karbon untuk mendapatkan struktur FCC. Logam tersebut harus dipanaskan dengan sempurna sampai daerah austenit. Gambar 2 menunjukkan daerah temperatur pengerasan untuk baja karbon. Pengerasan meliputi pekerjaan pendinginan yang menyebabkan karbon terbentuk dalam struktur kristal. Pendinginan dilakukan dengan mengeluarkan dengan cepat logam dari dapur pemanas (setelah direndam selama waktu yang cukup untuk mendapatkan temperatur yang dibutuhkan) dan mencelupkan kedalam media pendingin air atau oli.

2. *Carburizing*

carburizing atau karbonisasi adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja karbon rendah, pemanasan karbonisasi dilaksanakan pada suhu $900^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$ (Beumer, 1980).



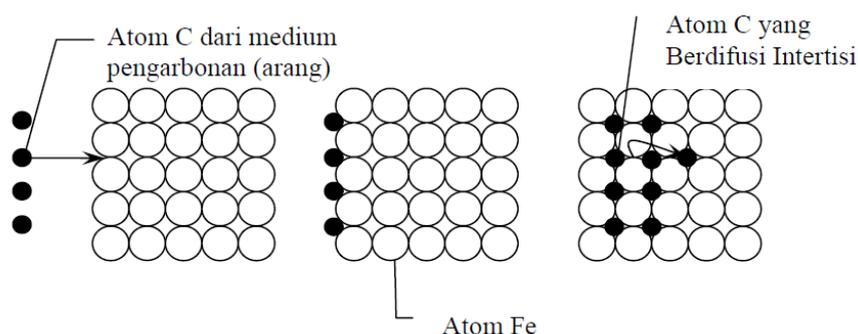
Gambar 2.20. Proses terjadinya Karburisasi
(Sumber: FSCM *Engineering Department*, 2012)

Menurut Sofiyudin (2007), 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), jika karbonisasi menggunakan zat padat maka prosesnya disebut karbonisasi tertutup. Pada proses ini caranya adalah benda kerja dimasukkan ke dalam suatu kotak atau peti 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 ditingggalkan diisi oleh atom karbon yang lainnya. Mekanisme difusi *intertisi* ditunjukkan seperti gambar di bawah ini.



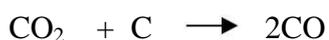
Gambar 2.21. Mekanisme difusi *intertisi*
(Sumber: Beumer, 1980)

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 matrik.

Selama pemanasan di dalam kotak *carburizing* terjadi dua macam gas yaitu:

- Gas karbondioksida (CO₂)
- Gas karbomonooksida (CO)

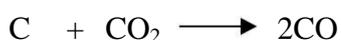
Dengan reaksi sebagai berikut :



Sebagai sumber CO₂ diperoleh dari bahan tambah yang berupa BaCO₃ atau Na₂CO₃ sehingga akan terjadi proses:



Akibat semakin tingginya temperatur pemanasan maka CO akan lebih banyak terbentuk dari pada CO₂ Sehingga akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut (Palallo,1995):



Pada suhu pengarbonan reaksi ini selalu berlangsung kekanan. Karbon monoksida bebas bereaksi dengan besi, kondisi ini seperti pada reaksi dibawah ini:



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). Total kedalaman yang dicapai pada temperatur tertentu dinyatakan sebagai fungsi waktu sebagai berikut :

$$Y = k \sqrt{t} \quad (2.1)$$

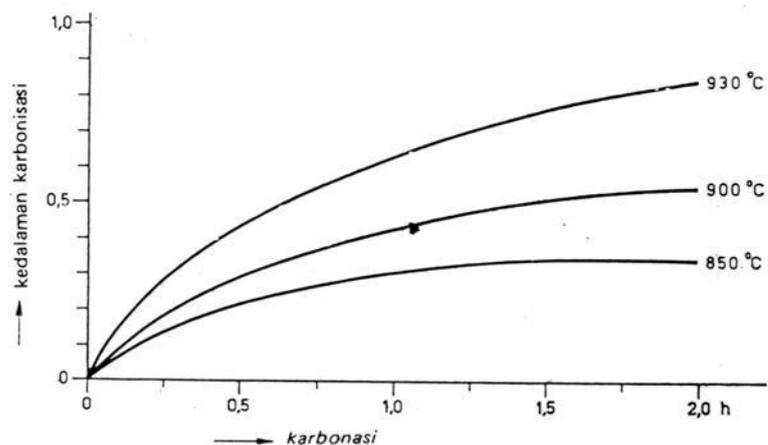
Dimana : Y = total kedalaman fusi
 t = waktu penahan
 k = konstanta yang tergantung material

Pada pengarbonan padat dipakai arang yang dicampur dengan 10 % - 40 % Na_2CO_3 , BaCO_3 , baja dimasukkan ke dalam campuran ini, ditempatkan dalam suatu kotak dan ditutup rapat kemudian dipanaskan pada temperatur 850°C – 950°C (Surdia, 2000). Temperatur ini adalah temperatur *austenit* paduan besi-karbon yang mempunyai bentuk kisi kristal kubik pemusatan sisi (*fcc*). Bentuk kisi ini mempunyai jarak atom yang lebih besar, sehingga interstisinya memungkinkan ditempati oleh atom karbon, dengan demikian permukaan baja akan mempunyai kadar karbon yang tinggi. Kandungan karbon akan bervariasi arahnya dalam menuju inti. Pada permukaan, kandungan karbon tinggi dan akan berkurang dalam arah menuju inti. Konsekuensinya struktur mikro akan berubah pula dari permukaan menuju inti. Dikarenakan pada saat proses pengarbonan terjadi pemanasan pada suhu tinggi dan dalam waktu yang lama maka akan dihasilkan struktur baja yang kasar. Dimensi struktur mikro juga sangat berpengaruh terhadap kekerasan baja (Sofiyyudin, 2007).

b. 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 850°C - 950°C (Vijendra, 1998 : 345) Keuntungan menggunakan karbonisasi dengan perantara zat cair adalah pengurangan 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).



Gambar 2.22. Grafik untuk menentukan waktu karbonisasi dalam bahan karbonasi cair
(Sumber: Beumer, 1980)

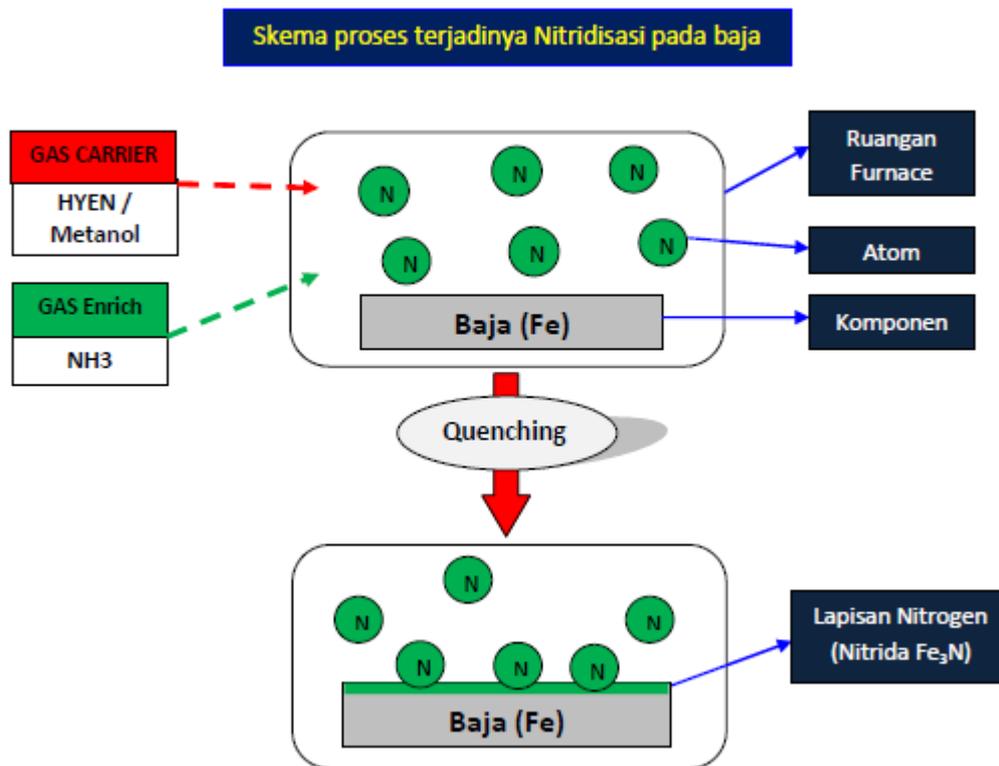
Dari gambar kedalaman karbonisasi yang terdalam untuk penahanan selama 2 jam ditunjukkan pada suhu 930°C yaitu dengan menghasilkan kedalaman sebesar lebih kurang 0,85 mm.

c. Karbonisasi dengan perantara zat gas (*Gas Carburizing*)

Pelaksanaan dengan cara ini adalah benda kerja yang sudah di bersihkan dengan baik serta bebas dari minyak dan rongga terak dimasukkan ke dalam oven yang dapat di tutup kedap. Dalam oven dipusari gas pengarangan pada suhu pemijaran sehingga zat arang menyusup ke dalam benda kerja (Schonmetz, 1985). Lapisan yang dapat dihasilkan adalah dengan tebal 1 mm dan memerlukan waktu sekitar 4 jam.

3. Nitriding

Nitriding atau nitridisasi adalah proses pengerasan permukaan pada baja melalui pemanasan. Kekerasan yang terjadi karena masuknya atom Nitrogen (N) di permukaan baja membentuk lapisan nitrida (FeN). Nitridisasi ini dapat terjadi karena atmosfer *furnace* yang banyak terdapat atom (N) yang berasal dari Amonia (NH_3). Temperatur kerjanya di sekitar $500\text{-}550^{\circ}\text{C}$ (FSCM *Engineering Department*, 2012).



Gambar 2.23. Proses terjadinya Nitridisasi
(Sumber: FSCM Engineering Department, 2012)

Tabel 2.1. Perbedaan *Carburizing* dan *Nitriding*.

Proses	<i>CARBURIZING</i>	<i>NITRIDING</i>
Sumber atom	Gas CO (LPG, Methanol, HYEN)	Gas Ammonia
Apa yang terjadi	Difusi Karbon (C)	Difusi Nitrogen (N)
Temperatur proses	815-980 °C	500-550 °C
Jenis baja yang diproses	Baja karbon rendah & medium	Baja karbon rendah & medium
Karakteristik proses	<ul style="list-style-type: none"> - Terbentuk lapisan carbida Fe₃C - Kontrol <i>Case depth</i> - Kontrol gas yang baik <ul style="list-style-type: none"> - kekerasan - ketahanan aus 	<ul style="list-style-type: none"> - Terbentuk lapisan nitrida Fe₃N - Penyimpangan dimensi rendah - Proses berjalan lambat <ul style="list-style-type: none"> - Kekerasan - Ketahanan aus - Tahan korosi

(Sumber: FSCM Engineering Department, 2012).

4. *Austempering*

Austempering atau *Austemper* adalah salah satu proses pengerasan baja. Adapun urutan proses pengerasan baja pada *Austemper* adalah di awalain dengan pemanasan baja di temperatur *Austenisasi* baja di dalam atmosfer normal selama waktu tertentu. Setelah proses pemanasan, baja akan di *quenching* di dalam lelehan garam (*molten salt*) selama beberapa waktu. Selama baja ditahan di dalam lelehan garam, terjadilah pembentukan Struktur mikro yang ulet, kuat dan tangguh yang disebut *Bainit*. Selama di dalam garam bertemperatur tinggi ini, baja akan mengalami seperti di *tempering* (proses *quench-temper*). Setelah waktu tahan terlewati maka baja dapat didinginkan di temperatur ruang (FSCM Engineering Department, 2012).

2.4.2 Pengerasan Permukaan Baja (*Steel Surface Hardening*)

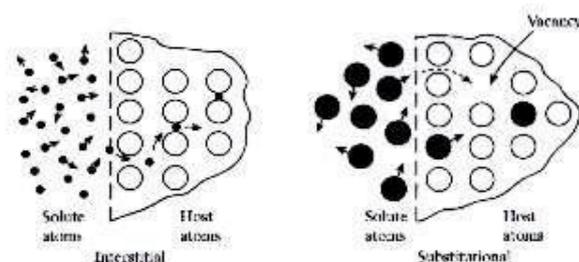
Pengerasan permukaan dilakukan dengan 2 cara yaitu seluruh permukaan dikeraskan atau sebagian saja dari permukaan yang dikeraskan. Tujuan pengerasan permukaan secara umum adalah memperbaiki ketahanan aus. Pengerasan permukaan pada baja meliputi dua jenis yaitu *induction hardening* dan *thermo chemical treatment*. Prinsip kerja *induction hardening* adalah memanaskan permukaan baja hingga temperatur *austenit* yang sesuai dengan baja yang bersangkutan, kemudian disemprotkan pendingin sehingga permukaan menjadi keras. Prinsip kerja dari *thermo chemical treatment* adalah menambahkan unsur karbon ke dalam baja untuk mengeraskan bagian permukaan baja tersebut. Salah satu penerapan dari proses *thermo chemical treatment* adalah *carburising* (pengarbonan). *Thermo chemical treatment* dilakukan terhadap baja yang mempunyai kadar karbon di bawah 0,3%. Kadar karbon ini tidak memungkinkan terjadinya fasa *martensit* yang keras (Nurharyanto, 2009).

Menurut Schonmetz (1985), Komponen mesin yang saling bergesekan dengan pasangannya pada saat mencapai fungsi rakitan (*assembling*), membutuhkan permukaan yang keras dan tahan aus. Namun juga memerlukan bagian inti yang ulet agar mampu menerima beban dinamis. Sifat material seperti ini dapat diperoleh melalui pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan terhadap material baja dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu :

1. Pengerasan permukaan pada material baja yang mengandung serendah-rendahnya 0,35 % karbon. Baja ini telah memenuhi syarat untuk dikeraskan secara langsung. Pemanasan pada temperatur pengerasan dilakukan secara cepat, agar panas tersebut hanya mencapai kedalaman permukaan yang tipis. Selanjutnya dilakukan proses pendinginan kejut agar dicapai struktur martensit hanya pada permukaannya saja dan intinya masih ulet.
2. Pengerasan permukaan pada material baja yang mengandung setinggi-tingginya 0,2 % karbon. Baja ini termasuk dalam kelompok baja karbon rendah, yang tidak bisa langsung dikeraskan. Penambahan unsur karbon dibutuhkan agar jumlah kandungannya meningkat sehingga memenuhi syarat permukaannya saja, karena hal ini tergantung pada hasil difusi karbon kedalam struktur baja.

2.4.3 Difusi Pada Baja

Jika kita ingin melakukan pengerasan pada baja dimana tidak memiliki banyak kandungan karbon dan paduan lain untuk dikeraskan dengan *quenching*, perlakuan difusi dapat diterapkan untuk menambah elemen paduan pada permukaan yang akan dikeraskan. Difusi adalah perpindahan secara spontan dari atom atau molekul dalam suatu bahan yang cenderung untuk menjaga keseragaman komposisi secara keseluruhan. Ada dua cara berbeda suatu atom padat dapat terdifusi ke dalam logam induk. Gambar 2.18 memperlihatkan atom padat yang kecil menuju ruang kosong antara atom-atom logam induk. Ini disebut *interstitial diffusion*. Jika kita ingin mencoba mendifusikan atom yang besar ke dalam logam induk, tentu akan terlalu besar untuk dapat mengisi ruang kosong yang ada. Dalam kasus ini, *substitutional diffusion* mungkin dapat terjadi. Atom padat mencari jalannya sendiri untuk menemukan kekosongan atom dalam logam induk dan menempatnya. Kekosongan atom adalah tempat atom yang seharusnya terisi atom tetapi tidak terdapat atom di tempat tersebut (Nurharyanto, 2009).



Gambar 2.24. Proses terjadinya difusi
(Sumber: Budinski, 1999)

Beberapa teori difusi secara praktis dapat dijelaskan sebagai berikut (Budinski, 1999) :

1. Proses difusi untuk pengerasan baja biasanya membutuhkan temperatur yang tinggi, lebih besar dari 900°F (482°C).
2. Agar difusi dapat terjadi logam induk harus memiliki konsentrasi unsur pendifusi yang rendah dan harus terdapat konsentrasi yang lebih banyak pada lingkungan atau sebaliknya.
3. Difusi hanya akan terjadi ketika ada atom yang cocok antara atom pendifusi dan logam induk.

2.5 Tinjauan Uji Kekerasan Pada Baja

Pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilakukan pada benda uji yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia, 2000).

Salah satu alat yang paling banyak untuk menguji kekerasan suatu bahan ialah menggunakan *Rockwell Hardness Tester*, berbeda dengan metode Brinell dan vikers 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 indentor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Oleh karena itu Pada penelitian ini menggunakan Metode yang paling umum dipakai yaitu Rockwell B (dengan indentor bola baja berdiameter 1/16 inci dan beban 100kg).

Pengujian kekerasan *Rockwell* merupakan salah satu pengujian kekerasan yang mulai banyak digunakan hal ini dikarenakan pengujian kekerasan Rockwell yang sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak. Pengujian kekerasan *Rockwell* dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indentor. Penekanan indentor ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Adapun standar kekerasan metode pengujian *Rockwell* ditunjukkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2.2 Standar pengujian kekerasan *rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

(Sumber: DIN 50103, 1995)

Dalam metode *Rockwell* ini terdapat dua macam indentor yang ukurannya bervariasi, yaitu :

1. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai *Rockwell Cone*.
2. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *Rockwell Ball*.

Dalam proses pengujian kekerasan metode *Rockwell* diberikan dua tahap pada proses pembebanan. Tahap Beban Minor dan Beban Mayor. Beban minor besarnya maksimal 10 kg sedangkan beban mayor bergantung pada skala kekerasan yang digunakan.

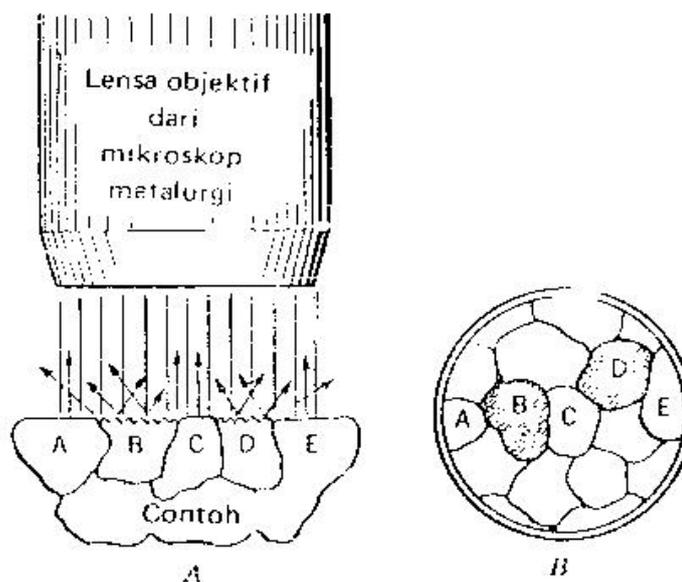
2.6 Pengujian Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi dapat dilihat dengan menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya : mikroskop *electron*, mikroskop *field ion*, mikroskop *field emission*, dan mikroskop sinar – X. penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya, adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pemotongan spesimen, pengampelasan dan pemolesan dilanjutkan pengetsaan. Setelah dipilih bahan uji dan diratakan kedua permukaannya, setelah memastikan rata betul kemudian dilanjutkan dengan proses pengampelasan dengan nomor kekasaran yang berurutan dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar). Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. pemolesan dilakukan dengan autosol yaitu *metal polish*, bertujuan agar didapat permukaan yang rata dan halus tanpa goresan sehingga terlihat mengkilap seperti kaca. Langkah terakhir sebelum melihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen dalam larutan etsa dengan posisi permukaan yang di etsa menghadap keatas. Selama pencelupan akan terjadi reaksi terhadap permukaan spesimen sehingga larutan yang menyentuh spesimen harus segar/baru, oleh karena itu perlu digerak-gerakkan. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan

dilihat atau difoto dengan mikroskop logam. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.



Gambar 2.26. Pemeriksaan benda uji dengan mikroskop metalurgi.
 A contoh yang diutsa sedang diperiksa dengan mikroskop.
 B Penampilan contoh melalui mikroskop
 (Sumber: Sofiyudin, 2007)

2.7 Specimen Pengujian

2.7.1 Sprocket

Menurut Soelaiman (2006), berdasarkan hasil penelitiannya yang menguji *gear sprocket standart* dan *gear sprocket racing*, *gear sprocket* diklarifikasikan termasuk baja karbon rendah jika dilihat pada nilai karbonnya (0,025% - 0,35%).

Sprocket memiliki arti roda bergerigi yang berpasangan dengan rantai (*chain*), *Sprocket* berbeda dengan roda gigi (*gear*). *sprocket* tidak pernah bersinggungan dengan *sprocket* lainnya dan tidak pernah cocok. *Sprocket* juga berbeda dengan puli di mana *sprocket* memiliki gigi sedangkan puli pada umumnya tidak memiliki gigi. *Sprocket* yang digunakan pada sepeda, sepeda motor, mobil, kendaraan roda rantai, dan mesin lainnya digunakan untuk

mentransmisikan gaya putar antara dua poros di mana roda gigi tidak mampu menjangkaunya.

Sprocket sepeda motor juga mempunyai kekuatan yang berbeda-beda misalnya *sprocket genuine* adalah salah satu produk yang teruji dan berstandar dari segi bahan, kualitas dan mutu. *Sprocket* imitasi yang jauh dari standar pembuatannya masih diragukan dari segi bahan kualitas, dan mutu produk tersebut (Wisnujati, 20177).



Gambar 2.27. *sprocket genuine* (kiri), *sprocket imitasi* (kanan)
(Sumber: Bukalapak.com)

2.7.2 Kayu Gelam

Pohon gelam (*Melaleuca sp.*) adalah salah satu jenis tumbuhan dari suku *Myrtaceae* yang diketahui tumbuh pada areal daratan rendah berawa (*coastal swampy lowlands*) di beberapa negara seperti Indonesia, Malaysia, Singapura, Thailand, Australia bagian Utara. Keluarga *Melaleuca* sendiri yang meliputi lebih dari 200 jenis, mempunyai sebaran tempat tumbuh yang cukup luas, sebagian besar merupakan jenis endemik di Australia, beberapa jenis tumbuh di Malaysia dan New Kalidonia (Quinn dkk., 1998).

Mas'ad dkk. (2008), melakukan penelitian terhadap *sprocket* imitasi dengan menggunakan *pack carburizing* dengan memakai arang kayu mlanding untuk menaikkan kadar karbon pada *sprocket* imitasi.

Darmanto (2006), telah melakukan penelitian tentang sifat mekanis baja dipengaruhi oleh prosentase karbon dalam paduan. Kadar karbon dapat diubah

prosentasenya dengan cara *carburizing*, yaitu suatu proses untuk menaikkan kadar karbon dengan cara *thermochemical heat treatment*. Proses pada penelitian ini menggunakan arang batok kelapa.

Setyono Y (2012) melakukan penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbonisasi arang kayu sengon. Penelitian ini menggunakan temperatur 900° C variasi waktu 2 jam dan 4 jam dengan proses karbonisasi, harga kekerasan yang semula 247,0 VHN (raw material) meningkat menjadi 250,2 VHN (karbonisasi 2 jam) dan 260,3 VHN (karbonisasi 4 jam).

Dewa (2016) melakukan penelitian terhadap baja karbon rendah dengan metode *carburizing* menggunakan arang bambu, arang tulang bebek, arang tulang kambing, dan arang pelepa kelapa dan membandingkan arang yang paling banyak memiliki kandungan karbon yang besar.

Adinata (2017) telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan yang sering digunakan sebagai bahan konstruksi dengan metode *pack carburizing* dengan penambahan karbon yang bersumber dari arang kayu jati.

Dari sekian banyak penelitian tentang *pack carburizing* belum ada yang memakai arang kayu gelam sebagai sumber karbon, maka peneliti tertarik melakukan penelitian *sprocket* menggunakan arang kayu gelam dengan metode *pack carburizing*. Selain itu, pemanfaatan kayu gelam sebagai arang untuk *carburizing* dikarenakan banyaknya kayu gelam yang tidak terpakai setelah digunakan sebagai bahan tiang penyangga untuk konstruksi bangunan.



Gambar 2.28. Kayu gelam
(sumber: jualkayudolkengelam.com)

2.7.3 Kerang Remis

Remis (*Meretrix Sp.*) adalah sekelompok kerang-kerangan kecil yang hidup di dasar perairan, khususnya dari genus *Meretrix*, famili *Veneridae*. Remis mempunyai cangkang yang kuat dan simetris, bentuk cangkang agak bundar atau memanjang. Permukaan periostrakum agak licin, bagian dalam berwarna putih dan bagian luar berwarna abu-abu kecoklatan. Hidup membenamkan diri dalam substrat.

Pada dasarnya bahan-bahan yang digunakan dalam *pack carburizing* yaitu, arang kayu, arang batok kelapa, arang tulang, dan arang bambu. Untuk mempercepat proses karbonisasi maka ditambahkan barium karbonat (BaCO_3), natrium karbonat (NaCO_3), dan kalsium karbonat (CaCO_3). Ketiga bahan tambahan tersebut termasuk jenis bahan-bahan katalisator dalam proses *carburizing*. Ternyata cangkang kerang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat dijadikan sebagai *energizer* alternatif di dalam proses karbonisasi padat selain barium karbonat (BaCO_3) dan natrium karbonat (NaCO_3) (Sujita, 2016).

Sujita (2016), melakukan penelitian proses *pack carburizing* dengan media *carburizer* alternatif serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara sebagai katalisator, dengan serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara ditimbang sesuai dengan komposisi yang diinginkan dengan pencampuran serbuk cangkang kerang mutiara 5, 10, 20, dan 25 (% dari berat arang tongkol jagung)

Jamil dan Abdullah (2013), telah melakukan penelitian terhadap sifat mekanik dan keausan Baja St37 dengan metode karbonisasi padat dengan katalisator cangkang kerang darah (CaCO_3), dengan perbandingan cangkang kerang darah (CaCO_3) sebanyak 30% dan karbon tempurung kelapa 70%.

Nanulaitta dan Patty (2011), melakukan penelitian analisa nilai kekerasan baja karbon rendah (S35C) dengan pengaruh waktu penahanan (*Holding time*) melalui proses pengarbonan padat (*pack carburizing*) dengan pemanfaatan cangkang kerang sebagai katalisator, pada proses *carburizing* ini dipakai bahan

bubuk karbon dengan komposisi 60% dan cangkang kerang (CaCO_3) 40% sebagai *energizer*.

Dari sekian banyak penelitian tentang *pack carburizing* belum ada yang memakai kerang remis sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi karburisasi, maka peneliti tertarik melakukan penelitian *sprocket* menggunakan serbuk cangkang kerang remis sebagai campuran dan katalis dari arang kayu gelam dengan metode *pack carburizing*. Selain itu, cangkang kerang remis banyak dijumpai di Palembang sebagai limbah setelah daging dalam kerang remis diambil dan cangkangnya dibuang.

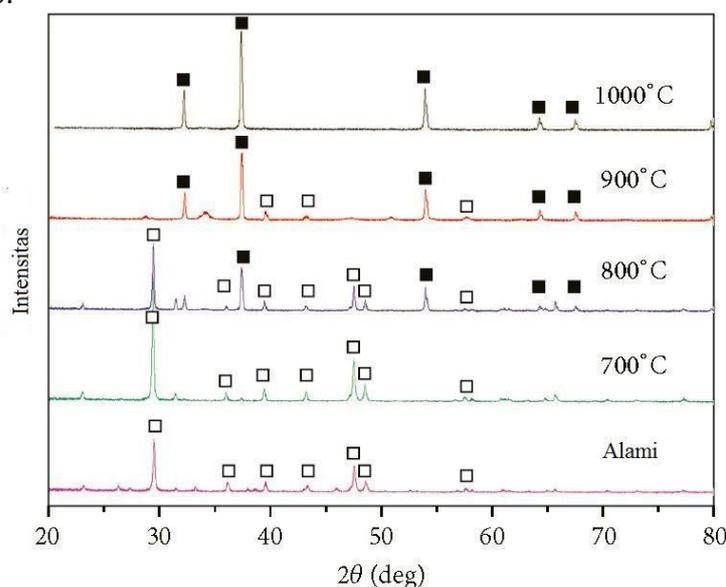


Gambar 2.29. Kerang remis (*Meretrix Sp.*)
(Sumber : salamisimon1.blogspot.co.id)

a. Komposisi Kimia Cangkang Kerang Remis

Hasil XRD menunjukkan bahwa komposisi utama cangkang kerang alami adalah CaCO_3 tanpa adanya puncak CaO , yang terlihat pada puncak difraksi 2θ sekitar $29,2^\circ$. Semakin meningkatnya suhu kalsinasi, maka CaCO_3 akan berubah menjadi CaO dengan hilangnya CO_2 pada CaCO_3 . Komposisi utama katalis yang dikalsinasi pada suhu $\geq 900^\circ\text{C}$ adalah CaO . Puncak yang sempit dan intensitas

tinggi dari katalis yang dikalsinasi menentukan struktur kristal yang baik dari katalis CaO. Komponen utama dari limbah cangkang yang dikalsinasi pada 1.000°C selama 4 jam adalah senyawa CaO (Gapur, 2014). Ini dapat dilihat pada gambar 2.30.



Gambar 2.30. Pola XRD dari cangkang kerang alami dan kalsinasi
(□: CaCO₃, ■: CaO)
(Sumber: Gapur, 2014)

Tabel 2.3. Komposisi kimia katalis limbah cangkang Remis

Senyawa	Konsentrasi (% Berat) dari Cangkang Remis
CaO	97,529
Na ₂ O	0,565
SO ₃	1,568
P ₂ O ₅	0,204
SrO	0,107
ZrO ₂	0,027

(Sumber: Gapur, 2014)

Komposisi kimia katalis dapat dilihat pada **Tabel 2.2**. Komponen mineral utama adalah CaO hasil dari pembakaran kalsium karbonat (CaCO₃) pada suhu 1000 °C. Katalis yang berasal dari limbah cangkang remis mempunyai konsentrasi CaO 97,53 % berat (Gapur, 2014).