

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Tinjauan Umum tentang Besi Tuang

Besi tuang merupakan suatu kelompok material yang banyak aplikasinya dalam dunia rekayasa. Hal ini dikarenakan *besi tuang mengandung sifat sifat yang menguntungkan*; diantaranya sifat tuang yang baik, sifat mekanis yang cukup baik (kekuatan tarik dan kekerasan), kemampuan mesin yang baik, ketahanan aus serta kemudahan dan rendah dalam pembiayaan produksinya.

Besi tuang, seperti juga baja adalah merupakan paduan dasar dari besi dan karbon. Hal yang membedakannya adalah kandungan karbon pada besi tuang lebih besar dari pada baja, hampir semua pembuatan besi tuang secara komersial mengandung 2,5% - 4 % karbon (Weight%). Secara teoritis, besi tuang dapat dikategorikan mengandung karbon sebesar dari 2% sampai 6,57 % .

Pengaruh kadar karbon yang tinggi ini tentunya membuat besi tuang cenderung menjadi rapuh. Dengan perkataan lain, keuletan besi tuang sangat rendah sehingga tentunya tidak dapat mengalami penggilingan, drawing ataupun pengerjaan pengubahan bentuk lainnya pada temperatur kamar. Sebagian besar tipe besi tuang tidak dapat ditempa pada semua temperatur, tetapi besi tuang mudah dicor dan dilebur untuk mendapatkan bentuk-bentuk yang rumit.

Meskipun secara umum besi tuang lebih rapuh dan memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan baja, namun besi tuang lebih murah dan lebih mudah untuk dicor. Selain itu dengan penambahan paduan, pengendalian pengecoran yang baik dan perlakuan panas yang memenuhi syarat, tentunya akan diperoleh sifat-sifat mekanis dari besi tuang yang lebih baik.

2.1 Komposisi Besi Tuang

Selain mengandung karbon dan silikon, besi tuang tentunya masih mengandung beberapa unsur lain yang cukup berpengaruh yang selanjutnya akan memberikan pengkategorian dari besi tuang tersebut. Komposisi kimia dari beberapa besi tuang dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Komposisi kimia beberapa jenis besi tuang

Type of Iron	(% of Weight)				
	Carbon	Silikon	Mangan	Sulfur	Phosphor
White	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.20	0.06-0.2
Malleable (Cast White)	2.2-2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-2.20	0.02-2.2
Gray	2.5-4.0	1.0-3.0	0.20-1.0	0.02-0.25	0.02-1.0
Ductile	3.0-4.0	1.8-2.8	0.10-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Compacted Graphite	2.5-4.0	1.0-3.0	0.20-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1

Didalam besi tuang, karbon dapat berkombinasi dengan besi membentuk karbida besi (FeC) atau dalam keadaan bebas sebagai grafit (C), proses ini disebut sebagai grafitisasi. Grafitisasi adalah proses dimana karbon bebas yang pada awalnya diendapkan dalam besi menjadi sementit (Fe_3C) selanjutnya diubah kembali menjadi karbon bebas. Dengan meningkatkan kadar karbon yang terkandung dalam besi (% beratnya), terutama diatas 2 % maka akan semakin memperbesar kemungkinan terjadinya grafitisasi. Disamping itu, dengan adanya elemen tambahan seperti silikon (Si), maka sementit (Fe_3C) juga akan menjadi kurang stabil dan akan cenderung berbentuk grafit.

Berdasarkan hal tersebut maka dapatlah dikatakan bahwa dua (2) unsur/elemen yang berpengaruh besar terhadap sifat-sifat dan aplikasi besi tuang adalah karbon dan silikon. Unsur-unsur tersebut berpengaruh juga pada proses grafitisasi dikarenakan karbon dan silikon merupakan intertisi atom unsur paduan yang -

terbanyak dalam besi tuang. Dalam sudut pandang engineering, Silikon (Si) sering juga disebut sebagai Stabilizer Graphite karena mempromosikan pembentukan grafit.

2.1.1 Struktur Matriks Besi tuang

Sifat-sifat mekanis besi tuang sangat tergantung pada struktur matriksnya. Komponen-komponen struktur dari besi tuang akan membedakan berbagai tipe dari besi tuang tersebut.

Komponen-komponen yang penting itu adalah :

a. Grafit

Merupakan karbon dalam keadaan bebas didalam besi. Grafit merupakan suatu bentuk kristal karbon yang sifatnya lunak dan rapuh. *Kadar, bentuk, ukuran dan distribusi dari grafit akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dari besi tuang.* Besi tuang bergrafit bulat mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan besi bergrafit serpih. Hal ini dikarenakan serpihan grafit akan mengalami pemusatan tegangan pada ujung-ujungnya bila dikenai suatu gaya yang bekerja tegak lurus pada anak serpih, tetapi tidak demikian halnya pada besi tuang yang bergrafit bulat.

b. Sementit (Fe_3C)

Merupakan karbon dalam besi tuang yang terikat dengan besi yang berbentuk sementit atau Fe_3C yang mengandung 6,67 % berat karbon. *Sementit merupakan senyawa interstisi yang keras dan rapuh, namun kekuatan kompresinya cukup tinggi.*

Biasanya dibedakan dua jenis sementit yaitu sementit primer dan sementit sekunder. *Sementit primer adalah sementit yang terbentuk sesudah*

pembekuan pada komposisi hipereutektik, sementara sementit sekunder terbentuk sesudah pembekuan kepada hipereutektik atau tepatnya merupakan reaksi eutektoid austenit. Pengendapan karbon dalam larutan padat besi yang jenuh karbon seperti itu tidak pernah menghasilkan grafit, karena nukleasi atau pengintian sementit terjadi jauh lebih cepat dari pengintian grafitnya.

c. Ferrite (α -Fe)

Ferrite adalah larutan padat besi dimana kelarutan karbon didalamnya hanya dalam persentasi kecil (*max 0,025 % $^{\circ}$ C pada 723 $^{\circ}$ C*) dengan struktur kristal kubus pemusatan ruang (BCC) dan memiliki sifat yang relatif lunak, ulet serta kekuatan mekanis yang sedang.

Pada besi tuang, ferrite mengandung silikon yang menaikkan kekerasan dan kekuatan tarik. Ferrite dalam besi tuang dapat berupa ferrite bebas atau berikatan dengan sementit yang selanjutnya dikenal sebagai pearlite.

Ferrite bebas merupakan komponen yang dominan dalam besi tuang mampu tempa (Malleabel) dan besi tuang nodular (Ductile-Iron) dengan keuletan maksimum.

Dalam besi tuang kelabu (Gray Cast-Iron), ferrite terutama didapat sebagai komponen pearlit. Jika terjadi proses penggrafitan yang kurang sempurna, sering kali pada akhir prosesnya besi tuang akan terdiri dari grafit dan perlit atau campuran perlit dan ferit bebas ataupun campuran perlit dan sementit bebasnya.

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

Pearlite merupakan campuran eutektoid dari ferrite dan sementit yang membentuk lapisan-lapisan yang berselang-seling membentuk lamelar dan mengandung maksimum 0,8 % karbon. Proses pembentukannya tentu saja harus melalui pendinginan yang sangat lambat.

Banyaknya perlit dalam besi tuang tergantung pada proses penggrafitan yang terjadi. Dalam besi tuang kelabu dan nodular, banyaknya karbon yang terikat menunjukkan adanya perlit.

2.1.2 Klasifikasi Besi Tuang

Besi tuang dapat diklasifikasikan berdasarkan strukturmikronya secara penelaahan metallografinya. *Klasifikasi dari besi tuang tersebut menggunakan 4 (empat) variabel pokok untuk membedakan jenis-jenis besi tuang itu sendiri, yaitu diantaranya :*

1. *Kadar karbon*
2. *Kadar paduan dan pengotor*
3. *Laju pendinginan selama dan setelah pembekuan*
4. *Perlakuan panas yang diberikan*

Faktor-faktor diatas akan menentukan kondisi akhir dari strukturmikro besi tuang khususnya keadaan karbon di dalam besi, apakah sebagai grafit bebas atau terikat sebagai karbida. *Tabel 2* akan memperlihatkan jenis-jenis besi tuang secara garis besarnya.

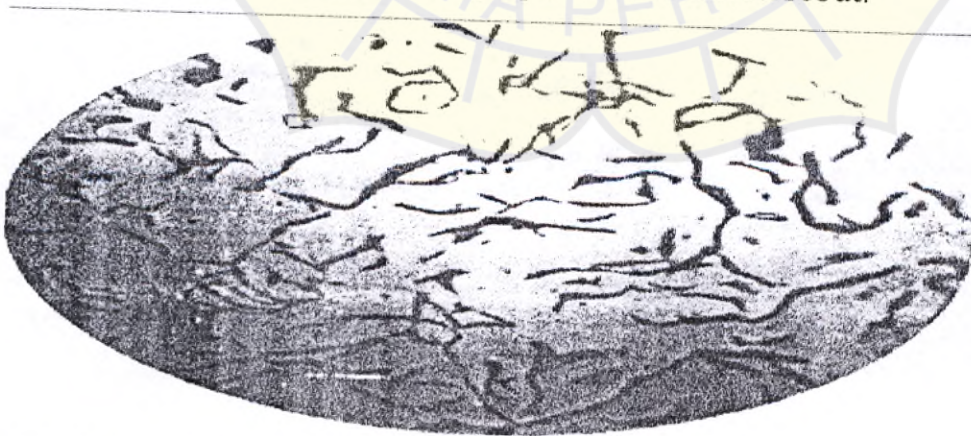
Tabel 2. Jenis-jenis besi tuang

Jenis – jenis besi tuang	Struktur Mikro
1. Besi tuang putih	Karbida besi
2. Besi tuang mampu tanpa	Grafit berbentuk gumpalan/kapas
3. Besi tuang kelabu	Grafit serpih
4. Besi tuang Nodular	Grafit bulat
Besi tuang grafit	Grafit berbentuk tebal-tebal

2.2 Metallurgi Besi Tuang Kelabu (BTK - lamellar)

Besi tuang kelabu (BTK) lamelar dalam aplikasinya berdasarkan kualitasnya di pasaran dapat kita bedakan atas besi tuang kelabu kualitas GG dan besi tuang kelabu kualitas lunak GGz. Adanya karbon dalam bahan besi tuang kelabu akan terlihat dalam bentuk lamel-lamel grafit yang kelihatan seperti jarum jarum dalam 100 x perbesaran mikro-strukturnya di mikroskop optik.

Hal ini dapat kita temukan bilamana kita mematahkan bahan dari besi tuang kelabu dimana akan kita temukan lamel-lamel grafit yang kecil tersebut memberikan warna kelabu pada permukaan tempat patahannya itu. Karbonnya akan terlihat seperti garis-garis yang melalui perpatahan bahan tersebut.



Gambar 1. Struktur (susunan) dari besi tuang kelabu (BTK) lameler.

Karbon dalam bentuk grafit ini adalah merupakan zat arang (karbon) murni yang lemah sekali dan tidak dapat menahan gaya – gaya tarik ataupun gaya-gaya tekan sehingga akan merupakan pelemahan terhadap bahan tersebut, oleh karena itulah kenapa BTK sangat rendah keuletannya. Serpihan grafit (lameler) terbentuk dalam logam sewaktu membeku. Serpihan grafit ini merupakan peredam getaran yang sangat baik.

Didasarkan hal tersebutlah kenapa besi tuang kelabu (BTK) pada aplikasinya banyak digunakan sebagai landasan mesin-mesin dan alat berat. Walaupun BTK merupakan suatu bentuk khusus dari besi tuang, akan tetapi komposisi kimia, struktur dan sifat dari BTK tersebut memiliki batasan tertentu.

Batasan komposisi untuk pepaduan pada BTK akanlah lebih mudah untuk dipahami dengan memperhatikan prinsip-prinsip dasar dari besi tuang tersebut yang dapat divisualisasikan melalui diagram keseimbangan Fe – C dan diagram kesetimbangan Fe – Fe₃C sebagai acuan dasar dari metalurgi Besi Tuang Kelabu (BTK) tersebut.

2.2.1 Sistem Metastabil dari Fe-Fe₃C dan Sistem Stabil Fe-C.

Pada umumnya untuk mengetahui kesetimbangan suatu sistem paduan maka secara engineering dapatlah mengacu kepada diagram fasa yang dibentuk oleh paduan tersebut. Diagram fasa Sistem metastabil dari Fe-Fe₃C dan Sistem stabil Fe-C dapat dilihat pada “ *the atlas of Phase diagram* ” .

Dalam diagram fasa digambarkan kesetimbangan dari sistem Fe – Fe₃C , dimana karbon merupakan unsur elemen dasar pembentuk besi karbida (Fe₃C). Baik selama proses pembekuannya ataupun saat peleburannya, Fe₃C bekerja berdasarkan prinsip utama fasa-fasa yang ada pada diagram kesetimbangannya.

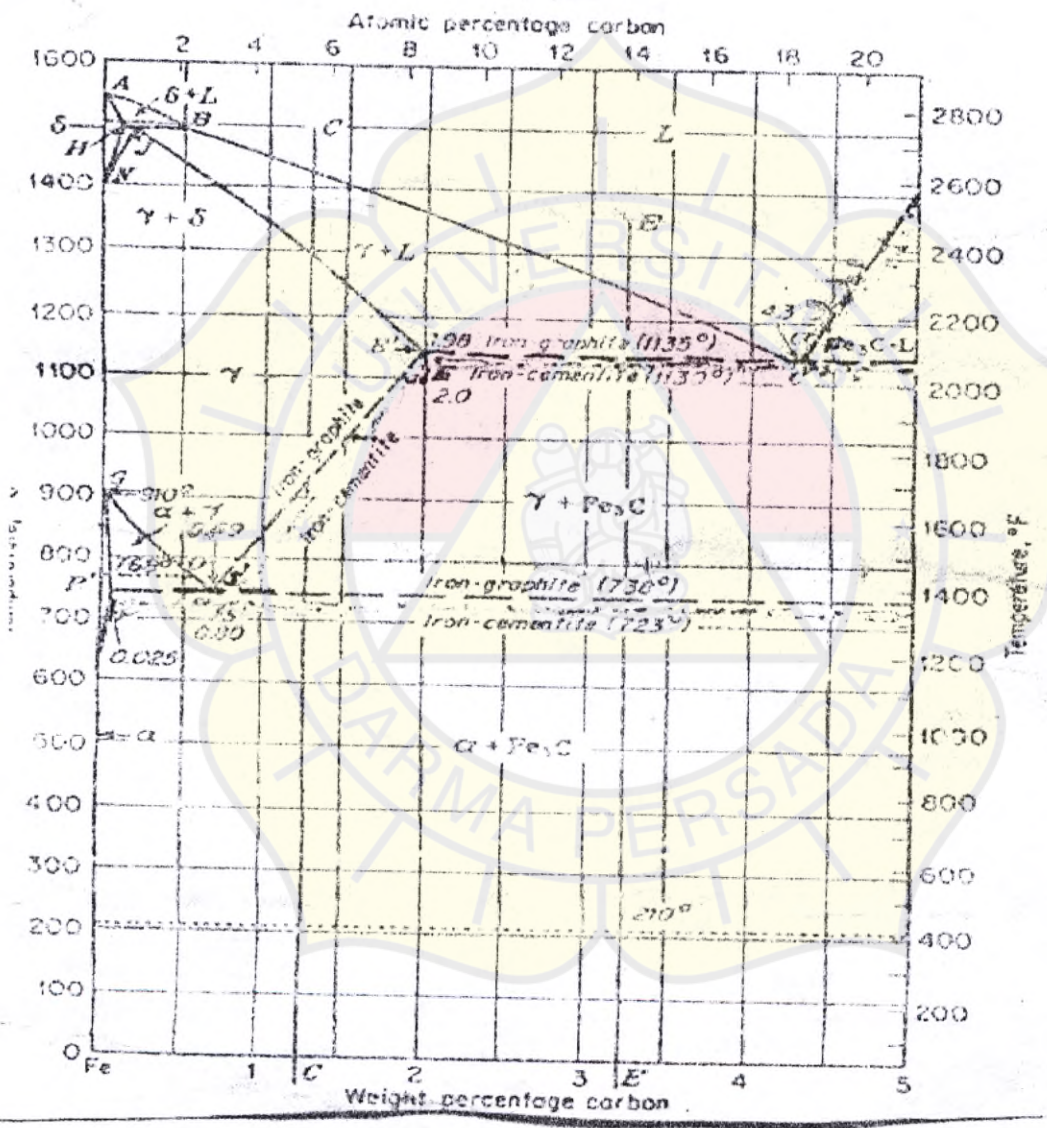
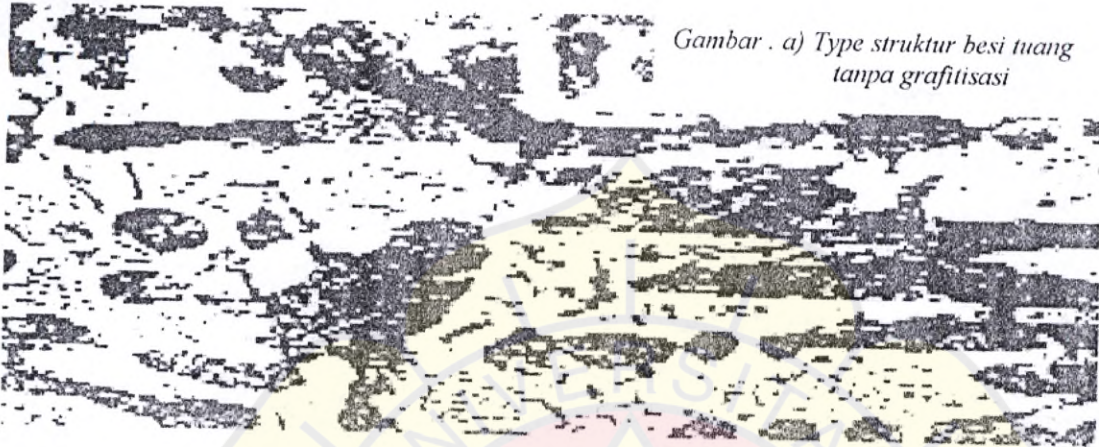


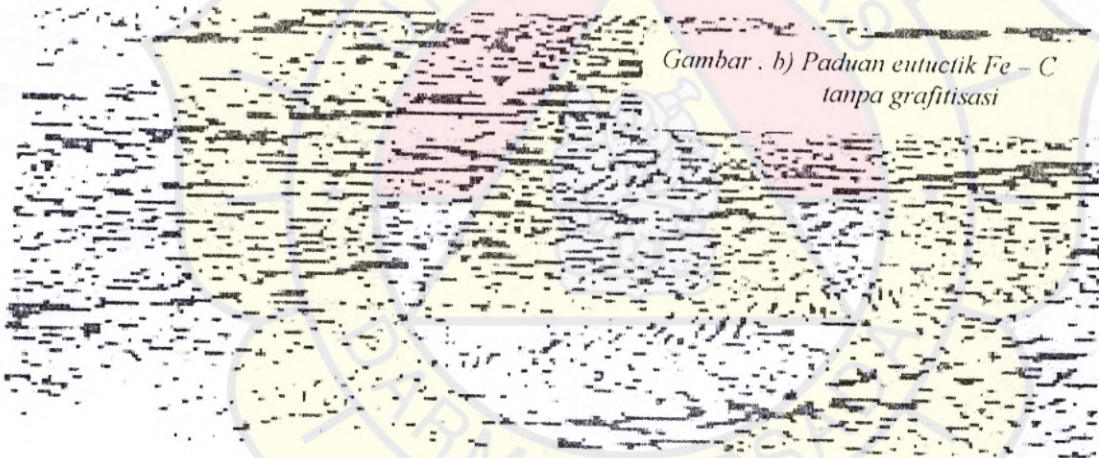
Diagram Fasa dari kesetimbangan Fe – Fe₃C

Pada titik eutektiknya paduan besi dengan kadar karbon 4,3% dapat membeku tanpa harus membentuk inti austenitnya yang dapat divisualisasikan seperti di bawah ini :

Gambar . a) Type struktur besi tuang tanpa grafitisasi



Gambar . b) Paduan eutektik Fe - C tanpa grafitisasi

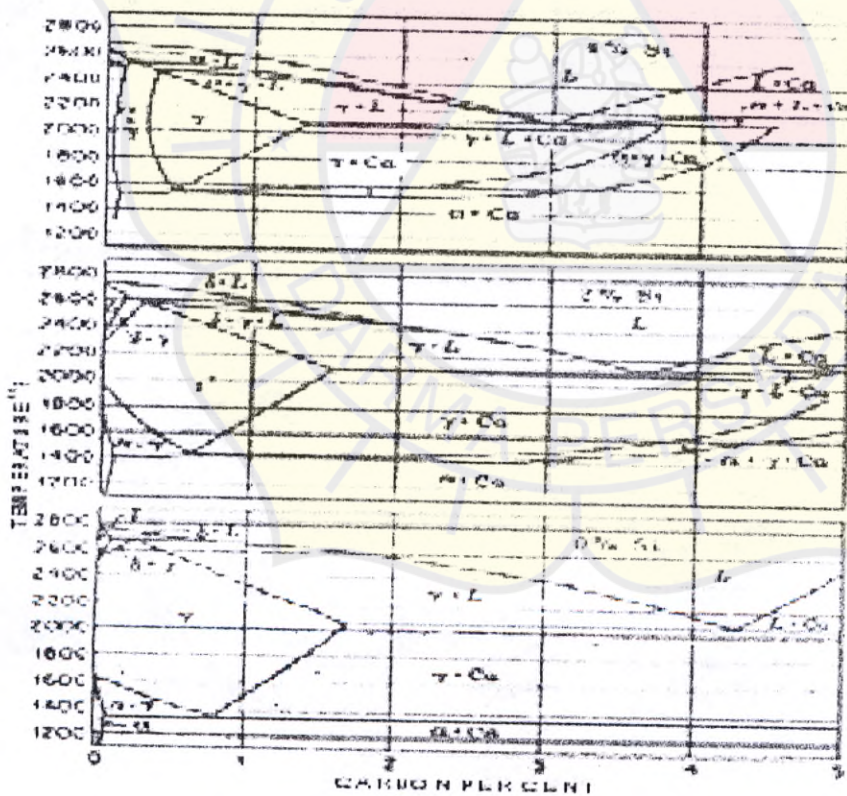


Besi karbida (Fe_3C) akan berada dalam keadaan metastabil saat kontak dengan grafit C pada temperatur leburnya. Menahan terlalu lama proses peleburan diatas temperatur leburnya akan mengakibatkan pembentukan grafit yang akan mengakibatkan perubahan dari fasa tidak stabil kearah fasa yang lebih stabil (Fe - C). Perlu diingat lebih lanjut bahwa laju pendinginan cepat pada

saat penuangan coran dalam cetaknya akan menghalangi pembentukan inti grafit yang akan mengembalikan keadaan stabil menuju kearah kondisi metastabilnya. Dalam aplikasinya pada besi tuang kelabu, serpihan grafit yang halus dan merata serpihnya pada keadaan stabil akan memberikan kekuatan pada besi tuang kelabu tersebut.

2.2.2 Pembekuan Paduan Fe – C – Si dalam besi tuang kelabu

Dampak penambahan kadar silikon dapat divisualisasikan pada sistem ternary dari paduan Fe – C – Si seperti gambar dibawah ini :



Penambahan Si pada paduan Fe – C – Si dari 0 – 4 % Si

Penambahan kadar silikon yang cukup tinggi dalam proses peleburan merupakan faktor yang akan mempromosikan pertumbuhan grafit di dalam pembuatan besi tuang kelabu. Reaksi dari proses penambahan silikon tersebut dapat ditulis sebagai berikut :



Pada paduan Fe - C - Si dengan kadar 2% Si dan 3,5% C akan kita dapatkan bahwa inti austenit akan mulai terbentuk pada temperatur beku inti awal di sekitar 1127^o - 1260^o C.

Pembentukan inti pada titik eutektik akan menjadi lengkap pada selang temperatur 1127^o - 1099^o C, dimana saat itu akan terbentuk mikro struktur dengan komposisi inti austenit mula 20% dan 80% terdiri dari formasi austenit dan grafitnya.

Pada saat ini grafit akan tumbuh kesegala arah dengan menyentuh cairan dan membentuk cabang-cabang sesuai dengan laju pertumbuhannya dimana akan berakibat membentuk kumpulan sel eutektik.

Dalam batas sel eutektik ini berkumpul cairan impurities yang mengandung elemen lainnya yang mempunyai titik cairan rendah yang akhirnya akan membeku. Sehingga struktur akhir dari pembekuan tersebut akan terlihat terdiri dari grafit yang berbentuk serpih-serpih berada pada matriks besi tuang kelabu tersebut.

Pada umumnya unsur-unsur yang bertanggung jawab terhadap percepatan proses penggrafitisasian ada waktu pembekuan (solidifikasi) dari besi tuang kelabu adalah : Si, Ti, Ni, Al, Co, Au ataupun Pt. Sedangkan unsur yang sebaliknya akan menghambat bagi pertumbuhan penggrafitisasian dapatlah diurut sebagai berikut : Cr, Te, S, V, Mn, Mo, P, Mg, B, O, H dan wolfram.

Hal-hal yang merupakan tahap utama dalam pembentukan grafitisasi dalam pembuatan besi tuang kelabu dapatlah kita bagi atas tiga tahap utama yaitu :

- Grafitisasi selama solidifikasi
- Grafitisasi oleh pengendapan karbon dari austenitnya
- Grafitisasi selama transformasi eutektiknya.

Sebagai suatu catatan khusus didalamnya dapatlah dikatakan bahwa proses grafitisasi dapat berlangsung pada temperatur 600°C dengan waktu tahan yang benar-benar cukup lama.

2.2.3 Pengaruh komposisi kandungan elemen lain pada BTK

Biasanya elemen-elemen lain yang terkandung pada Besi Tuang Kelabu dapat mempengaruhi mikrostruktur BTK tersebut. Sebagai contohnya adalah keberadaan karbon dan silikon merupakan suatu pertimbangan utama yang secara mendasar sangat berpengaruh pada Besi tuang tersebut.

2.2.3.1 Karbon

Kadar karbon pada BTK dapat diasumsikan berkisar 2,5 % - 4,5 % berat. Fasa yang dibentuk oleh karbon tersebut terbagi 2 (dua) yaitu fasa berbentuk graphite dan fasa karbon dalam Fe_3C (Combine Carbon) kedua fasa tersebut biasanya hanya dinyatakan sebagai % karbon dalam besi tuang kelabu.

Untuk menghitung derajat graphitisasi yang terjadi pada BTK kita dapat

mengikuti hubungan sebagai berikut :

$$\% \Sigma \text{ Carbon} = \% \text{ graphitisasi C} + \% \text{ C pada } Fe_3C \text{ --- (Rosenthal p. 580)}$$

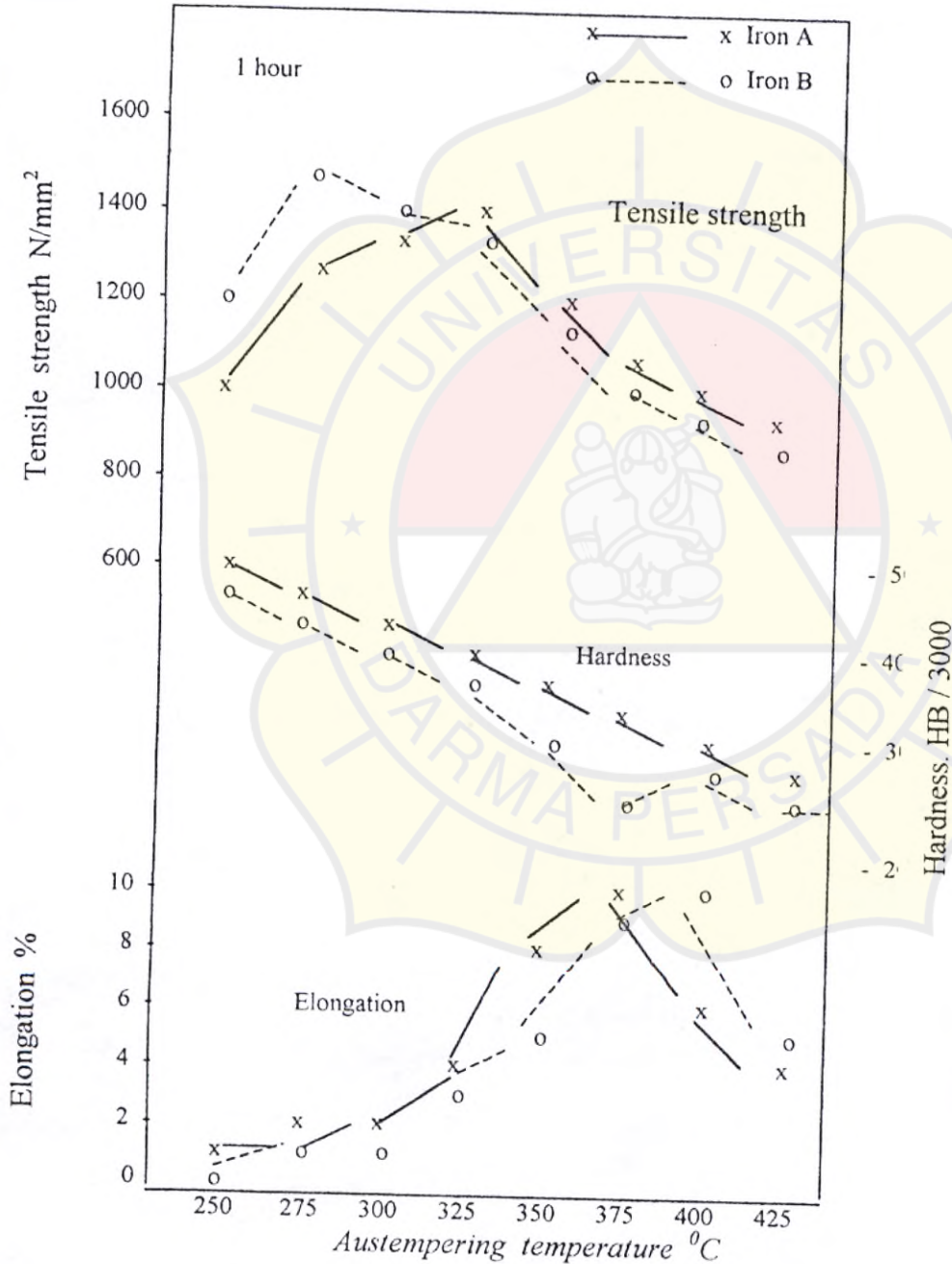
Proses graphitisasi akan dikatakan sempurna jika % total karbon yang terbentuk sebanding dengan % graphite dalam BTK tersebut. Sebaliknya, Proses graphitisasi dikatakan gagal jika % graphite yang terbentuk adalah nol.

Sebagai contohnya, jika Fe_3C sementite yang terdapat pada BTK sekitar 0,5 – 0,8 % maka mikrostruktur yang akan terbentuk adalah pearlitik. Perlit tersebut dapat divisualisasikan sebagai suatu fase austenit dengan kandungan karbon sekitar 0,6 %. Perubahan % kandungan karbon total akan mempengaruhi waktu untuk mencapai kondisi kesetimbangan selama Heat-treatment (laku panas) nya.

2.2.3.2 Silikon

Unsur silikon akan berpengaruh terhadap kekerasan dan juga sedikit mempengaruhi sifat tarik suatu material Besi Tuang Kelabu.

Hal tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



2.2.3.2.a Pengaruh pada titik kritis eutectic akibat penambahan silikon

Penambahan elemen silikon sangat penting artinya terhadap ketangguhan fracture Besi Tuang Kelabu hasil heattreatment yang disebabkan karena akan lebih tingginya proporsi sementit sisa dalam mikrostrukturnya setelah mengalami perlakuan panasnya. Dengan kata lain silikon pada dasarnya sangat mempengaruhi proses pemicu graphitisasi pada saat terjadi proses pembekuan Fe - C - Si dalam besi tuang kelabu.

Untuk hal tersebut dapat kita ingat kembali diagram perubahan Si pada paduan Fe - C - Si dari 0 - 4 % Si. Silikon akan menggeser titik eutectic arah kekanan pada diagram paduan Fe - C - Si, jumlah % Carbon eutectic maksimal dalam paduan Fe - C - Si = $4,3 + \frac{1}{3} \% \text{ Si}$ (dalam besi tuang).

Untuk menghitung CE biasanya digunakan persamaan umum, yaitu :

$$CE = \% \text{ C dalam besi tuang} + \frac{1}{3} \% \text{ Si.}$$

Jika $CE \sim 4,3$ maka dapat dikatakan bahwa kesetimbangan tersebut berada pada titik eutecticnya. Sebaliknya bila $CE < 4,3$ paduan tersebut dikatakan hypoeutectic, dan jika jumlah % Carbon dan Silikonnya $> 4,3$ maka paduannya dapat dikatakan hypereutectic. Pada saat hypereutectic proses pembekuan akan dimulai dengan pembentukan formasi graphit.

Pada mikrostruktur besi tuang kelabu, Silikon akan larut dalam fasa ferit. Nilai kekerasan akan naik kurang lebih sampai dengan 50 % dengan seiring penambahan 2 % Si pada skala pengujian brinell.

2.2.3.2.b Mekanisme Graphitisasi

Teori mengenai mekanisme graphitisasi pada dasarnya masih merupakan kontroversi pada dunia teknik rekayasa. Namun pada dasarnya terdapat beberapa teori yang cukup dikenal. Teori yang cukup populer dikalangan penelitian, yakni teori batas fasa dan teori gelembung gas. Teori-teori ini sangat membantu dalam arah penyelesaian masalah-masalah pengecoran. *Dalam cairan Fe - C - Si, adanya unsur Si akan berfungsi sebagai pembentuk graphit.* Kehadiran Si akan menyebabkan graphit berbentuk serpih, akan tetapi dengan adanya kandungan Mg yang cukup memadai maka serpih-serpihan tersebut akan membentuk jaringan yang tertutup sehingga mengurangi luas hubungan permukaan grafit cair. Dengan meningkatnya pendinginan lanjut maka karbon akan menjadi berat jenuh dalam cairan besi sehingga banyak terjadi pusat-pusat pengintian pertumbuhan graphite.

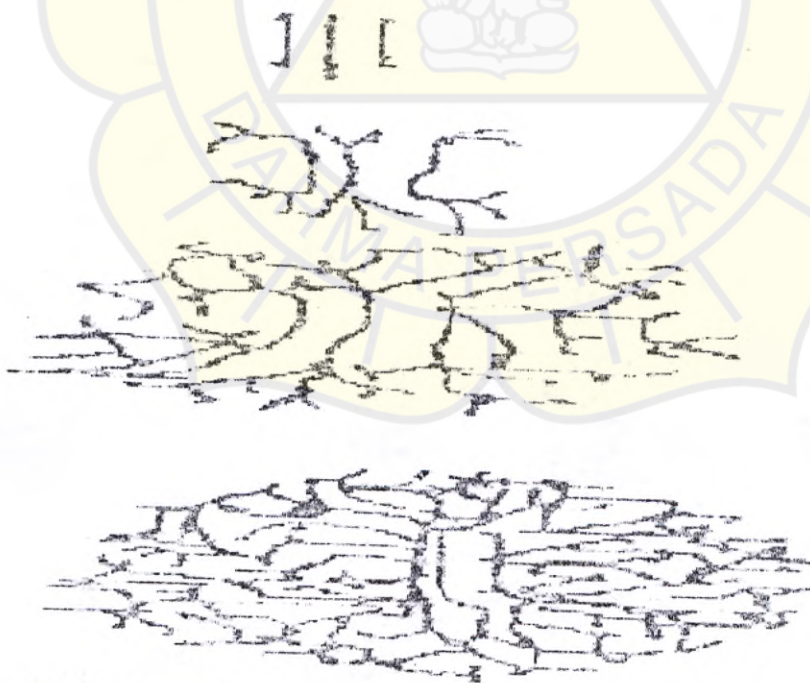
2.2.3.2.b.1 Teori gelembung gas

Pertumbuhan dari graphit dimulai dari permukaan menuju kebagian dalam gelembung gas. Mekanisme proses graphitisasi diperlihatkan sebagai berikut :

1. Sewaktu mendekati temperatur pembekuan, sebagian besar oksigen yang larut dalam cairan akan bereaksi dengan silikon yang akan mengendap dalam logam membentuk inokulasi SiO_2 .
2. Oksida-oksida Ca, Al, Sr dan lain-lain yang ditambahkan sewaktu proses inokulasi yang berfungsi sebagai inti untuk mengendapkan SiO_2 menghasilkan penyebaran yang tinggi.
3. Pada saat partikel SiO_2 muncul kesetimbangan antara Si, O dan C akan menghasilkan r_x : $\text{SiO}_2 + \text{C} \text{ ----- } \text{Si} + 2 \text{CO}$

2.2.3.2.b.2 Teori pencabangan graphit

Pengintian graphit dapat terjadi secara homogen (menginti sendiri) ataupun heterogen (adanya partikel asing). Para peneliti beranggapan bahwa pengintian umumnya terjadi heterogen dan menganggap akan terjadi proses graphitisasi pada saat inokulasi. Penjelasan terpenting dari teori ini adalah segi pertumbuhan graphit dimana kristal graphit tumbuh dalam pola pencabangan yang tinggi. Artinya pada saat proses perlakuan panasnya sebagian inti kristal graphit akan berkembang menjadi cabang-cabang, dari cabang – cabang tersebut tumbuh cabang – cabang baru dan terus berkembang. Jika frekwensi pencabangan relatif rendah maka rangkaian yang saling berhubungan akan membentuk serpihan graphit yang merupakan struktur umum dari besi tuang kelabu mampu tempa malleable. Tahapan diatas ditunjukkan dalam gambar sebagai berikut.



Gambar Tahapan pembentukan menurut teori pencabangan serpihan graphit

2.2.3.3 Sulfur dan Mangan (S dan Mn)

Penambahan belerang pada BTK merupakan elemen pendukung pada BTK. Kandungan belerang pada BTK dapat berkisar sampai dengan 0,25 % . Kandungan belerang yang rendah pada Fe – C – Si akan memudahkan pengendapan graphit. Bila penambahan belerang semakin tinggi maka akan menstabilkan fasa BTK tersebut terpenuhi oleh fasa karbida yang stabil, sehingga sebaiknya kandungan belerang diusahakan berada dibawah 0,25 % agar didapat kekerasan dan sifat machining yang cukup baik untuk material BTK tersebut. Bila pada paduan tersebut juga didapati Mn (Mangan) maka akan terbentuk kandungan MnS yang akan mempercepat presipitasi lebih awal sehingga akan menambah pengacakan penyebaran struktur graphitnya.

Disamping itu MnS akan menyebabkan struktur pearlitik pada mikrostrukturnya, mencegah lajunya promosi proses graphitisasi. Sehingga untuk itulah kandungan Mn dan S sebaiknya diatur agar tidak berlebihan.



Gambar MnS sebagai Inklusi pada BTK

Kandungan MnS pada BTK mengikuti hubungan sebagai berikut :

a. $\% S \times 1,7 = \% Mn$ akan menghadirkan MnS pada BTK sebagai inklusi terkotak kotak.

b. $1,7 \% S + 0,15 = \% Mn$ akan mempromosikan pembentukan ferit dan menurunkan % perlitnya pada BTK.

c. $\% S + 0,35 = \% Mn$ akan mempromosikan % pearlit pada BTK.

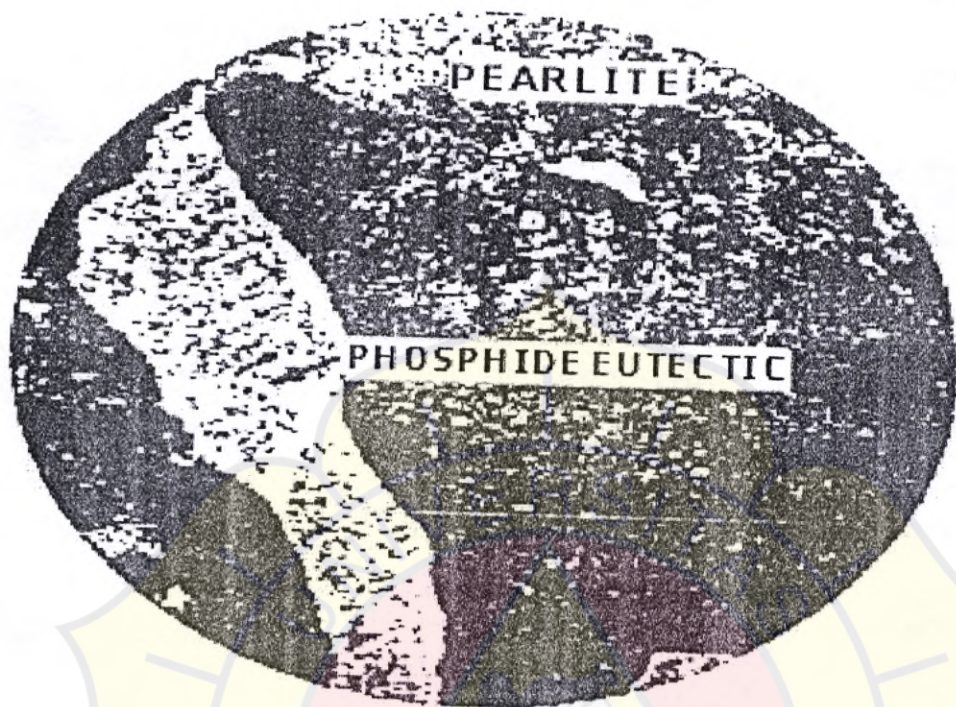
Untuk komersialnya rumus no 3 tsb diatas sangat dianjurkan pada produksi besi tuang kelabu.

2.2.3.4 Phosphor (P)

Phosphor di dalam besi tuang kelabu akan membentuk struktur yang bersifat rapuh yang disebut sebagai steadite (Fe_3P).

Penambahan kandungan phosphorus akan menurunkan temperatur solidifikasi leburan besi tuang kelabu menjadi sekitar 1800 °F.

Persentase (%) steadite yang hadir dari penambahan 10 % phophor akan memberikan mikrostruktur steadit yang dapat diilustrasikan pada halaman selanjutnya sebagai berikut.



Gambar Mikro Struktur Fe₃P x 1000

Titik CE pada BTK yang mengalami penambahan phosphorus yang berlebihan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$CE = \% C + 1/3 (\% Si + \% P)$$

Steadit yang hadir akan meningkatkan kekerasan sebagai karbida penambahan phosphorus sampai dengan 0,3 % P akan menghadirkan steadit yang berlebihan akan meningkatkan kekerasan bahan besi tuang kelabu tersebut.

2.2.4. Sifat – sifat Khusus Bagi Coran BTK

Dalam beberapa hal BTK merupakan bahan yang memiliki keunggulan kemudahan dalam proses peleburannya dibandingkan coran paduan lainnya.

Keunggulan – keunggulan BTK tersebut diasumsikan merupakan suatu sifat sebagai rujukan atas derajat optimumnya.

2.2.4.1 Fluiditas

BTK adalah paduan ferrous yang memiliki fluiditas yang tinggi.

Bentuk – bentuk khusus dan tuangan yang tipis dapat dihasilkan dari coran besi tuang jenis ini. Ring piston, bathtubs, disk brake, steam radiator dan blok-blok mesin biasanya dibuat dari bahan BTK.

Fluiditas tertinggi dapat dicapai pada titik eutectic yang dapat lihat diagram Fe – Fe₃C. Untuk mendapatkan titik eutecticnya, biasanya hal tersebut dapat dihitung berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$CF = \% C + 1/4 \% Si + 1/2 \% P$$

$$CF = \text{fluiditas maksimum BTK} \sim 4,55$$

Fluiditas maksimum akan tercapai saat temperatur penuangan berada dalam jangkauan derajat superheatnya.

Dalam BTK yang digolongkan sebagai hyper-eutectic fluiditas akan rendah dibandingkan pada daerah eutecticnya, hal ini dapat dilihat dari lebih sulitnya bahan tersebut mengakhiri rongga gating system coran tersebut.

2.2.4.2 Interval temperatur tuang BTK

Biasanya untuk meningkatkan fluiditas BTK, pada dasarnya bahan BTK tersebut dapat dipanaskan sampai dengan sekitar $1650^{\circ}\text{C} - 1850^{\circ}\text{C}$ dan saat diladde temperaturnya lebih dipertahankan sampai dengan 1500°C .

Interval temperatur tuang yang baik adalah pada temperatur $1400^{\circ}\text{C} - 1650^{\circ}\text{C}$, tergantung pada syarat keperluannya pada pengecoran tersebut.

2.2.4.3 Shrinkage dan Risering

Disebabkan mekanisme pembekuan pada BTK yang baik biasanya faktor shrinkage (penyusutan) pada bahan ini sangat rendah, dimana % yieldnya sangat tinggi dibandingkan logam-logam lain.

Persentase (%) yield diasumsikan dengan perolehan coran produk net per-produk coran seutuhnya terhitung % coran tanpa gating systemnya.

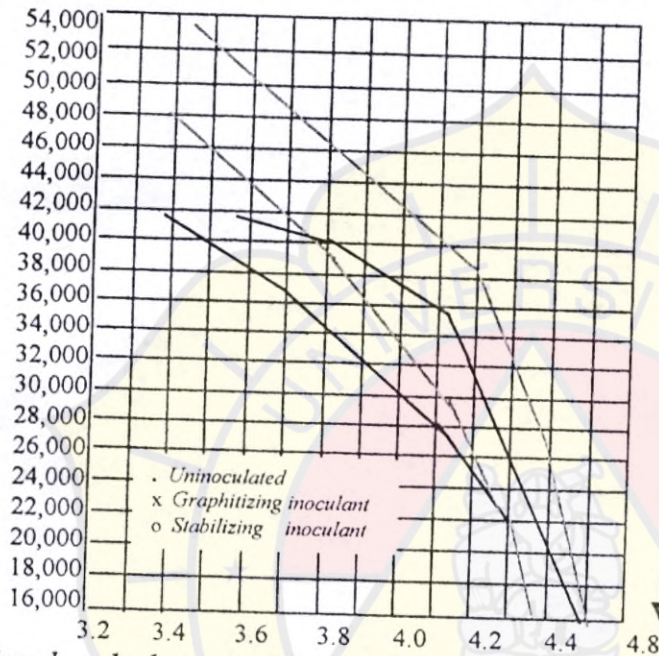
Biasanya % yield BTK dapat berkisar $60 - 75\%$ dan untuk beberapa hal angka % yield tersebut dapat berada di atasnya.

Walaupun kandungan karbon equivalent yang tinggi pada BTK akan menyebabkan rendahnya susutan pada tegangan BTK namun akan tetap ada kesulitan-kesulitan pada daerah riseringnya.

2.2.5 Pengaruh komposisi

Karbon dan silikon merupakan faktor komposisi utama yang mempengaruhi sifat mekanisme BTK.

Grafik hubungan antara karbon equivalen dengan kekuatan tarik bahan BTK tersebut diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar hubungan C_{ek} dengan kekuatan tarik pada BTK .

Penurunan nilai karbon equivalen akan mengakibatkan terjadinya reduksi jumlah % karbon pada BTK sehingga akan meningkatkan kekuatannya. Kekuatan tarik BTK akan lebih tinggi bila BTK tersebut dipadu dengan elemen lainnya saat peleburan.

Hubungan antara nilai kekerasan dengan kekuatan tariknya merupakan variable yang berlawanan. Semakin tinggi kekuatan tarik BTK tersebut, maka BTK tersebut semakin kuat dan akan menurunkan kegetasan bahan BTK tersebut menyebabkan penurunan nilai kekerasannya.

Penambahan elemen Belerang (S) dan Mangan (Mn) juga merupakan salah satu sarana sehingga nilai jual bahan BTK tersebut lebih baik. nilai maksimum kekuatan tarik BTK akan dicapai pada saat fasa pearlitik muncul.

2.2.6 Dampak pendinginan yang homogen

Ada beberapa analogi yang selalu dipakai dalam pembuatan Besi-tuang kelabu ataupun BTK ini diantaranya adalah :

- ❖ Pendinginan merata pd BTK dpt terlihat pd mikrostruktur bahan tsb.
- ❖ Pendinginan cepat akan membuat bahan tersebut menjadi keras dan getas.
- ❖ Pendinginan yang lambat akan memicu proses graphitisasi dan akan menghomogenkan setiap butirnya sehingga akan membuat BTK tersebut akan menjadi lebih ulet dari sebelumnya.

2.2.7. Proses Heattreatment pada BTK

BTK dapat diheattreatment sampai batas temperatur austensasi. Begitu banyak aplikasi heat treatment BTK yang digunakan dalam meningkatkan sifat coran BTK tersebut.

Ada beberapa keuntungan heattreatment BTK yang biasa didapat dilakukan adalah untuk mendapatkan :

1. Meningkatkan machinability.
2. Meningkatkan ketahanan aus.
3. Meningkatkan kekuatan bahan.
4. Menghilangkan tegangan sisa pada bahan BTK tersebut.

2.2.7.1 Heat-treatment BTK untuk meningkatkan machinability

Proses anilisasi ataupun normalisasi selalu digunakan untuk meningkatkan factor keliatan BTK sehingga akan lebih meningkatkan mampu mesinnya (machinability).

Anilisasi biasa dilakukan antara 650°C – 850°C dengan waktu tahan antara 2 – 6 jam, diikuti pendinginan yang sangat lambat di dalam dapur.

Graphitisasi akan dipacu pada temperatur heattreatment ini. Normalisasi pada pendinginan udara akan meningkatkan nilai kekuatan tariknya.

2.2.9.2 Heat-treatment BTK untuk meningkatkan ketahanan Aus

BTK dapat di heat treatment untuk meningkatkan ketahanan aus, dimana Heattreatment yang biasa dilakukan adalah $650 - 850^{\circ}\text{C}$ untuk mengendapkan fasa austenitiknya sekitar $0,6 - 0,8\%$.

Proses quenching menggunakan minyak ataupun air akan menghasilkan struktur martensitik yang akan meningkatkan karakter untuk nilai kekerasannya.

Proses quenching tersebut dapat dilakukan dengan banyak variasi untuk mendapatkan yang digunakan.

Biasanya proses untuk meningkatkan ketahanan aus melalui tahapan – tahapan sebagai berikut :

- 1. Heat treatment 850°C selama 30 menit.*
- 2. Temperatur tahan ditingkatkan selama 20 - 30 menit.*
- 3. Quenching di minyak temperatur 100°C .*
- 4. Dikeringkan dan diamkan untuk beberapa lama*
- 5. Treatment berikutnya pada Temperatur $200 - 350^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam.*
- 6. Didinginkan didalam dapur, sebagai akhir dari proses.*