

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Tuang

Besi tuang kelabu pada dasarnya terbentuk antara paduan eutektik dari besi dan karbon. Memiliki temperatur tergolong rendah yaitu 1200°C, temperatur lebur yang rendah ini sangat menguntungkan dalam hal pengecoan karena mudah dicairkan sehingga energi yang dibutuhkan tidak terlalu besar dan dapur peleburan lebih sederhana dan besi cor kelabu (ricky septian, 2012)

Besi cor mengandung unsur silikon antara 1-3 % hal ini diakibatkan oleh karena silikon tertinggal dalam besi selama proses produksi dan diperlukan usaha khusus untuk menurunkannya, akan tetapi yang paling penting adalah peran silikon dalam produk akhir. Silikon meningkatkan kekuatan dari ferit dalam besi tuang dan dengan silikon dapat dicapai suhu cair eutektik yang rendah sesuai dengan kadar karbon 2%-3,5%.

2.2 Klasifikasi Besi Tuang

Besi tuang diklasifikasikan menurut struktur metalografi. Dalam hal ini karbon dalam besi tuang sangat menentukan. Karbon dalam besi tuang dapat berupa senyawa yaitu sementit (karbida besi) atau berupa karbon bebas yaitu grafit. Bentuk dan distribusi dari grafit berpengaruh pada sifat mekanik dari besi tuang. Pengelompokan besi tuang dapat dilihat dari kondisi karbonnya sebagai grafit atau sementit. Bila karbonnya sebagai sementit maka dapat disebut besi tuang putih dan bila karbonnya seluruh atau sebagian berupa grafit maka pengelompokan besi tuang didasarkan pada bentuk fisik dari grafit tersebut

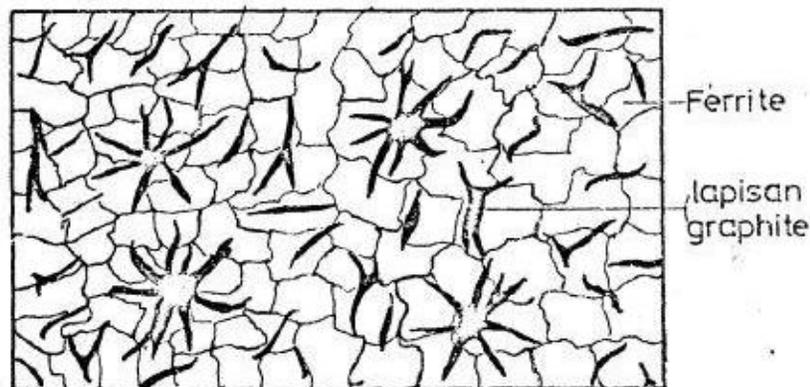
Terjadinya struktur yang berbeda-beda ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain .:

- a). Kadar karbon
- b). Kadar paduan atau pengotor
- c). Laju pendinginan
- d). Perlakuan panas yang diberikan.

Struktur yang berbeda ini akan menyebabkan sifat fisik dan mekanik yang berbeda pula. Berikut besi tuang dapat digolongkan sebagai berikut :

2.2.1 Besi Tuang Kelabu (Gray Cast Iron)

Untuk memperoleh besi tuang kelabu, kita harus berpangkal pada besi kasar kelabu. Besi kasar kelabu memiliki kadar silikon tinggi (kurang lebih 5,5 sampai 50%) dan kadar mangan yang rendah. Karena itu pembentukan karbon bebas jadi meningkat. Jadi besi tuang kelabu setelah didinginkan mengandung grafit. Grafit tersebut terdapat dalam besi-tuang berupa plat-plat tipis. Besi tuang kelabu memperoleh namanya dari bidang patahan yang berwarna kelabu, yang disebabkan oleh grafit hitam

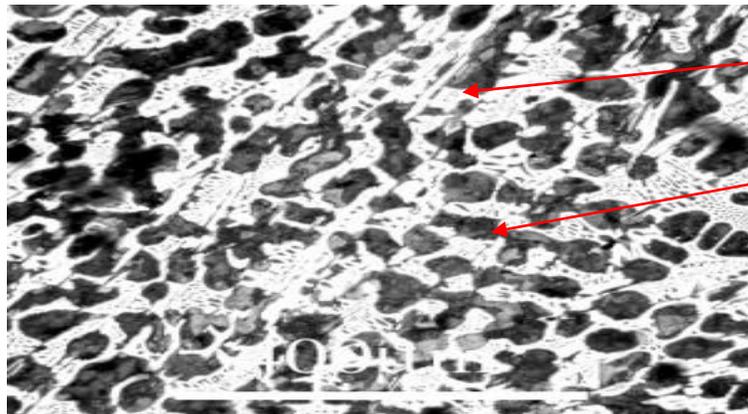


Gambar 2.1 Struktur mikro besi tuang kelabu

2.2.2 Besi Tuang Putih (White Cast Iron)

Untuk memperoleh besi tuang putih, kita harus berpangkal pada besi kasar putih. Besi kasar putih memiliki kadar silikon yang rendah (kurang lebih 0,5%) dan kadar mangan yang tinggi. Dengan demikian pembentukan sementit digiatkan. Karena kadar silikon yang rendah hanya terbentuk sementit. Jadi untuk besi tuang putih hanya diagram penstabil yang penting.

Dengan demikian besi tuang putih setelah didinginkan terdiri dari perlit dan sementit. Besi tuang putih dengan kadar karbon 2.5% sampai 3.6% mengandung banyak sementit. Dengan adanya kadar yang besar dari sementit yang sangat keras, akan tetapi rapuh besi tuang putih memperoleh kekerasan sangat tinggi, akan tetapi kekuatan tarik yang sangat rendah dan regangan yang sangat kecil (ricky septian, 2012)



Grafit Besi Tuang Putih

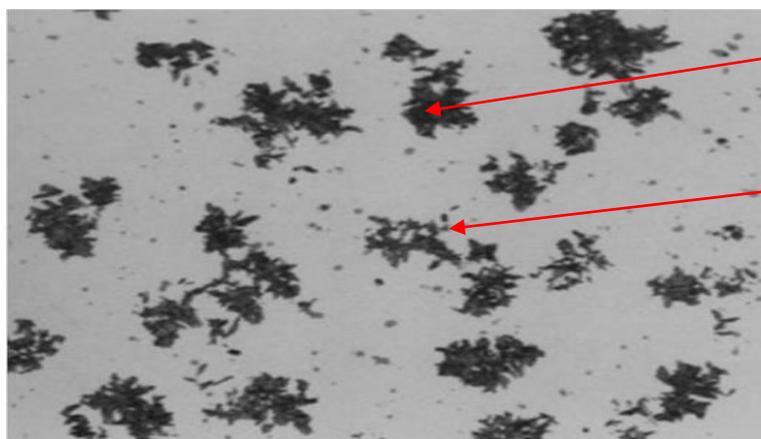
Batas Butir

Gambar

2.2 Struktur besi tuang putih

2.2.3 Besi Tuang Mampu Tempa (Malleable Cast Iron)

Grafit yang berbentuk daun pada besi cor tidak menguntungkan ditinjau dari segi kekuatan. Untuk memperbaiki keuletanya bentuk tersebut dirubah menjadi bentuk bongkahan. Besi cor yang mempunyai bentuk grafit tersebut dinamakan besi cor malleable, Besi cor yang dibuat dengan derkarburisasi, mempunyai warna patahan putih dinamakan besi cor malleable putih, sedangkan besi cor yang dibuat dari besi cor putih dianil untuk merubah Fe_3C menjadi grafit dan Fe, mempunyai patahan yang berwarna hitam dinamakan besi cor malleable perapihan hitam. Besi cor malleable perlitik mempunyai matriks perlit dengan kekuatan dan ketahanan aus yang lebih baik (Labeemlp, 2014)



Grafit Besi Tuang Mampu Tempa

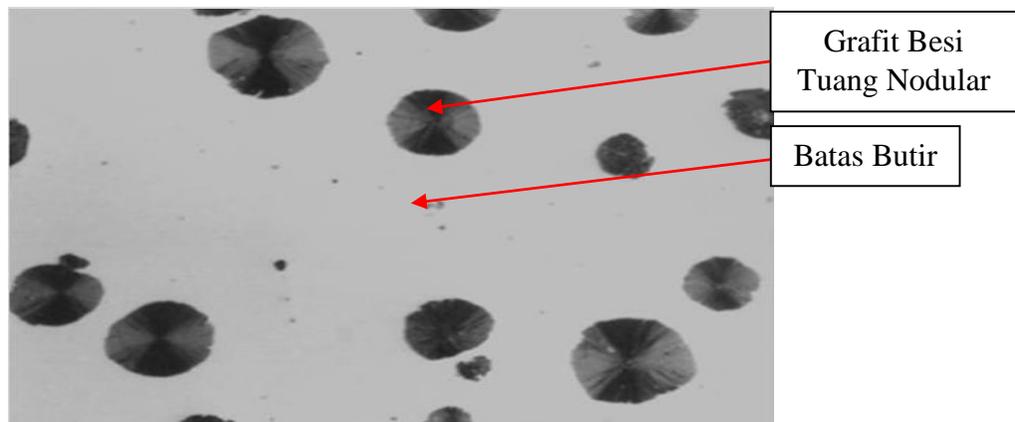
Batas Butir

Gambar 2.3 Struktur besi tuang mampu tempa

2.2.4 Besi Tuang Nodular (Nodular Cast Iron)

Untuk memperoleh besi tuang nodular, kita harus berpangkal pada besi kasar kelabu. Besi kasar kelabu memiliki kadar silikon yang tinggi (kurang lebih 5,5 sampai 1,5%) dan kadar mangan rendah. Karena itu pada pendinginan perlahan-lahan pembentukan karbon bebas akan meningkat. Karena selama fabrikasi dimasukan magnesium ke dalam bahan, maka karbon bebas itu terjadi berupa bola. Bola-bola itu dinamakan nodul. Nodul grafit memberikan pengurangan penampang yang lebih kurang dan tidak menyebabkan pengerjaan taktik.

Besi tuang nodular, setelah pendinginan dan setelah pengerjaan pemijaran terutama ferit, perlit, dan grafit. Karena adanya ferit atau perlit dan karena bentuk nodul grafit yang sangat menguntungkan, maka besi tuang nodular memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan regangann yang besar (Labeebmlp, 2014)



Gambar 2.4 Strukur besi tuang nodular

Tipe besi tuang	Karbon	Silikon	Mangan	Sulfur	Phospor
Besi tuang kelabu	2.5 – 3.8	1.2 - 2.4	0.5 - 0.7 Mn	0.002 - 0.25 S	0.13 - 0.80
Besi tuang nodular	3,4 - 4,1	2,1 - 2,7	≤0,4 Mn	0.01 - 0.03 S	
Besi tuang mampu tempa	2,30 - 2,50	0,90 - 1,20	0,20-0,35 Mn		<0,1
Besi tuang putih	2,5 – 3,6	1,1 – 1,7	0,8 – 1,0 Mn		<0,12

Tabel 2.1 Komposisi pada besi tuang

2.3 Besi Tuang Kelabu

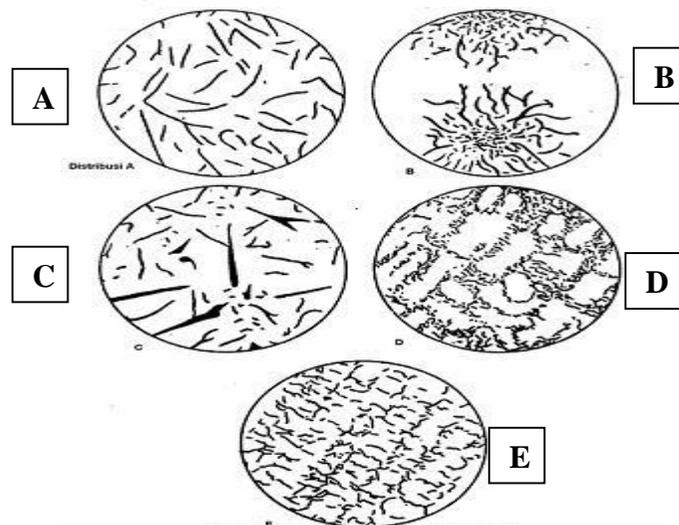
Besi tuang kelabu banyak digunakan pada pembuatan bagian-bagian kendaraan (blok silinder, tutup silinder, rumah engkol, slubung silinder, roda daya, tromol rem); meja perkakas (bed, meja, pegangan); mesin hydrolis (pompa, turbin); bagian – bagian mesin (roda gigi, kopleng, gear transmisi).

Grafit pada besi tuang kelabu terbentuk pada saat pembekuan. Proses grafitisasi ini didorong oleh tingginya kadar karbon, adanya unsur grafit stabilize, terutama silikon, temperature penuangan yang tinggi dan pendinginan yang lambat. Banyaknya grafit dalam besi tuang ini menyebabkan penampang patahanya berwarna atau tampak kelabu dan secara umum besi tuang ini disebut dengan nama besi tuang kelabu. Besi tuang kelabu mempunyai sifat keuletan yang rendah karena adanya serpihan karbon tetapi mempunyai mampu tuang yang baik dan murah, sehingga besi tuang kelabu banyak dipakai untuk benda-benda cor (Lawrance H.Van Vlack, 1983)

2.3.1 Distribusi Grafit Pada Besi Yuang Kelabu

Lima macam bentuk yang umum terjadi dari potongan-potongan grafit dalam besi tuang kelabu :

1. Grafit A : Menunjukkan serpih grafit yang mempunyai panjang medium terdistribusikan sebarang.
2. Grafit B : Dimana laju pendinginan agak cepat, disini pusat dari sel eutektik menyebabkan butir grafit yang halus karena pendinginan super dan disekelilingnya dilanjutkan dengan serpih grafit. Struktur ini dinamakan struktur bergrafit bunga rose
3. Grafit C : Grafit primer mengkristal secara kasar dalam hal hypereutektik akan memberikan sifat-sifat mekanis yang rendah
4. Grafit D : Pada grafit ini disebabkan karena pendinginan lanjut pada waktu pembekuan semua grafit eutektik atau grafit panas lanjut, sehingga besi tuang mempunyai kekuatan yang tinggi tetapi kurang ulet
5. Grafit E : Grafit ini biasanya muncul kalau kadar karbon kurang, grafit terdistribusikan diantara austenite primer yang tumbuh besar-besar



Gambar 2.5 Bentuk potongan grafit besi tuang kelabu macam A,B,C,D,E

2.3.2 Sifat Mekanis Besi Tuang Kelabu

Ada beberapa sifat mekanis besi tuang kelabu yaitu kekuatan tarik, kekerasan, kekuatan tekan, tahan aus dan mampu meredam getaran. Sifat-sifat tersebut akan dijelaskan sebagai berikut

A. Kekuatan tarik

Karbon mempunyai pengaruh yang sangat besar pada kekuatan tarik dari besi tuang. Kandungan karbon yang rendah meningkatkan kekuatan. Silikon juga mempunyai pengaruh yang serupa, tetapi lebih lemah dibandingkan karbon.

B. Kekerasan

Kekerasan besi tuang kelabu adalah 130-270 kekerasan brunell dan sangat erat hubungannya dengan struktur. Grafit kasar dalam matriks ferit menyebabkan kekerasan rendah, grafit halus, dan sedikit menyebabkan kekerasan lebih tinggi

C. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan besi tuang kelabu 3-5 kali lebih besar dari kekuatan tariknya. dan kebanyakan lebih besar dari kekuatan tekan baja. Kekuatan tarik yang tinggi mempengaruhi perbandingan antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik

D. Kekuatan bentur

Besi tuang kelabu adalah getas dan lemah terhadap benturan. Kandungan karbon, silikon dan fosfor yang lebih tinggi menyebabkan kekuatan bentur yang lebih rendah. Pengendapan sementit mengurangi kekuatan bentur.

E. Mampu mesin dan tahan aus

Merupakan bahan yang mempunyai sifat mampu mesin dan tahan aus. Mampu mesinnya baik karena grafit bekerja sebagai pelumas. Dalam kasus-kasus khusus ketahanan aus dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur krom, nikel, tembaga.

F. Mampu meredam getar

Kekakuan lebih rendah karena adanya karbon. Tetapi besi tuang kelabu memiliki sifat peredam getar baik, ini disebabkan serpih-serpih karbon tersebut. Sehingga besi tuang kelabu mempunyai kapasitas peredam yang tinggi jika dibandingkan dengan baja.

2.3.3 Struktur Besi Tuang Kelabu

Struktur besi tuang kelabu adalah campuran dari sebagian fasa seperti grafit, perlit, ferlit dan sementit serta mangan yang masing-masing mempunyai sifat sendiri. Oleh karena itu sifat besi cor berubah menurut perbandingan campuran fase-fase tersebut. Berikut ini akan diuraikan sifat-sifat fisik besi tuang kelabu :

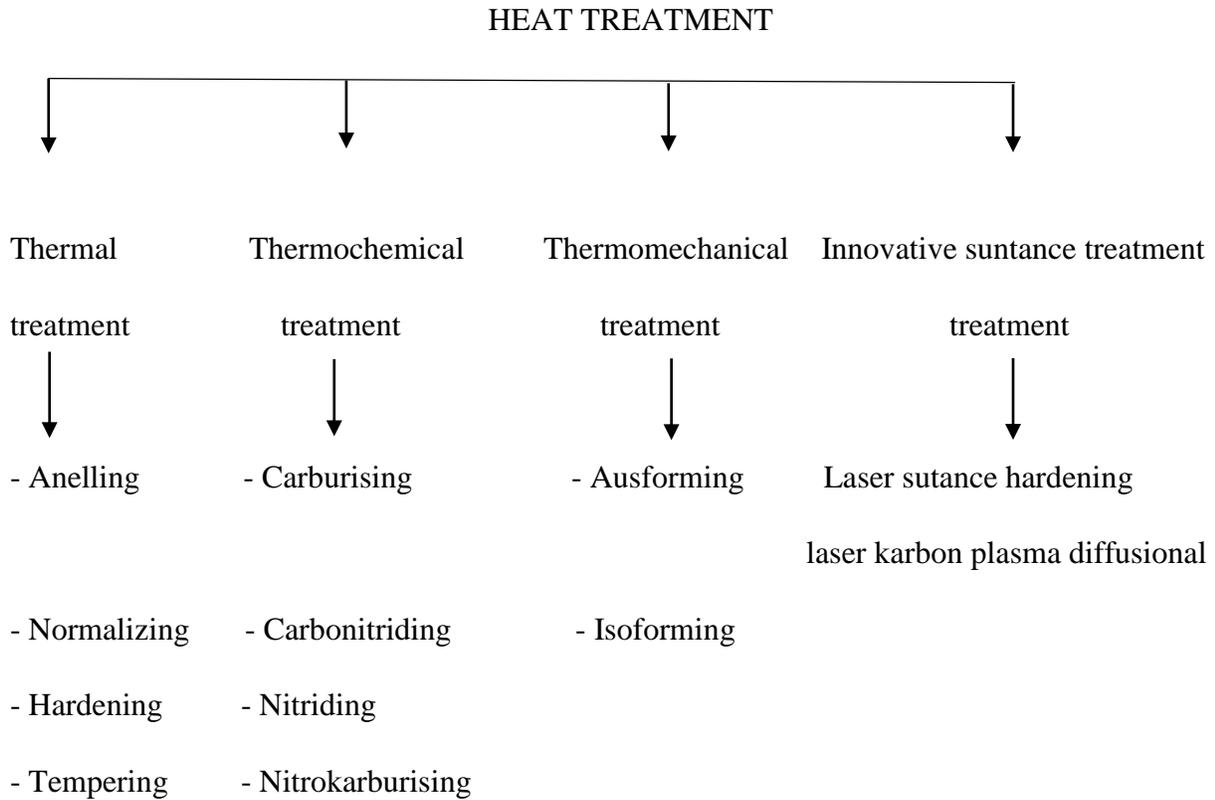
- Berat jenis
Berat jenis besi cor kelabu adalah 7,1-7,3 gr/cm³ pada 10 ristal10ure kamar dan sangat dipengaruhi oleh grafit. Sedangkan dalam keadaan cair berat jenisnya 6,75-6,95 gr/cm³.
- Pemuaian panas
Koefisien pemuaian panas besi tuang kelabu adalah sebesar ($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), sedikit lebih rendah dibanding dengan baja tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien pemuaian panas pada besi tuang putih. Pemuaian berubah menurut komposisi, struktur dan 10ristal10ure.
- Konduktivitas listrik
Dari semua fase dalam struktur besi cor kelab, grafik mempunyai tahanan listrik terbesar, sehingga pada besi cor konduktifitas listrik dipengaruhi oleh besar kecilnya distribusi dan bentuk potongan permukaan grafik pada besi cor kelabu.
- Ketahanan korosi
Korosi kimia sangat mudah terjadi pada besi tuang kelabu, jika besi cor tersebut mengandung banyak ferit. Sedangkan ferlit lebih stabil terhadap ketahanan korosi, namun yang paling baik dalam ini adalah jika struktur mikro dari besi cor mengandung banyak sementit. Besi cor lebih buruk ketahanannya terhadap asam dari pada baja, akan tetapi untuk memperbaiki sifat ini sangat efektif bila ditambahkan atau memadukan unsur krom, nikel dan tembaga.

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (heat treatment) adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam kepadatan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses laku panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan yaitu (Aziz Muslim Muhammad, 2017) :

- Memanaskan sampai temperatur tertentu
- Diikuti dengan penahanan selama beberapa saat
- Pendinginan dengann kecepatan tertentu

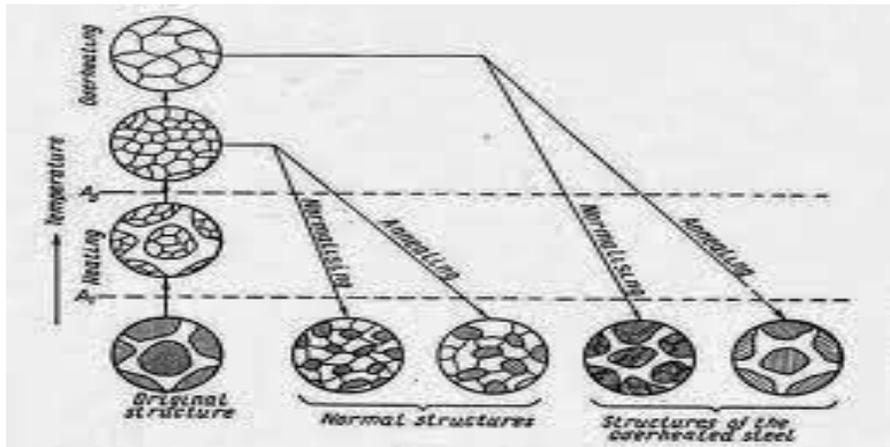
2.4.1 Klasifikasi Pada Perlakuan Panas



Gambar 2.6 klasifikasi perlakuan panas

2.4.2 Perlakuan Panas Termal (Thermal Treatment)

- **Annealing**



Gambar 2.7 Annealing

Suatu proses laku panas (heat treatment) yang sering dilakukan terhadap logam dalam pembuatan suatu produk. Pada dasarnya annealing dilakukan dengan memanaskan logam sampai temperatur tertentu tadi selama waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkannya dengan laju pendinginannya yang cukup lambat.

Annealing dapat dilakukan terhadap benda kerja dengan kondisi yang berbeda-beda dan dengan tujuan yang berbeda pula. Tujuan melakukan annealing adalah sebagai berikut : melunakan, menghaluskan butir kristal, mengurangi tegangan sisa, dan memperbaiki keuletan.(Welding Engineering, 2015)

- **Normalizing**

Proses normalizing dilakukan dengan memanaskan bahan lebih kurang 925°C , kemudian diinginkan pada still air atau furnace. Pada umumnya hasil dari normalizing mempunyai struktur mikro lebih halus, sehingga untuk baja dengan komposisi kimia yang sama akan mempunyai yield strength, kekerasan dan impact strength yang lebih tinggi daripada yang diperoleh melalui annealing dan machinabilitinya akan lebih baik.

Normalizing sering dilakukan terhadap benda hasil tuangan atau hasil tempa, untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya, sehingga diperoleh sifat yang lebih baik.

Pada normalizing dan juga annealing hendaknya tidak dilakukan pemanasan sampai ke temperatur yang terlalu tinggi karena butir kristal austenite yang terjadi akan terlalu besar, sehingga dapat pendinginan lambat akan diperoleh butir ferrit/pearlit yang juga kasar. Ini akan mengakibatkan berkurangnya keuletan atau ketanguhan material.(Welding Engineering, 2015)

- **Hardening**

Salah satu perlakuan panas dengan kondisi non equilibrium, pendinginannya sangat cepat, sehingga strukturmikro yang akan diperoleh juga strukturmikro yang bukan equilibrium. Hardening dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit, dipertahankan beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat, sehingga akan diperoleh martensit yang keras. Biasanya sesudah proses hardening selesai, segera diikuti dengan proses tempering. (laboratories, 2019)

Kekerasan maksimum yang dapat dicapai setelah proses hardening banyak tergantung pada kadar karbon, makin tinggi kadar karbonnya makin tinggi kekerasan maksimum yang dapat dicapai. Pada baja dengan kadar karbon rendah kenaikan kekerasan setelah hardening hampir tidak berarti, karenanya pengerasan. (Welding Engineering, 2015)

2.4.3 Perlakuan Panas Termokimia

Perlakuan panas termokimia adalah suatu proses perlakuan panas permukaan dengan cara mendifusikan elemen kimia pada temperatur yang meningkat untuk meningkatkan sifat mekanis permukaan komponen (Lawrance H. Van Vlack, 1983)

- Keuntungan dari pengerasan termokimia ini :
- Mudah mengontrol kedalaman pengerasan
- Baik untuk bentuk kompleks
- Biaya rendah terutama untuk produksi massal
- Bahan baku low carbon steel, alasan : Mudah dibentuk dan machining, bagian tengahnya ulet, kekerasan permukaannya meningkat, dan struktur lebih tangguh dari pada baja medium atau high carbon steel.

Pengerasan permukaan secara termokimia ini dibagi menjadi 4 bagian :

- **Karburisasi**

Suatu proses perlakuan panas termokimia dimana suatu permukaan baja diperkaya dengan karbon pada temperatur berkisar antara 850 – 950 °C dengan menggunakan media trasper padatan, cairan gas atau plasma. Ketebalan lapisan yang terbentuk berkisar antara 0,25 – 4,0 mm dengan kekerasan permukaan mencapai 700 – 900 HV. Beberapa sifat yang penting dihasilkan oleh proses karburisasi adalah untuk memberikan sifat ketahanan aus yang tinggi terhadap gesekan abrasi, ketahanan lelah dan juga untuk menerima pembebanan yang berat. Karburisasi dilakukan untuk baja dengan kadar karbon rendah dan juga untuk baja paduan rendah (Smallman.R.E, Bishop.R.J., 1995)

- **Karbonitridisasi**

Salah satu modifikasi dari proses karburisasi, dimana selain karbon juga ditambahkan 0,5% nitrogen. Proses berlangsung pada temperatur lebih rendah. Dengan larutan karbon dan nitrogen pada kulit, maka ini akan mempertinggi mampu keras baja. Temperatur perlakuan

panas umumnya dilakukan berkisaran antara 750 – 900 °C ketebalan lapisan mencapai 600 – 850 HV. Karena suhu prosesnya lebih rendah dari karburisasi, maka kemungkinan terjadinya distorsi atau retak akan rendah begitu juga dengan homogenitas kekerasan sampai dengan kedalaman tertentu lebih baik. Beberapa sifat yang penting yang dihasilkan oleh proses karbonitridasi adalah aus abrasif dan juga ketahanan lelah. Proses karbonitridasi ini hanya digunakan untuk baja karbon biasa dan baja paduan rendah

- **Nitridisasi**

Suatu proses perlakuan panas termokimia dimana nitrogen didifusikan kepermukaan baja pada temperatur berkisar antara 500 – 600 °C sehingga terbentuk pengerasan kulit akibat terbentuknya nitrida paduan pada permukaan. Ketebalan lapisan yang terbentuk berkisaran 0,4 – 0,6 mm dengan kekerasan mencapai 800 – 1050 HV. Karena suhu prosesnya sangat rendah, maka kemungkinan terjadinya distorsi geometri atau retak juga sangat kecil. Beberapa sifat yang penting dihasilkan oleh proses nitridisasi adalah ketahanan lelah sangat baik, ketahanan abrasif, ketahanan aus adhesif, ketahanan korosi baik.

- **Nitrokarburisasi**

Termasuk suatu proses perlakuan panas termokimia. Proses ini biasanya dilakukan kira-kira pada temperatur 570°C dengan medifusikan karbon dan nitrogen kedalam permukaan baja, sehingga akan diperoleh lapisan permukaan yang keras, tipis dengan ketebalan 10 – 25 mm. Lapisan tersebut terdiri dari fasa karbonitrida dengan kekerasan permukaan mencapai 500 – 700 HV yang bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan aus adhesif dari permukaan baja.

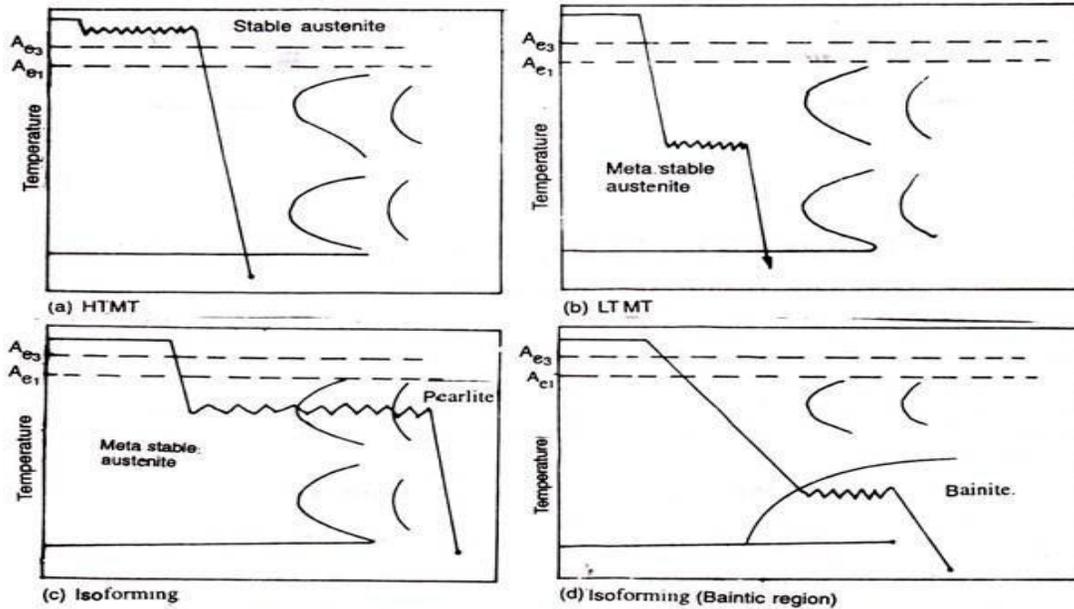
2.4.4 Perlakuan Panas Termomekanis (Thermomechanical Treatment)

- **Ausforming**

Proses yang dikenal sebagai ausforming atau low temperature thermomechanical treatment (LTMT) yang pertama kali dijelaskan oleh Harney dan kemudian oleh Lips dan van Zuijlen, melibatkan deformasi austenite didalam metastable diantara lanne ferrite dan bainite. Baja dalam kondisi austenite stabil yang dikembangkan dengan baik didinginkan dari suhu austenizing dimana deformasi dilakukan tanpa kemungkinan terjadinya transformasi. Treatment ausforming ini dapat dibandingkan dengan high temperature thermomechanical

treatment dimana deformasi dilakukan didalam austenite yang stabil biasanya mendahului pendinginan untuk membentuk martensit. (Welding Engineering, 2015)

- **Isoforming**

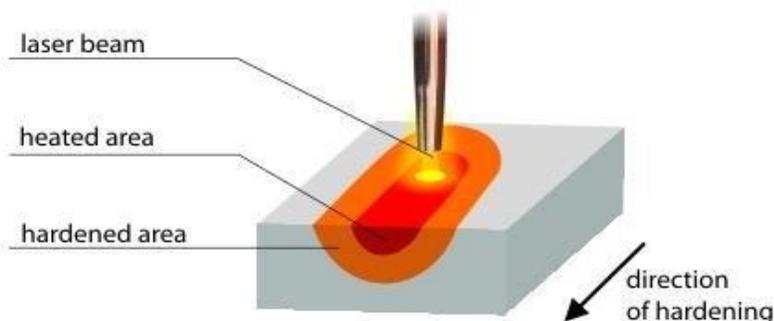


Gambar 2.8 Isoforming

Proses ini melibatkan deformasi dari austenite yang stabil namun deformasi ini berlanjut hingga transformasi austenite selesai pada suhu deformasi. Hal ini dikarenakan morfologi dari pearlite mengarah kepada keuletan yang rendah dari baja ferrite/pearlite suhu transisi kelenturan meningkat dengan volume yang lebih besar dari pecahan pearlite. (Welding Engineering, 2015)

2.4.5 Perlakuan Inovatif Permukaan (Innovative Surface Treatment)

- **Laser surface hardening**



Gambar 2.9 Laser Surface Hardening

Pengerasan laser termasuk diantara teknologi ini perlakuan panas. Sinar laser digunakan untuk memanaskan perawatan area yang diproses. Kepadatan energi laser yang tinggi memungkinkan pemanasan yang sangat cepat pada area yang mengeras diatas suhu austenit. Fenomena “Selfquenching” berlaku setelah mengeluarkan sumber panas dari zona interaksi. Energi panas yang diserap oleh lapisan permukaan dengan cepat didistribusikan ke seluruh benda kerja. Difusi panas ini menghasilkan penurunan suhu yang sangat cepat diarea yang mengeras. Gradien pendinginan yang tinggi telah menghasilkan struktur martensit berbutir halus dengan kekerasan yang sangat tinggi, yang merupakan keunggulan utama dibandingkan dengan metode pengerasan konvensional serta tidak adanya media pendinginan dan otomatisasi yang mudah. Area yang dikeraskan terbatas pada lapisan permukaan dengan ketebalan maksimal sekitar 2 mm, oleh karena itu pengerasan laser termasuk dalam teknologi perawatan permukaan.(laboratories, 2019)

- **Laser karbon (laser/electron beam surface)**

Pengerasan laser karbon adalah prosedur pengerasan permukaan pendek untuk bahan besi yang dapat mengeras secara martensit menggunakan energi yang ditransfer oleh berkas elektron, pendinginan cepat austenit yang diperlukan untuk pembentukan martensit terjadi melalui pendinginan sendiri, kedalaman pengerasan umum yang diperoleh rentang proses dari 0,1 hingga 1,5 mm. Proses pengerasan bergerak dari permukaan menuju daerah inti bagian dalam komponen melalui konduksi panas. Menawarkan keunggulan distorsi pengerasan yang sangat rendah dan konsumsi energi yang relative rendah dan vakum diperlukan untuk melakukan pengerasan.(Labeebmlp, 2014)

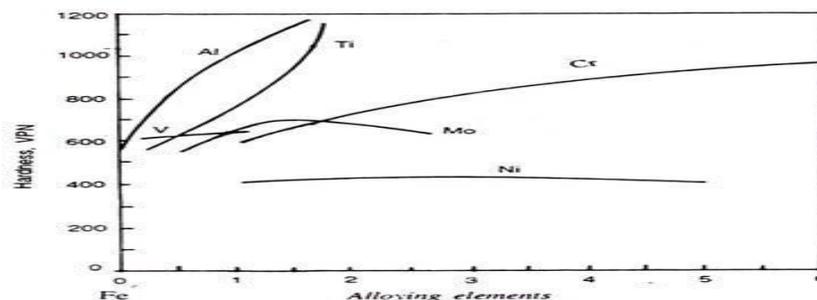
- **Plasma diffusional treatment**

Perawatan difusi plasma diikuti oleh pelapisan (metode dupleks) membuka area aplikasi yang sepenuhnya baru untuk pelapis. Nitrogen yang berdifusi ke permukaan menghasilkan kenaikan kekerasan material yang merata sampai lapisan keras tercapai. Instalasi dupleks fraunhofer IST memungkinkan satu proses berkelanjutan untuk perawatan difusi plasma dan pelapisan keras berikutnya. (fraunhofer, 2019)

2.5 Nitridisasi (Nitriding)

Nitridisasi adalah proses pengerasan permukaan, dimana baja dipanaskan sampai sekitar 500 – 600 °C dilingkungan gas ammonia selama beberapa waktu. Nitrogen yang diserap baja akan membentuk nitrida yang keras dan tersebar merata pada permukaan baja. Proses nitriding ini hampir sama dengan proses karburisasi. Perbedaannya terdapat pada unsur yang didifusikan pada proses ini adalah nitrida. Nitridanya didapat dari gas NH_3 . Kekerasannya mencapai 800-1050 HV (paling tinggi diantara proses lainnya.). Pada dasarnya semua baja dapat dinitriding, tetapi hasil yang baik akan diperoleh bila baja mengandung unsur paduan yang membentuk nitride seperti aluminium, chorm atau molybden. (Sujana, I Wayan. 1996)

Benda kerja yang akan dinitriding dimasukan kedalam dapur yang kedap udara dan gas ammonia dialirkan secara kontinyu selama pemanasan pada temperatur 800°C-550°C. Proses ini berlangsung lama, dapat sampai beberapa hari. Kekerasan yang sangat tinggi (sampai 70 HRC) langsung terjadi setelah terjadinya nitride, tanpa perlu melakukan quenching. Dengan demikian benda kerja terhindar dari kemungkinan distorsi/retak dan tegangan sisa. Nitrida yang terbentuk sangat stail, kekerasannya hampir tidak berubah dengan pemanasan, walaupun sampai lebih dari 600°C (bandingkan dengan martensit yang mulai menjadi lunak pada temperatur yang jauh lebih rendah 200°C). Walaupun proses nitriding berlangsung lama sekali tetapi tebal kulit yang terjadi tipis sekali. Baja untuk nitriding biasanya tidak boleh terlalu lunak, 0.3-0.4% C, agar mampu mendukung kulit yang terlalu tipis tadi. Biasanya benda kerja harus sudah selsai dilakukan pemesinan dan ukuran sudah sangat mendekati ukuran akhir, sehingga sesudah diitriding tidak ada lagi proses machining selain polishing. Baja yang dinitriding mempunyai sifat tahan aus yang sangaat baik, juga sifat terhadap kelelahan menjadi lebih baik, demikian juga sifat tahan korosinya (Zamzami Putrayogi. 2017)



Gambar 2.10 Pengaruh unsur paduan proses nitriding

2.5.1 Macam-macam Proses Nitridisasi

Gas nitriding

Gas nitriding dilakukan dengan pemanasan antara temperature 500-600°C dalam dapur pemanas dengan atmosfer yang banyak mengandung atom nitrogen. Atom tersebut diperoleh dari gas NH₃ yang mudah berdekomposisi pada temperatur nitriding sehingga atom nitrogen aktif akan berdifusi kedalam benda kerja (Deny Ilham Setiyawan, 2017)

Pack nitriding

Mempunyai kesamaan pada proses pack carburising. Pack nitriding dilakukan dengan memanaskan benda kerja didalam kotak tertutup rapat yang berisi nitriding compound. Nitriding ini biasanya sebagai sumber nitrogen aktif. Pemanasan proses ini dilakukan pada temperatur antara 520-570 °C dengan waktu pemanasan kurang dari 12 jam

Plasma nitriding

Merupakan pengembangan dari konvensional gas nitriding dimana sumber gas bisa diperoleh dari amonia atau campuran antara nitrogen dan hidrogen. Proses tersebut berlangsung pada tekanan gas 10 - 800 Pa dengan menggunakan tegangan litrik 300 - 800 V. Sehingga gas terionisasi dan akan melakukan bombardment pada benda kerja. Plasma nitriding dilakukan pada temperatur 400 - 800°C.

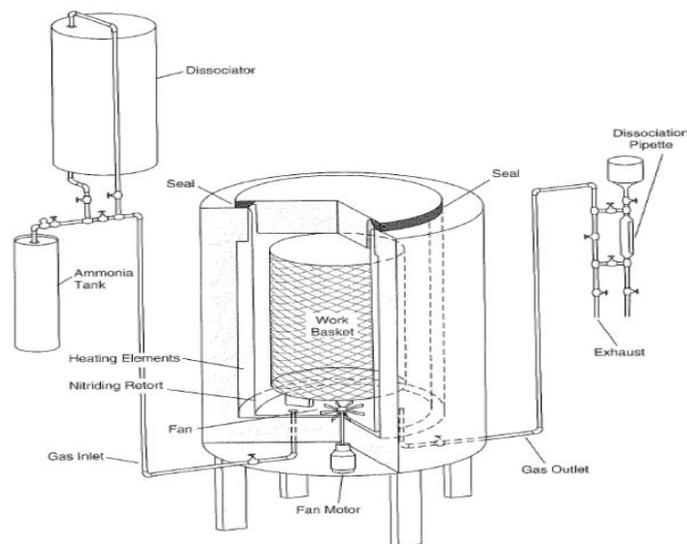
2.5.2 Tujuan Proses Nitriding:

- Untuk memperoleh kekerasan permukaan yang tinggi
- Untuk meningkatkan ketahanan kekerasan permukaan terhadap kenaikan temperatur sampai temperatur nitriding
- Untuk meningkatkan terhadap umur kelelahan
- Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi(ricky septian, 2012)

2.5.3 Nitridasi Dalam Fluidized Bed Furnace

Teknologi fluidized bed telah dimanfaatkan untuk proses perlakuan termokimia gas dalam menghasilkan kekerasan permukaan baja dan besi cor. Serbuk alumina dimanfaatkan sebagai media pada teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari dinding dapur menuju ke spesimen dengan demikian akan menghasilkan peningkatan kualitas pengeras permukaan.

Namun kualitas pengeras permukaan sangat ditentukan oleh paduan besi cor tersebut. Perbedaan unsur paduan bahan akan menghasilkan lapisan pasif yang berbeda pada permukaan masing-masing bahan tersebut sehingga tentunya akan mempengaruhi transfer panas dipermukaan spesimen. Dapur fluidized bed akan memberikan keuntungan karena permukaan material dipanaskan lebih cepat, menghasilkan pengaruh daerah panas yang kecil, kecermatan pada pengontrolan saat perlakuan permukaan dan pada saat proses perlakuan tidak terkontaminasi dengan udara luar. Ini dapat terjadi akibat peran dari serbuk alumina dalam teknologi reactor fluidized bed (W.Sujana, K. A. Widi. 2016)



Gambar 2.11 Skema Perapian Nitridisasi

2.5.4 Keunggulan Penggunaan Fluidized Bed Furnace

- Seluruh jenis material ferrous dan non ferrous dapat di heat treatment
- Kecepatan perpindahan panas yang tinggi dapat tercapai
- Tidak terdapat asap dan masalah terhadap limbah pembuangan

- d. Waktu awal pemanasan lebih singkat dan dapur dapat ditutup sepanjang malam tanpa mengurangi waktu proses produksi berikutnya
- e. Efisiensi termal yang dihasilkan tinggi dengan konsumsi listrik yang rendah (Rahardjo Teguh, 2008)

2.5.5 Kekurangan Dapur Fluidized Bed

- a. Sangat potensial terjadinya peledakan, bila terdapat kebocoran
- b. Arah dari aksi fluidized bed pada permukaan benda kerja yang berorientasi secara berbeda-beda
- c. Variasi ukuran komponen kerja yang diijinkan sulit diketahui (Sujana, I Wayan, 1996)

2.5.6 Suplay Gas Dalam Fluidized Bed Furnance

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada fluidized bed furnance menggunakan beberapa jenis gas tergantung jenis proses yang dilakukan. Jenis gas tersebut antara lain :

- a. Oksigen (O₂)** Gas oksigen berfungsi sebagai fluidising pada waktu heating sampai temperatur 500°C dan cooling dari temperatur 500°C sampai temperatur kamar
- b. Nitrogen (N₂)** Berfungsi sebagai fluidising untuk heating dari temperatur 500°C sampai temperatur proses perlakuan untuk mencegah terjadinya oksidasi terhadap material atau logam yang dipanaskan karena pada temperatur tersebut getaran atom sangat tinggi sehingga udara luar masuk kedalam system. Fungsi utama dari nitrogen adalah memberikan tekanan yang besar dalam system untuk membantu proses reaksi kimia pada gas.
- c. Natural gas (LPG dan metana)** Berfungsi sebagai gas pembentuk karbon akibat reaksi kimia dengan Fe dan nitrogen untuk membentuk karbida dalam karbon rendah. Gas ini digunakan untuk proses karburisasi, karbonitridasi, dan nitrokarburisasi
- d. Ammonia (NH₃)** Digunakan pada proses nitridisasi, karbonitridasi, dan nitrokarburisasi Dimana unsur N dari ammonia (NH₃) V membentuk reaksi kimia dengan Fe, Al, Cr, Mo, dan V untuk membentuk lapisan nitrida pada permukaan logam.

2.5.7 Karakteristik Fluidized Bed

Karakteristik yang penting dalam reaktor fluidized bed adalah perpindahan panas yang menghasilkan efisiensi yang tinggi. Gejala fluidisasi disebabkan oleh partikel oksida inert (alumina dan pasir silika) halus, kering dan bertingkah laku seperti zat cair, bila partikel satu dengan yang lainnya terpisah oleh gas yang bergerak melewati bed.

Suatu fluidized bed gas dapat ditinjau sebagai fasa padatan selama menunjukkan batas atas yang terdefiniskan secara jelas. Pada kecepatan aliran gas terlalu tinggi, kecepatan akhir padatan terlewati, batas atas bed menghilang dan dalam kondisi demikian padatan terlempar dari dapur oleh aliran gas. Meskipun sifat padatan dan cairan itu sendiri menentukan mutu dari fluidasi, banyak faktor yang mempengaruhi jumlah dari campuran padatan yang mempunyai sifat tidak sejenis didalam bed. Faktor-faktor ini termasuk : ukuran bed, jumlah aliran gas dan jenis dari gas yang digunakan .Didalam menentukan mutu fluidisasi, suatu diagram penurunan tekanan (Δp) terhadap (μ_0) bermanfaat sebagai gambaran, jika pengamatan visual tidak memungkinkan (Lawrance H.Van Vlack, 1983)

2.5.8 Parameter dan Proses Fluidized Bed

Adanya ailiran turbulen dan pergerakan cepat dari fluida (alumunium dan silika), menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas pada fluidized bed biasanya atau umumnya antara $120 - 1200 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

Adanya beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas yaitu :

a. Diameter partikel

Akan memberi pengaruh terhadap perpindahan panas. Pada umumnya diupayakan ukuran partikel sekecil mungkin, namun dibawah ukuran yang ditetapkan akan menyulitkan proses, ukuran optimum partikel yaitu $100 \mu\text{m}$

b. Material bed

Yang menentukan sifat fisik dari berbagai material bed adalah kerapatan. Kerapatan yang optimum untuk bed berkisaran antara $1280 - 1600 \text{ kg/m}^3$. Material yang lebih rapat menghasilkan koefisien perpindahan panas rendah dan dibutuhkan tenaga lebih besar untuk fluidisasi. Umumnya material bed yang digunakan adalah alumina pada kondisi

operasi diatas temperatur 1050°C, maka material bed yang digunakan adalah pitch coke yang sama seperti alumina tidak memebrikan pengaruh bahaya pada kesehatan dan lingkungan.

c. Kecepatan fluidisasi gas

Kecepatan fluidisasi optimal akan menghasilkan kecepatan perpindahan panas maksimal. Biasanya berkisar antara 2 – 3 kali kecepatan fluidisasi minimum. Kecepatan fluidisasi yang terlalu tinggi menyebabkan komsumsi dari gas fluida juga tinggi dan perpindahan panas rendah. Sedangkan kecepatan fluidisasi terlalu rendah akan menyebabkan perpindahan panas berkurang.

2.6 Pengaruh Unsur Paduan

Besi cor terbuat dari paduan besi – karbon – silikon dengan unsur tambahan lainnya. Seperti halnya bahan campuran yang lainnya, besi cor juga bisa dipengaruhi unsur-unsur kimia.

Seperti tingginya kadar karbon menyebabkan besi cor bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa. Unsur-unsur paduan yang dimasukkan ke dalamnya seperti : karbon, silikon, mangan, fosfor dan belerang akan berpengaruh besar pada pembentukan sifat fisik/mekaniknya. Secara detailnya akan dibahas sebagai berikut :

a. Karbon (C)

Besi yang mengandung kadar karbon >2% adalah besi cor dan besi cor kelabu (3-4%). Kadar karbon ini tergantung dari jenis besi kasarnya, besi bekas dan yang diserap dari kokas selama proses peleburan. Sifat fisis logam selain tergantung pada kadar karbon, juga ditentukan oleh bentuk karbon grafitnya . Morfologi grafit tergantung dari laju pendinginan dan kadar silikon. Kadar silikon yang tinggi memperbesar kemungkinan pembentukan grafit. Grafit meningkatkan kemampuan permesinan. Kekuatan dan kekerasan besi meningkat dengan bertambahnya kadar karbon. Bila karbon terikat pada besi tuang sebagai sementit akan diperoleh besi tuang putih, dan bila karbon terikat sebagai grafit akan diperoleh besi tuang kelabu.

b. Belerang (S)

Belerang sangat merugikan, karena menyebabkan terjadinya lubang-lubang akibat membentu ikatan dengan karbon dan menurunkan fluiditas sehingga mengurangi kemampuan

tuang besi cor. Jadi selama proses peleburan selalu diusahakan untuk mengikatnya, antara lain dengan menambahkan ferromangan. Setiap kali melebur besi cor, kadar belerang akan meningkat sebesar 0,03% yang berasal dari bahan bakar.

c. Fosfor (P)

Bahan ini membuat besi mudah mencair dan bertambah getas. Bila kandungan fosfor tidak lebih dari 0,3%, besi tuang menjadi kehilangan kekerasannya. Dan tidak mudah dikerjakan. Bila besi yang diinginkan amat halus dan tipis kandungan fosfornya bervariasi sekitar 1 sampai 1,5%

d. Silikon (Si)

Silikon bersama-sama dengan besi dalam bentuk massa. Bila kandungan silikon kurang dari 2,5% menjadi besi bersifat lebih mudah dituang. Silikon juga mengurangi besar susut pengerasan maupun menjadikan besi bersifat lunak. Kandungan kadar silikon sampai 3,25% bersifat menurunkan kekerasan besi. Sebaliknya kelebihan silikon di atas 3,25% akan membentuk ikatan yang keras dengan besi, sehingga meningkatkan kekerasan besi. Kadar silikon menentukan berapa bagian dari karbon terikat dengan besi dan berapa bagian membentuk grafit setelah tercapai keadaan setimbang. Pada benda coran yang kecil dianjurkan menggunakan kadar silikon yang tinggi dan yang besar dengan kadar yang lebih rendah. Untuk memperoleh paduan yang tahan asam dan tahan korosi, sebaiknya diberi kadar silikon 13-17%. Besi tuang kelabu berkadar silikon rendah mudah untuk perlakuan panas. Silikon yang mungkin hilang selama proses peleburan berkisar kurang lebih 10%.

e. Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur deoksidasi, pemurni sekaligus meningkatkan fluiditas, kekuatan dan kekerasan besi. Bila kadarnya ditingkatkan, kemungkinan terbentuknya ikatan kompleks dengan karbon meningkat dan kekerasan besi cor akan naik. Jumlah mangan yang hilang selama proses peleburan berkisar antara 10-20%. Kandungan mangan tidak boleh lebih dari 0,1%