

BAB 3

LOGAM BESI DAN PADUANNYA

3.1. Logam Besi (*Ferro of Metals*)

Secara garis besar, logam diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu logam *ferro* (Fe) dan *non-ferro*. Logam besi (*Ferro*) memiliki sifat magnetis karena unsur utamanya adalah logam. Hampir 90% bahan logam yang digunakan sebagai logam teknik adalah *ferro*. Pada dasarnya *ferro* dibedakan menjadi dua, yaitu logam tuang dan baja. Perbedaan keduanya terletak pada prosentase berat karbon. Logam tuang memiliki kadar karbon 2% hingga 4,5%. Sedangkan baja memiliki kadar karbon antara 0,05 hingga 2%.

Logam *ferro* dapat dibuat menjadi logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi. Untuk menghasilkan suatu logam paduan yang mempunyai 2 sifat yang berbeda dengan besi dan karbon, maka dicampur dengan berbagai macam logam lainnya. Sementara pengertian logam adalah elemen kerak bumi (mineral) yang terbentuk secara alami, di mana jumlah logam diperkirakan 4% dari kerak bumi. Logam dalam bidang keteknisian adalah besi, yang biasanya dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan, pipa-pipa, alat-alat pabrik dan sebagainya.

Dalam dunia keteknikan misalnya, logam merupakan logam yang paling mendominasi dari bahan-bahan teknik lainnya sebagai bahan yang paling utama dalam pembuatan mesin. Sementara dipihak lain terutama di dunia pendidikan, kita di haruskan untuk mengerti unsur- unsur yang terkandung di dalam logam tersebut. (Dody, P. 2010).

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat tertentu, yaitu:

- a) Dapat ditempa dan diubah bentuknya.
- b) Penghantar panas dan listrik.
- c) Keras (tahan terhadap goresan, potongan atau keausan), kenyal (tahan patah bila dibentang), kuat (tahan terhadap benturan, pukulan martil), dan juga liat (dapat ditarik).

Logam *ferro* /logam besi (*Fe*) merupakan logam yang penting dalam bidang teknik, tetapi besi murni terlalu lunak dan rapuh sebagai bahan kerja, bahan konstruksi, dll. Oleh karena itu besi selalu bercampur dengan unsur lain, terutama zat arang/karbon (C). Sebutan besi dapat berarti:

1. Besi murni dengan simbol kimia Fe yang hanya dapat diperoleh dengan jalan reaksi kimia.

2. Besi teknik adalah yang sudah atau selalu bercampur dengan unsur lain.

Besi teknik terbagi atas tiga macam yaitu:

- a) Besi mentah atau besi kasar yang kadar karbonnya lebih besar dari 3,7%.
- b) Besi tuang yang kadar karbonnya antara 2,3 sampai 3,6 % dan tidak dapat ditempa.
- c) Baja atau besi tempa yaitu kadar karbonnya kurang dari 1,7 % dan dapat ditempa.

Logam *ferro* juga disebut besi karbon atau baja karbon. Bahan dasarnya adalah unsur besi (Fe) dan karbon (C), tetapi sebenarnya juga mengandung unsur lain seperti: silisium, mangan, fosfor, belerang dan sebagainya yang kadarnya relatif rendah. Unsur-unsur dalam campuran itulah yang mempengaruhi sifat-sifat besi atau baja pada umumnya, tetapi unsur zat arang (karbon) yang paling besar pengaruhnya terhadap besi atau baja terutama kekerasannya.

Pembuatan besi atau baja dilakukan dengan mengolah bijih besi di dalam dapur tinggi yang akan menghasilkan besi kasar atau besi mentah. Besi kasar belum dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat benda jadi maupun setengah jadi, oleh karena itu, besi kasar itu masih harus diolah kembali di dalam dapur-dapur baja. Logam yang dihasilkan oleh dapur baja itulah yang dikatakan sebagai besi atau baja karbon, yaitu bahan untuk membuat benda jadi maupun setengah jadi.

Logam logam-baja diperoleh melalui proses penambangan, pemisahan bijih logam, dan reduksi (industri hulu), pengolahan bijih logam melalui pemurnian dan pemaduan (industri antara), dan pembentukan produk (industri hilir).

Pembagian klasifikasi logam paduan ditunjukkan pada Gambar 3.1, memperlihatkan baja termasuk logam fero (besi) yang dibagi lagi menjadi baja paduan rendah dan baja paduan tinggi.

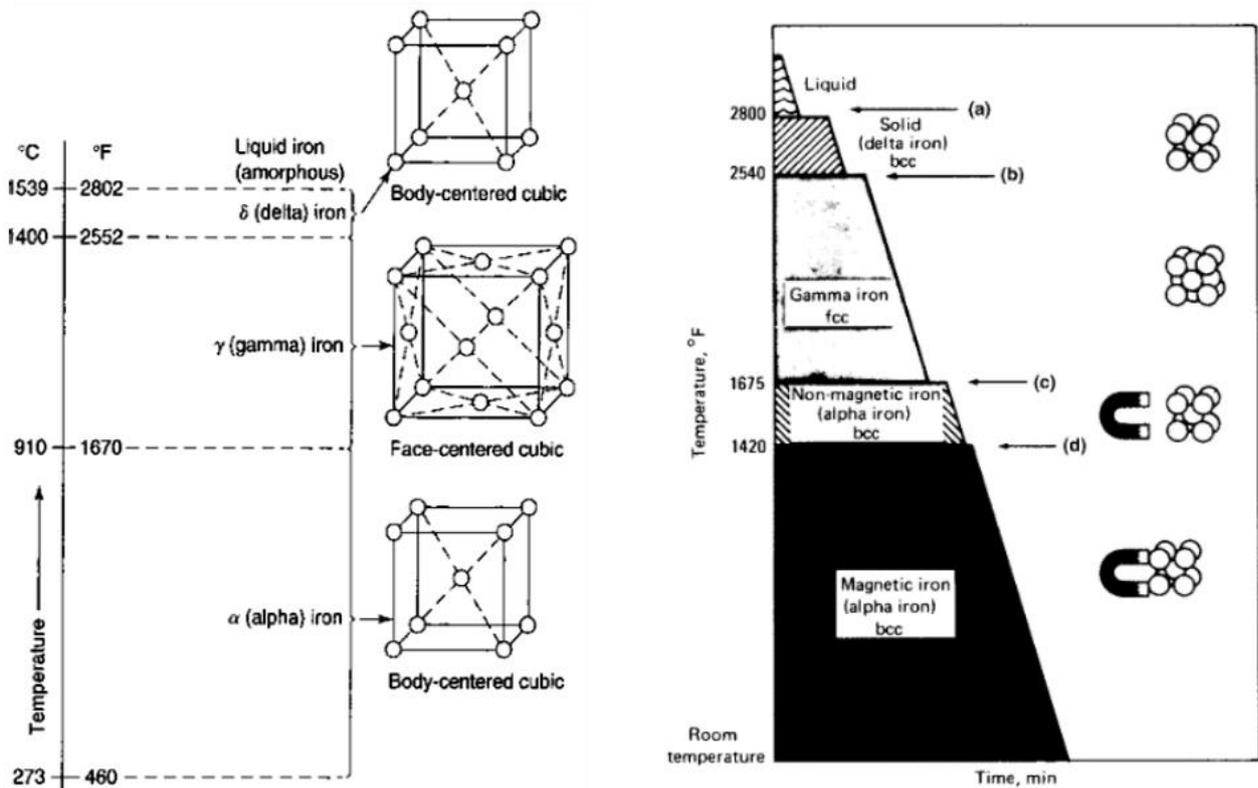


Gambar 3.1. Klasifikasi Paduan Logam
Sumber: Bondan T. Sofyan, 2010

Bahan utama besi dan paduannya adalah besi kasar, yang dihasilkan dalam dapur tinggi. Bijih bijih besi yang telah diproses pendahuluan, dicampur dengan kokas dan batu gamping (batu kapur) dilebur dalam dapur tinggi. Komposisi kimia besi yang dihasilkan tergantung pada jenis bijih yang digunakan. Jenis bijih besi yang lazim digunakan adalah hematit, magnetit, siderit dan himosit. Hematit (Fe_2O_3) adalah bijih besi yang paling banyak dimanfaatkan karena kadar besinya tinggi, sedang kadar kotorannya relatif rendah. Meskipun pirit (Fe S_2) banyak ditemukan, jenis bijih ini tidak digunakan oleh karena kadar sulfur (belerangnya) tinggi sehingga diperlukan tahap pemurnian tambahan.

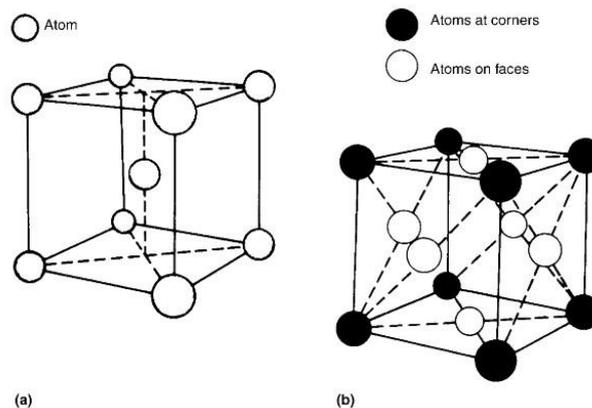
Semua logam murni, seperti juga paduannya, memiliki konstitusional atau diagram fase tersendiri. Biasanya, persentase dari dua elemen utama ditampilkan pada gambar sumbu horizontal, sedangkan variasi suhu ditampilkan pada sumbu vertikal. Namun, diagram dari logam murni adalah garis vertikal sederhana. Diagram konstitusi untuk besi murni komersial disajikan pada Gambar 3.2 Diagram khusus ini adalah lurus.

Saat pendinginan berlanjut hingga $910\text{ }^\circ\text{C}$ ($1675\text{ }^\circ\text{F}$) (titik c, Gambar 3.2), maka struktur kembali ke kisi sembilan atom atau besi alfa. Perubahan pada titik d pada Gambar. 3.2 ($770\text{ }^\circ\text{C}$, atau $1420\text{ }^\circ\text{F}$) hanya menunjukkan perubahan dari besi nonmagnetik menjadi magnetis dan tidak menunjukkan perubahan fasa.



Gambar 3.2 Perubahan besi murni saat mendingin dari keadaan cair ke suhu kamar.

Seluruh bidang di bawah 910 °C (1675 °F) terdiri dari ferit alfa, yang terus berlanjut ke suhu kamar dan di bawahnya. Ferit terbentuk di atas kisaran suhu austenit sering disebut sebagai delta ferit; yang membentuk di bawah A3 sebagai ferit alfa, meskipun keduanya secara struktural serupa. Dalam urutan huruf Yunani ini, austenit adalah besi gamma, dan pertukaran istilah-istilah ini seharusnya tidak membingungkan fakta bahwa hanya dua ada bentuk-bentuk besi yang secara struktural berbeda. Gambar 3.2 dan 3.3 dengan demikian menggambarkan alotropi besi.



Gambar 3.3 Susunan atom dalam dua struktur kristal dari besi murni. (a) Body centered cubic lattice. (b) Face- centered cubic lattice

Wrought Iron (Besi Tempa) adalah bentuk besi paling murni; meskipun mungkin mengandung karbon dalam persentase yang kecil. Wrought Iron biasanya dibuat dengan proses puddling dan selain itu pada proses pemuatannya mengandung lebih sedikit terak. Wrought Iron (Besi Tempa) sangat mahal dan penggunaannya sudah hampir benar-benar digantikan oleh baja yang lebih murah. Namun, untuk beberapa komponen seperti rantai-kait (Chain-links) besi tempa masih menjadi bahan baku pilihan. Di beberapa rumah-rumah tua, besi tempa digunakan pada pagar dan besi gerbang.



Gambar 3.4 Besi Tempa

3.2. Baja (Steel)

Baja adalah produk dari paduan logam selain logam tuang. Penggunaannya cukup luas, dari keperluan industri manufaktur, konstruksi, teknik sipil, hingga permesinan. Kandungan karbon pada baja di bawah logam tuang, yaitu antara 0-1,8% saja. Jenis baja cukup banyak dengan berbagai varian kekuatan, kekerasan, keuletan, kemampukerasan, mampu las, mampu bentuk, mampu tempa, ketahanan korosi dan aus yang semuanya dipengaruhi oleh cara pembuatan, kadar komposisi kimia, unsur padu, dan treatment yang diberikan.

a) Berdasarkan kadar karbon, maka terdapat tiga jenis baja, yaitu baja *low carbon steel*, *medium carbon steel* dan *high carbon steel*.

- Baja Karbon Rendah/*Low Carbon Steel*. Baja ini memiliki kadar karbon tidak lebih dari 0.25% atau disebut baja *hypo-eutectoid*, Sifat baja ini lunak, tidak kuat, ulet dan tangguh, sulit diberi perlakuan panas. Kekuatannya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin. Struktur mikro berupa ferrite dan pearlite. Baja *low carbon* ini diaplikasikan untuk kaleng minuman, lembaran baja untuk pipa, jembatan, bangunan, baja struktur (profil I, kanal, baja sudut) dan untuk pembuatan sebagian komponen mobil. Sebagian baja rendah karbon dapat ditingkatkan kekuatannya dengan menambahkan unsur Co, V, Ni dan Mo sehingga membuatnya lebih

mudah dibentuk, dimesin dan kekuatannya bisa ditingkatkan dengan perlakuan panas. Contoh baja jenis ini adalah baja *high strenght low alloy* (HSLA).

- Baja Karbon Sedang / *Medium Carbon Steel*. Kadar karbon baja medium berkisar antara 0.25 - 0.60% C. Sifat baja ini keras, ulet dan kuat, karena umumnya diaplikasikan setelah disepuh dan ditemper sehingga struktur mikro yang dimiliki berupa martensit temper. Unsur paduan yang ditambahkan antara lain Cr, V, dan Mo yang membentuk karbida. Aplikasi baja ini kebanyakan untuk roda kereta api, roda gigi, poros engkol, dll.
- Baja Karbon Tinggi/ *High Carbon Steel* memiliki kadar karbon berkisar antara 0.6-1,4 % C. Sifat baja ini paling keras, kuat, tahan aus namun rapuh/tidak ulet. Struktur mikro berupa pearlit terdapat sementit (Fe_3C). Unsur paduan yang ditambahkan biasanya Cr, V, T, W dan Mo. Baja karbon tinggi digunakan untuk cetakan, pisau, gergaji, pegas, bantalan, dan *die*.

b) Berdasarkan total paduan, maka ada dua jenis yaitu paduan rendah dan tinggi. Disebut baja paduan rendah karena total unsur pemadu yang dimiliki $\leq 8\%$. Dengan merekayasa prosentase paduan seperti nickel, silicon, aluminum, and manganese akan memudahkan dalam merekayasa sifat-sifat baja. Baja jenis ini sangat sesuai untuk komponen mesin semisal baut, poros, dan roda gigi. Selain itu, baja ini juga digunakan untuk logam boiler dan bejana tekan (*pressure vessels*). Baja paduan tinggi memiliki total pemadu $> 8\%$. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain baja tahan aus (*wear resistant steel*), baja tahan panas (*heat resistant steel*), dan baja tahan korosi (*stainless steel*). Untuk baja stainless paduan unsur krom (Cr) paling sedikit 11% dan biasanya ditambahkan unsur Ni dan Mo.

c) Berdasarkan fasa struktur mikronya baja stainless ini masih dibagi lagi dalam berbagai tipe yaitu: tipe austenit seperti 304, 321, 347, 316 dan 317 dengan aplikasi yang luas dari peralatan makanan dan minuman hingga komponen permesinan, dan arsitektur, dll. Tipe feritik seperti tipe 430 banyak digunakan untuk peralatan pengolahan dan penyimpanan makanan, pipa penukar panas (*heat exchanger tube*), automotive trim, dll. Tipe martensit banyak digunakan untuk katup, baut, mur, ulir, *turbin buckets*, pisau operasi, gunting, dll. Contoh tipe 410, 416 dan 431. Tipe duplek, seperti UNS S31803, UNS S32750, UNS S32750 merupakan baja stainless dengan fasa feritik dan austenit sekaligus. Kadar Cr

hingga 20% dan melalui heat treatment sehingga strukturnya lebih halus. Aplikasinya adalah untuk alat-alat pengolahan minyak, gas, pipa *heat exchanger*, petrokimia dan kimia. Tipe PH (*precipitation hardening*), yaitu baja stainless yang didesain memiliki ketangguhan, kekuatan tinggi serta ketahanan korosi normal melalui perlakuan panas. Contohnya untuk valve dan komponen pesawat terbang.

Baja Tahan Panas (*Heat Resistant Steel*), jenis baja ini didesain untuk komponen yang bersinggungan dengan panas tinggi. Jenis baja ini juga banyak menggunakan stainless steel tipe austenit.

Baja Tahan Aus (*Wear Resistant Steel*) atau Baja khusus perkakas / pahat potong dan cetakan logam. Dan yang termasuk baja ini antara lain *high speed tool steels*, *shock resisting tool steels*, *hot work tool steels*, *low carbon mold steels*, *cold work tool steels*, dan *special purpose tool steels*.

Baja Super Paduan (*Iron Base Superalloys*), untuk baja-baja paduan super biasanya memiliki penamaan tersendiri berdasarkan pada trademarnya masing-masing.

Secara umum baja dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu, baja karbon biasa (*plain carbon steel*), dan baja paduan (*alloy steel*). Baja karbon biasa (*plain carbon steel*) adalah jenis baja dengan satu unsur paduan dasar yaitu karbon. Sedangkan pada baja paduan (*alloy steel*), selain unsur karbon, ditambahkan pula elemen paduan lainnya seperti kromium, nikel, tungsten, molibdenum, dan vanadium untuk menghasilkan sifat dan karakteristik tertentu pada baja.

Selain unsur besi dan karbon, pada proses pembuatan baja selalu digunakan empat elemen lainnya yaitu Belerang (S), Fosfor (P), Mangan (Mn) dan Silikon (Si). Keempat unsur tersebut ditambahkan agar proses peleburan baja dapat dilakukan dengan baik dan memperoleh sifat dasar dari baja. Penambahan keempat unsur tersebut dilakukan dalam konsentrasi yang kecil, namun efek belerang dan fosfor dapat mempengaruhi sifat baja dan dapat merugikan, oleh karena itu umumnya konsentrasi belerang dan fosfor tidak diperbolehkan melebihi 0,05%. Begitu pula konsentrasi paduan unsur mangan dan silikon dalam baja dijaga di bawah 0,8% dan 0,3%. Meskipun efeknya tidak merusak sifat dari baja, bahkan untuk mangan dapat melawan efek buruk pada belerang.

Penggunaan keempat unsur tersebut merupakan proses dasar pada pembuatan baja karbon biasa dan bukan dikategorikan sebagai baja paduan. Namun, jika Mn dan Si sengaja ditambahkan dengan konsentrasi tinggi ke baja untuk mengubah sifat baja, maka baja tersebut kedalam kategori baja paduan.

1. Plain Carbon Steel

Karena sifat-sifat baja karbon biasa (Plain Carbon Steel) sangat bergantung pada persentase karbonnya, maka pada baja ini selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan persentase karbonnya saja :

- a. Baja karbon rendah (Low carbon steel) atau dead mild steel memiliki kandungan karbon di bawah 0,15%.

Memiliki kemampuan las dan keuletan yang sangat baik. Oleh karena itu, ini digunakan dalam tabung yang dilas dan ditarik padat, lembaran tipis dan batang kawat, dll. Ini juga digunakan untuk bagian-bagian yang mengalami beban kejut tetapi harus memiliki ketahanan aus yang baik. Untuk meningkatkan ketahanan ausnya, suku cadang harus menjalani proses pengerasan casing; yang memberikan permukaan yang keras, sedangkan intinya tetap lembut dan kokoh.

- b. Baja ringan (Mild steel) memiliki kandungan karbon antara 0,15 - 0,3%.

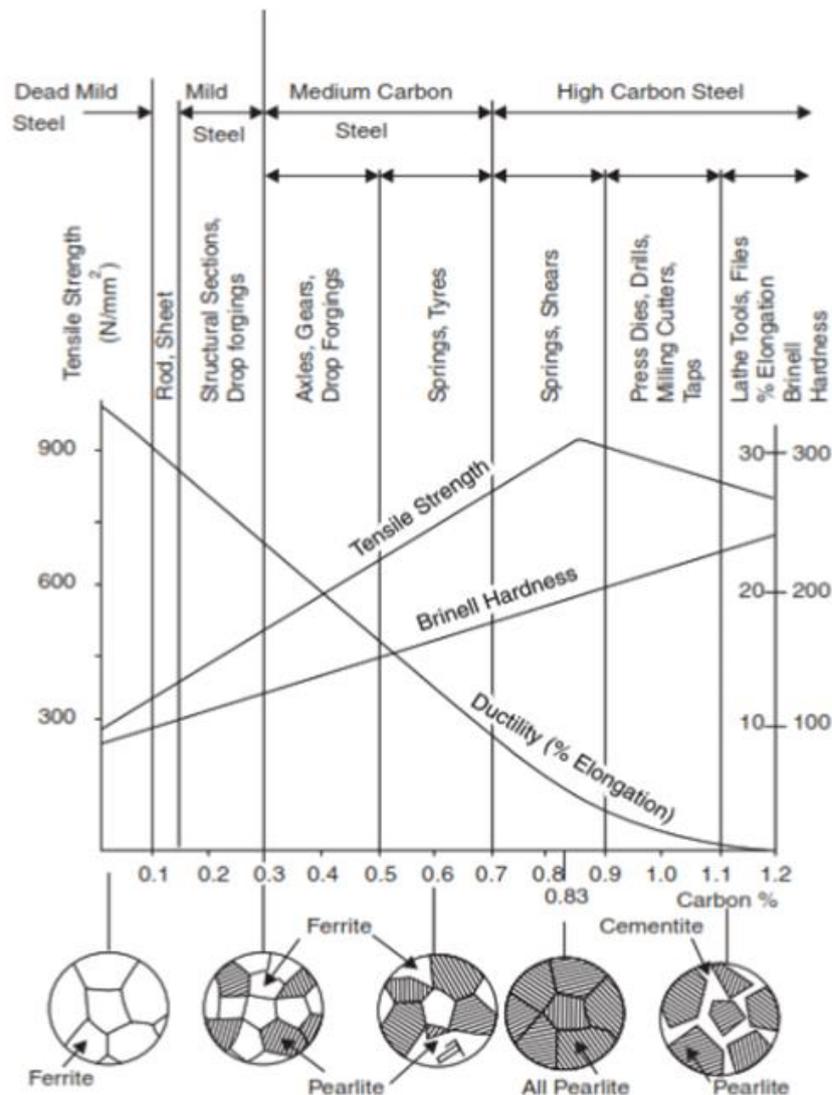
Pada akhirnya lebih sering juga disebut baja karbon rendah, digunakan sangat luas untuk pekerjaan struktural. Ini mempertahankan kemampuan las yang sangat baik jika persentase karbon dibatasi hingga 0,25%. Tempa, stempel, lembaran dan pelat, batangan, batang dan tabung terbuat dari baja ringan.

- c. Baja karbon sedang (Medium carbon steel) memiliki kandungan karbon antara 0,3 - 0,7%.

Memiliki sedikit kemampuan las tetapi lebih kuat dan memiliki properti keausan yang lebih baik daripada baja ringan. Ini digunakan untuk as roda kereta api, rotor dan cakram, tali kawat, jeruji baja, poros laut, poros karbon, alat pertanian umum dll.

- d. Baja karbon tinggi (High carbon steel) memiliki kandungan karbon di atas 0,7% -1,3%. Digunakan untuk perkakas tangan seperti pahat dingin, cetakan kerja dingin, palu, peralatan pembuat boiler, perkakas pengerjaan kayu, keran tangan dan reamers, filer, pisau cukur, pisau geser, dll. Baja karbon tinggi dapat dikeraskan dengan proses

quenching dan sedang hard dapat digunakan untuk alat potong yang tidak digunakan dalam kondisi panas. Jika menjadi panas (di atas 150 °C), kekerasannya mulai berkurang dan menjadi tumpul. (Gupta, 2009).



Gambar 3.5 Mikrostruktur, mechanical properties, dan penggunaan plain carbon steels

2. Alloy Steels

Sifat dari baja karbon biasa dapat ditingkatkan secara drastis dengan penambahan elemen paduan. Faktanya, dalam kasus baja, efek paduan jauh lebih menonjol. Objek utama paduan baja adalah:

- Baja paduan dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas sampai lebih dalam dan dengan sedikit distorsi dan kemungkinan retak yang lebih kecil.
- Paduan mengembangkan sifat tahan korosi seperti pada baja tahan karat.
- Paduan mengembangkan properti kekerasan merah seperti pada alat pemotong.

- d) Paduan mengembangkan kekuatan dan ketangguhan baja seperti pada baja paduan rendah berkekuatan tinggi (HSLA).
- e) Beberapa baja paduan menunjukkan ketahanan yang nyata terhadap pertumbuhan butir dan oksidasi pada suhu tinggi, dll.

Unsur paduan utama yang digunakan adalah kromium, nikel, tungsten, molibdenum, vanadium, kobalt, mangan dan silikon. Baja paduan tersedia dalam berbagai variasi, masing-masing telah dikembangkan untuk a tujuan spesifik. Untuk lebih mudah dalam mempelajarinya dengan mengelompokkannya dalam (i) baja tahan karat, (ii) baja perkakas dan (iii) baja khusus.

Baja tahan karat (Stainless Steel). Baja ini disebut stainless karena tidak mudah berkarat atau berkarat. Unsur paduan utama yang digunakan adalah kromium dan nikel. Baja tahan karat dibagi lagi menjadi tiga kategori berikut:

1. Baja tahan karat feritik. Baja ini mengandung maksimum 0,15% karbon, 6 - 12% kromium, 0,5% nikel selain besi dan jumlah mangan dan silikon yang biasa. Baja ini tahan karat dan relatif murah. Mereka juga bersifat magnetis. Baja ini pada dasarnya adalah paduan besi-kromium dan tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Penggunaan baja tersebut untuk pembuatan peralatan susu, pabrik pengolahan makanan, industri kimia, dll.
2. Baja tahan karat martensitik. Baja tahan karat ini memiliki 12 – 18% kromium tetapi mengandung persentase karbon yang lebih tinggi (0,15–1,2%). Baja ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, tetapi ketahanan korosinya berkurang. Baja ini digunakan untuk membuat pisau bedah, jarum suntik, baut, mur, sekrup dan pisau dll.
3. Baja tahan karat Austenitik. Ini adalah yang paling penting dan paling mahal di antara semua baja tahan karat. Pada baja ini, selain kromium, juga ditambahkan nikel. Nikel adalah penstabil austenit yang sangat kuat dan oleh karena itu struktur mikro dari baja-baja ini bersifat austenitik pada suhu kamar. Yang paling umum di antara baja tahan karat adalah baja 18/8. Komposisinya adalah kromium 18%, nikel 8%, karbon 0,08–0,2%, maksimum mangan 1,25% dan silikon 0,75% maksimum.

Baja ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik tetapi tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Namun, mereka sangat rentan terhadap 'pengerasan regangan'. Bahkan, karena pengerasan regangan, pengerjaannya menjadi sangat sulit. Biasanya digunakan secara luas untuk peralatan rumah tangga dan di pabrik kimia dan tempat lain di mana ketahanan korosi yang tinggi diperlukan.

Baja perkakas (Tool Steel). Persyaratan dalam baja perkakas adalah harus mampu menjadi sangat keras dan selanjutnya, harus mampu mempertahankan kekerasannya pada suhu tinggi yang biasa dikembangkan selama pemotongan baja dan bahan lainnya. Baja perkakas selanjutnya tidak boleh rapuh dan harus memiliki kekuatan yang baik.

Baja kecepatan tinggi (HSS). Baja kecepatan tinggi (HSS) adalah nama yang diberikan untuk baja perkakas yang paling umum. Namanya menyiratkan bahwa ia dapat memotong baja dengan kecepatan potong tinggi. Pada kecepatan potong tinggi, kenaikan suhu lebih tinggi tetapi tool baja kecepatan tinggi dapat mempertahankan kekerasannya hingga 600–625 ° C. Komposisi khas H.S.S. adalah tungsten 18%, kromium 4%, vanadium 1%, karbon 0,75–1%, sisa besi.

Tungsten adalah logam yang mahal. Telah ditemukan bahwa molibdenum juga dapat memberikan "kekerasan merah" pada baja dan sebenarnya setengah persen dari molibdenum dapat menggantikan satu persen tungsten. Molibdenum jauh lebih murah daripada tungsten. H.S.S. dengan tungsten dikenal sebagai T-series dan H.S.S. dengan molibdenum dikenal sebagai baja seri-M. H.S.S. yang sangat berguna memiliki komposisi tungsten 6%, molibdenum 6%, chromium 4% dan vanadium 2%, disamping besi dan karbon. Versi lain dari H.S.S. disebut baja kecepatan super tinggi. Ini dimaksudkan untuk alat berat dan memiliki sekitar 10-12% kobalt, 20-22% tungsten, 4% kromium, 2% vanadium, 0,8% karbon, sisa besi. Saat ini, baja perkakas terbuat dari tungsten karbida dan bahan lainnya, selain H.S.S.

Baja Paduan Khusus

- Baja mangan. Semua baja mengandung sejumlah kecil mangan untuk mengurangi efek buruk sulfur. Baja paduan mangan yang sebenarnya mengandung Mn dalam jumlah yang jauh lebih besar. Baja mangan memiliki sifat pengerasan kerja, digunakan untuk titik dan penyeberangan kereta api, dan dengan penggunaan yang lebih luas lagi, mereka menjadi lebih tahan aus.
- Baja nikel. Nikel dapat ditambahkan ke dalam baja hingga 50%. Nikel membuat baja sangat tahan terhadap korosi, non-magnetik, dan memiliki koefisien muai panas yang sangat rendah. Baja semacam itu digunakan untuk bilah turbin, katup mesin pembakaran internal, dll.
- Baja kromium. Chromium membuat baja tahan korosi, dan meningkatkan UTS-nya. dan kekuatan IZOD. Sangat sering baja paduan digunakan dengan penambahan

kromium dan nikel. Kabel baja Ni-Cr sering digunakan di tungku, pemanggang roti, dan pemanas.

- Baja silikon. Sebuah baja yang mengandung 0,05% karbon, sekitar 0,3% Mn dan 3,4% silikon memiliki histeresis magnetis yang sangat rendah dan digunakan secara luas untuk membuat laminasi mesin listrik. Baja silico-mangan juga sering digunakan untuk membuat pegas.

Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang, profil dan sebagainya. Berdasarkan unsur paduannya, klasifikasi baja mengikuti SAE (Society of Automotive Engineers) dan AISI (American Iron and Steel Institute) tampak pada Tabel. 3.1

Tabel 3.1 Klasifikasi baja

Classification	Number	Range of Numbers
Carbon steel SAE-AISI	1XXX	
Plain carbon	10XX	1006-1095
Free machining (resulfurized)	11XX	1108-1151
Resulfurized, rephosphorized	12XX	1211-1214
Manganese (1.5-2.0%)	13XX	1320-1340
Molybdenum	4XXX	
C-Mo (0.25% Mo)	40XX	4024-4068
Cr-Mo (Cr, 0.70%; Mo, 0.15%)	41XX	4130-4150
Ni-Cr-Mo (Ni 1.8%, Cr, 0.65%)	43XX	4317-4340
Ni-Mo (1.75% Ni)	46XX	4608-4640
Ni-Cr (0.45%)-Mo (0.2%) -	47XX	
Ni-Mo (3.5% Ni, 0.25% Mo)	48XX	4812-4820
Chromium	5XXX	
0.5% Cr	50XX	
1.0% Cr	51 XX	5120-5152
1.5% Cr	52XXX	52095-52101
Corrosion-heat resistant	514XX	(AISI 400 series)
Chromium-Vanadium	6XXX	
1% Cr.-0.12V,	61XX	6120-6152
Silicon-Manganese		
0.85 Mn, 2% Si	92XX	9255-9262
Triple-alloy steels		
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo	86XX	8615-8660
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo	87XX	8720-8750
3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo	93XX	9310-9317
0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo	94XX	9437-9445
0.45% Ni, 0.15% Cr, 0.20% Mo	97XX	9747-9763
1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo	98XX	9840-9850
Boron (about 0.005% (Mn)).	XXBXX	

3.3. Besi Cor/Besi Tuang

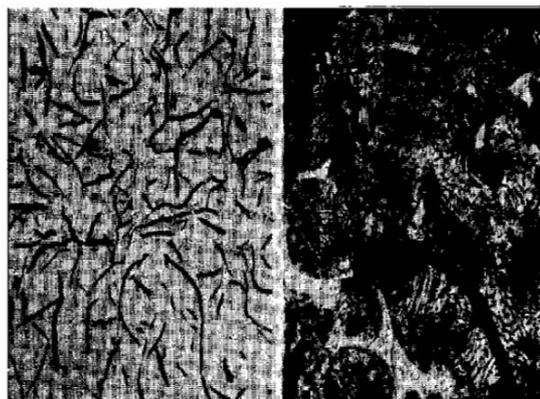
Besi cor adalah paduan: besi - karbon - silikon dengan unsur tambahan lainnya.. Salah satu karakteristik dari besi cor (kecuali besi tuang putih) adalah banyak kandungan karbon yang terdapat dalam bentuk bebas sebagai grafit. Fakta inilah yang sebagian besar menentukan sifat-sifat besi cor.

Besi tuang umumnya diproduksi di tungku kubah berbahan bakar kokas dengan melelehkan campuran pig iron, besi cor skrap dan sebagian kecil (biasanya tidak melebihi 5%) skrap baja berukuran kecil. Titik leleh besi tuang jauh lebih rendah dibandingkan dengan baja. Sebagian besar coran yang diproduksi di pengecoran besi tuang terbuat dari besi tuang abu- abu. Ini murah dan banyak digunakan. Ada banyak jenis besi cor. Ini tercantum di bawah ini:

3.3.1. Besi cor kelabu (Grey cast iron)

Besi cor abu-abu sangat banyak digunakan dalam bentuk tuang. Faktanya, istilah ini digunakan secara luas sehingga istilah besi tuang diartikan sebagai besi tuang abu-abu. Jika jari digosok pada permukaan besi tuang abu-abu yang baru retak, jari tersebut akan dilapisi dengan warna abu-abu karena adanya grafit pada besi tuang. Besi cor abu-abu memiliki kuat tekan yang baik, tetapi tegangannya lemah. Relatif lembut tapi rapuh. Sangat mudah untuk mengerjakan mesin dan permukaan yang dihasilkan bagus. Ini melumasi sendiri karena adanya grafit dan memiliki karakteristik redaman getaran yang baik. Dibandingkan dengan baja, besi cor kelabu lebih tahan korosi.

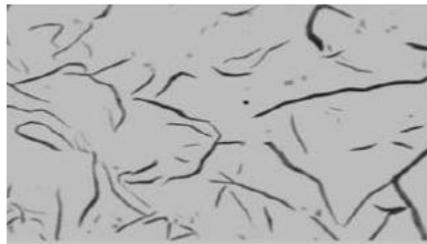
Karena sifat-sifat ini, ini digunakan secara luas untuk membuat tempat duduk mesin, slide, rumah roda gigi, silinder mesin uap, penutup lubang got, pipa pembuangan, dll.



Gb. 3.6 Struktur besi cor kelabu (ASTM kelas 40)
A. Serpih grafit dalam matrik yang tidak dietsa. Pembesaran 125x
B. dietsa dengan larutan nital 5%, tampak grafit, perlit dan

Pada gambar 3.6 A dan B terlihat struktur besi cor kelabu serpih grafit tampak seperti garis-garis hitam. Grafit ini memberikan kekuatan pada besi cor, makin halus dan merata serpihnya, makin kuat logamnya. Daerah yang berwarna cerah adalah steadyt, suatu struktur eutektik antara besi - a dan fosfida besi. Ferrit atau besi – α terdapat dalam besi cor kelabu dengan kadar silikon yang tinggi. Perlit, terdiri dari lapisan ferrit dan karbida besi dan umum dijumpai dalam besi cor dan baja karbon.

Sekitar 70% besi cor berwarna abu-abu. Memiliki kandungan silikon relative tinggi yaitu antara 1 - 3 %. Dengan silikon sebesar ini, besi cor akan membentuk grafit dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe_3C tidak terbentuk. Besi cor kelabu memiliki kandungan karbon antara 2,5 – 4,0 %, mangan antara 0,2 – 1,0 %, fosfor antara 0,002 – 1,0 %, dan sulfur antara 0,02 – 0,025 %. Kekuatan tariknya tidak tinggi dan keuletannya rendah sekali. Memiliki daya tahan aus yang cukup baik dan harganya cukup murah. Grafit serpih besi cor ini terbentuk saat proses pembekuan dan mempunyai graphite yang berbentuk FLAKE (serpihan) (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Mikrostruktur *Gray Cast Iron*

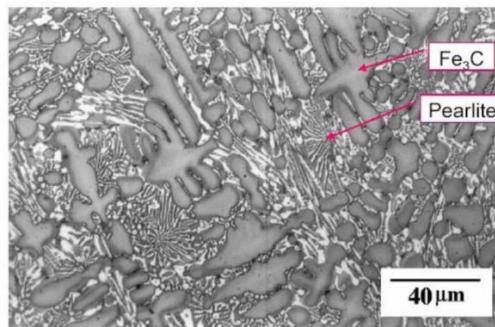
Patahan pada besi cor kelabu terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih yang lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih grafit, maka permukaannya berwarna kelabu. Serpihan grafit yang dimiliki oleh besi cor ini, menyebabkan keuletan bahan menjadi sangat rendah, bahkan bisa nol persen. Namun demikian, grafit serpih ini mampu meredam getaran dengan cukup baik. Dengan kata lain, besi cor ini memiliki kapasitas peredaman tinggi. Perlakuan panas yang dialami oleh besi cor kelabu dapat menghasilkan besi cor dengan struktur yang berbasis pada fasa ferit, perlit, atau martensit. Dengan sifat-sifat yang dimilikinya, besi cor ini lebih banyak digunakan sebagai landasan mesin, silinder terdapat pada blok mesin (Gambar 3.8), poros penghubung, dan alat berat.



Gambar 3.8 Silinder terdapat pada blok mesin

3.3.2. Besi cor putih (White cast iron)

Besi cor putih memiliki 2 sampai 2,5% karbon dan sebagian besar berbentuk sementit. Jika besi tuang cair didinginkan dengan sangat cepat dan komposisi kimianya tidak memiliki elemen pemacu grafit seperti Si dan Ni, maka karbon tetap dalam bentuk gabungan sebagai Fe_3C . Namun, besi tuang putih tidak banyak digunakan. Ini sangat keras dan menunjukkan retakan berwarna putih. Hanya gulungan penghancur yang terbuat dari besi cor putih. Tetapi digunakan sebagai bahan baku untuk produksi besi cor yang dapat dibentuk.

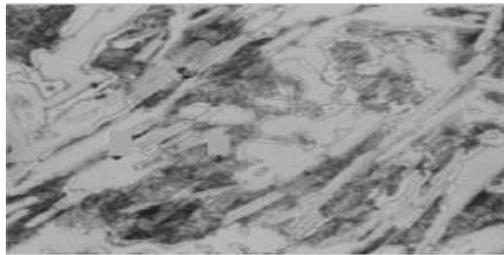


Gambar 3.9 Struktur mikro besi cor putih

Besi cor putih mempunyai bidang perputahan yang putih warnanya, karbon di sini terikat sebagai karbida, Fe_3C . Fe_3C atau karbida bersifat keras, sehingga besi cor putih yang banyak mengandung karbida sulit di mesin. Pada Gambar 3.9 tampak struktur mikro besi cor yang terdiri dari sementit dan perlit. Daerah yang berwarna putih adalah sementit dan yang berwarna gelap adalah perlit.

Besi cor putih mengandung karbon antara 1,8 – 3,6 %, mangan antara 0,25 – 0,80 %, fosfornya antara 0,06 – 0,2 %, dan sulfur antara 0,06 – 0,2 %. Besi cor putih dibuat dengan pendinginan yang sangat cepat. Pada laju pendinginan yang cepat akan terbentuk karbida Fe_3C (sekitar 30 % volume) yang metastabil dan karbon tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Sifat sangat keras dan getas. Mikrostrukturnya terdiri dari karbida yang menyebabkan berwarna putih (Gambar 3.19). Sifat yang

dimilikinya menyebabkan besi cor ini lebih aplikatif untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus tinggi.



Gambar 3.10 Mikrostruktur *White Cast Iron*

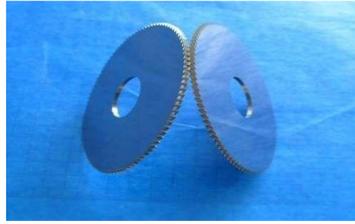
White cast iron memiliki angka kekerasan antara 400 hingga 600 HB tegangan tariknya 270 N/mm² dan masih dapat ditingkatkan melalui penurunan kadar karbon sebesar 2,75 sampai 2,9 % menjadi 450 N/mm². Proses machining untuk besi tuang putih ini hanya dapat dilakukan dengan penggerindaan (grinding). Penggunaannya sangat terbatas seperti pada lining mixer, dalam pembuatan komponen mesin gerinda (Gambar 3.11), kelengkapan penghancur, komponen dapur pemanas (*furnance*) dan sebagai roda pemotong (Gambar 3.12).

Besi tuang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatment*) untuk menurunkan angka kekerasannya melalui proses pelunakan (annealing), yakni dengan pemanasan pada temperatur 850 °C untuk menguraikan free-carbon yang terbentuk karena pendinginan cepat setelah penuangan (pencorran).



Gambar 3.11 Mesin gerinda

Komposisi White cast iron adalah C=2,5%, Mn=0,4%, Cr=17%, Si=1,3%, Ni+Cu=1,5%, Cr=1%,P=0,15%, S=0,15%, Mo=0,5%. Memiliki densitas $7,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, modulus elastisitas : 179 GPa, Thermal Expansion (20°C) $9,0 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ dan Electric Resistivity : $8 \times 10^{-7} \text{ Ohm x m}$.

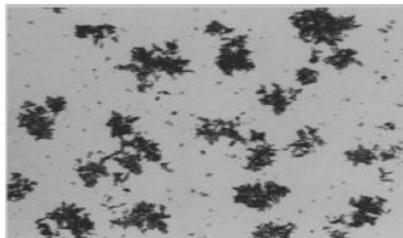


Gambar 3.12 Aplikasi Besi Tuang Putih sebagai Roda Pemotong

3.3.3. Besi cor lunak (Malleable cast iron)

Besi tuang lunak diproduksi dengan perlakuan panas yang kompleks dan berkepanjangan dari tuang besi cor putih. Besi cor abu-abu rapuh dan tidak memiliki atau sangat sedikit pemanjangan. Pengecoran besi cor yang dapat dibentuk menghilangkan sebagian kerapuhan besi abu-abu dan menjadi berguna bahkan untuk aplikasi yang memerlukan keuletan dan ketangguhan.

Dibuat dari Besi cor Putih dengan melakukan heat treatment (anil) kembali yang tujuannya menguraikan seluruh gumpalan graphit (Fe_3C) akan terurai menjadi (besi+grafit)/matriks Ferrite, Pearlite dan Martensite. Grafit yang terbentuk tidak serpih atau bulat, namun berbentuk gumpalan grafit yang tidak memiliki tepi-tepi tajam (Gambar 3.13). Mempunyai sifat yang mirip dengan Baja.



Gambar 3.13 Mikrostruktur *Malleable Cast Iron*

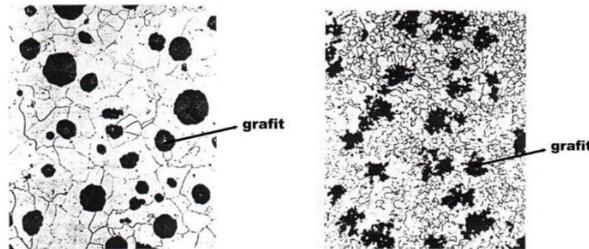
Besi cor mampu tempa memiliki kandungan karbon antara 2,2 – 2,9 %, kandungan silicon antara 0,9 – 1,9 %, mangan antara 0,15 – 1,2%, kandungan fosfor antara 0,02 – 0,2 %, dan sulfur antara 0,02 – 0,2%. Besi cor ini memiliki keuletan yang tinggi dan mampu tempa yang baik. Umumnya digunakan untuk perkakas dan alat-alat kereta api, serta sebagai Connecting Rod (Gambar 3.14).



Gambar 3.14 Aplikasi Besi Tuang Mampu Tempa Sebagai Connecting Rod

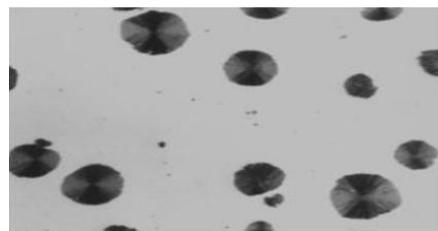
3.3.4. Besi cor nodular (Nodular cast iron)

Besi cor ini juga dikenal dengan nama besi cor grafit bulat. Jika sedikit magnesium (0,5%) ditambahkan ke besi tuang cair, grafit, yang biasanya terdapat dalam besi abu-abu dalam bentuk serpihan grafit, berubah bentuk menjadi bola / bola kecil dan tetap didistribusikan ke seluruh massa cetakan. besi. Perubahan bentuk partikel grafit ini memiliki efek yang sangat besar pada sifat coran yang dihasilkan dan sifat mekaniknya meningkat pesat. Kekuatan meningkat, titik luluh meningkat dan kerapuhan berkurang. Pengecoran semacam itu bahkan dapat menggantikan beberapa komponen baja.



Gambar 3.15 Struktur mikro besi cor Nodular. b. Malleable cast iron.

Besi cor nodular dibuat dengan menambahkan sedikit unsur magnesium atau sesium (Ce). Penambahan unsur ini menyebabkan bentuk grafit besi cor menjadi nodular, atau bulat, atau sferoid (Gambar 3.16). Perubahan bentuk grafit ini diikuti dengan perubahan keuletan. Keuletan besi cor naik. Maka dari itu, besi cor nodular disebut besi cor ulet (DUCTILE CAST IRON). Besi cor ini memiliki keuletan antara 10 – 20 %. Besi cor nodular memiliki kandungan karbon antara 3,0 – 4,0 %, silicon antara 1,8 – 2,8 %, mangan antara 0,1 – 1,0 %, fosfornya antara 0,01 – 0,1 %, dan sulfur antara 0,01 – 0,03%.



Gambar 3.16 Mikrostruktur *Nodular Cast Iron*

Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor nodular akan menghasilkan besi cor ferit, perlit atau martensit temper. Dengan sifat yang dimilikinya, besi cor ini banyak digunakan untuk aplikasi: poros engkol (CRANK SHAFT), komponen pompa (Gambar 3.17), pipa dan suku cadang khusus.



Gambar 3.17 Aplikasi Besi Tuang Nodular dalam Komponen Pompa

Besi cor mengandung lebih dari 2% karbon, yang merupakan batas teoritis untuk baja. Namun, dalam prakteknya, kandungan karbon dari kebanyakan besi tuang adalah antara 3 sampai 4 persen. Kadar karbon tinggi sehingga besi cor bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa. Besi cor mempunyai sifat fisis/mekanik yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh unsur paduan yang terdapat di dalamnya seperti karbon, silikon, mangan, fosfor dan belerang. Masing-masing unsur mempunyai pengaruh sendiri pada besi cor, seperti berikut ini :

Tabel. 3.2 Komposisi Kimia besi cor

Type of Iron	Percent (%)				
	Carbon	Silicon	Manganese	Sulfur	Phosphorus
Gray	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.02-0.25	0.02-1.0
Ductile	3.0-4.0	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Compacted Graphite	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Malleable (Cast White)	2. -2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-0.2	0.02-0.2
White	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.2	0.06-0.2

Silikon. Silikon sampai kadar 3,25% bersifat menurunkan kekerasan besi. Kadar silikon menentukan berapa bagian dari karbon terikat dengan besi dan berapa bagian berbentuk grafit (atau karbon bebas) setelah tercapai keadaan seimbang. Kelebihan silikon membentuk ikatan yang keras dengan besi, sehingga dapat dikatakan bahwa silikon di atas 3,25% akan meningkatkan kekerasan. Untuk benda coran yang kecil dianjurkan untuk menggunakan kadar silikon yang tinggi dan untuk benda coran yang besar, kadar yang lebih rendah. Untuk memperoleh paduan yang tahan asam dan tahan korosi sebaiknya kadar silikon -- 13 sampai 17%. Besi tuang kelabu berkadar silikon

rendah mudah untuk perlakuan panas. Silikon yang mungkin hilang selama proses peleburan berjumlah $\pm 10\%$.

Mangan. Dalam jumlah rendah, tidak seberapa pengaruhnya, dalam jumlah di atas 0,5% mangan bereaksi dengan belerang membentuk sulfida mangan. Ikatan ini rendah bobot jenisnya dan dapat larut dalam terak. Mangan merupakan unsur deoksidasi, pemurni sekaligus meningkatkan fluiditas, kekuatan dan kekerasan besi. Bila kadar ditingkatkan, kemungkinan terbentuknya ikatan kompleks dengan karbon meningkat dan kekerasan besi cor akan naik. Mangan yang hilang selama proses peleburan berkisar antara 10 sampai 20%.

Belerang. Belerang sangat merugikan, oleh karena itu selama proses peleburan selalu diusahakan untuk mengikat belerang tersebut, antara lain dengan menambahkan ferro- mangan. Belerang yang menyebabkan terjadinya lubang-lubang (blow holes) membentuk ikatan dengan karbon, dan menurunkan fluiditas sehingga mengurangi kemampuan tuang besi cor. Setiap kali kita melebur besi cor, kadar belerang meningkat sebesar 0,03%, belerang ini berasal dari bahan bakar.

Fosfor. Fosfor dapat meningkatkan fluiditas logam cair dan menurunkan titik cair. Oleh karena itu biasa digunakan fosfor sampai 1% dalam benda cor kecil dan benda cor yang mempunyai bagian yang tipis. Benda cor besar tidak memerlukan kadar fosfor yang tinggi karena tidak diperlukan fluiditas tambahan. Sewaktu peleburan umumnya terjadi peningkatan kadar fosfor sampai 0,02%. Unsur fosfor sulit beroksidasi, kecuali bila dipenuhi beberapa persyaratan tertentu. Untuk mengendalikan kadar fosfor, perlu dipiliris grade besi bekas yang tepat. Fosfor juga membentuk ikatan yang dikenal dengan nama steadit, yaitu campuran antara besi dan fosfida, ikatan ini keras, rapuh dan mempunyai titik cair yang lebih rendah. Steadit mengandung fosfor sebanyak 10%. Dengan demikian besi dengan 0,50% fosfor akan mengandung sekitar 5% (Volum) steadit.