

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Paduan

Baja paduan (*alloy steel*) adalah baja yang memiliki sedikit kandungan dari satu atau lebih elemen paduan (selain karbon) seperti silikon, nikel, chromium, manganese, silikon, titanium, copper, serta alumunium. Pencampuran tersebut menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh baja karbon regular. Baja paduan sering kali digunakan di industri karena biayanya yang ekonomis, mudah ditemukan, mudah diproses dan memiliki sifat mekanik yang baik. Baja paduan lebih responsif terhadap perlakuan panas dan perlakuan mekanik dibandingkan dengan baja karbon.

2.1.1 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah (*low alloy steel*) adalah baja dengan unsur paduan (misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain) dengan presentase rendah. Baja jenis ini biasanya memiliki paduan kurang dari 2.5% (rudnev et al., 2003). Material baja ini sering digunakan sebagai material pada mesin perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji. Contoh *low alloy steel* dengan persentase karbon 0,4% - 0,55% yaitu AISI 4140, 4150, 1552 dan 5150. Beberapa jenis baja ini sering digunakan untuk bahan pembuatan roda gigi dan dilanjutkan dengan proses pengerasan seperti *induction surface hardening* (rudnev et al., 2003).

2.1.2 Baja Paduan Menengah

Baja paduan menengah (*medium alloy steel*) merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% wt - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (rudnev et al., 2003).

2.1.3 Baja Paduan Tinggi

Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel) Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10%, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. (Amanto, 1999).

2.2 Baja AISI 4140

Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) baja paduan rendah AISI 4140 didesain dengan menggunakan *four-digit number* (empat digit angka). Hal ini berguna untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu chromium molybdenum. Angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$). Komposisi kimia baja AISI 4140 ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140

(Sumber : Fauzi Widyawati, PT. Polman Swadaya)

Paduan	Presentase (%)
C	0.38–0.43
Mn	0.75-1.00
Si	0.20-0.35
Cr	0.80-1.10
Mo	0.15-0.25
P	≤ 0.035
S	≤ 0.04

Baja AISI 4140 memiliki cakupan pengaplikasian yang luas diantaranya digunakan untuk komponen mesin seperti poros engkol, pin piston, as roda, batang piston hingga material mur dan baut. Bahkan pada penelitian Herlangga Rusnaldi (2017), Baja AISI 4140 dapat digunakan sebagai material rompi anti peluru.

Baja AISI 4140 adalah salah satu baja karbon menengah dan paduan rendah yang representatif dan banyak digunakan untuk pembuatan komponen industri. Karena memiliki kekerasan yang baik, kekuatan, ketangguhan serta ketahanan aus, maka jenis material ini cocok digunakan sebagai bahan baku material seperti *shaft, gear, bolts, couplings, splindles, tool holders, sprockets, hydraulic machinery shafts, oil industry drill collars, kelly bars, tools join, piston pin* dan lain-lain. Namun ketika komponen-komponen tersebut berada pada kondisi pengoperasian yang keras secara terus-menerus, maka komponen-komponen yang menggunakan material AISI 4140 tersebut rentan terhadap kerusakan permukaan yang serius

seperti *micropitting*, keausan abrasive, dan korosi yang akan memperpendek usia pakai. Maka dari itu perlu dilakukan perlakuan khusus yang sesuai untuk jenis pengaplikasian pada komponen tertentu (Hoyeol Kim dkk, 2017).

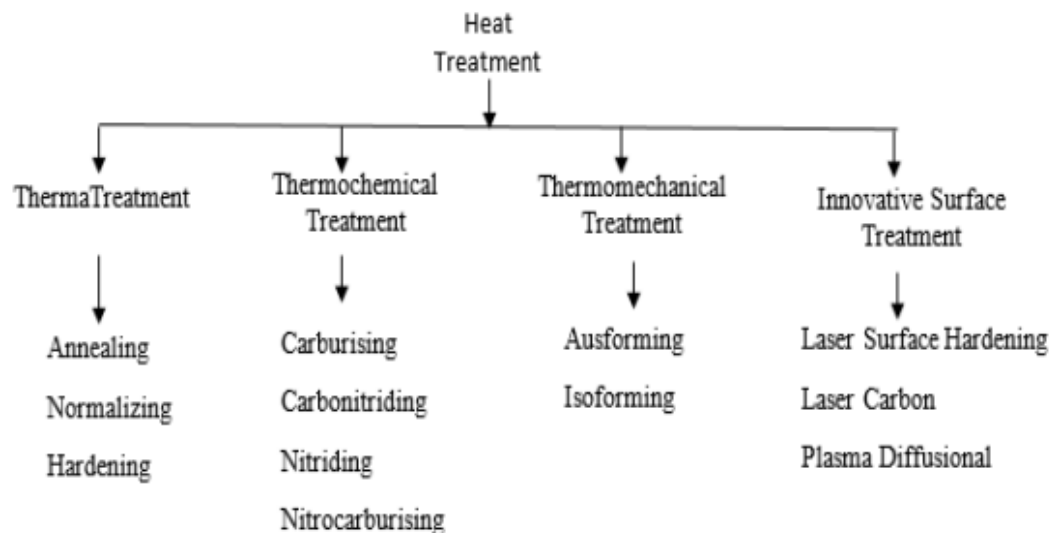
2.3 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas merupakan suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang diuji. Tujuan proses perlakuan panas adalah menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam (Anrinal, 2013). Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan yaitu memanaskan sampai temperatur tertentu, diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, kemudian pendinginan (*quenching*) dengan kecepatan tertentu. Berikut adalah beberapa tujuan perlakuan panas pada baja:

1. Melunakkan, memperbaiki atau membuat sifat plastisitas dengan cara mengatur ukuran, bentuk dan distribusi unsur yang terkandung pada logam.
2. Menghilangkan tegangan sisa pada benda yang telah melewati pengerjaan.
3. Homogenisasi unsur kimia didalam batas butiran melalui difusi unsur unsur yang ada didalam logam pada temperatur yang tinggi seperti suhu austenisasi, solution dan lain lain.
4. Meningkatkan ketangguhan bahan, yakni meningkatkan kemampuan untuk menerima energi beban dalam selang plastisnya tanpa terjadi adanya patahan
5. Meningkatkan kekerasan pada bahan dengan menaikkan nilai transformasi plastis sehingga bahan menjadi keras, tahan aus namun mudah patah alias getas.

6. Menambahkan unsur kimia melalui permukaan logam bertujuan agar memperbaiki ketahanan aus dan ketahanan lelah (*fatigue*) terutama pada permukaan logam melalui pembentukan tegangan sisa tekan dipermukaan logam yang dihasilkan dari absorpsi atom-atom terlarut intersiti (C, N, dsb) dilakukan dibawah suhu siklus thermal jenis perlakuan panas ini adalah *carburizing*, *nitriding* dan lain-lain.

2.3.1 Klasifikasi Perlakuan Panas



Gambar 2. 1 Klasifikasi Perlakuan Panas

Sumber: (Sujana, 1996).

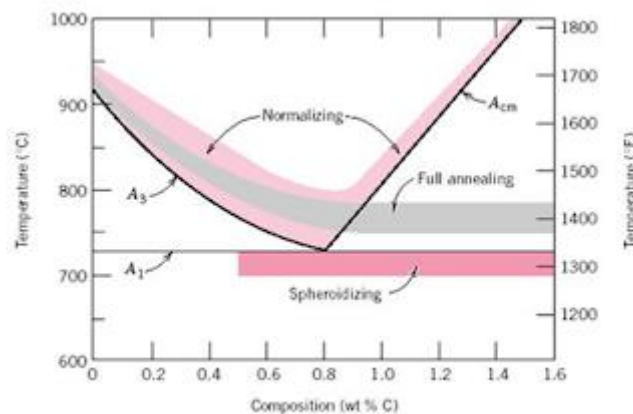
1. Perlakuan Panas Thermal

1.1 Annealing

Annealing merupakan proses perlakuan panas yang sering dilakukan terhadap logam dalam pembuatan suatu produk. Pada dasarnya proses *annealing* dilakukan dibawah temperatur kritis yaitu pada temperatur 550°C – 650°C kemudian dilakukan penahanan (*holding time*) dengan waktu tertentu agar mencapai perubahan yang diinginkan, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang cukup lambat. *Annealing* dapat dilakukan terhadap material dengan kondisi yang berbeda-beda dan dengan tujuan yang berbeda juga. Tujuan dilakukannya proses *annealing* yaitu untuk melunakkan material, menghaluskan butir kristal, mengurangi tegangan sisa, dan memperbaiki keuletan dan material.

1.2 Normalizing

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fasa austenit yang kemudian didinginkan secara perlahan dalam media pendinginan udara. Perlakuan panas *normalizing* terdiri atas proses austenisasi pada 750°C di atas temperatur kritis (garis AC3 untuk material baja *Hypoeutectoid*, garis Acm untuk baja *Hypereutectoid*) lalu diikuti dengan pendinginan udara. Pada umumnya hasil *normalizing* memiliki 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 proses *annealing* dan machinabilitinya lebih baik. Proses *normalizing* dilakukan pada material hasil tuangan atau hasil tempaan, yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya, sehingga diperoleh sifat yang diinginkan. Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak tergantung dari kadar karbon yang terdandung pada baja tersebut. (Aziz Cahyono, 2015)



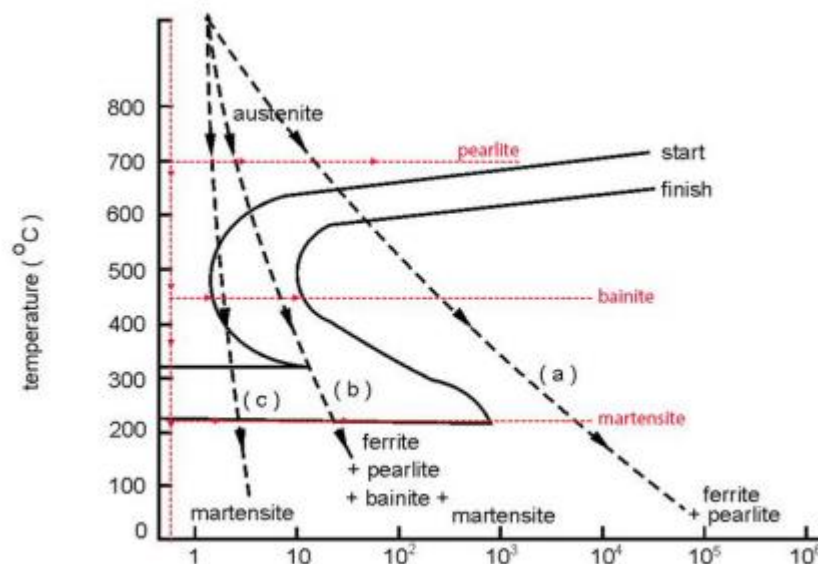
Gambar 2. 2 Normalizing

Sumber: Aziz Cahyono, 2015

1.3 Hardening

Hardening adalah suatu proses perlakuan panas dengan kondisi non equilibrium, pendinginannya sangat cepat sehingga struktur mikro yang diperoleh juga struktur mikro yang tidak equilibrium. Proses *hardening* akan mengakibatkan perubahan struktur kristal baja dari BCC (*Body Centered Cubic*) menjadi FCC

(*Face Centered Cubic*). Hardening dilakukan diatas suhu austenisasi transformasi fasa (723°C) kemudian didinginkan (*quenching*) secara cepat menggunakan air, oli, minyak, atau air garam. Struktur mikro yang terbentuk setelah proses hardening pada umumnya terbentuk adalah austenit sisa, pearlite dan martensit tergantung dari komposisi karbon baja, suhu austenisasi, lama waktu penahanan dan jenis pendinginan yang digunakan. Kekerasan maksimum yang dapat dicapai setelah proses *hardening* banyak tergantung pada kadar karbon pada material, semakin tinggi kadar karbon dari material maka semakin tinggi juga kekerasan maksimum yang dapat dicapai.



Gambar 2. 3 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) [19]

2. Perlakuan Panas Termokimia

Perlakuan panas termokimia adalah perlakuan panas dimana unsur-unsur kimia terutama karbon dan nitrogen dimasukkan ke permukaan pada suhu tinggi dengan menggunakan media transfer padat, cair, gas atau plasma. Proses ini termasuk metode austenit, *carburising* dan *carbonitriding* yang seperti perlakuan thermal. Bergantung pada transformasi permukaan menjadi martensit untuk menghasilkan permukaan tahan aus dan perlakuan termokimia ferritik, nitridasi dan nitrokarburisasi yang dilakukan pada temperatur dibawah pembentukan fasa austenit dan mengeras daengan cara dispersi sekala halus dari paduan nitridasi dan

karbonitridasi dalam matrik. Sebagian besar proses termokimia diterapkan pada baja dan besi cor tetapi hal yang sama berlaku untuk bahan non-logam (non-ferro). (Arthur G, Birh D, Dkk. 1986).

1. Klasifikasi Perlakuan Panas Termokimia

Perlakuan panas termokimia dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a) *Austenitic thermochemical* adalah suatu metode pengerasan permukaan yang dilakukan pada daerah temperatur austenit. Yang terkandung perlakuan panas austenitic thermochemical yaitu: *carburizing*, *carbonitriding*, dan *boriding*. Keuntungan dari *austenitic thermochemical treatment* adalah zona difusi yang terjadi lebih dalam dan ketahanan aus yang lebih baik.
- b) *Ferritic thermochemical* adalah suatu metode pengerasan permukaan yang dilakukan pada daerah temperatur ferritic. Yang termasuk perlakuan panas *ferritic thermochemical* yaitu: *nitriding* dan *nitrocarburizing*. Keuntungan dari *ferritic thermochemical treatment* adalah resiko retak akibat residual stress sedikit dan biaya pengerjaan lebih rendah karena prosesnya dilakukan pada daerah temperatur *ferritic*.

2. Karakterisasi Perlakuan Panas Termokimia

a) Carburizing

Carburizing/karburisasi merupakan salah satu proses *surface hardening*. Di dalam proses karburisasi ini karbon dimasukkan ke permukaan baja ketika dipanaskan dengan bahan yang mengandung karbon (gas, cair, dan padat) untuk meningkatkan kekerasan dan keausan ketahanan logam (Oberg, 2004). Ada banyak jenis proses *carburizing* seperti gas *carburizing*, vakum *carburizing*, plasma *carburizing*, dan *salt bath carburizing*. Benda kerja yang akan dikarburisasi ditempatkan di tungku berisi atmosfer karburisasi. Proses *karburisasi* tidak mengeraskan baja hanya meningkatkan kandungan karbon sampai beberapa kedalaman yang telah ditentukan di bawah permukaan ke tingkat yang cukup untuk memungkinkan proses perlakuan panas berikutnya^[8].

Proses karburisasi melibatkan pemanasan komponen baja ke suhu dalam kisaran 850-959°C yang berada diatas suhu transformasi ferrit atau austenit dalam padat. Media karburisasi adalah cair, gas dan padat sehingga permukaan menjadi diperkaya oleh karbon. Ketebalan lapisan yang terbentuk berkisaran antara 0,25-4,0 mm dengan kekerasan permukaan mencapai 700-900 HV. Beberapa sifat yang penting yang dihasilkan oleh proses karburisasi adalah untuk melibatkan sifat ketahan aus yang tinggi terhadap gesekan abrasi, ketahanan lelah dan juga untuk menerima pembebanan yang berat. Karburisasi ini dilakukan untuk baja dengan kadar karbon rendah dan juga untuk baja paduan rendah. Proses ini digunakan secara luas pada komponen untuk dunia industri otomotif dimana diperlukan kekerasan permukaan yang tinggi untuk komponen seperti roda gigi, dan bantalan rol yang memerlukan ketahanan terhadap kontak tinggi.

Pada gas *carburizing*, difusi atom karbon terutama pada temperature dan durasi waktu penahanan. Dengan peningkatan temperature dan durasi waktu meningkatkan kedalaman difusi. Difusi karburisasi paling besar di antara semua proses pengerasan permukaan. Gas *carburizing* adalah proses karburisasi yang paling sukses dan paling populer saat ini di bidang komponen otomotif dan dirgantara. Profil karbon yang terdefinisi dengan baik dapat dengan mudah dibentuk dengan karburisasi gas terkontrol. Atmosfer gas yang digunakan dalam gas *carburizing* terdiri dari gas endotermik, ($H_2 + N_2 + CO$), metanol (CH_3OH) dan cairan hidro-karbon yang diuapkan^[18].

b) Carbonitriding

Carbonitriding adalah variasi dari karburisasi dimana 0,5% nitrogen dimasukkan kedalam permukaan material sehingga meningkatkan kekerasan permukaan dan mengurangi suhu transformasi austenite-martensit. Proses *carbonitriding* biasanya diterapkan pada baja karbon biasa dan baja paduan yang sangat rendah untuk menghasilkan lapisan yang sangat dangkal kurang lebih 0,75 mm oleh karena itu suhu pemrosesan kurang lebih 750-900°C lebih rendah dari proses *carburizing*. (Arthur G, Birh D, Dkk. 1986).

Distorsi yang dihasilkan bisa lebih sedikit dan oleh karena itu *carbonitriding* sering ditentukan untuk aplikasi distorsi rendah.

c) Nitridisasi (*Nitriding*)

Nitriding adalah suatu proses perlakuan panas termokimia dimana nitrogen didifusikan kepermukaan baja pada temperatur berkisaran 500-600°C sehingga terbentuk pengerasan kulit akibat terbentuknya nitrida paduan pada permukaan. Ketebalan lapisan yang terbentuk berkisaran 0,2 - 0,7 mm dengan kekerasan mencapai 900 – 1100 HV. Karena suhu prosesnya sangat rendah, maka kemungkinan terjadinya distorsi geometri atau retak juga sangat kecil. Beberapa sifat yang penting yang baik dihasilkan oleh proses nitridisasi adalah ketahanan lelah yang baik, ketahanan aus abrasive, ketahanan aus adhesive, ketahanan korosi juga baik. Proses nitridisasi telah diterapkan secara luas untuk meningkatkan ketahanan aus abrasive, aus adhesive, aus flow, aus fatigue, sekrup ekstruder di pabrik plastik, dan komponen mesin diesel seperti poros engkol, batang katup dan injektor.

d) Nitrocarburizing

Proses nitrokarburasi/*nitrocarburizing* merupakan perlakuan termokimia yang melibatkan bahan-bahan unsur nitrogen dan carbon melalui proses difusi yang akan membentuk lapisan pada permukaan logam hingga kedalaman tertentu sekitar 20µm dengan sifat anti lecet yang baik. (Arthur G, Birh D, Dkk. 1986). Agar proses nitridasi dapat terjadi, maka karakteristik nitrogen harus dalam bentuk monoatomik. Oleh karena itu, nitrogen dalam bentuk gas yang umumnya terdiri dari dua atom N atau gas amoniak dalam bentuk senyawa NH₃ perlu dilakukan pemanasan pada suhu nitridasi untuk memperoleh gas N yang monoatomik. Proses nitrokarburasi/*nitrocarburizing* menggunakan gas nitrogen, gas amoniak dan propana yang berlangsung pada rentang suhu 450 – 590°C. Pada suhu tersebut kondisi fasa baja sebagian besar dalam bentuk feritik dan berfasa ferit.

Proses ini berlangsung bertahap diawali dengan disosiasi amoniak (NH_3) dan hidrokarbon (CH_4) kemudian diikuti penyerapan N yang larut pada ke dalam fasa $\alpha(\text{Fe})$. Kemampuan larut padat fasa α mencapai batas kejenuhan menyebabkan pembentukan fasa Fe-N dan seiring dengan itu terjadi penyerapan karbon membentuk karbonitrida. Proses difusi N dan C berlangsung seiring bereaksi dengan unsur paduan hingga mencapai kedalaman tertentu. Hasil dari proses ini memberikan sifat fisis dan kimia yang baik terhadap korosi dan keausan. Pada zona difusi akan meningkatkan daya tahan leleh dan kekerasan, kedalaman difusi akan meningkatkan sifat kelelahan. Selain perbaikan karakteristik permukaan, *nitrocarburizing* juga dapat mengurangi distorsi. Prosedur *nitrocarburizing* dilakukan pada suhu rendah maka tidak terjadi perubahan fasa dari austenite ke martensit, dan struktur tetap di wilayah feritik.

2.3.2 Carburizing

Carburizing (karburisasi) adalah cara pengerasan permukaan luar suatu material baja atau besi kadar karbon rendah agar menjadi keras pada lapisan luar atau memiliki kadar karbon tinggi pada lapisan luarnya. Biasanya suhu pada proses karburasi adalah 1700°F . Setelah proses pendinginan maka pada permukaan baja dapat dilihat dengan mikroskop bahwa terdapat bagian – bagian hypereutektoid, zona yang terdiri dari perlit dan jaringan sementit yang putih, diikuti zona eutektoid, hanya terdiri dari perlit dan terakhir adalah zona hypoeutektoid, yang terdiri dari perlit dan ferrit, dimana jumlah ferrit meningkat hingga pusat dicapai.

1. Macam-Macam Carburizing

1. *Pack carburizing*

Bahan dipadatkan pada medium yang kaya akan karbon, seperti bubuk karbon dan dipanaskan pada tungku pemanas pada suhu $800^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$. pada temperatur ini CO diproduksi sebagai bahan reduksi yang kuat. Reaksi reduksi terjadi pada permukaan besi yang mengeluarkan karbon, yang kemudian berdifusi kepermukaan akibat temperatur yang tinggi. Ketika cukup karbon di absorsi ke dalam bahan, bahan tersebut dapat dipindahkan dari tungku/furnace.

2. *Gas carburizing*

Dalam proses ini gas yang dapat dipakai antara lain dapat digunakan gas alam atau hidro karbon atau propan (Gas Karbit). Prosesnya yaitu benda yang akan dipanaskan dimasukkan dalam oven atau furnace dengan temperature bervariasi antara 870°C sampai 950°C. atmosfer gas untuk karburasi diproduksi dari cairan (metanol, isopropanol), atau gas hidrokarbon (propana dan metana). Generator gas endhotermik dipakai untuk menyuplai gas endhotermik. Komposisi gas dalam proses karburasi gas adalah:

- Nitrogen: 40%
- Hydrogen: 40%
- karbon monoksida: 20%
- Karbon dioksida: 0,3%
- Metana: 0,5%
- Uap air: 0,8%
- Oksigen: in traces

Oven dialiri dengan gas karbon. Atom – atom karbon akan tertarik menembus kedalam logam. Sehingga permukaan logam menjadi kaya karbon. Cara ini diterapkan dalam karburasi dalam bagian – bagian yang kecil yang dapat dicelupkan langsung setelah pemanasan dalam dapur. Kelebihan dari gas *carburizing* yaitu lebih cepat dibandingkan dengan *pack carburizing*. Proses ini hanya membutuhkan sedikit tenaga kerja dan penanganan. Juga lebih praktis dari pada *pack carburizing* untuk jumlah yang banyak. Kekurangan, alat dan bahan yang digunakan dalam proses ini lebih mahal.

3. *Liquid Carburizing*

Karburasi jenis ini menggunakan lelehan sianida (CN) pada logam berkarbon rendah yang dipanaskan dengan menggunakan bealang pemanas yang dipanaskan dengan minyak atau gas. Suhunya kira – kira 815°C – 900°C. proses ini dilakukan dengan kontinue dan otomatis karena memberikan hasil akhir yang baik. Permukaan lelehan ditutup dengan grafit atau batu bara untuk mengurangi hilangnya radiasi dan dekomposisi sianida yang berlebihan. Selain

sodium dan potassium sianida, lelehan yang digunakan juga mengandung sodium dan potassium klorida dan barium klorida yang berperan sebagai aktifator. Proses ini mirip dengan proses sianida, hanya disini kulit luar mempunyai kadar karbon yang tinggi dan kadar nitrogen yang rendah. Karburasi cair dapat digunakan untuk membentuk lapisan setebal 6,35mm, meskipun umumnya tidak melebihi 0,64 mm. Cara ini baik untuk pengerasan permukaan benda yang berukuran kecil dan sedang. Kelebihan, karena cairan mentransfer dengan cepat maka karbon yang ditambahkan juga lebih cepat. Juga pengerasan yang dihasilkan lebih merata. Kekurangan, beberapa nitrogen terserap bersama – sama dengan karbon dan menyebabkan pengerasan mendadak. Juga material harus dikeringkan setelah proses ini untuk menghindari korosi, hal tersebut memakan waktu dan biaya.

2. Hal yang Mempengaruhi Proses Karburisasi

Hal – hal yang mempengaruhi hasil proses karburasi adalah sebagai berikut:

1. Potensial Karbon

Semakin tinggi potensial karbon, makin cepat karbon disuplai kedalam baja, menghasilkan gradien konsentrasi lebih tinggi dipermukaan. Untuk campuran berbagai macam gas potensial karbon pada temperatur tertentu, potensial karbon dikenal sebagai kandungan karbon dalam kesetimbangan dengan atmosfer tungku. Biasanya kondisi ini mengacu pada aktivitas karbon dalam atmosfer, yang dapat dikenal dari penunjukkan potensial oksigen, CO dan CO₂ dalam atmosfer, jika atmosfer fasa gas tersebut berada dalam kesetimbangan.

2. Kecepatan Reaksi

Di permukaan Baja, sifat dan konsentrasi dari spesies molekul dalam atmosfer mempengaruhi kecepatan reaksi. Sebagai contoh, reaksi permukaan lebih cepat terjadi pada atmosfer gas endotermik daripada atmosfer metana-hidrogen.

3. Temperatur Karburasi

Peningkatan proses akan meningkatkan kecepatan reaksi permukaan, sehingga menghasilkan kedalaman penetrasi karbon lebih besar. Dengan demikian ketebalan lapisan yang diperoleh lebih dalam.

4. Paduan Logam

Kandungan unsur paduan pada baja memberikan pengaruh, pertama terhadap kandungan karbon lapisan dan kedua terhadap kecepatan difusi karbon kedalam baja. Hal diatas disebabkan elemen-elemen paduan tersebut menempati posisi substitusi dan interstisi pada sisi matrik logam sehingga akan menghambat gerakan atom-atom karbon yang berdifusi, sehingga akan dihasilkan ke dalam karburasi yang berbeda

5. Waktu Karburasi

Kedalaman penetrasi karbon meningkat, seiring dengan peningkatan waktu karburasi dan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya

2.4 Struktur Mikro Baja

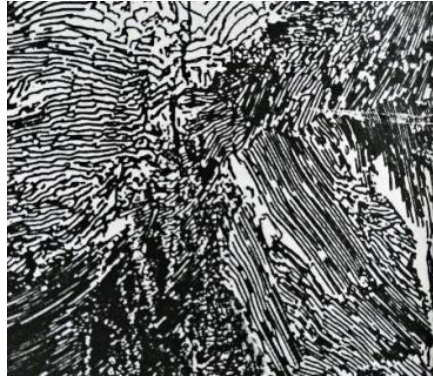
Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan sturuktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikro struktur. Pengamatan tersebut dilakukan dengan pembesaran tertentu. Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop sehingga dapat diketahui sifat dan struktur dari logam tersebut.

Berikut ini merupakan jenis struktur mikro yang terdapat pada baja:

1) Perlit

Perlit adalah fasa pada baja yang tersusun atas fasa ferrit dan sementit secara bersamaan, perlit memiliki sifat mekanis yang keras dan tangguh. Dalam struktur mikro, presentase unsur paduan karbon berpengaruh pada pembentukan fasa perlit,

semakin banyak persentase kandungan karbon maka semakin banyak fasa perlit (Reksotenoyo. Hastono 1992). Proses mekanis terbentuknya pearlite adalah semakin banyak atom-atom karbon maka semakin cepat pula berdifusi untuk membentuk fasa sementit, kemudian fasa sementit ini tumbuh bersamaan dengan Ferrit sehingga terbentuklah pertumbuhan fasa Pearlite (Thelning, 1984).



Gambar 2. 4 Struktur Mikro Perlit Pembesaran 500x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

2) Ferrit

Ferrit adalah fasa yang terbentuk akibat dari larutan pada karbon yang terdapat pada besi murni. Ferrit dalam unsur besi murni memiliki sifat mekanis yang lunak serta ulet. Fasa ferrit merupakan larutan padat interstisi dari atom karbon besi alfa α . Kelarutan maksimum unsur C (karbon) dalam fasa ferrit adalah 0.025% didalam temperatur 723°C .



Gambar 2. 5 Struktur Mikro Ferrit Pembesaran 1000x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

3) Martensit

Martensit yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat pada temperatur austenisasinya dengan kadar karbon $>0,5\%$. Berbentuk jarum-jarum pendek dan berwarna hitam. Martensit terbentuk akibat pendinginan yang cepat sehingga menyebabkan terjadinya peregangan kisi dari struktur BCC (*Body Centered Cubic*) yang harusnya terbentuk ferit menjadi martensit yang berstruktur BCT (*Body Centered Tetragonal*). Semakin banyak martensit yang terbentuk maka spesimen akan semakin keras dan getas.



Gambar 2. 6 Struktur Mikro Martensit Pembesaran 500x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

4) Bainit

Bainit adalah struktur antara yang terbentuk pada temperatur di atas temperatur awal martensit namun dibawah temperatur transformasi terbentuknya perlit. Bainit terbentuk pada baja pada suhu sekitar $250-550^{\circ}\text{C}$ dengan kadar karbon $< 0,5\%$. Strukturnya berbentuk jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain, berwarna abu-abu gelap, serta memiliki sifat mekanis sangat keras dan getas. Terjadi karena adanya pendinginan cepat dan disertai penahanan temperatur. Bainit merupakan campuran karbida dan ferit. Dengan kata lain, Bainit menggambarkan struktur mikro pada baja yang dihasilkan dari transformasi fasa austenite ke ferit (α) dan sementit (Fe_3C).



Gambar 2. 7 Struktur Mikro Bainit Pembesaran 500x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

5) Sementit

Sementit adalah senyawa kimia karbon dengan besi dan dikenal sebagai besi karbida (Fe_3C). Sementit bebas, ditemukan di semua baja yang mengandung lebih dari 0,83% karbon. Sementit meningkat dengan meningkatnya kadar karbon sebagaimana tercermin dalam diagram Keseimbangan Fe-C. Kekerasan dan kerapuhan dari besi cor diyakini karena adanya sementit. Sementit mengurangi kekuatan tarik. Sementit terbentuk ketika karbon membentuk kombinasi yang pasti dengan besi dalam bentuk besi karbida yang sangat keras di alam. Sementit bersifat magnetik di bawah temperatur 200°C .



Gambar 2. 8 Struktur Mikro Sementit Pembesaran 500x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

6) Austenit

Austenit adalah larutan padat atom karbon dalam besi gamma dengan struktur FCC (*Face Centered Cubic*), fasa Austenit dapat stabil pada temperatur 723°C (temperatur austenisasi). Namun austenit dapat dibentuk pada temperatur kamar dengan proses pendinginan sangat cepat, biasanya fasa austenit hadir bersama fasa martensit. Fasa austenit memiliki sifat yang lunak, tangguh dan mudah dibentuk pada temperatur austenisasi sedangkan austenit pada temperatur kamar memiliki sifat yang keras dan disebut austenit sisa.

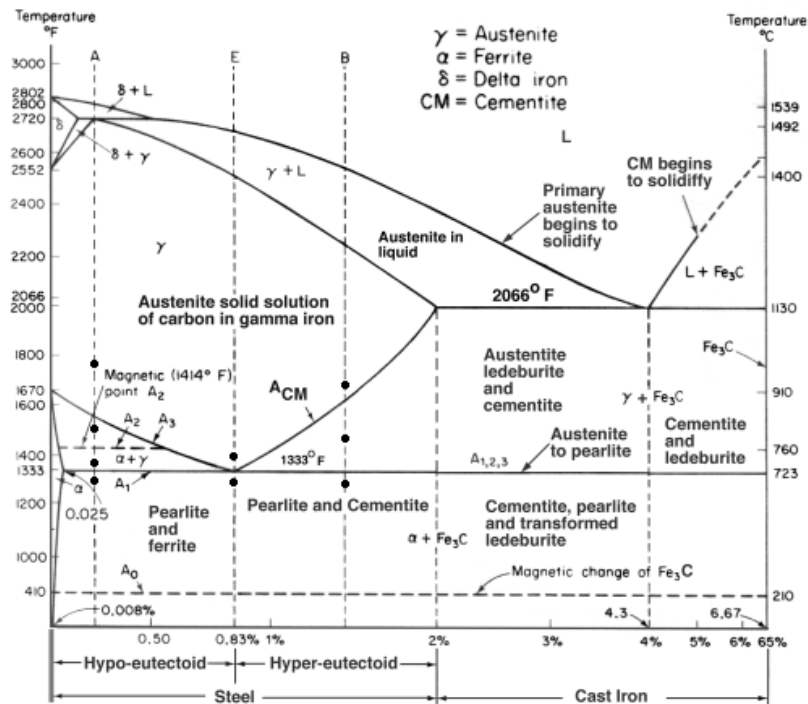


Gambar 2. 9 Struktur Mikro Austenit Pembesaran 200x

(Sumber: ASM Handbook Vol.9)

2.5 Diagram Fasa Baja Fe-Fe₃C

Diagram fasa Fe- Fe₃C atau bisa juga disebut sebagai diagram Besi-Karbida besi adalah diagram yang umum dalam teknik perlakuan panas, diagram Fe- Fe₃C menunjukkan hubungan antara temperatur, jumlah presentase karbon dan perubahan fasa selama terjadi pendinginan lambat. Diagram Fe-Fe₃C dapat menjadi acuan dalam proses perlakuan panas baja untuk mengetahui temperatur austenisasi yang sesuai dengan kandungan karbon dalam baja yang kita miliki.



Gambar 2. 10 Diagram Fe-Fe₃C

Pada diagram Fe-fe₃c (Gambar 2.10) besi murni ditunjukkan pada titik 0.008% C yang mengartikan kandungan karbon yang terendah terdapat pada besi titik ini. Hypoeutectoid adalah sebutan baja dengan kandungan karbon dari 0.008 % - 0.77 % C. Hypereutectoid adalah baja dengan kandungan karbon 0.77% - 2% C. Sedangkan kandungan 2% - 6.67% Karbon disebut dengan Besi Cor. (Tjokorda Gede Tirta Nindha, 2018) .

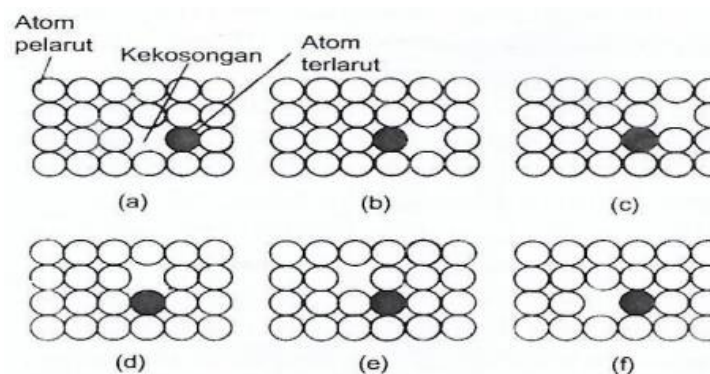
Pada diagram Fe-Fe₃C memiliki tiga garis mendatar (EFB, GCH dan JKL) yang masing-masing memiliki reaksi isothermal yang melibatkan tiga fasa, berikut ini merupakan reaksi yang terjadi:

1. Reaksi Peritectic, terjadi pada temperatur 1495°C dimana logam cair (liquid) dengan kandungan 0,5% karbon bergabung dengan delta (δ) kandungan 0,08% karbon bertransformasi menjadi austenit (γ) dengan kandungan 0,18% karbon. Delta (δ) adalah fasa padat pada temperatur tinggi dan kurang berarti untuk proses perlakuan panas yang berlangsung pada temperatur yang lebih rendah.
2. Reaksi Eutectic , reaksi ini terjado pada temperatur 1148°C, dalam hal ini logam cair dengan kandungan 4,3% karbon membentuk austenit (γ) dengan 2,11% karbon dan senyawa sementit (Fe₃c) yang mengandung 6,69% karbon.

3. Reaksi Eutektoid, reaksi ini berlangsung pada temperatur 727°C , austenit (γ) padat dengan kandungan 0,77% karbon menghasilkan ferit (α) dengan kandungan 0,022% karbon dan sementit (Fe_3C) yang mengandung 6,69% karbon.

2.6 Difusi Atom

Transformasi atom melalui kisi berlangsung dengan berbagai cara. Istilah difusi interstisi menggambarkan situasi pergerakan atom yang terletak pada kisi kristal, tetapi menempati posisi interstisi. Proses ini terjadi pada paduan interstisi dengan atom migrasi yang sangat kecil seperti karbon, nitrogen, hidrogen didalam material. Pada kasus ini, proses difusi atom perpindahan atom dari posisi interstisi keposisi berikutnya dalam kisi sempurna tidak dikendalikan oleh cacat. Atom yang berdifusi untuk sementara menduduki posisi interstisi dan berada dalam keseimbangan dinamik dengan atom lain dalam posisi substitusi.



Gambar 2. 11 Ilustrasi Difusi Atom^[19]

Namun demikian, energi untuk membentuk interstisi seperti ini beberapa kali nilai energi yang diperlukan untuk membentuk kekosongan sehingga mekanisme yang paling mungkin adalah migrasi kekosongan secara terus-menerus. Dengan difusi kekosongan, probabilitas bahwa atom dapat melompat keposisi berikutnya tergantung pada:

1. Probabilitas bahwa terdapat lokasi kosong (yang sebanding dengan lokasi kekosongan pada kristal).
2. Probabilitas bahwa atom memiliki energi aktivitas untuk melakukan transisi.

2.5 Fluidised Bed Furnace

Teknologi *fluidised bed* saat ini telah dimanfaatkan untuk perlakuan panas temokimia gas untuk mengeraskan permukaan pada baja dan besi cor. Serbuk alumunium dimanfaatkan sebagai media, pada teknologi ini serbuk alumunium bertujuan untuk meningkatkan transfer pans dari dinding dapur menuju ke spesimen dengan demikian akan menghasilkan peningkatan pengerasan permukaan. Namun kualitas kekerasan pada permukaan tergantung pada paduan dari material yang akan diproses.

Perbedaan unsur paduan pada material akan menghasilkan lapisan pasif yang berbeda pada permukaan dari masing-masing bahan tersebut sehingga tentunya akan mempengaruhi transfer panas dipermukaan spesimen. *Fluidised bed* akan memberikan keuntungan karena permukaan material dipanaskan lebih cepat dan menghasilkan pengaruh panas yang kecil, kecermatan pada pengontrol saat perlakuan panas permukaan dan pada saat proses perlakuan tidak berkontaminasi dengan udara luar. Ini dapat terjadi akibat peran dari serbuk alumina dalam teknologi reaktor *fluidised bed*.

2.5.1 Keunggulan dan Kelemahan Fluidised Bed

Keunggulan dari *fluidised bed* yaitu:

- Dapat digunakan untuk memproses material logam dan non-logam (*ferrous and non-ferrous*).
- Kecepatan perpindahan panas yang tinggi dapat tercapai.
- Waktu awal perlakuan panas lebih singkat dan dapur dapat ditiup sepanjang malam tanpa mengurangi waktu proses berikutnya.
- Efisiensi thermal yang dihasilkan tinggi dengan konsumsi listrik yang rendah.
- Dapat digunakan untuk berbagai jenis pengerasan permukaan kimia (*thermochemical treatment*).

Kekurangan dari *fluidised bed* yaitu:

- Sangat potensial terjadinya peledakan, bila terdapat kebocoran.

- Arah dari aksi *fluidised bed* pada permukaan benda kerja yang berorientasi secara berbeda-beda.
- Variasi ukuran komponen kerja yang diinginkan sulit diketahui.

2.5.2 Suplay Gas dalam Fluidised Bed

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada *fluidised bed* menggunakan beberapa jenis gas tergantung proses yang dilakukan. Jenis-jenis gas yang digunakan antara lain:

1. Oksigen (O₂)

Gas oksigen berfungsi sebagai fluidising pada waktu heating sampai temperatur 500°C dan cooling dari temperatur 500°C sampai temperatur kamar.

2. Nitrogen (N₂)

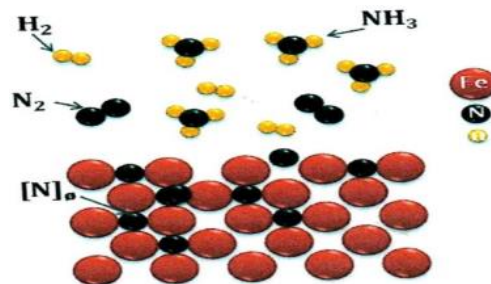
Nitrogen berfungsi sebagai fluidising untuk heating dari temperatur 500°C sampai temperatur proses perlakuan untuk mencegah terjadinya oksidasi terhadap material atau logam yang dipanaskan karena pada temperatur tersebut getaran atom sangat tinggi sehingga udara luar masuk kedalam sistem untuk membantu proses reaksi kimia pada gas proses.

3. 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 dalam proses *carburizing*, *carbunitriding* dan *nitrocarburizing*.

4. Ammonia (NH₃)

Ammonia digunakan pada proses *nitriding*, *carbonitriding* dan *nitrocarburizing* dimana unsur N dari ammonia (NH₃) membentuk reaksi kimia dengan Fe, Al, Cr, Mo, V untuk membentuk lapisan nitrida pada permukaan logam.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Suplai Gas dalam Fluidised Bed Furnace

Sumber: (Zamzami, 2017)

2.5.3 Fluidised Medium

Serbuk aluminium oxide (Al_2O_3) berfungsi sebagai partikel pengantar panas ke permukaan logam yang diproses. Serbuk aluminium oxide terdiri dari:

1. Coarse Grit (berwarna hitam dan kasar) Sebagai partikel dasar atau sebelum fine grit dengan ukuran yaitu 64 mm dari dasar tungku.
2. Fine Grit (berwarna putih dan halus) Sebagai partikel pengantar panas dengan posisi setelah Coarse Grit diukur 10 mm dari permukaan retort.

2.5.4 Karakteristik Fluidised Bed

Karakteristik yang penting dalam reaktor *fluidised 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 *fluidised bed* gas dapat ditinjau sebagai fasa padatan selama menunjukkan batas atas terdefinisikan 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 fluidisasi, banyak faktor yang mempengaruhi jumlah dari campuran padatan yang mempunyai sifat tidak sejenis dalam bed. Faktor-faktor ini termasuk: ukuran bed, jumlah aliran gas dan jenis gas dari gas yang digunakan.

2.5.5 Parameter dan Proses Fluidised Bed

Adanya aliran turbulen dari pergerakan cepat dari fluifat (alumina dan silika) menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas pada fluidised bed biasanya atau umumnya antara $120 \text{ W/m}^2\text{C}$ - $1200 \text{ W/m}^2\text{C}$. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas yaitu:

1. Diameter partikel

Diameter partikel akan memberikan pengaruh terhadap perpindahan panas. Pada umumnya diupayakan ukuran partikel sekecil mungkin, namun dibawah ukuran yang ditetapkan akan menyulitkan proses.

2. Material bed

Yang menentukan sifat fisik dari berbagai material bed adalah kerapatan (*density*). Kerapatan yang optimum untuk material bed berkisar 1280 kg/m^3 - 1600 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 temperatur hingga 1050°C , karena kondisi operasi diatas temperatur tersebut alumina yang digunakan menjadi lengket. Apabila kondisi operasi diatas 1050°C , maka material bed yang digunakan adalah pitch coke yang sama seperti alumina tidak memberikan pengaruh bahaya pada kesehatan dan lingkungan.

2.5.6 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 konsumsi dari gas fluida juga tinggi dan perpindahan panas rendah. Sedangkan kecepatan fluidisasi terlalu rendah akan menyebabkan perpindahan panas berkurang dan akan menyebabkan kurang sempurna dari proses tersebut.