II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, cobalt dan tungsten (wolfram). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (brittle) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Anonimous A, 2012).

Menurut komposisi kimianya baja karbon dapat klasifikasikan menjadi tiga, yaitu Baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05% - 0,30% C, sifatnya mudah ditempa dan mudah di kerjakan pada proses permesinan. Penggunaannya untuk

komposisi 0,05% - 0,20% C biasanya untuk bodi mobil, bangunan, pipa, rantai, paku keeling, sekrup, paku dan komposisi karbon 0,20% - 0,30% C digunakan untuk roda gigi, poros, baut, jembatan, bangunan. Baja karbon menengah dengan kadar karbon 0,30% - 0,60%, kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan untuk kadar karbon 0,30% - 0,40% untuk batang penghubung pada bagian automotif. Untuk kadar karbon 0,40% - 0,50% digunakan untuk rangka mobil, *crankshafts*, rails, ketel dan obeng. Untuk kadar karbon 0,50% - 0,60% digunakan untuk palu dan eretan pada mesin. Baja karbon tinggi dengan kandungan 0,60% - 1,50% C, kegunaannya yaitu untuk pembuatan obeng, palu tempa, meja pisau, rahang ragum, mata bor, alat potong, dan mata gergaji, baja ini untuk pembuatan baja perkakas. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong (Arifin dkk, 2008). Sedangkan menurut kadar zat arangnya, baja dibedakan menjadi tiga kelompok utama baja bukan paduan yaitu baja dengan kandungan kurang dari 0,8% C (baja *hypoeutectoid*), himpunan ferrit dan perlit (bawah perlitis), baja dengan kandungan 0,8% C (baja *eutectoid* atau perlitis), terdiri atas perlit murni, dan baja dengan kandungan lebih dari 0,8% C (baja *hypereutectoid*), himpunan perlit dan sementit (atas perlitis) (Mulyadi, 2010).

2.2 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut (Mulyadi, 2010).

1. Silisium (Si), terkandung dalam jumlah kecil di dalam semua bahan besi dan dibubuhkan dalam jumlah yang lebih besar pada jenis-jenis istimewa. Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, ketahanan

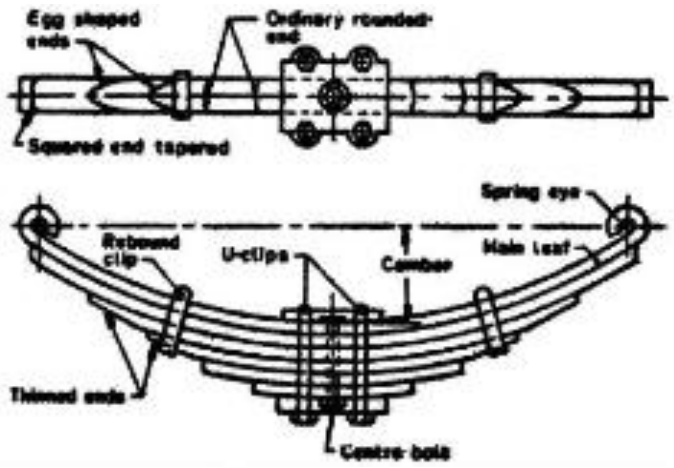
terhadap panas dan karat, dan ketahanan terhadap keras. Tetapi menurunkan regangan, kemampuan untuk dapat ditempa dan dilas.

2. Mangan (Mn), meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan untuk dapat di temper menyeluruh, ketahanan aus, penguatan pada pembentukan dingin, tetapi menurunkan kemampuan serpih.
3. Nikel (Ni), meningkatkan keuletan, kekuatan, pengerasan menyeluruh, ketahanan karat, tahanan listrik (kawat pemanas), tetapi menurunkan kecepatan pendinginan regangan panas.
4. Krom (Cr), meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang ketahanan aus, kemampuan diperkeras, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, ketahanan panas, kerak, karat dan asam, pemudahan pemolesan, tetapi menurunkan regangan (dalam tingkat kecil).
5. Molibdenum (Mo), meningkatkan kekuatan tarik, batas rentang, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, batas rentang panas, ketahanan panas dan batas kelelahan, suhu pijar pada perlakuan panas, tetapi menurunkan regangan, kerapuhan pelunakan.
6. Kobalt (Co), meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan karat dan panas, daya hantar listrik dan kejenuhan magnetis.
7. Vanadium (V), meningkatkan kekuatan, batas rentang, kekuatan panas, dan ketahanan lelah, suhu pijar pada perlakuan panas, tetapi menurunkan kepekaan terhadap sengatan panas yang melewati batas pada perlakuan panas.
8. Wolfram (W), meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang, kekuatan panas, ketahanan terhadap normalisasi dan daya sayat, tetapi menurunkan regangan.

9. Titanium (Ti), memiliki kekuatan yang sama seperti baja, mempertahankan sifatnya hingga 400 C, karena itu merupakan kawat las.

2.3 Pengertian Baja Pegas Daun

Pegas daun ini terbentuk dari sejumlah pelat-pelat (berbentuk seperti daun). Daun-daun ini biasanya mempunyai ciri dilengkungkan sehingga daun-daun itu akan melayani untuk melentur menjadi lurus oleh karena kerja beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Baja Pegas Daun (Daryono, 2010).

Daun-daun itu disatukan bersama oleh sabuk seperti gelang yang disusutkan melingkarinya pada posisi tengah atau dengan baut yang menembusnya di tengah. Daun yang lebih panjang dikenal sebagai daun utama (*main leaf atau master leaf*) dengan ujung dibentuk menyerupai lubang mata yang mana dipasang dengan baut untuk mengikat pegas pada tumpuannya. Biasanya pada mata tersebut, pegas disematkan pada sengkang (*shackle*), yang juga diberikan bantalan yang terbuat dari bahan anti gesekan seperti perunggu (*bronze*) atau karet (*rubber*). Daun pegas yang lainnya dikenal sebagai *graduated leaves*. Agar mencegah terjadinya

gesekan atau desakan pada daun yang berbatasan, ujung-ujung dari *graduated leaves* diatur dalam bermacam-macam bentuk seperti diperlihatkan oleh Gambar 1. Daun utama akan melawan beban-beban lentur vertikal dan juga beban-beban yang disebabkan bagian samping kendaraan dan torsi, oleh karena adanya tegangan disebabkan oleh beban-beban ini, sudah menjadi kebiasaan memberikan dua daun dengan panjang penuh dan blok bantalan pada daun tersusun (*graduated leaves*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Jepitan pantul (*rebound clips*) diletakkan pada posisi pertengahan panjang pegas, sehingga susunan daun-daun juga ikut andil menghantarkan tegangan pada daun panjang penuh (*full length leaves*) ketika pegas memantul (Daryono, 2010).

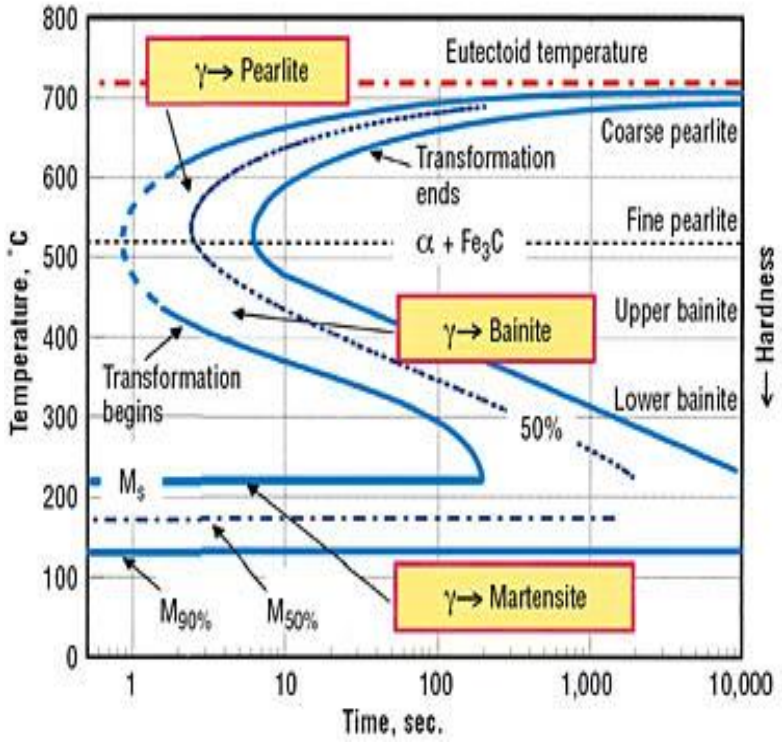
Pegas ini biasanya dibuat dari plat baja yang memiliki ketebalan 3 – 6 mm. Susunan pegas daun terdiri atas 3 – 10 lembar plat yang diikat menjadi satu menggunakan baut atau klem pada bagian tengahnya. Pada ujung plat terpanjang dibentuk mata pegas untuk pemasangannya. Sementara itu, bagian belakang dari plat baja paling atas dihubungkan dengan kerangka menggunakan ayunan yang dapat bergerak bebas saat panjang pegas berubah-ubah karena pengaruh perubahan beban. *Camber* ialah untuk menentukan tinggi lengkungan daun pegas yang sudah disusun pada saat tidak menerima beban. Pegas daun dipasang di atas dan di bawah poros roda belakang. Dominan pegas daun dipasang tepat pada pertengahan panjang pegas tersebut sehingga bagian depan dan belakang sama panjang (Anonimous D, 2010).

Menurut penelitian yang dilakukan Pramuko Ilmu Purboputro (2009), pegas daun mengandung 0,300% C sehingga berdasarkan unsur karbon diklasifikasikan

sebagai baja karbon sedang. Unsur penyusun utamanya selain besi (Fe) = 97,07% juga didapatkan unsur silikon (Si) = 1,292% yang berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras secara keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat, tetapi juga mampu menurunkan tegangan, kemampuan tempa dan meningkatkan kemampuan las. Mangan (Mn) = 0,735 % berguna untuk meningkatkan kekerasan, kekuatan, dan mampu diperkeras pada baja. Unsur tambahan dalam jumlah yang relatif kecil yaitu *wolfram* (W) = 0,04%, *molibden* (Mo) = 0,031%, *sulphur* (S) = 0,013%, *niobium* (Nb) = 0,01%, *phosphor* (P) = 0,004%, *vanadium* (V) = 0,000%, *alumunium* (Al) = 0,000% dan *titanium* (Ti) = 0,000%.

2.4 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)

Dalam diagram TTT ini menunjukkan batas-batas transformasi untuk temperatur dalam waktu tertentu. Jadi, dari diagram ini dapat dilihat pada temperatur dan waktu berapa suatu fase mulai dan berakhir terbentuk (Sumiyanto dkk, 2012). Diagram ini spesifik untuk setiap baja dengan konsentrasi karbon tertentu. Seperti Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram TTT (Anonimous B, 2012).

Kurva sebelah kiri menunjukkan saat mulainya transformasi isothermal dan kurva sebelah kanan menunjukkan saat selesainya transformasi isothermal. Diatas garis A_1, austenit dalam keadaan stabil (tidak terjadi transformasi walaupun waktu penahannya bertambah). Di bawah temperatur kritis A_1 pada daerah di sebelah kiri kurva awal transformasi austenit tidak stabil (austenit akan bertransformasi) dan disebelah kanan kurva akhir transformasi terdapat hasil transformasi isothermal dari austenit, sedang pada daerah diantara dua kurva tersebut terdapat sisa austenit (yang belum bertransformasi) dan hasil transformasi isotermalnya. Titik paling kiri dari kurva awal transformasi disebut hidung (*nose*) diagram ini. Transformasi austenit diatas *nose* akan menghasilkan perlit sedangkan di bawah *nose* akan menghasilkan bainit. Tetapi bila transformasi berlangsung pada temperatur yang lebih rendah lagi (dibawah garis M_s = *Martensite start*) akan

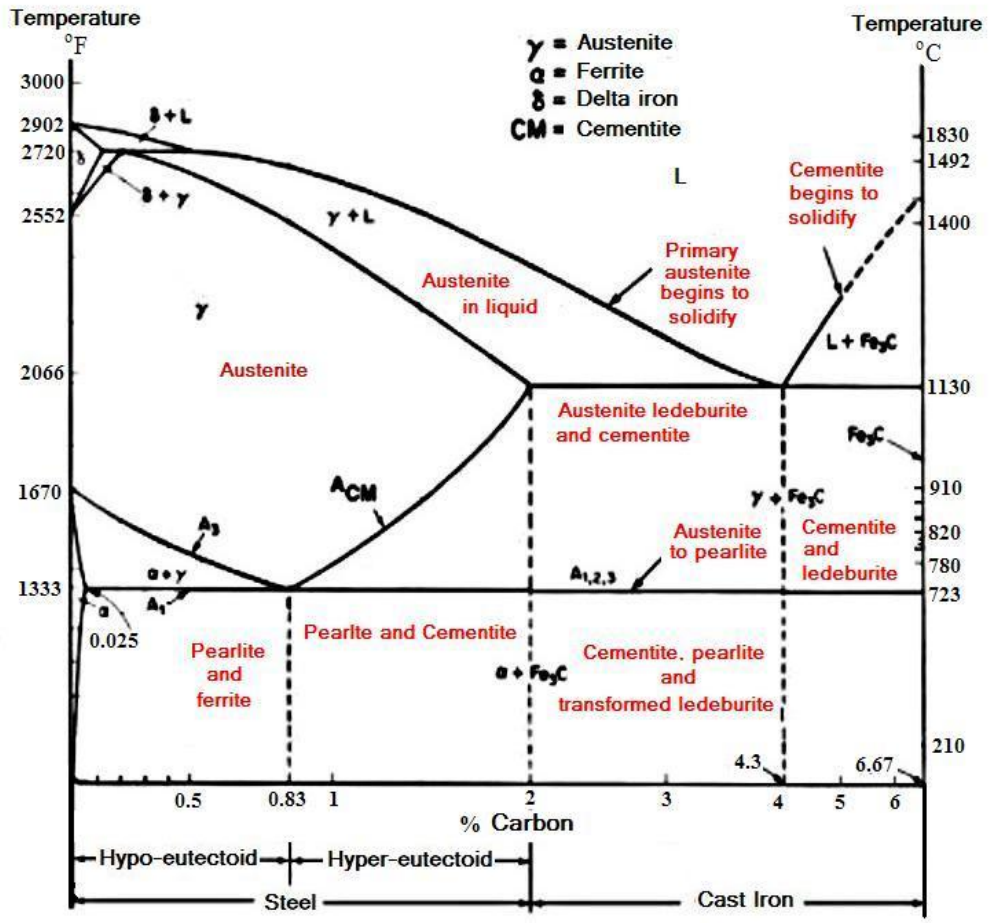
diperoleh martensit (Anonimous C, 2012).

2.5 *Holding Time* (Waktu Tahan)

Holding Time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Untuk baja jenis *Low Alloy Tool Steel,* memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per milimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit. *Holding Time* terlalu lama akan terjadi pertumbuhan butiran yang menyebabkan turunnya kekerasan (Dalil dkk, 1999).

2.6 Diagram Fase Fe-Fe_3C

Diagram Fase Fe-Fe_3C merupakan sebuah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan kandungan karbon (C). Diagram fasa besi dan karbida besi Fe_3C ini menjadi landasan untuk perlakuan panas terhadap kebanyakan jenis baja yang kita kenal, seperti Gambar 3 di berikut ini.



Gambar 3. Diagram Kesetimbangan Fe-Fe_3C (Anonimous D, 2012).

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe_3C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe_3C (Anonimous C, 2012):

1. A_1 adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa γ menjadi α+Fe_3C (perlit) untuk baja *hypoeutectoid*.
2. A_2 adalah titik *Currie* (pada temperatur 769 ^oC), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3. A_3 adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

4. A_{cm} adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5. A_{123}, adalah temperatur transformasi γ menjadi α+Fe_3C (perlit) untuk baja *hypereutectoid.*

2.7 Struktur Mikro Baja

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalama baja karbon adalah (Yogantoro, 2010):

a. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar ± 2,06% pada suhu 1148 ^oC, struktur kristalnya FCC *(Face Center Cubic).* Sifat ketangguhan tinggi dan tidak stabil pada suhu ruang (Saefudin dkk, 2008).

b. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon ± 0,025% C pada temperatur 723 ^oC, struktur kristalnya BCC *(Body Center Cubic).* Pada suhu ruang, kadar kelarutan karbonnya ± 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768 ^oC. Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe_3C.

c. Perlit

Perlit ialah campuran *eutectoid* antara *ferrite* dengan *cementite* yang terbentuk pada suhu 723 ^{o}C dengan kandungan karbon 0,83% (Aisyah, 2012). Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi, perlit merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid *lamellar*.

d. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250 - 550 ^{o}C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah strukur mikro dari reaksi eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$) *non lamellar*. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300 - 400 HVN.

e. Martensit

Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya prepitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260 ^{o}C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit.

f. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C. Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan

kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat.

2.8 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi operasional pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, yang dimaksud memperoleh sifat-sifat tertentu. Pengerasan permukaan disebut juga *case hardening* (Lilipaly, 2011).

Proses perlakuan panas yang (*heat treatment*) yang dapat membentuk (merubah) sifat dari baja yang mudah patah menjadi lebih kuat dan ulet atau juga dapat merubah sifat baja dari yang lunak menjadi sangat keras dan sebagainya. Pembentukan sifat-sifat inilah yang sangat diperlukan untuk memperoleh material bahan industri yang betul-betul sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya (Purboputro, 2009).

Perlakuan panas (*heat treatment*) dapat digunakan untuk mengatur ukuran butir dan meningkatkan sifat mekanik material. Yang tidak berubah pada proses perlakuan panas ini ialah komposisi bahan. Conteh proses perlakuan panas adalah *full anealling*, *normalizing*, dan *tempering* (Darmawan, 2007).

Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butiran dapat diperbesar atau diperkecil, ketangguhan dapat ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permuakaan yang keras disekelilingi inti yang ulet (Dalil, 1999).

Perlakuan panas hampir dilakukan pada material yang akan dilakukan pengerjaan lanjut, dengan kata lain perlakuan panas menyiapkan material setengah jadi untuk dilakukan pengerjaan selanjutnya. Pada perlakuan panas akan terjadi distorsi atau perubahan dimensi yang seharusnya tidak boleh terjadi terutama untuk komponen-komponen permesinan yang mempunyai presisi atau toleransi yang tinggi seperti dies dan roda gigi. Namun, karena tidak dapat dihindari harus diupayakan agar distorsi yang terjadi sekecil mungkin. Distorsi dalam proses perlakuan panas baja dapat timbul antara lain karena adanya perubahan volume yang tidak seragam pada saat proses pencelupan benda kerja, dapat juga disebabkan karena adanya gradien temperatur pada benda kerja yang menyimpan tegangan sisa (Hadi, 2010).

2.9 *Hardening*

Memanaskan suatu bahan hingga diatas suhu transformasi (723 ^{o}C) kemudian didinginkan secara cepat, melalui media pendingin seperti air, oli atau media pendingin lainnya. Tujuannya adalah untuk mengeraskan bahan. Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oksigen udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen udara berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu, pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah

kuat terhadap oksigen. Jadi semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi (Schonmetz, 1985).

Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet (Haryadi, 2006).

2.10 *Quenching*

Quenching adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Banyak material dan cara yang dapat digunakan dalam proses *quenching* pada baja. Media *quenching* meliputi: air, air asin, oli, air-*polymer* dan beberapa kasus dengan *inert gas* (Mulyadi, 2010).

Quenching dilakukan dengan memanaskan baja sampai suhu austenit (struktur γ) dan dipertahankan dalam jangka waktu tertentu pada suhu austenit tersebut, lalu didinginkan cepat dalam media pendingin. Pada umumnya, baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi tetapi agak rapuh. Sifat rapuh tersebut dapat dikurangi dengan melakukan proses *tempering* pada baja yang telah mengalami proses *quenching* (Malau dkk, 2008).

2.11 *Tempering*

Proses *tempering* adalah pemanasan kembali hasil proses *hardening* pada temperatur dibawah temperatur kritis (A_1 / 723 ^oC), kemudian menahan beberapa saat, selanjutnya didinginkan dengan lambat yang biasanya dilakukan dengan udara. Akibat proses *hardening* pada baja, maka timbulnya tegangan dalam (*internal* stresses), dan rapuh (*britles*), sehingga baja tersebut belum cocok untuk segera digunakan. Oleh karena itu, baja tersebut perlu dilakukan proses lanjut yaitu temper. Dengan proses temper, kegetasan dan kekerasan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan, kekuatan tarik turun sedangkan keuletan dan ketangguhan meningkat (Fariadhie, 2012). Tujuan dari *tempering* adalah untuk mendapatkan baja yang lebih tangguh (*tough*) dan juga liat (*ductile*) tanpa banyak mengurangi kekuatan (*strength*) (Darmawan dkk, 2007). Menurut Mulyanti (1996) meneliti pengaruh perlakuan panas pada paduan baja mangan austenit dimana kekerasan akan turun dan harga impak akan naik jika dilakukan proses temper, disebutkan juga bahwa dengan naiknya temperatur austenisasi, maka kekerasan akan turun dan harga impak akan naik.

Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. Temper dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil (Djaprie, 1990).

Struktur logam yang tidak stabil, tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan (Haryadi, 2006).

Temper pada suhu rendah antara 150 ^{o}C – 230 ^{o}C tidak akan menghasilkan penurunan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Penemperan pada suhu hingga 200 ^{o}C ini disebut penuaan buatan. Baja yang memperoleh perlakuan seperti ini memiliki ukuran yang tetap untuk waktu lama pada suhu ruangan. Penemperan antara suhu 200 ^{o}C - 380 ^{o}C untuk memperlunak kekerasan yang berlebihan dan meningkatkan keuletan, sedangkan perubahan ukuran yang terjadi pada pengejutan diperkecil. Penemperan pada suhu antara 550 ^{o}C - 650 ^{o}C untuk meningkatkan kekerasan dengan menguraikan karbid. Penemperannya hanya pada baja perkakas paduan tinggi. Penemperan baja bukan paduan berlangsung pada suhu penemperan yang berpedoman pada karbon dan kekerasan yang dikehendaki (Schonmetz, 1985). Proses temper pada pemanasan sampai suhu temperatur tertentu (temperatur kritis) dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200 ^{o}C – 600 ^{o}C tergantung pada keperluan.

Menurut Susri Mizhar dan Suherman (2011), setelah proses temper pada temperatur 600 ^{o}C nilai rata-rata kekerasan as bar menurun selama peningkatan waktu penahanan pada kondisi temper.

2.12 Ketangguhan Baja

Ketangguhan adalah kemampuan bahan untuk berdeformasi secara plastis dan menyerap energi sebelum dan sesudah putus (Asiri dkk, 2010). Menurut Anang Setiawan dan Yusa Asra Yuli Wardana (2006), semakin rendah suhu pengujian maka nilai ketangguhan dari sambungan las semakin rendah, dan semakin tinggi suhu pengujian maka semakin besar nilai ketangguhan sambungan las.

Ketangguhan ini adalah suatu ukuran energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan. Energi yang merupakan hasil kali gaya dan jarak dinyatakan dalam joule. Suatu bahan ulet dengan kekuatan yang sama dengan bahan rapuh (tidak ulet) akan memerlukan energi perpatahan yang lebih besar dan mempunyai sifat tangguh yang lebih baik. Cara standar *Charpy* atau *Izod* merupakan dua cara untuk menentukan ketangguhan. Perbedaan terletak pada bentuk benda uji dan cara pemberian energi. Karena ketangguhan tergantung pada geometri konsentrasi energi (Van Vlack, 1992).

2.13 *Optical Emission Spectrometry (OES)*

Atomic (atau *Optical*) *Emission Spectrometry* (AES, OES) adalah teknik penting untuk analisis multi elemen dari berbagai macam bahan. OES melibatkan pengukuran radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari atom. Baik data kualitatif dan kuantitatif dapat diperoleh dari jenis analisis ini. Mesin OES, seperti Gambar 4 dikalibrasi terlebih dahulu dan masuk ke mode analisa *Fe-base*. Setelah dikalibrasi, sampel yang telah dipersiapkan diletakkan di tempat yang telah disediakan untuk selanjutnya ditembak sebanyak 3x. Selanjutnya data tercatat secara otomatis di dalam komputer untuk dianalisa (Yunior, 2011).

Gambar 4. Mesin *Optical Emission Spectrometry* (OES).