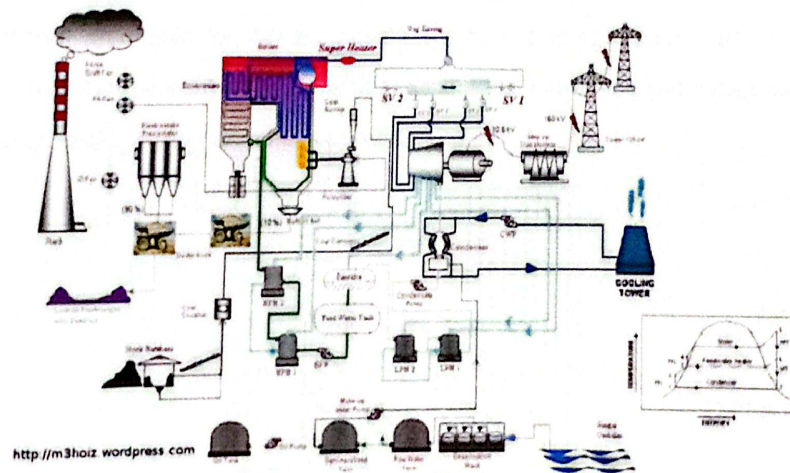


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Boiler

Boiler merupakan salah satu bagian utama dalam suatu pembangkit listrik. Fungsinya yaitu untuk menyerap energi panas dari berbagai jenis bahan bakar melalui proses pembakaran dan dikonversikan menjadi bentuk kerja. Media untuk penyerap panas tersebut adalah tube. Dalam suatu boiler terdapat beberapa komponen *tubing* diantaranya adalah *economizer*, *water wall*, *superheater* (*finish* dan *platen*), dan *reheater* (*finish* dan *platen*). Disetiap area tersebut diperlukan tube dengan karakteristik yang berbeda beda sesuai dengan temperatur kerjanya.



Gambar 2.1 Komponen utama boiler

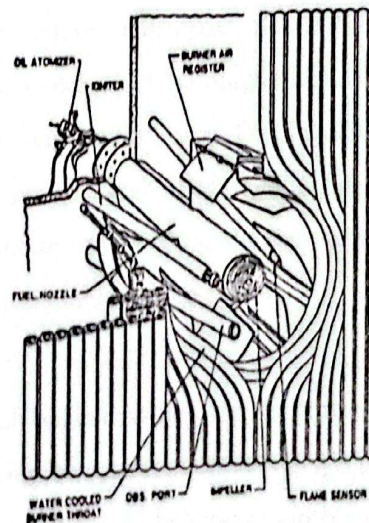
2.1.1 Komponen utama boiler

❖ Ruang bakar / *furnace*

Ruang bakar adalah bagian dari boiler yang berfungsi untuk tempat berlangsungnya proses pembakaran antara bahan bakar dan udara. Tekanan gas panas yang berada di dalam ruang bakar (*furnace*) dapat lebih besar dari pada tekanan udara luar (tekanan ruang bakar positif) dan dapat juga bertekanan lebih kecil dari tekanan udara luar (tekanan ruang bakar negatif) atau bertekanan seimbang (*Balance Draught*).

❖ *Burner*

Burner berfungsi menyuplai bahan bakar batubara serbuk dan udara ke dalam ruang bakar seperti terlihat pada Gambar 2.1. Secara umum *coal burner* didesain untuk dapat melakukan aksi turbulensi. Turbulensi dapat membantu pencampuran bahan bakar dengan udara dan bahan bakar dan udara bergerak secara cepat. *Burner* ini disusun secara vertikal dan berada pada tiap keempat sudut ruang bakar. Sudut semburan *burner* bisa diatur (*tilting*) ke atas dan ke bawah untuk mengatur penyerapan panas pada ruang bakar dan *superheater*, menambah kemampuan untuk mengatur suhu gas meninggalkan ruang bakar dan mengkompensasi pengaruh kerak dan abu pada *water wall*. Bila abu yang menempel pada *water wall* cukup tebal, penyerapan panas menurun, suhu gas meninggalkan ruang bakar naik, maka *burner* diarahkan ke bawah. Sebaliknya bila dinding *water wall* bersih, penyerapan panasnya tinggi, sehingga suhu gas meninggalkan ruang bakar turun, maka *burner* diarahkan ke atas.



Gambar 2.2 *Burner*

❖ *Water wall/evaporator dan down comer*

Di dalam *water wall* terdapat air yang bersirkulasi dari *boiler drum* melalui *down comer* dan *low header*. Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam *furnace* sebagian diberikan kepada air yang ada di dalam *water wall* sehingga air berubah menjadi uap.

Selain berfungsi untuk membuat air menjadi uap, *water wall* juga mencegah penyebaran panas dari dalam *furnace* ke udara luar dan untuk lebih menjamin agar panas tersebut tidak terbuang ke udara luar melewati *tube wall*, maka di balik *water wall* (arah udara luar) dipasang dinding isolasi yang terbuat dari mineral fiber, sedangkan pada *down comer* merupakan pipa yang berukuran besar, menghubungkan bagian bawah *boiler drum* dengan *lower header water wall*. *Down comer* (pipa turun) tidak terkena panas secara langsung dari ruang bakar.

❖ *Economizer*

Economizer berupa pipa-pipa air yang dipasang ditempat laluan gas hasil pembakaran sebelum *air heater*. *Economizer* menyerap panas dari gas hasil pembakaran setelah melewati *superheater*, untuk memanaskan air pengisi sebelum masuk ke *main drum*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang ada dalam *steam drum* tidak terlalu tinggi, sehingga tidak terjadi *thermal stress* (tegangan yang terjadi karena adanya pemanasan) di dalam *main drum*. Selain itu dengan memanfaatkan gas sisa pembakaran, maka akan meningkatkan efisiensi dari boiler dan proses pembentukan uap lebih cepat. Perpindahan panas yang terjadi di *economizer* terjadi dengan arah aliran kedua fluida berlawanan (*counter flow*). Air pengisi *steam drum* mengalir ke atas menuju *steam drum*, sedangkan udara pemanas mengalir ke bawah.

❖ *Superheater*

Superheater adalah bagian utama yang berfungsi untuk memanaskan uap jenuh menjadi uap kering dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran. Penggunaan *superheater* memiliki beberapa keuntungan yaitu meningkatkan efisiensi dari PLTU dan meningkatkan kualitas uap yang semakin baik untuk memutar turbin. Semakin baik kualitas uap berarti semakin sedikit kandungan air di dalamnya sehingga kerusakan turbin akibat korosi akan terhindari di dalam PLTU yang sekarang banyak digunakan di Indonesia, terdapat 2 macam *superheater* yaitu *primary superheater* dan *secondary superheater*.

Kegunaan dari *superheater* dapat dilihat dengan mengetahui aliran sirkulasi uap *superheater* sebagai berikut :

- a. Uap jenuh dari *steam drum* dialirkan ke *primary superheater*. *Primary superheater* terletak di belakang dari boiler dan menerima gas relatif dingin (daerah konveksi). Pipa-pipa biasanya diatur dengan konfigurasi horizontal. Suhu keluar dari *primary superheater* sekitar 400 °C.
- b. Uap yang dipanaskan ini selanjutnya mengalir ke *secondary superheater* yang terletak pada bagian gas sangat panas. Sebagian dari *superheater* terletak tepat diatas ruang bakar dan menerima panas radiasi langsung dari ruang bakar. Kemudian dari *secondary superheater*, uap mengalir ke turbin tekanan tinggi dengan suhu sekitar 540 °C.

❖ *Reheater*

Reheater dibagi menjadi dua bagian yaitu *platen reheater* dan *finish reheater*. Fungsi utama dari kedua bagian tersebut sama yaitu memperbaiki kualitas uap yang keluar dari turbin bertekanan tinggi kemudian dipanaskan lagi di area ini untuk menghasilkan uap yang sesuai diinginkan untuk memutar turbin bertekanan rendah. Hanya saja pada area *platen reheater* temperaturnya lebih rendah dari *finish reheater*.

❖ *Platen Reheater*

Platen reheater merupakan rangkaian dari beberapa *tube*. Didalam *platen reheater* mengalir uap dari turbin bertekanan tinggi yang akan dinaikkan temperaturnya lagi untuk memutar turbin bertekanan rendah. *Platen reheater* ada yang disusun secara tegak dengan masing-masing ujung *tube* disatukan oleh *header*. *Header* digunakan untuk memudahkan dalam konstruksi dan juga untuk mengurangi jumlah *tube* yang terhubung ke komponen selanjutnya yaitu *finish reheater*.

2.2 Boiler CFB

Dengan meningkatnya keperluan energi di dunia, teknologi *Circulating Fluidized Bed boiler (CFB)* menjadi menarik untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik. Teknologi pembakaran *fluidized bed* merupakan reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara pada kondisi sebagai berikut :

- Pembakaran terjadi pada temperatur rendah ($800\text{ }^{\circ}\text{C} - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$) di *combustor*.
- *Fluidizing air* disuplai dari *diffusion plate* di bawah *combustor* yang berisi *fluidizing medium* (*limestone*, pasir kuarsa dan bahan bakar) untuk selanjutnya disebut *Material Bed*.
- Reaksi *desulfurization* dilakukan oleh *limestone*.

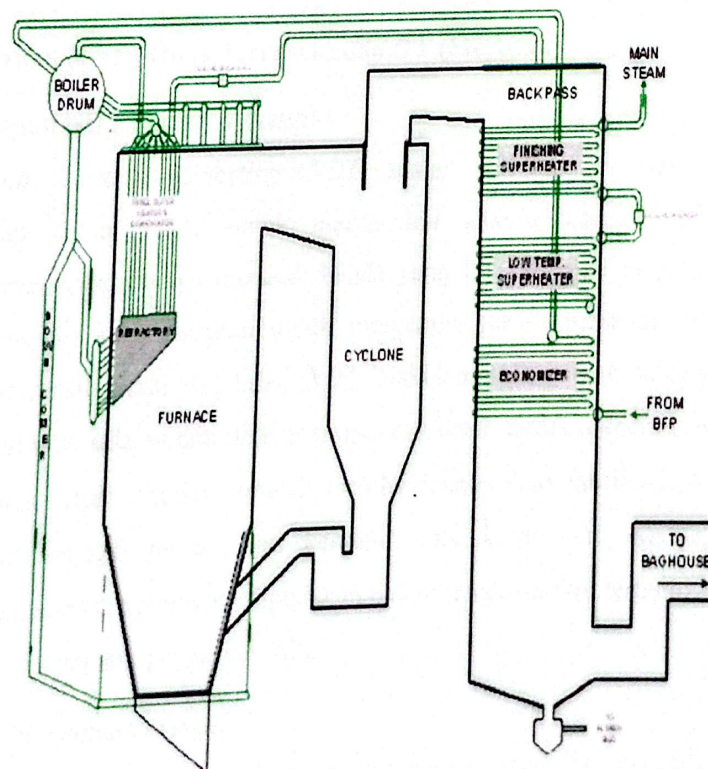
Teknologi *fluidized bed* ini memiliki kelebihan dalam hal penggunaan bahan bakar yang luas untuk dibakar secara efisien dan tidak mencemari lingkungan. Contoh bahan bakar yang dapat digunakan pada boiler yang menggunakan teknologi *fluidized bed* adalah *waste material* seperti *low quality coals*, *coal waste*, *sludge* dan kayu.

Secara umum, *fluidized bed combustion* dapat dibagi menjadi dua yaitu *Atmospheric Fluidized Bed (AFB)* dan *Pressurized Fluidized Bed (PFB)*. Saat ini PFB masih dalam tahap pengembangan awal sementara AFB telah banyak digunakan di pusat listrik. Teknologi AFB sendiri dapat dikelompokkan menjadi *Bubbling Bed (BB)* dan *Circulating Fluidized Bed (CFB)*.

BB mempunyai karakteristik kecepatan fluida yang rendah pada *bed* dan memiliki permukaan perpindahan panas dengan *bed* yang memiliki resiko erosi pada *tube* lebih besar. Sementara itu, CFB memiliki karakteristik kecepatan fluida yang lebih tinggi, tidak ada *combustor* pada *bed tubes*, temperatur pembakaran yang lebih tinggi dan penangkapan sulfur yang lebih efisien dibandingkan dengan BB. Konsep dasar Boiler *Circulating Fluidized Bed (CFB)* adalah *boiler stoker* (unggul fluidisasi), dimana batu bara dibakar di atas rantai berjalan dan diberi hembusan udara dari sisi bawah, sehingga batu bara membara di atas rantai berjalan tersebut. Setelah dilakukan *repowering* dan *redesigning*, maka didapatkanlah jenis boiler dengan tipe CFB.

Pada boiler tipe CFB terdapat 3 bagian utama, yaitu :

1. *FURNACE* : Berfungsi sebagai tempat terjadinya pembakaran bahan bakar. Komponen yang terdapat dalam *furnace* : *wall tube*, *panel evaporator*, *panel superheater*.
2. *CYCLONE* : Berfungsi memisahkan batu bara yang belum terbakar dengan abu (*ash*) sisa pembakaran dan mengembalikannya ke *furnace*. Komponen utama *cyclone* : *cyclone*, *seal pot*, *seal pot duct*.
3. *BACKPASS* : Berfungsi sebagai ruang pemanfaatan kalor yang terdapat dalam flue gas. Komponen utama *backpass* : *finishing superheater*, *low temperature superheater*, *economizer*.



Gambar 2.3 CFB Boiler

Prosedur umum *firing* atau *start up* pada boiler tipe CFB pada umumnya hampir sama seperti jenis boiler lainnya, pertama-tama dilakukan *purging* selama 5 menit untuk membersihkan gas-gas yang berpotensi menimbulkan

ledakan pada saat burner dinyalakan. Setelah *purging* selesai, dua *burner* (sisi berseberangan) dinyalakan. Kenaikan temperatur *furnace* dijaga tidak lebih dari 95 °C per jam untuk menjaga material dari termal stress dan menjaga *refractory* agar tidak retak.

Setelah temperatur *furnace* 530 °C batu bara dimasukkan melalui 3 *coal feeder* pada minimum *flow rate* (6 ton/jam)/*coal feeder* sambil kedua *burner* masih menyala. Setelah temperatur *furnace* mencapai 660 °C, kedua *burner* dimatikan satu persatu. Selanjutnya pembakaran dilakukan dengan batu bara. Selama boiler beroperasi tidak diperlukan *support burner*, karena dapat menyebabkan *material bed* meleleh. *Burner* hanya digunakan pada saat proses *start up* sampai temperatur yang diizinkan diatas.

2.3 Pengujian NDT (Tidak Merusak) dan DT (Merusak)

2.3.1 Pengujian NDT (Tidak Merusak)

Non destrtructive testing (NDT) adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang kita tes atau inspeksi. Pada dasarnya, tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman atau tidak. *NDT* dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap fabrikasi. *NDT* ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, *NDT* dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu.

Macam macam pengujian *NDT*

❖ Pengamatan *visual*

Pengujian ini merupakan langkah yang pertama kali diambil dalam *NDT*. Metode ini bertujuan menemukan cacat atau retak permukaan dan korosi. Dalam hal ini tentu saja adalah retak yang dapat terlihat oleh mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar ataupun boroskop.

❖ Pengujian *Liquid Penetrant*

Pengujian *Liquid Penetrant* merupakan metode *NDT* yang paling sederhana. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun *non* logam, seperti keramik dan plastik fiber. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna terang pada permukaan yang diinspeksi. Cairan ini harus memiliki daya penetrasi yang baik dan viskositas yang rendah agar dapat masuk pada cacat dipermukaan material. Selanjutnya, *penetrant* yang tersisa di permukaan material disingkirkan. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna *penetrant* dengan latar belakang cukup kontras. Seusai inspeksi, *penetrant* yang tertinggal dibersihkan dengan penerapan *developer*.

❖ Pengujian *Ultrasonic*

Prinsip yang digunakan pada pengujian adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan interpretasikan. Gelombang *ultrasonic* yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 ± 20 MHz. Gelombang suara akan terpengaruh jika ada void, retak, atau delaminasi pada material. Gelombang *ultrasinic* ini dibangkitkan oleh transduser dari bahan *piezoelektrik* yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi.

❖ Pengujian MP (*Magnetic Partikel*)

Dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan (*surface*) dan bawah permukaan (*subsurface*) suatu komponen dari bahan ferromagnetik dapat diketahui. Prinsipnya adalah dengan memagnetisasi bahan yang akan diuji. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya

kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik dipermukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet.

❖ *Pengujian Radiographi*

Metode *NDT* ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

❖ *Pengujian Eddy Current*

Inspeksi ini memanfaatkan prinsip elektromagnet. Prinsipnya, arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet didalamnya. Jika medan magnet ini dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus *Eddy*. Arus *Eddy* kemudian menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan dan mengubah impedansi bila ada cacat.

2.3.2 Pengujian DT (Merusak)

Pengujian *DT* adalah pengujian yang dilakukan terhadap suatu material atau spesimen sampai material tersebut mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa pada material yang bersangkutan. Pengujian ini umumnya jauh lebih mudah untuk dilaksanakan, selain itu memberikan informasi yang lebih baik dari pada uji tidak merusak.

Macam macam pengujian DT :

❖ Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metoda observasi atau pemeriksaan atau pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan bahan lainnya. Pengetahuan metalografi pada dasarnya mempelajari karakteristik struktural dan susunan dari suatu logam atau paduan logam. Biasanya tidak melalui suatu keseluruhan potongan disebabkan oleh pembawaan *hydrogen* atau logam. Dewasa ini terdapat berbagai jenis bahan yang digunakan pada proses manufaktur. Namun, sebelum diketahui atau digunakan dalam industri atau bagian-bagian yang lain, karakteristik structural atau susunan dari logam atau paduannya yang akan dipakai atau ditawarkan pada industri untuk keperluan lainnya. Dari hal inilah, orang mulai mencoba untuk melakukan uji metalografi pada suatu material. Sehingga dengan cara ini dapat diperoleh bahan dengan sifat-sifat yang sesuai dengan tujuan tertentu untuk memenuhi kebutuhan teknologi modern yang meningkat. Untuk itu, pengujian metalografi sangat berguna dalam berbagai dunia industri, terutama pada industri logam dan otomotif.

❖ Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Secara umum semua sifat mekanik dapat terwakili oleh sifat kekerasan bahan. Orang berasumsi bahwa yang keras itu pasti kuat, sehingga “jika dibutuhkan bahan yang kuat, maka pilih bahan yang keras” ini merupakan pernyataan yang keliru, bahwa ada suatu bahan yang memiliki kesebandingan antara kekerasan dengan kekuatan itu benar tetapi ada juga sifat yang justru perbandingannya terbalik bahwa bahan yang keras akan rapuh. Oleh karena itu diperlukan definisi yang spesifik antara kekerasan dengan kekuatan kendati masing-masing memiliki korelasi. Berdasarkan pada persyaratan

tersebut maka ketiga metode tersebut pengujian kekerasan yang dibakukan pemakaiannya adalah :

➤ Pengujian kekerasan dengan penekanan (*indentation test*)

Pengujian ini dilakukan merupakan pengujian kekerasan terhadap bahan logam dimana dalam menentukan kekerasaannya dilakukan dengan cara menganalisis indentasi atau bekas penekanan pada benda uji sebagai reaksi dari pembebanan tekan

➤ Pengujian kekerasan dengan goresan (*scratch test*)

Merupakan pengujian kekerasan terhadap benda (logam) dimana dalam menentukan kekerasannya dilakukan dengan mencari perbandingan dari bahan yang menjadi standart.

➤ Pengujian kekerasan dengan cara dinamik (*dynamic test*)

Merupakan pengujian kekerasan dengan mengukur tinggi pantulan dari bola baja atau intan (hammer) yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu.

❖ Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian kekuatan suatu material dengan menarik suatu bahan sampai putus. Pada pengujian tarik suatu material akan mengalami kerusakan, karena pengujian tarik adalah pengujian kekuatan material dengan menarik suatu material sampai putus. Jadi material yang dites kekuatannya akan rusak. Pada uji tarik , benda uji diberi beban gaya tarik , yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji.

❖ Pengujian Bengkok

Pengujian bengkok adalah salah satu cara pengujian yang dipakai sejak lama bagi bahan yang cocok, karena dapat dilakukan terhadap batang uji berbentuk sederhana dan tidak perlu menggunakan mesin uji biasa. Tapi pengujian ini menyebabkan material rusak karena akan terjadi patahan.

Uji bengkok (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las di weld metal.

❖ *Pengujian Impact*

Uji *impact* dilakukan untuk menentukan kekuatan material sebagai sebuah metode uji *impact* digunakan dalam dunia industry khususnya uji *impact charpy* dan uji *impact izod*. Dasar pengujian ini adalah penyerapan energy potensial dari beban yang mengayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk material uji sehingga terjadi deformasi.

Sistem Pengujian Impact ada 2 yaitu :

➤ *Uji Charpy*

Benda uji diletakkan secara mendatar dan ditahan pada sisi kiri & kanan. Kemudian benda dipukul pada bagian belakang takikan, letaknya persis di tengah. Takikan membelakangi pululan.

➤ *Uji Izod*

Benda uji dijepit pada satu ujungnya pada posisi tegak. Lalu benda uji ini dipukul dari sisi depan pada sisi ujung yang lain.

❖ *Pengujian Puntir*

Pada pengujian puntiran suatu material akan rusak karena material tersebut akan mengalami patahan.. umumnya ini terjadi pada material yang getas, sedangkan pada material yang ulet patahan terjadi pada sudut tegak lurus terhadap sumbu puntiran setelah gaya pada ara sumbun terjadi dengan deformasi yang besar.

2.4 Material

Baja merupakan suatu logam paduan dengan besi sebagai unsur dasarnya dan karbon sebagai unsur paduan utamanya serta unsur-unsur lainnya. Baja banyak digunakan dalam industri, termasuk mesin industri.

Baja dapat diproduksi dalam bentuk pelat batangan, tabung, lembaran, pita, dan bentuk struktural karena baja memiliki kemampuan bentuk yang baik. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran dan penempaan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*) tetapi di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) dan menurunkan keuletannya (*ductility*). Secara umum logam merupakan unsur kimia yang mempunyai sifat kuat, ulet, keras, sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, memiliki titik cair yang tinggi dan mengkilap. Logam tunggal tidak dapat digunakan untuk keperluan teknik yang berhubungan dengan konstruksi karena logam tunggal tidak tahan terhadap beban dan juga tidak tahan terhadap panas, oleh karena logam paduanlah yang digunakan untuk keperluan teknik tersebut.

Berdasarkan komposisi kimianya logam dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu logam besi (*ferro*) dan logam non besi (*non ferro*).

Logam besi dan paduan besi adalah :

- ❖ Baja karbon (*carbon steel*)
- ❖ Baja paduan (*alloy steel*)
- ❖ Besi tuang (*cast iron*)
- ❖ Baja spesial (*special steel*)

Paduan merupakan campuran dari dua jenis logam atau lebih untuk mendapatkan sifat fisik mekanik, dan *visual* yang lebih baik. Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dan sifat mekaniknya akan berbeda, tergantung pada proses pengerjaan, terutama proses perlakuan panas selama proses pengerjaan. Jenis struktur mikro pada baja paduan yaitu :

❖ *Perlit (pearlite)*

Campuran *eutectoid* dari *cementite* dan *ferrite* mempunyai kekerasan 10-30 HRC serta mengandung 0,83 % karbon. Fasa ini terjadi dibawah temperature 723°C atau campuran ferit dan carbide berbentuk lamel yang dihasilkan dengan cara menguraikan *austenite* berkomposisi *eutectoid*.

❖ *Ferit (ferrite)*

Suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0,025 % C pada temperatur 723°C , struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*) dan pada temperature kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0,008 % C. Ferit terbentuk pada proses pendinginan yang lambat dari *austenite* baja *hipoeutectoid*, ferit ini bersifat sangat lunak, ulet dan mempunyai kekerasan sekitar 70-100 BHN serta memiliki konduktivitas yang tinggi. Ferit ini mengandung senyawa *trivalent* yang bersifat magnetik.

❖ *Bainit*

Dapat terbentuk apabila *austenite* didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperatur tertentu (sekitar $200-400^{\circ}\text{C}$). Transformasi bainit ini karena sebagian proses difusi dan sebagian lagi karena proses tanpa difusi.

❖ *Martensit*

Fasa yang terjadi akibat suatu transformasi fasa yang bereaksi tanpa melibatkan pengintian dan pertumbuhan yang dicirikan dengan kontrol difusi atom. Pembentukan martensit didasari pada proses pergeseran atom yang melibatkan penyusutan dari struktur kristal. Struktur *martensit* merupakan konsekuensi langsung dari tegangan disekitar matriks yang timbul akibat mekanisme geser.

❖ *Cementite*

Suatu senyawa yang terdiri dari unsur Fe dan C dengan perbandingan tertentu.

❖ *Austenite*

Suatu larutan padat yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 2 % C pada temperatur 1130° C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

❖ *Ledeburite*

Campuran *eutectic* antara besi *gamma* dengan *cementite* yang dibentuk pada 1130° C dengan kandungan karbon 4,3 % C.

Klasifikasi baja karbon berdasarkan kandungan karbon didalam baja :

- ❖ Baja karbon rendah (*low carbon steel*) : memiliki kandungan karbon antara 0,15-0,23 %
- ❖ Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) : memiliki kandungan karbon antara 0,23 % - 0,44 %
- ❖ Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) : memiliki kandungan karbon antara 0,44 % - 2 %.
- ❖ Baja karbon paduan (*alloy steel*) merupakan baja yang selain mengandung unsur karbon juga mengandung unsur paduan lainnya seperti *chrom*, *molybdenum*, *vanadium* dan lain sebagainya.

Kadar karbon dalam baja dapat mempengaruhi kekerasan atau kekuatan serta keuletan logam. Semakin tinggi kadar karbon, maka kekerasan atau kekuatannya akan semakin tinggi tetapi keuletannya semakin rendah.

Disamping karbon, pada baja karbon juga mengandung unsur-unsur pemuat lain seperti Silika, Mangan, Fosfor, Sulfur atau lainnya dalam jumlah rendah. Penambahan unsur pemuat kedalam baja karbon adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis yang diinginkan, tetapi ada juga unsur-unsur yang bersifat impuritas. Fungsi dari unsur-unsur pemuat yang terkandung dalam baja karbon adalah sebagai berikut :

- ❖ Karbon (C) : Karbon didalam besi dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari baja.
- ❖ Silika (Si) : Unsur ini berfungsi sebagai deoksidasi. Si juga dapat meningkatkan kekuatan baja pada suhu tinggi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan.

- ❖ *Mangan (Mn)* : berfungsi sebagai deoksidasi dari baja. Unsur ini dapat mengikat sulfur dengan membentuk senyawa MnS yang titik cairnya lebih tinggi dari titik cair baja. Dengan demikian dapat mencegah pembentukan FeS yang titik cairnya lebih rendah dari titik cair baja. Sehingga unsur Mn dapat mencegah kegetasan pada suhu tinggi.
- ❖ *Molybdenum (Mo)* : unsur ini dapat menguatkan fasa ferit dan menaikkan kekuatan baja tanpa kehilangan keuletan. Selain itu, dapat berfungsi sebagai penyetabil karbida, sehingga mencegah pembentukan grafit pada pemanasan yang lama. Penambahan Mo kedalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan creep pada suhu tinggi.
- ❖ *Chrom (Cr)* : dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi dan juga meningkatkan kekuatan pada suhu tinggi dan sifat-sifat creep.
- ❖ *Nickel (Ni)* : meningkatkan ketangguhan dan kekuatan terhadap beban impak.
- ❖ *Wolfram (W)* : dapat membentuk karbida yang stabil dan sangat keras, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan creep dari baja pada suhu tinggi.
- ❖ *Vanadium (V)* : berfungsi sebagai oksidasi terhadap baja, seperti halnya aluminium. Vanadium dapat membentuk karbida yang keras, sehingga dapat menaikkan kekuatan tarik creep dari baja pada suhu tinggi.
- ❖ Sulfur (S) dan Fosfor (P) : unsur ini merupakan impuritas yang umumnya tidak diinginkan karena dapat menurunkan kekuatan, keuletan dan sifat-sifat lain dari baja. Kadar P dan S dalam baja biasanya kurang dari 0.05%. Tetapi pada unsur P memiliki efek positif, yaitu dapat menaikkan fluiditas yang membuat baja mudah dirol panas.
- ❖ Oksigen (O) : dalam keadaan cair, logam mudah melarutkan oksigen sehingga membentuk oksida besi. Oksida ini akan membentuk

inklusi dalam baja yang dapat meningkatkan kegetasan baja.

- ❖ Hidrogen (H) : dapat larut kedalam baja cair yang kemudian berusaha keluar ketika logam cair dituang dan membeku. Tetapi sebagian hidrogen tetap terperangkap dalam logam beku membentuk rongga-rongga udara (porositas). Selain itu, hidrogen dapat masuk kedalam produk melalui mekanisme difusi yang menimbulkan sifat getas dari baja.
- ❖ Nitrogen (N) : memiliki efek pengerasan dan penggetasan terhadap baja. Karena itu, nitrogen ini memiliki kelebihan dan kekurangan.

2.5 Struktur Mikro

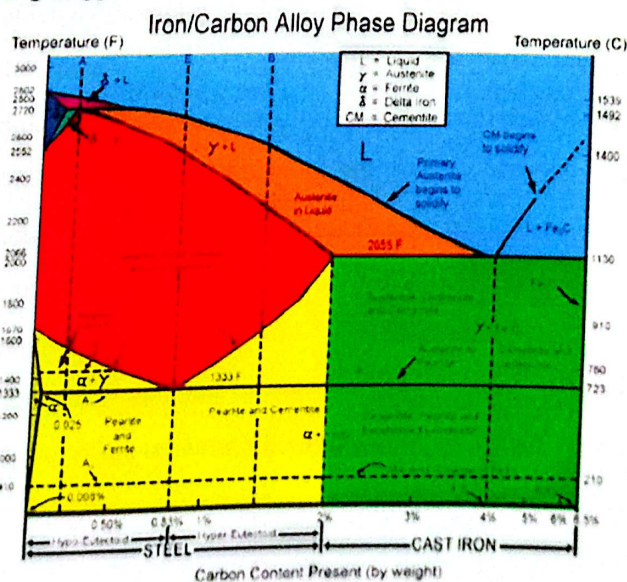
Struktur logam merupakan penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal. Pada umumnya logam terdiri dari banyak kristal (kristal majemuk), tetapi untuk keperluan khusus ada juga yang hanya terdiri dari satu kristal saja (kristal tunggal), tetapi logam dengan kristal majemuk memungkinkan pengembangan berbagai sifat-sifat yang dapat memperluas ruang lingkup pemakainnya. Dalam logam, pengertian kristal sering pula disebut sebagai butiran. Batas pemisah antara dua kristal disebut batas butir (*grain boundary*). Susunan atom didaerah batas kristal tidak beraturan, sehingga atom-atom didaerah tersebut memiliki mobilitas atau tingkat energi yang lebih tinggi jika dibandingkan atom-atom didalam kristal yang susunannya lebih teratur. Karena itu apabila terjadi perubahan-perubahan dalam kristal logam seperti terjadinya dislokasi atau perubahan fasa pada umumnya berawal dari batas kristal. Dengan tingkat energi yang lebih tinggi itu menyebabkan pula batas kristal dapat terlihat sebagai garis yang kontras pada pengujian metalografi.

Besi murni memiliki struktur kristal BCC dan FCC. Besi murni pada suhu dibawah 910°C mempunyai struktur kristal BCC. Besi BCC tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah pada suhu 723°C . Larutan padat interstisi dari karbon didalam besi ini disebut besi alpha atau fasa ferit. Pada suhu diantara 910°C dan 1390°C , atom-atom besi menyusun diri menjadi bentuk kristal FCC yang disebut besi gamma atau fasa austenite.

Besi gamma ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang besar pada suhu maksimum 1147°C.

Susunan atom dalam struktur kristal sangat menentukan terhadap sifat-sifat logamnya. Logam dengan struktur BCC memiliki kerapatan atom yang lebih rendah jika dibandingkan dengan logam struktur kristal FCC. Perbedaan kerapatan itu dapat dilihat pula dari jumlah bidang-bidang geser (*slip planes*) yang terdapat pada kedua struktur kristal tersebut.

Pada struktur kristal BCC jumlah bidang gesernya lebih sedikit, sehingga kemampuan atom-atom untuk bergeser atau mengalami dislokasi akibat deformasi akan menjadi lebih terbatas. Dislokasi merupakan cacat kristal berbentuk garis yang terjadi ketika deformasi memasuki daerah plastis. Dislokasi terjadi akibat atom-atom bergeser pada bidang gesernya, yaitu bidang dalam kristal logam yang mempunyai kerapatan atom yang tinggi. Dengan demikian logam dengan struktur kristal BCC membutuhkan energi yang lebih besar untuk menggerakkan dislokasi jika dibandingkan logam dengan struktur kristal FCC. Hal inilah yang menyebabkan mengapa logam dengan kristal BCC biasanya lebih kuat tetapi kurang ulet jika dibandingkan dengan logam FCC yang mempunyai kekuatan rendah tetapi memiliki keuletan yang tinggi.



Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C.

2.6 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya, dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

❖ Kekuatan (*Strength*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

❖ Kekakuan (*Stiffness*)

Kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

❖ Kekenyalan (*Elasticity*)

Didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan.

❖ Plastisitas (*Plasticity*)

Kemampuan material untuk mengalami deformasi plastik atau perubahan bentuk secara permanen tanpa mengalami kerusakan.

❖ Keuletan (*Ductility*)

Sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material *ductile* harus kuat dan lentur. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll.

❖ Ketangguhan (*Toughness*)

Kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

❖ Kegetasan (*Brittleness*)

Suatu sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen.

❖ Kelelahan (*Fatigue*)

Merupakan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak balik yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastiknya.

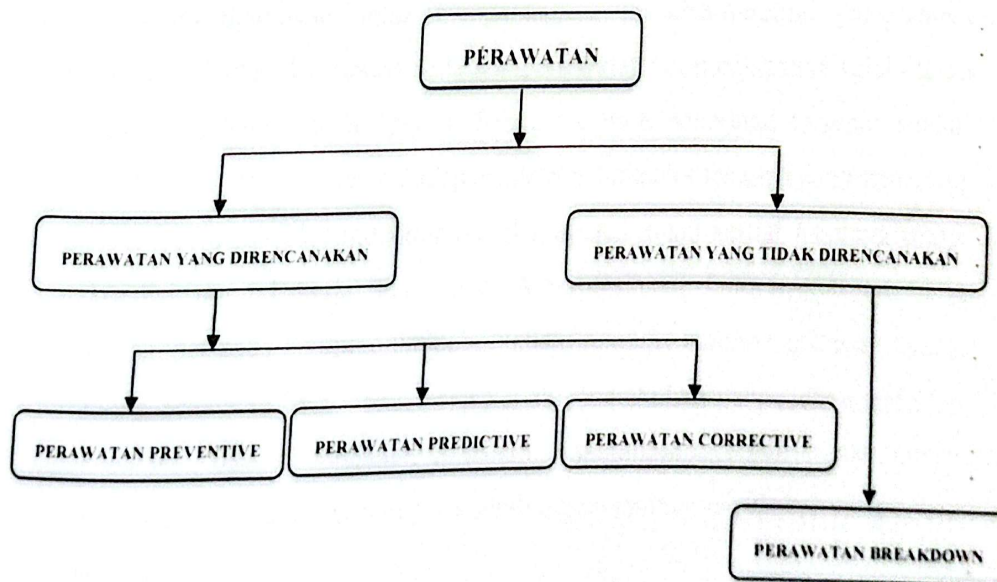
❖ Melar (*Creep*)

Merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik bila pembebanan yang besar relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu tinggi.

❖ Kekerasan (*Hardness*)

Merupakan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.7 Perawatan dan Jenisnya



Perawatan atau pemeliharaan adalah tindakan yang dilakukan terhadap suatu peralatan atau produk dengan tujuan agar peralatan atau produk tersebut tidak mengalami kerusakan, tindakan yang dilakukan yaitu meliputi penyetelan, pelumasan, pengecekan pelumas dan penggantian part-part yang tidak layak lagi. Tujuan dilakukannya pemeliharaan pada sebuah peralatan diantaranya untuk memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya) hal ini sangat penting dinegara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk penggantian, untuk menjamin kesediaan optimum peralatan yang dipasang pada proses produksi dan mendapatkan keuntungan investasi semaksimal mungkin, untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap saat misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan peralatan keselamatan, dan untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut. Secara umum perawatan dibagi menjadi empat yaitu *preventive*, *predictive*, *corrective*, dan *breakdown*. Berikut ini adalah penjelasan tentang jenis - jenis perawatan tersebut.

2.7.1 Perawatan *Preventive*

Perawatan *preventive* merupakan tindakan yang terjadwal dan terencana. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi masalah-masalah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen/alat dan menjaganya selalu tetap normal selama dalam operasi. Sebagai contoh pekerjaan tersebut adalah melakukan pengecekan terhadap pendeteksi indikator tekanan dan temperatur atau alat pendeteksi indikator lainnya, apakah telah sesuai hasilnya untuk kondisi normal kerja suatu alat. Membersihkan kotoran-kotoran yang menempel pada alat/produk (debu, tanah, lumpur, maupun bekas minyak), mengencangkan baut - baut yang kendur, melakukan pengecekan terhadap kondisi fisik peralatan, sistem pelumasan, dan melakukan perbaikan/mengganti gasket pada sambungan-sambungan *flange* yang bocor atau rusak.

2.7.2 Perawatan *Predictive*

Perawatan *predictive* merupakan perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan berkala (*Preventive Maintenance*). Pendeteksian ini dapat dievaluasi dari indikator-indikator yang terpasang pada instalasi suatu alat dan juga dapat melakukan pengecekan vibrasi dan alignment untuk menambah data dan tindakan perbaikan selanjutnya. Sebagai contoh dalam perawatan *predictive* adalah melakukan *temperature bearing* pompa secara berkala, melakukan pengecekan kebersihan pelumas bearing dengan mengambil sampel pelumas dan memeriksa kandungan pelumas pada laboratorium.

2.7.3 Perawatan *Corrective*

Perawatan *corrective* merupakan perawatan yang telah direncanakan, yang didasarkan pada kelayakan waktu operasi yang telah ditentukan pada buku petunjuk alat tersebut. Perawatan ini merupakan "*general overhaul*" yang meliputi pemeriksaan, perbaikan dan penggantian terhadap setiap bagian-bagian alat yang tidak layak pakai lagi, baik karena rusak maupun batas maksimum waktu operasi yang telah ditentukan. Sebagai contoh dalam sebuah manual book menyatakan suatu pompa harus mengganti minyak pelumas dan bearing setelah beroperasi selama 3000 jam atau minimal 4 bulan dengan pelumas dan bearing yang baru.

2.7.4 Perawatan *Breakdown*

Perawatan *breakdown* merupakan perbaikan yang dilakukan tanpa adanya rencana terlebih dahulu. Dimana kerusakan terjadi secara mendadak pada suatu alat/produk yang sedang beroperasi, yang mengakibatkan kerusakan bahkan hingga alat tidak dapat beroperasi. *Breakdown* pada sebuah mesin akan mengakibatkan kerugian-kerugian yang cukup besar antara lain mahalnya alat untuk melakukan perawatan, jumlah tenaga untuk perawatan, dan waktu untuk melakukan perawatan yang menyebabkan proses produksi terhenti. Contoh kerusakan tersebut pada pompa adalah rusaknya bantalan karena kegagalan pada pelumasan, terlepasnya *couple* penghubung antara poros pompa dengan poros penggeraknya akibat kurang kencangnya baut-

baut yang tersambung, terbakarnya motor penggerak pada sebuah pompa karena beban kerja yang melebihi batas operasi, dan retaknya rumah pompa karena adanya benturan dengan benda asing yang terjebak didalam rumah pompa.