JURNAL

POWERPLANT

Prayudi Sudirmanto Dimas Indra Wijaya	Analisis Kinerja Kondensor Sebelum dan Sesudah Overhaul di PT Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten Unit 3
Sahlan	Studi Literatur Analisis Dugaan Luluh Energi Pada Tube Baja A53 Grade B
Eko Sulistyo Firman Prasetyo	Identifikasi Material Tube High Pressure Economizer HRSG Unit 2-3 PLTU UP Semarang
Roswati Nurhasanah Prayudi	Pengaruh Penambahan Liquid Suction Heat Exchanger Terhadap Performa Mesin Pendingin Menggunakan R404A
Halim Rusjdi Andika Widya Pramono Wahyu Bawono Faathir	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340
Vendy Antono Caesar Febria A.R.Y	Perancangan PLTMH Kapasitas 30 KW, Desa GiriTirta Kec. Pejawaran Banjarnegara Jawa Tengah
Arief Suardi Nur Chairat Vendy Antono	Pengembangan Model Perencanaan Alokasi Pesanan Pada Fungsi Koordinasi Produksi Untuk Miminimasi Biaya Produksi dan Biaya Pengiriman

9 772356 151002

SEKOLAH TINGGI TEKNIK-PLN

JURNAL POWERPLANT	Vol. 4	No. 2	Hal. 60-xxx	Mei 2016	ISSN No :2356-1513

IDENTIFIKASI MATERIAL *TUBE HIGH PRESSURE ECONOMIZER* HRSG UNIT 2.3 PLTGU UP SEMARANG

EKO SULISTIYO
Jurusan S1 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : ekosalma123@yahoo.com

FIRMAN PRASETYO
Jurusan S1 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik - PLN
Email : tio.firman92@yahoo.com

ABSTRACT

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is one of the most important equipments in Gas and Steam Power Plants Semarang that have Hp economizer which serves as heater of boiler feed water before it goes to kettle drum and evaporator, so that evaporation process would be more easy with utilizing high temperature exhaust gas from HRSG. But, frequently issue that often arise is shutdown occurrence because of damaged or leaked some tube. It is an issue that has to be solved. In this reaserch, analysis focused to identify material of the unbroken tube to perfome examination of chemical composition of the tube, so the characteristics of the material would be known. The characteristics of material could be known by elements that were contained of that material. From that characteristics, worthiness of the material would be known where the power refers to existing standard and discussion of the reasearh has be supported by a good research meathod

Keywords : *HRSG, tube, hp economizer.*

I. PENDAHULUAN

Dengan maju dan berkembangnya dunia industri khususnya pada industri logam, dituntut adanya suatu kualitas yang baik dari logam itu sendiri. Sampai saat ini baja merupakan logam yang masih dominan dipakai dalam bidang permesinan. Maka dari pada itu pemilihan logam dan paduan dengan sifat-sifat yang sesuai untuk operasi sehingga pemakaiannya dapat memberikan kinerja yang optimal.

Penggunaan baja tahan panas sangat luas termasuk pada Heat Recovery Steam Generator (HRSG), Sebuah unit pembangkit listrik memegang peranan yang sangat penting dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik nasional. Namun seperti halnya dengan mesin-mesin lain yang beroperasi secara simultan dan terus menerus terlebih mengalami temperatur dan tekanan yang tinggi, maka akan ditemui beberapa kerusakan atau kegagalan komponen pada pembangkit listrik tersebut. Jenis kerusakan dan kegagalan komponennya juga beragam, mulai dari kebocoran, korosi, dll. Karena biasanya kegagalan jenis ini banyak terjadi pada komponen ataupun material yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi dalam waktu yang cukup lama. Salah satu komponen tersebut adalah pipa *HP Economizer* yang bekerja pada suhu dan tekanan tinggi.

Oleh karena itu penulis bermaksud untuk melakukan pengujiaan komposisi kimia untuk mengetahui sifat-sifat tertentu yang diharapkan. Sifat-sifat material dapat diketahui dari unsur-unsur yang terkandung dalam paduan material tersebut, sehingga karakterisasi material tersebut dapat diketahui apakah layak atau tidak digunakan, dan kekuatan dari material tersebut harus mengacu pada standart yang ada dan pembahasanya ditunjang oleh metodologi penelitian yang baik.

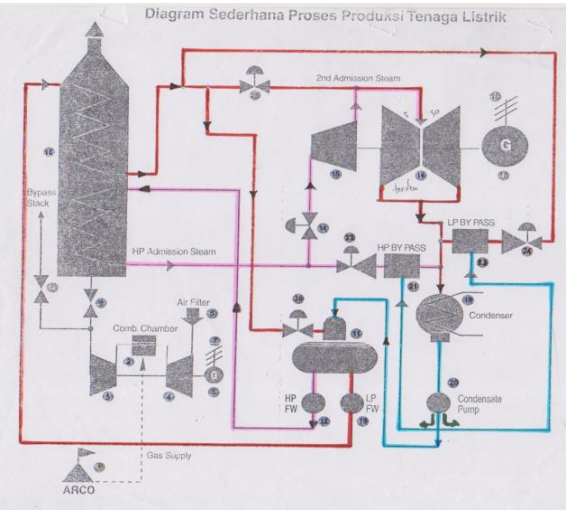
II. KAJIAN LITERATUR

Pengertian Umum PLTGU

PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energy panas (hasil

pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energy listrik yang bermanfaat, pada dasarnya system PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU memanfaatkan energy panas dari gas buang hasil pemanasan air di dalam pipa yang terdapat didalam HRSG (Heat Recovery Steam Geneator), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu – sudu Turbin uap. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada PLTG akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energy listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (Gas alam).

Proses PLTGU



Gambar 2.1 Diagram sederhana Proses Produksi Tenaga Listrik PLTGU

PLTGU merupakan aplikasi dari siklus Brayton dan siklus Rankine, pada siklus Brayton dan siklus Rankine pada teori thermodinamika, siklus Brayton memanfaatkan uap hasil pemanasan air oleh gas buang untuk memutar turbin uap yang kemudian menggerakkan generator, sedangkan siklus Rankine memanfaatkan panas uap (steam) untuk memutar turbin. Perpaduan dua siklus ini dalam menghasilkan listrik pada PLTGU dikenal dengan combined cycle power plant.

Proses pada Turbin Gas (PLTG)

Bahan gas alam (natural gas) yang disupplay dari ARCO Station (1) langsung dimasukkan kedalam ruang bakar/Combustion Chamber (2) bersama – sama dengan udara yang disupplay dari main Compressor (4) setelah terlebih dahulu melalui saringan udara/air Filter (5). Maka akan menghasilkan gas panas yang selanjutnya akan dimasukkan langsung ke dalam Turbin Gas sedangkan gas bekas yang telah melalui turbin gas tadi, apabila tidak dipakai (open cycle) akan langsung dibuang keluar melalui katup (8), tetapi bila dipakai lagi (closed cycle) akan dimasukkan kembali melalui katup (9) kedalam Heat Reacovery Steam Generator HRSG (10).

Air pengisian yang berada didalam deaerrator (11) akan dibagi dua yaitu melalui Low pressure Flow Water / LP FW (13) dan High Pressure FW/HP FW (12) Air pengisian yang dari HP FW (12) akan dimasukkan kedalam HRSG (10) setelah melalui pipa/saluran uap HP Admission Steam diteruskan ke turbin Uap High Pressure Turbine/HPT (15) yang sebelumnya terlebih dahulu melalui katub uap utama (14) dan setelah itu diteruskan lagi ke Low Pressure Turbine /LPT (!6) yang selanjutnya dikoplingkan tenaga listrik melalui penghantar (18).

Uap bekas yang keluar dari LPT tadi akan dialirkan kembali ke dalam Condenser (19) untuk diubah kembali menjadi air kondensat setelah dikondensasi oleh air pendingin /air laut. Air kondensat selanjutnya akan dipompakan oleh Condensat Pump (20) untuk selanjutnya terus dimasukkan kedalam Feed Water Tank yang berada pada Deaerator (11).

Air dari Condensate Pump tadi dicabang lagi ke dalam HP *Bypass* (21) untuk mengatur katup uap tekanan tinggi (22), sedangkan cabang yang lain dimasukkan kedalam LP Bypass (23) untuk mengatur jumlah Uap Tekanan Tinggi masuk kedalam Turbin Uap (HPT), sedangkan uap tekanan tinggi yang dipakai untuk memanaskan deaerrator diatur jumlahnya oleh katup uap (26).

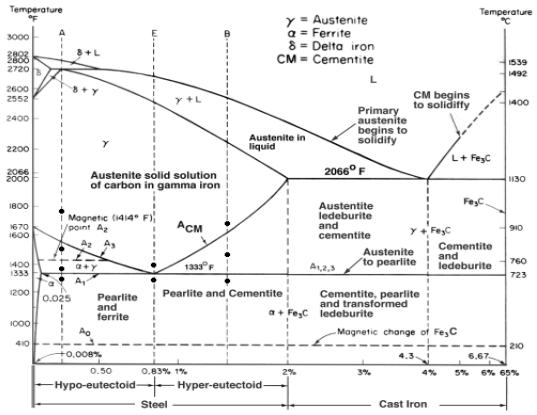
Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dikeluarkan dari Penghantar Listrik PLTG (17) bertegangan 15,75KV dan dari Penghantar dinaikkan oleh Main Transformer menjadi 150 KV untuk selanjutnya diinterkoneksi pada system jaringan Jawa – Bali.

Material Baja

Baja merupakan suatu logam paduan dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya serta unsure lain-lainya. 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)*.

[http://dhikx89s.blogspot.com, 2014]



Gambar 2.2 Diagram Fe-Fe_3C

Struktur yang terkandung dalam besi dan baja terdiri dari fasa-fasa sebagai berikut (Gambar 2.2 diagram fasa Fe-Fe_3C)

a. Ferit (ferrite)

Suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0,025%c dan besi 0,98% fe pada temperature 723ºC, Struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*) dan pada temperature kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0,008% ºC. ferit terbentuk pada proses pendinginan yang terlambat dari austenite baja hipoeutektoid, 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 magnetic.

b. Cementit *(Cementite*)

Suatu senyawa yang terdiri dari unsure Fe dan C dengan perbandingan tertentu dan struktur kristalnya orthorhombic.

c. Austenite

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

d. Perliite (Pearlite)

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

e. Bainit

Dapat terbentuk apabila austenite didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperature tertentu (sekitar 200-400 ºC). trasformasi bainit ini disebabkan sebagian karena proses difusi dan sebagian lagi karena proses tanpa difusi.

f. Martensit

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

g. Ladeburite

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

Klasifikasi Baja

Perbedaan presentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi kedalam tiga macam yaitu

Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja jenis ini mempunyai kandungan karbon di bawah 0,25%. Baja karbon rendah tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment)* yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Penguatan

(*strengthening*) dapat dilakukan dengan perlakuan dingin (*cold work*). Struktur mikro baja karbon rendah terdiri dari unsur pokok ferit dan perlit, karena itu baja ini relatif lunak dan lemah tapi sangat bagus pada kelenturannya dan kekerasannya serta baja jenis ini machinable dan kemampu lasan yang baik

Baja Karbon Sedang (medium carbon steel)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara 0,25 dan 0,60%. Baja jenis ini dapat diberi perlakuan panas austenizing, quenching, dan tempering untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Baja karbon sedang memiliki kemampuan keras yang rendah serta dapat berhasil diberi perlakuan panas hanya di bagian-bagian yang sangat tipis dan dengan rasio quenching yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel dan molybdenum dapat memperbaiki kapasitas logam ini untuk diberikan perlakuan panas, untuk menaikkan kekuatan-kelenturannya yang berdampak pada penurunan nilai kekerasannya. Baja karbon ini dipakai untuk gears, crankshafts, dan bagian-bagian mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi dari kekuatan tinggi, tahan aus dan keras

Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,60 dan 1,40%. Baja karbon tinggi adalah adalah baja yang paling keras dan kuat serta paling rendah kelenturannya di antara baja karbon lainnya. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah pembuatan kawat baja dan kabel baja.

Disamping karbon, pada baja paduan juga mengandung unsur-unsur pemadu lain seperti Si, Mn, P, S dan lainnya dalam jumlah rendah.Penambahan unsur pemadu kedalam baja paduan adalah untuk mandapatkan sifat-sifat mekanis yang diinginkan. Fungsi dari unsur-unsur pemadu yang terkandung dalam baja karbon adalah sebagai berikut :

- Nikel (*Ni*) : adalah logam erwarna perak ke abu-abuan dan mempunyai sel satu kubus berpusat muka (FCC). Nikel (Ni) baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan korosinya, tidak rusak oleh air kali/air laut dan alkali. Tetapi bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit tahan korosi asam khlor dan sulfat.
- Cobalt (Co): ialah Logam yang berwarna putih silver ini memilki titik cair 1490ºC dan bersifat magnetic tinggi. Cobalt diperoleh bersama unsur Nickel serta elemen – elemen mineral tertentu dan dipisahkan selama proses pemurnian pada unsur Nickel. Cobalt merupakan logam yang bersifat kokoh dan magnetis, Kobalt juga merupakan logam yang antikarat. Karena sifatnya itu, cobalt kerap dijadikan bahan pelapis turbin gas generator dan turbin jet.
- Krom (Cr) : adalah unsur yang dipakai dalam proses pengerasan untuk memperbaiki mampu keras dan memberikan unjuk kerja pemotongan yang terbaik pada prosentase 3.5 sampai 5%, krom juga digunakan sebagai elemen leburan dalam baja, yang mengabungkan kepadatan dengan kekuatan yang tinggi serta batas kelenturan yang tinggi pula serta meningkatan daya tahan terhadap pelapukan. Krom akan membuat baja lebih tahan terhadap korosi. Baja tahan karat memiliki kandungan krom diatas 12 %, apabila kandungan krom melebihi 16% maka baja tersebut tidak dapat dikeraskan. Dan bila mengandung krom lebih dari 18% akan kehilangan keuletannya, dan akibatnya lebih mudah patah atau getas.
- Titanium (Ti): merupakan unsur pembentuk ferit yang kuat dan juga pembentuk karbida yang sangat kuat. Pada baja tahan karat austenitik, Ti berfungsi sebagai unsur penstabil (*stabilizer*) yang berfungsi menghambat atau mengurangi terjadinya korosi batas butir *(intergranular corrosion - IGC)*, Selain itu Ti juga meningkatkan kekuatan mekanis pada temperatur tinggi.
- Aluminium (Al) : adalah logam non ferro yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan dukung *(tensile stenght)*, di samping ringan, tahan korosi Aluminium juga mempunyai elektrikal konduktiviti separuh lebih sedikit dibandingkan tembaga.
- Silikon (Si) : memberikan kontribusi yang sangat besar pada kualitas baja, karena berfungsi sebagai dioksida. Bilamana ditambahkan dalam jumlah kurang lebih 2,5 % maka kekuatan baja akan meningkat tanpa kehilangan keuletannya. Namun jika diberikan

diatas 2,5 % akan memberikan efek kerapuhan.

- Besi (Fe) : merupakan unsur logam yang sering digunakan sehari–hari dalam kegiatan di dunia industri dimanapun, tetapi unsur besi ini harus dipadu dengan unsur logam lainnya agar mendapatkan nilai kekuatan, serta mampu guna yang tinggi sebab apabila unsur besi berdiri sendiri (tunggal) maka dari segi kekuatan dan mampu guna tidak akan berarti.
- Mangan (Mn) : dapat berfungsi sebagai dioksidasi dari baja, karena unsur ini dapat mengikat sulphur dan membentuk senyawa manganis sulfide (MnS) yang memiliki titik cair yang lebih tinggi dari titik cair baja. Dengan demikian unsur ini dapat mencegah terjadinya penggetasan pada suhu tinggi yang disebabkan terjadinya ikatan senyawa FeS yang memiliki titik cair lebih rendah dari titik cair baja, selain itu Mn berfungsi juga untuk menguatkan fasa ferrite.
- Sulfur (S) : dapat menjadikan baja getas pada suhu tinggi, karena itu dapat merugikan baja yang dipakai pada suhu tinggi. Maka dari itu kadar S harus dibuat serendah-rendahnya yaitu lebih rendah dari 0,05%.
- Klorida (Cl) : merupakan suatu senyawa yg bersifat asam kuat, sehingga larutannya berpotensi menyerang/mengakibatkan korosi pada logam, terutama besi, kuningan maupun tembaga.
- Niobium (Nb) : adalah logam yang sangat ulet (ductile) dan lunak dengan kekuatan tarik 280 N/mm2 dan titik cairnya 2468ºC. Keuletan dari sifat Niobium ini ialah karena pengaruh Oxygen dan Carbon, pengerjaan panas serta udara.
- Molybdenum : (Mo) dapat memperkuat butiran ferit, sehingga akan menambah kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Molybdenum merupakan penstabil karbida yang baik dan akan memperlambat pembentukkan grafit pada waktu pemanasan yang lama, unsur ini juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap creep pada suhu tinggi. Terjadinya grafit pada baja karbon terjadi pada pemanasan diatas 420ºC dan untuk baja karbon molybdenum akan terjadi diatas temperatur 455ºC.
- Wolfram (W) : atau tungsten memberikan peningkatan kekerasan memiliki titik cair 3410ºC berwarna kelabu, sangat keras dan rapuh pada temperature ruangan, tetapi ulet dan liat pada Temperatur tinggi
- Oksigen (O): oksigen 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 unsur ini dapat masuk kedalam produk melalui mekanisme difusi yang menimbulkan sifat getas dari baja.
- Nitrogen (N): memiliki efek pengerasan dan penggetasan tehadap baja. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dan sifat mekaniknya akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses perlakuan panas yang dialami selama proses pengerjaan. Jenis struktur mikro pada baja paduan yaitu perlit, ferit, bainit, martensit, cementit, austenite dan ledeburite.[Prawaningrum Harli, 2009], [Lawrence, H Van Vlack,1991.]

Sifat – Sifat Material

Untuk dapat menggunakan bahan teknik dengan tepat, bahan tersebut harus dapat dikenali dengan baik sifat – sifatnya yang mungkin akan dipilih untuk dipergunakan, Sifat-sifat bahan tersebut tentunya sangat banyak macamnya.

Sifat Mekanis

Sifat mekanik merupakan kemampuan dan perilaku dari suatu bahan ketika menerima suatu pola pembebanan tertentu, Sifat material yang termasuk dalam kelompok sifat mekanik adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, keuletan, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan creep, ketahanan terhadap rambatan retak, ketahanan pada temperatur tinggi. Sifat mekanis material logam dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti mekanisme penguatan yang terjadi, mikrostruktur, proses perlakuan panas, paduan komposisi kimia dan faktor- faktor yang mempengaruhi kondisi thermal dan lingkungannya yang dapat merubah struktur

metalurgi logam, yaitu *spheroidization*, *graphitization*, *decarburization*, dan *carburization*.

- Spherodisasi: merupakan pembulatan bentuk karbida dalam baja setelah beroperasi sekian lama pada temperatur tinggi.
- Grafitisasi : merupakan perubahan struktur mikro yang sering terjadi pada baja karbon dan baja paduan rendah pada suhu tinggi untuk waktu yang lama.
- Dekarburisasi: merupakan kehilangan unsur karbon (C) pada permukaan baja akibat pemanasan didalam media yang mengandung hydrogen atau dalam oxidizing atmosphere.
- Karburisasi: karburisasi dapat terjadi pada tekanan parsial oksigen yang sangat rendah. Karburisasi dapat terjadi secara kinetis didalam lingkungan yang mengandung karbon. Baja yang mengalami kerburisasi dapat menyebabkan penurunan keuletan dan ketangguhan pada baja tersebut, tetapi kekerasannya meningkat.

Untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan, seperti : keuletan, kekerasan, ketahanan lelah, dan kekuatan pada temperatur meningkat dapat dilakukan proses perlakuan - panas pada logam. Proses tersebut terdiri dari pemanasan dan penahanan waktu pada temperatur meningkat dan diikuti pendinginan terkontrol untuk mendapatkan mikrostruktur tertentu. Proses perlakuan panas pada logam adalah sebagai berikut:

- Proses *annealing*: proses ini dilakukan dengan memanaskan baja hingga diatas suhu transformasi (723˚C) yaitu seluruhnya austenite, dan kemudian didinginkan dengan perlahan-lahan. Tujuannnya adalah untuk melunakkan baja.
- Proses Normalisasi: memanaskan baja hingga seluruh fasa menjadi austenite dan kemudian didinginkan diudara sampai mencapai suhu kamar, sehingga dihasilkan struktur normal dari ferit dan perlit.
- Proses *Hardening* (pengerasan): memanaskan baja hingga seluruh fasa menjadi austenite dan kemudian didinginkan secara cepat yaitu dengan mencelupkan kedalam media pendingin seperti air, oli atau media pendingin lainnya. Tujuannya untuk mengeraskan baja.
- Proses *Tempering*: proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan dengan pencelupan atau yang telah mengalami proses normalisasi. Suhu pemanasannya adalah relative rendah, yaitu dibawah suhu transformasi eutectoid. Tujuannya adalah untuk mengurangi kekerasan logam sehingga keuletan logam akan meningkat. [Dieter, George, 1986]

Sifat Thermal

Didalam suatu material logam terdapat dua jenis energi thermal yang tersimpan yaitu energi vibrasi atom disekitar posisi keseimbangannya dan energi kinetik yang dikandung elektron bebas. Jika suatu logam menerima dan menyerap panas, maka energi *internal* yang tersimpan didalam material logam tersebut akan meningkat yang diindikasikan oleh kenaikan temperaturnya.

Jadi perubahan energi pada atom-atom dan elektron bebas menentukan sifat-sifat thermal material logam, Sifat-sifat thermal yang terdapat pada suatu material logam diantaranya kapasitas panas pemuaian, panas peleburan, panas penguapan, dan konduktivitas panas, Karakteristik material yang sangat penting adalah memiliki ketahanan terhadap temperature yang tinggi.

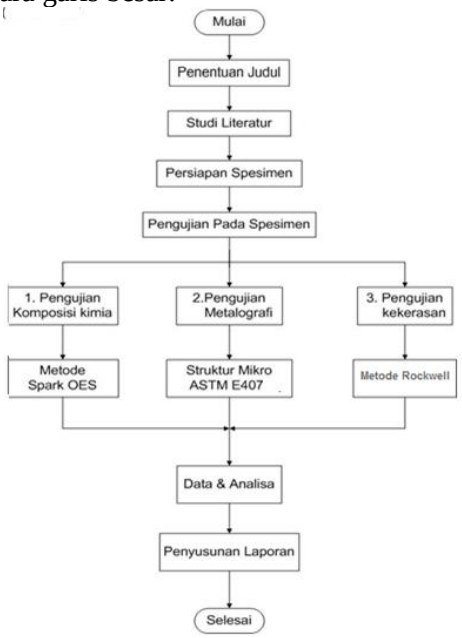
- Kapasitas panas adalah banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikan suhu suatu material logam sebesar satu derajat K. Tidak hanya menaikkan energi vibrasi atom maupun electron tetapi juga dengan memberikan energi panas ke material. Pada material logam tertentu juga terjadi proses-proses lain yang memerlukan energi dan proses-proses ini akan berkontribusi pada kapasitas panas.
- Pemuaian adalah perubahan suatu benda seperti pertambahan panjang, lebar, luas atau perubahan volume terkena panas dan pada waktu volume berubah dibutuhkan energi sebesar perubahan volume kali tekanan udara luar dan energi yang diperlukan ini diambil dari energi yang diterima material.
- Panas peleburan dan panas penguapan adalah kapasitas panas yang diperlukan untuk mencairkan atau menguapkan suatu material atau zat lain.

Konduktivitas panas menentukan laju perambatan panas pada suatu material dengan gradient temperatur tertentu, Konduktivitas panas

merupakan nilai rata-rata konduktivitas dari material polikristal yang tersusun secara acak, Pada temperatur kamar material logam memiliki konduktivitas panas yang baik karena transfer panas pada material logam berlangsung karena peran elektron bebas. [Dieter, George, 1986].

III. METODE PENELITIAN

Dalam penulisan penelitian ini menggunakan metode deskriptif, karena metode ini dapat digunakan dalam penulisan laporan penelitian teknik. Dengan metode ini dapat menguraikan penelitian menggunakan data yang diperoleh kemudian dilihat hubungan sebab dan akibatnya secara garis besar.



Gambar 3.1 Flow Chart Kerangka Pemecahan Masalah

Keterangan :

1. Penentuan Judul
   Penentuan judul dilakukan untuk menentukan topik dan materi yang akan dibahas dalam penelitian ini.
2. Studi Literatur
   Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian ini dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain uji komposisi kimia optical emission spectrometer, uji gambar mikro mikroskop optik ASTM E407 dan pengujian nilai kekerasan dengan metode Rockwell
3. Penyiapan Spesimen
   Penyiapan spesimen disini adalah mengambil material di PT. IP Area Semarang Unit PLTGU Tambak Lorok. Material tersebut merupakan material pipa *economizer* yang didapat adalah berupa potongan memanjang.

Gambar 3.2 Sampel tube economizer

Material yang didapat kemudian dipotong 1 bagian kecil spesimen guna mempermudah keperluan penelitian.

3. Pengujian Spesimen
   Ada tiga macam pengujian untuk memperoleh data yang dibutuhkan penelitian tugas akhir ini, yaitu pengujian komposisi kimia, gambar mikro, dan nilai kekerasan yang akan dikonversi menjadi nilai kekuatan.
   - Uji SPARK OES
     Uji SPARK OES pada spesimen merupakan pengujian untuk mengetahui senyawa kimia yang terkandung pada spesimen.
   - Uji Kekerasan Metode Rockwell
     Uji kekerasan Rockwell berguna untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen.
   - Uji Struktur Mikro (ASTM E 407)
     Uji mikroskop optik dengan menggunakan mesin uji Inverter Metallurgical Microscop – Olympus GX 41 digunakan untuk mengetahui gambar struktur mikro spesimen.
4. Data dan Analisis
   Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.
5. Kesimpulan
   Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisis dari penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan adalah berupa foto mikrostruktur, tabel komposisi kimia, dan tabel nilai kekerasan. Pengujian yang telah dilakukan pada material pipa economizer ini adalah uji metalografi, komposisi kimia dan uji kekerasan.

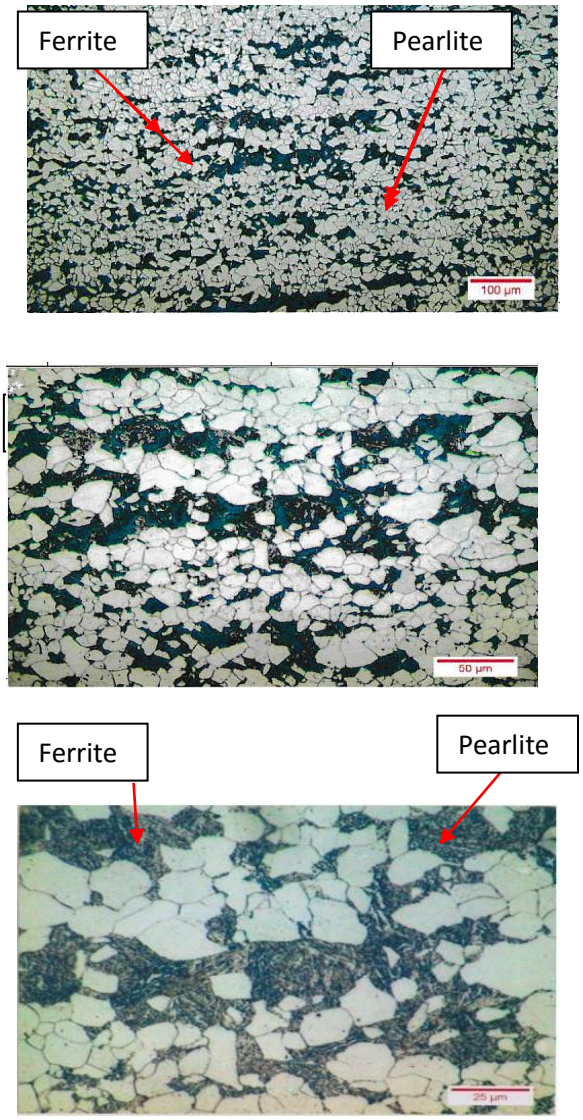
Hasil Pengujian Metalografi

Sebagaimana telah diketahui bahwa unit dari suatu logam, terdiri dari atom dan molekul, unit ini akan membentuk jaringan terkecil yang disebut unit sel atau kristal. Pengujian ini dilakukan untuk melihat butiran – butiran logam yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dengan kata lain diperlukan peralatan pembesaran. Setelah pengujian dilakukan maka didapat hasil bentuk dari struktur kristal yang terdapat pada logam tersebut.

Berikut ini adalah foto atau gambar struktur mikro dari material pipa economizer HRSG Unit 2 PLTGU UBP Tambak Lorok Semarang.

Hasil pengujian metalografi pada pipa *economizer* adalah sebagai berikut :

- Dari hasil uji metalografi pada sample bahan tube *HP Economizer* PLTGU SEMARANG UNIT 2, maka dapat dilihat gambar – gambar hasil pemotretan mengunakan Microskope– Olympus Gx 41, memperlihatkan strukturmikro sampel *tube HP Economizer* yang terdiri dari *ferit* (warna putih) dan perlit (warna gelap).
- ***Pearlite*** merupakan campuran fasa ferit dan sementid sehingga bersifat kuat, serta mengandung 0,83% carbon. Jika peralite menjadi banyak dan ferrite hilang, maka peristiwa tersebut tersebut dinamakan carburisasi.
- ***Ferrite*** merupakan sel satuan (susunan atom – atom yang paling kecil dan teratur) berupa Body Centered Cubic (BCC = Kubus pusat badan), Ferit ini mempunyai sifat magnetis, agak ulet, agak kuat. Ferrite merupakan baja yang mengandung karbon dalam jumlah sedikit yaitu maks 0,025% Carbon. Jika ferrite menjadi banyak dan pearlite hilang, maka peristiwa tersebut dinamakan decarburisasi.
- Dan dapat dianalisa dari gambar struktur mikro yang didapat tidak jauh berbeda dari gambar struktur mikro standart baja karbon rendah yang memiliki struktur mikro ferrit dan struktur mikro pearlite.



Gambar 4.1 Struktur mikro diameter dalam

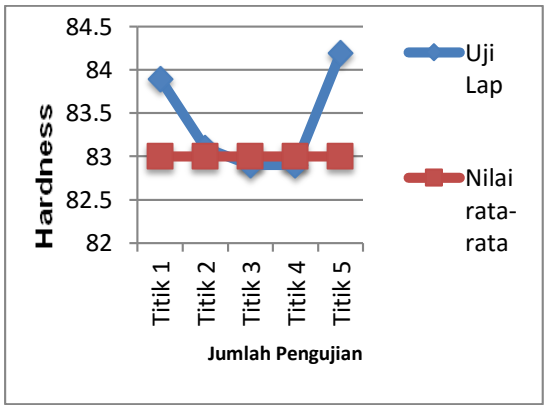
Hasil Pengujian kekerasan

Dalam pengujian kekerasan Rockwell yang dilakukan di Laboratorium Uji Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI Depok.

Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 5 titik untuk 1 potongan yaitu potongan memanjang. Pengujian menggunakan alat uji Rockwell. Dimana alat atau sensor digital otomatis yang mampu menterjemah kekerasan

material langsung ditunjukkan dengan angka kekerasan dari sampel yang tertera pada layarnya. Adapun hasil kekerasan yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar

Berdasarkan hasil uji kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell pada table 4.1 dan gambar 4.2 dari 1 sampel 5 titik pengujian pada material tube economizer didapat nilai tertinggi yaitu 84,2 pada titik uji ke 5 dan nilai kekerasan terendah 82,9 HR pada titik uji ke 3, jika nilai dirata – ratakan didapat nilai kekerasanya 83 HR. Bila dikonversikan kedalam nilai kekerasan *Brinell Harndness* adalah setara dengan 162 HB (Lampiran A). Maka dari hasil nilai kekerasan yang telah dikonversikan dengan *hardness convertision table* (Lampiran A) dapat diketahui, bahan material tube economizer sesuai dengan standart ASTM SA 106 A yang memiliki nilai kekerasan 170 HBN.



Gambar 4.2 Grafik Uji Kekerasan

Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Dari hasil uji komposisi kimia di laboratorium uji Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI Depok, maka didapat hasil pengujian yaitu jenis unsur – unsur yang terkandung, beserta besar presentase dari masing – masing jenis unsur yang terkandung didalam material *tube economizer* PLTGU Semarang.

Adapun jenis dan presentase dari masing – masing unsur yang terkandung disajikan pada tabel. Analisis komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia pada material sampel pipa. Hasil pengujian komposisi kimia tersebut akan disesuaikan dengan standar komposisi kimia ASTM. Berdasarkan spesifikasi material, ASTM SA106 Grade A seamless low carbon steel untuk HRSG/*boiler tube.* Berikut adalah tabel perbandingan komposisi kimia material sampel pipa dengan komposisi kimia spesifikasi standar ASTM SA106 Grade A yang dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 4.1 Standar Komposisi Kimia ASME

Hasil / Result		**Standar Material Dengan Spesifikasi SA106 Grade A**
Unsur	**Kadar %**	
Element	***Content %***	
Fe	Bal	**Balance**
C	0.134	0.25
Si	0.254	0.10
S	0.007	0.035
P	0.015	0.035
Mn	0.514	0.27– 0.93
Ni	0.005	0,40
Cr	0.161	0,40
Mo	0.334	0,15
V	0.002	0,08
Cu	0.032	-
Ti	0.002	-
Al	0.007	-
Nb	0.003	-

Berdasarkan ASTM, spesifikasi komposisi kimia utama yang terkandung dalam material A106 Grade A adalah :

- **Karbon** (C) 0,25% max, berdasarkan hasil dari pengujian komposisi kimia karbon (C) yang terkandung adalah 0.134% yang berarti material SA106A pada tube *hp economizer* masih dalam batas normal dan dapat diidentifikasikan material SA106 A yang digunakan merupakan baja karbon rendah (Low carbon steel), material ini relatif lunak dan lemah tapi sangat bagus pada kelenturannya
- **Silikon** (Si) 0.10% Min, dari hasil pengujian, didapat kandungan Si sebesar 0,254%. Kandungan unsur silicon ini dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas, karat dan kekuatan baja pada suhu tinggi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan. Unsur Si ini juga dapat berfungsi sebagai deoksidasi.
- **Mangan** (Mn) 0.27-0,93%, dari hasil pengujian kandungan mangan 0.514%. Mangan ini dapat mencegah kegetasan pada suhu tinggi.

- **Sulfur/belerang** (S) 0.40% max, dari hasil pengujian kandungan sulfur 0.007%, kandungan unsur sulfur cukup rendah dibandingkan dengan spesifikasi standar SA106 A namun hal ini masih didalam batas normal dari standar yang ditentukan, kandungan sulfur yang rendah akan lebih baik karena kandungan sulfur dalam baja dapat menurunkan keuletan dan kekuatan pada baja.
- **Phospor** (P) 0.035 max dari hasil pengujian kandungan phosphor sebesar 0.015% yang masih dalam batas normal sesuai standar yang ditentukan, phospor dalam kandungan baja dapat menurunkan keuletan dan kekuatan, tetapi phospor berguna untuk membersihkan material dari unsur penyebab korosi.
- **Chrome** (Cr) 0.40% max, dari hasil pengujian kandungan krom (Cr) 0.161% Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Krom akan membuat baja lebih tahan terhadap korosi. Baja tahan karat memiliki kandungan krom diatas 12 %, apabila kandungan krom melebihi 16% maka baja tersebut tidak dapat dikeraskan. Dan bila mengandung krom lebih dari 18% akan kehilangan keuletannya, dan akibatnya lebih mudah patah atau getas.
- **Molybdenum** (Mo) 0,15% Max, dari hasil pengujian kandungan Mo 0,334% Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Molybdenum akan membuat baja lebih tahan terhadap creep pada suhu tinggi, memperlambat pembentukkan grafit pada waktu pemanasan yang lama.
- **Nikel** (Ni) 0,40% max, dari hasil pengujian nikel 0,005%, Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Nikel baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan korosinya, tidak rusak oleh air kali/air laut dan alkali.
- **Vanadium** (V) 0.08%Max dari hasil pengujian kandungan vanadium 0.002%, Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. unsur ini dapat membuat baja tahan panas, dan tahan terhadap gesekan.

Dari hasil pengujian pada tabel 4.1 dapat dianalisis bahwa komposisi kimia masih dalam normal namun material terdapat sedikit deposit sehingga dapat terdapat korosi tetapi masih dapat berjalan optimal.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian maka dapat disimpulkann bahwa :

1. Dari hasil uji foto mikro menunjukkan bahwa fasa yang terdapat pada material tube *HP Economizer* dapat terlihat jelas bahwa terdapatnya kandungan berupa ferrit dan perlite. Hal ini sesuai dengan struktur mikro baja karbon rendah, Pada material ini karbon tidak cukup untuk mengubah semua ferrit menjadi perlite dan akibatnya baja akan terdiri keduanya.
2. Dari data hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa tingkat kekerasan material tube *HP Economizer* masih dalam batas normal tidak ada yang melebihi batas maksimal dari spesifikasi SA106A. Batas maksimal yang ditentukan spesifikasi SA106A adalah 170 HB. maka berdasarkan kekerasan material ini memenuhi persyaratan standart yang ada dan material ini layak digunakan untuk tube *HP Economizer*.
3. Dari hasil pengujian komposisi kimia baja karbon mengandung unsure karbon (c) 0,134% yang berarti < 0,30%, maka material ini termasuk baja karbon rendah type hypoeutectoid serta terdapat kadar Mo yang tinggi dapat berpotensi memperkuat butiran ferrit. Ditemukan juga adanya unsur lain pada material tube *HP Economizer* yaitu unsur Mn yang prosentase paling besar namun masih memiliki batasan standar yang ditentukan.

Referensi

1. Amanto Hari dan Daryanto, “Ilmu Bahan”, Penerbit Bumi Aksara, Jakarta, 2003
2. Djaprie, “Metalurgi Mekanik”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.
3. Data Teknis Peralatan Mesin PLTGU Tambak Lorok 2.3 Semarang
4. Dieter, George E. Metalurgi Mekanik. Edisi ketiga.Terjemahan oleh Sriati Sriati Laporan Awal Assesment HRSG 2.3 Tambak Lorok UP Semarang 14Mei-29 Mei 2015.
5. Surdia, Tata, Saito, Shinroku,” Pengetahuan Bahan Teknik ”.
6. Surdia, Tata, Chijiiwo Kenji. “ Teknik Pengecoran Logam”.
7. H. Van Vlack, Lawrence, “ILMU DAN TEKNOLOGI BAHAN (Ilmu Logam dan Bukan Logam)”, Edisi 5, Erlangga, 1991.