

Analisis Welding Joint Performance Material ASTM SA 178 D Pada Waterwall Tube Boiler PLTU Paion Unit 1-400

Arief Suardi Nc

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : ariefsuardi.nc@gmail.com

Paltiraja

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstract

One of the important components in the boiler waterwall tube. The main function of waterwall tube is to convert water into steam. Conducted research focused on the performance of welded joints waterwall tube boilers, where the testing is done Vikers micro test, SEM and EDAX test and Mapping, and the chemical composition of the test. Because the welding process was very important here, whether appropriate or thoroughness standards that affect the heat treatment that occurred in the boiler tube material. In this paper waterwall tube material used is a type of medium carbon steel material (Electric resistance welded carbon steel) as defined in ASTM SA178D. In the waterwall tube welded joints can also be compared in terms of both its Performance microstructure and hardness and also the spread of elements - elements contained within these materials.

Keywords : Waterwall tube, Performance material, carbon steel.

1. PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting di dalam ketel uap yaitu *waterwall tube*. Dengan meningkatnya kebutuhan listrik nasional dan berkembangnya industri khususnya pada pembangkit listrik, dituntut adanya kualitas yang baik pada material *waterwall tube*. Apabila terjadi suatu masalah pada *waterwall tube* maka produksi listrik akan terganggu contohnya adalah menurunnya daya listrik yang dihasilkan, untuk itu pengkajian secara teoritis terhadap *waterwall tube* perlu dilakukan agar kehandalan dan kinerja PLTU dapat terjaga.

Pada ketel uap di PLTU Paition unit 1 terjadi pergantian suku cadang terutama pada pipa-pipa ketel uap (*boiler tubes*) yang sudah beroperasi 178.200 jam, atau ± 20 tahun dengan suhu operasi 540°C dan dengan tekanan 134 kg/cm^3 . Beberapa penyebab kerusakan yang mungkin terjadi adalah dari segi faktor beban dinamis, konsentrasi tegangan tinggi, faktor usia (*agging*) dan pengelasan adalah patah mekanik (*fracture mechanic*) dan cacat permukaan akibat terpercik logam lasan. Kebetulan dalam pengambilan *sample* dilapangan data yang didapat hanya karena umur pakai dan direkomendasikan untuk diganti.

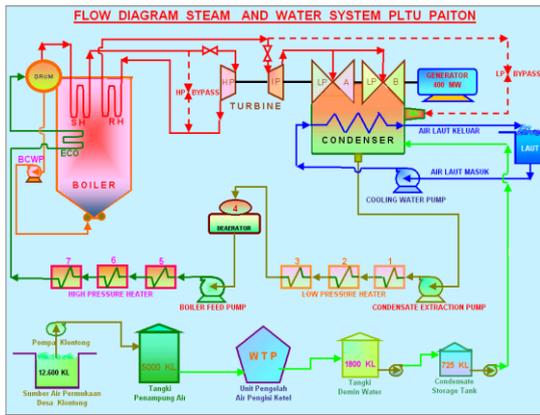
2. KAJIAN LITERATUR

Teori Pusat Listrik Tenaga Uapa (PLTU)

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin tersebut kemudian dikopel dengan poros generator sehingga ikut berputar juga dan generator tersebut akan menghasilkan listrik. Pada ruang bakar ketel uap komponen yang paling penting adalah *waterwall tube*, dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap *waterwall tube*, sehingga air yang terdapat pada *waterwall tube* mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap.

Waterwall tube terletak dikedua sisi steam drum dan merupakan pipa-pipa kecil yang tersusun secara vertikal dalam boiler, setiap pipa disambung satu sama lain agar membentuk selubung yang kontinu dalam boiler dimana konstruksi seperti ini disebut konstruksi membran. *Waterwall tube* bertugas menerima dan mengalirkan air dari *boiler circulating pump* kemudian dipanaskan dalam boiler dan dialirkan ke steam drum.

Skema Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)



Gambar 1. Skema PLTU Paiton unit 1

Prinsip Kerja PLTU

PLTU menggunakan fluida kerja uap air yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

- a. Air diisikan ke boiler sehingga mengisi penuh seluruh luas permukaan *waterwall tube*. Di dalam *waterwall tube* ini air dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- b. Uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- c. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik.

Uap bekas yang keluar dari turbin masuk ke dalam kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang dikopel langsung dengan turbin sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.

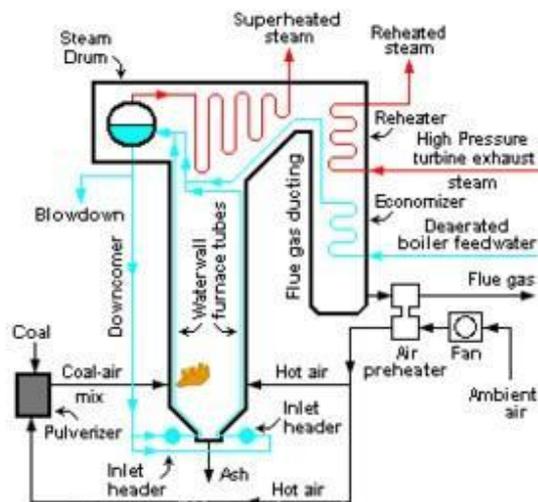
Sekalipun siklus fluida kerjanya merupakan siklus tertutup, namun jumlah air dalam siklus akan mengalami pengurangan. Untuk mengganti air yang kurang, maka perlu adanya penambahan air kedalam siklus. Kriteria air penambah (*make*

up water) ini harus sama dengan air yang ada dalam siklus.

Komponen Pada Ketel Uap

Bagian pemindah panas dari boiler terdiri dari *Economizer*, *evaporator*, pemanas lanjut (*Superheater*), dan pemanas ulang (*Reheater*). Pemindahan panas dalam boiler terjadi dalam proses :

1. Radiasi di ruang bakar
2. Konveksi di *Economiser*
3. Kombinasi radiasi dan konveksi di *Superheater* dan *Reheater*.



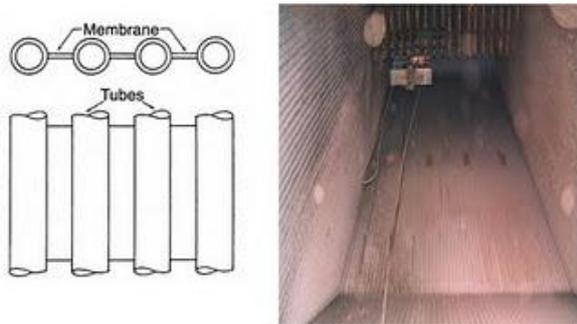
Gambar 2. Skema boiler PLTU

Komponen Utama Boiler

Komponen utama boiler terdiri dari : *wall tube*, *steamdrum /main drum*, *superheater*, *reheater*, dan *economizer* (lihat Gambar 2).

1. Water Wall Tube

Dinding boiler terdiri dari *tubes / pipa-pipa* yang disatukan oleh membran, oleh karena itu disebut dengan *wall tube* (lihat gambar 2.3). Di dalam *wall tube* tersebut mengalir air yang akan dididihkan. *Wall tube* mempunyai dua *header* pada bagian bawahnya yang berfungsi untuk menyalurkan air dari *downcomers*. *Downcomer* merupakan pipa yang menghubungkan *steam drum* dengan bagian bawah *low header*. Untuk mencegah penyebaran panas dari dalam *furnace* ke luar melalui *wall tube*, maka disisi luar dari *walltube* dipasang dinding isolasi yang terbuat dari *mineral fiber*.



Gambar 3. Wall tube

2. Steam Drum

Steam Drum (lihat Gambar 4) adalah bagian dari boiler yang berfungsi untuk :

1. Menampung air yang akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (wall tube), dan menampung uap air dari pipa-pipa penguap sebelum dialirkan ke superheater.
2. Memisahkan uap dan air yang telah dipisahkan di ruang bakar (furnace).
3. Mengatur kualitas air boiler, dengan membuang kotoran-kotoran terlarut di dalam boiler melalui continuous blowdown.
4. Mengatur permukaan air sehingga tidak terjadi kekurangan saat boiler beroperasi yang dapat menyebabkan overheating pada pipa boiler.

Bagian-bagian dari steam drum terdiri dari : feed pipe, chemical feed pipe, sampling pipe, baffle pipe, sparator, scrubber, dryer, dan dry box.

Level air dari drum harus selalu dijaga agar selalu tetap setengah dari tinggi drum. Sehingga banyaknya air pengisi yang masuk ke steam drum harus sebanding dengan banyaknya uap yang meninggalkan drum, supaya level air tetap konstan.



Gambar 4. Steam drum

Pengaturan level air dilakukan dengan mengatur Flow Control Valve. Jika level air di dalam drum terlalu rendah, akan menyebabkan terjadinya overheating pada pipa boiler, sedangkan bila level air dalam drum terlalu tinggi, kemungkinan butir-butir air terbawa ke turbine dan akan mengakibatkan kerusakan pada Turbine.

3. Superheater

Superheater berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran. Uap yang masuk ke superheater berasal dari steam drum. Uap yang keluar dari superheater kemudian digunakan untuk memutar HP Turbine.

4. Reheater

Reheater berfungsi untuk memanaskan kembali uap yang keluar dari HP Turbine dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran yang temperaturnya relatif masih tinggi. Pemanasan ini bertujuan untuk menaikkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Perpindahan panas yang paling dominan pada reheater adalah perpindahan panas konveksi. Uap ini kemudian digunakan untuk menggerakkan LP Turbine tanpa mengalami pemanasan ulang.

5. 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.

Teori 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, liat, 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.

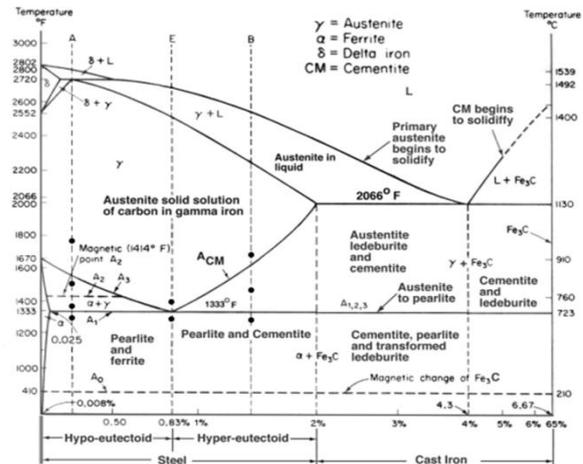
Berdasarkan komposisi kimianya logam dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu logam besi (*ferro*) dan logam non besi (*non ferro*).

Baja diklasifikasikan menjadi beberapa jenis diantaranya :

- ❖ Baja karbon (*carbon steel*)
 - 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 paduan (*alloy steel*)
 - Baja karbon paduan (*alloy steel*) merupakan baja yang selain mengandung unsur karbon juga mengandung unsur paduan lainnya seperti chrom, molybdenum, vanadium dan lain sebagainya

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.

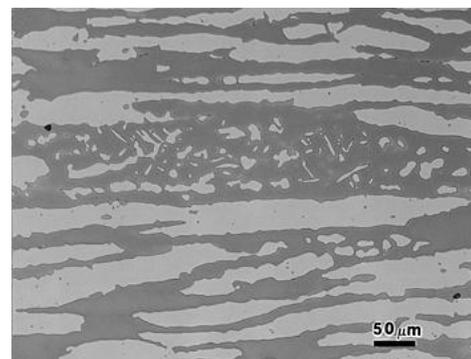


Gambar 5. Diagram fasa besi-karbon (Fe-C)

Struktur yang terkandung dalam besi dan baja terdiri dari fasa-fasa sebagai berikut (gambar 2.6 diagram fasa Fe-C) :

a.Ferit (*ferrite*)

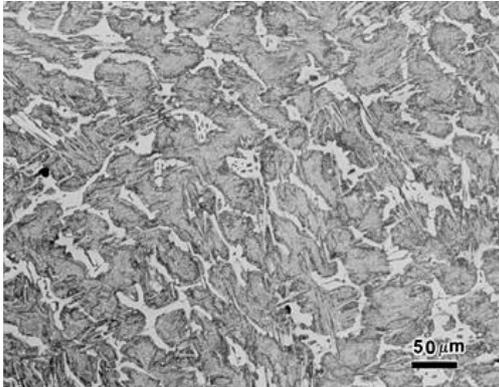
Suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0,025 % C pada temperature 723°C , struktur kristalnya BCC (Body Center Cubic) dan pada temperature kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0,008 % C. ferit terbentuk pada proses pendinginan yang lambat dari austenite baja hipoeuktoid, 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 (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Struktur mikro ferit

b. Cementit (*Cementite*)

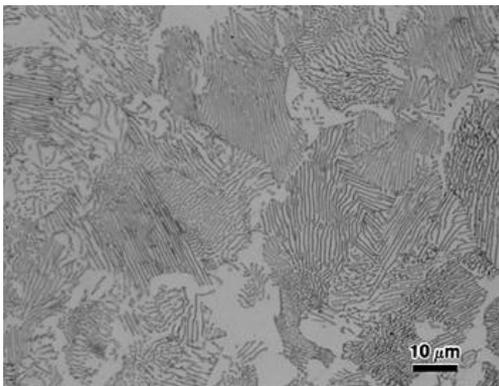
Suatu senyawa yang terdiri dari unsur Fe dan C dengan perbandingan tertentu dan struktur kristalnya orthorhombic.(lihat Gambar 7)



Gambar 7. Struktur mikro cementit

c. Austenite

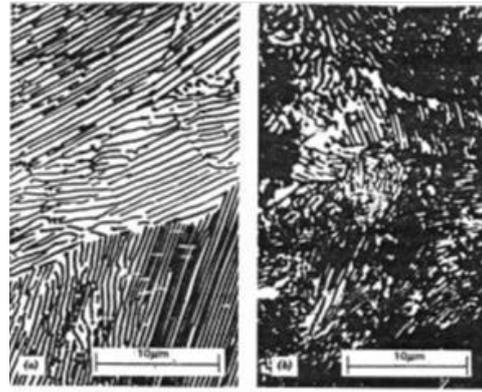
Suatu larutan padat yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 2 % C pada temperatur 1130° C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).(lihat Gambar 8).



Gambar 8. Struktur mikro austenit

d. Perlit (*pearlite*)

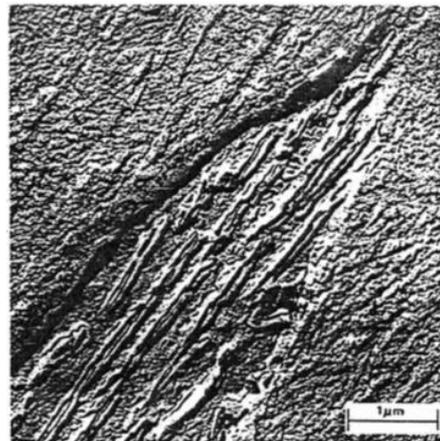
Campuran eutektoid dari cementite dan ferrite mempunyai kekerasan 10-30 HRC serta mengandung 0,83 % carbon(lihat gambar 2.10). Fasa ini terjadi dibawah temperature 723° C atau campuran ferit dan carbide berbentuk lamel yang dihasilkan dengan cara menguraikan austenit berkomposisi eutektoid.



Gambar 9. Struktur mikro perlit

e. Bainit

Dapat terbentuk apabila austenite didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperatur tertentu (sekitar 200-400°C). transformasi bainit ini disebabkan sebagian karena proses difusi dan sebagian lagi karena proses tanpa difusi (lihat Gambar 10).



Gambar 10. Struktur mikro bainit

f. Martensit

Fasa yang terjadi akibat suatu transformasi fasa yang bereaksi tanpa melibatkan 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 disekitar matriks yang timbul akibat mekanisme geser (lihat Gambar 11).



Gambar 11. Struktur mikro martensit

g. Ledeburite

Campuran eutectic antara besi gamma dengan cementite yang dibentuk pada 1130°C dengan kandungan karbon 4,3 % C. 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 padu lain seperti Si, Mn, P, S atau lainnya dalam jumlah rendah. Penambahan unsur padu kedalam baja karbon adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis yang diinginkan, tetapi ada juga unsur-unsur yang bersifat impuritas.

Material Pipa Ketel Uap

Fungsi utama dari *waterwall tube* adalah untuk tempat mengalirnya fluida air yang dipanaskan menjadi uap. Dalam tugas akhir ini bahan *water walltube* yang digunakan adalah jenis ASTM SA178D (lihat Gambar 12) ini adalah paduan baja karbon dan unsur-unsur seperti karbon, besi, silikon, mangan, sulfur, fosfor dan lain sebagainya jenis material baja karbon menengah dengan kadar karbon 0,23-0,44%.



Gambar 12. Waterwall tube boiler ASTM SA178D

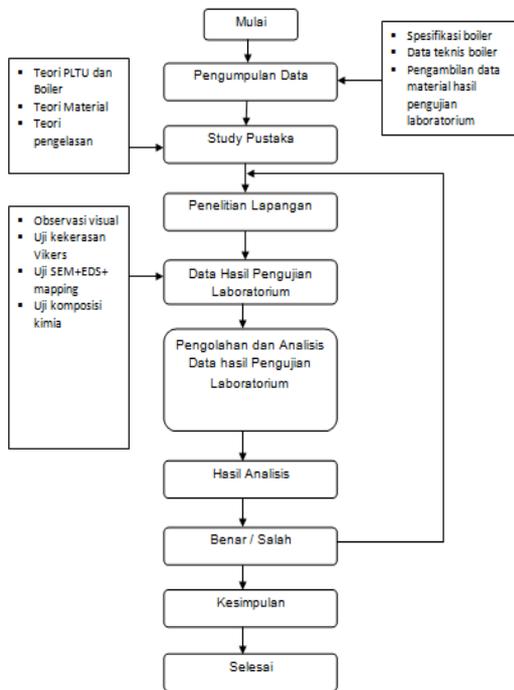
Fungsi dari unsur-unsur padu yang terkandung dalam baja tersebut adalah sebagai berikut :

- Karbon (C) : karbon didalam besi dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari baja.
- Silica (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 menguatkan 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.
- Molebdenum (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.
- Nikel (Ni) : meningkatkan ketangguhan dan kekuatan terhadap beban impact
- 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.
- Nitrogen (N) : memiliki efek pengerasan dan penggetasan pada terhadap baja. Karena itu,

nitrogen ini memiliki kelebihan dan kekurangan.

Bagian yang dipotong dan akan ditandai

3. METODE PENELITIAN



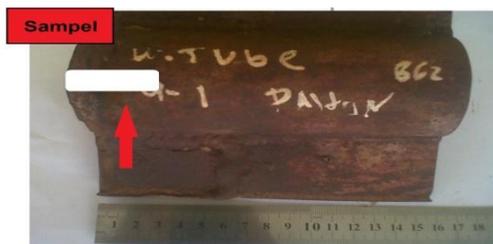
Gambar 13. Kerangka Pemecahan Masalah

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan pada area pipa boiler yang sudah tidak digunakan dikarenakan faktor umur pakai dan sesuai data engineer dilapangan proses pengelasan menggunakan TIG dengan elektroda gas mulia wolfram. Pengamatan visual dapat mengidentifikasi jenis beserta posisi pengujian yang akan dilakukan.

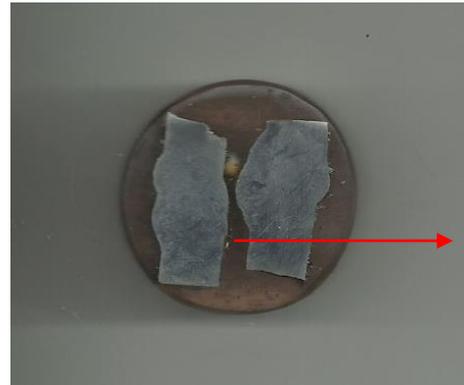
Pengamatan visual pipa sampel



Gambar 14. Permukaan pipa waterwall tube boiler yang akan dipotong ditandai dengan panah merah



Gambar 15. Sampel yang telah dipotong



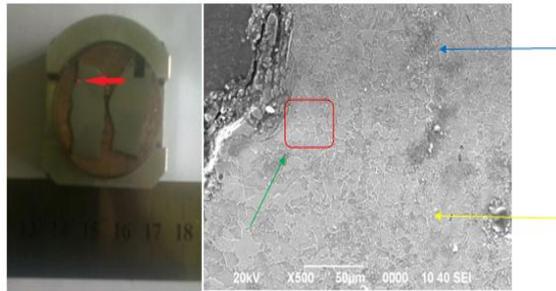
Gambar 16. Sampel yang akan digunakan

Pada sampel pipa di atas terlihat bahwa pipa tersebut dilakukan proses pembuatan dan pembentukan sampel dengan melalui tahap pengerindaan, pemolesan dan pengetsaan.

Analisis Metalografi

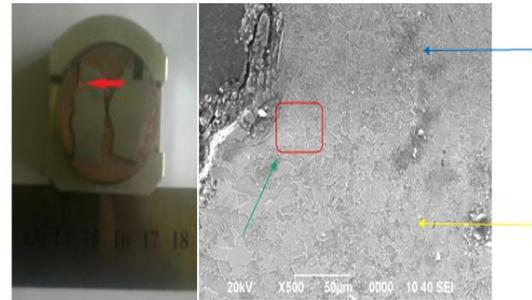
Analisis metalografi ini dilakukan untuk mengetahui morfologi mikrostruktur dari material waterwall tube SA 178 D dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM) untuk mengetahui struktur material tersebut. Pada pengujian metalografi ini menggunakan larutan etsanital 2%, yaitu merupakan kandungan dari alkohol 95% sebanyak 98 ml dan HNO₃ 65% sebanyak 2 ml. Larutan etsa tersebut untuk memperlihatkan batas butir pada material yang akan diuji agar mempermudah ketika melakukan SEM. Dan untuk melihat komposisi kimia lokal menggunakan energi dispersive x-ray spectrometer (EDAX).

Base Material

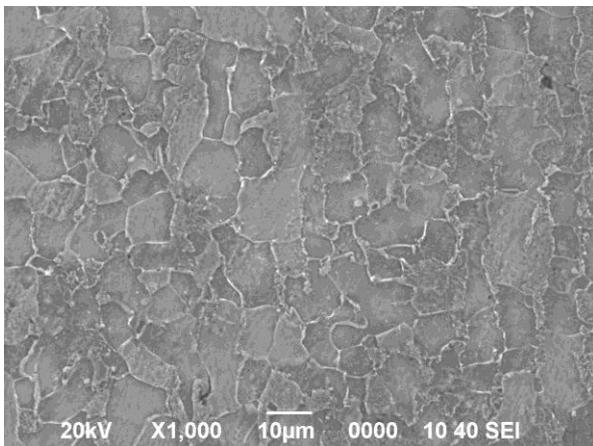


Gambar 17. Penitikan base metal yang akan diamati (→bagian base metal) ,SEM perbesaran 500x

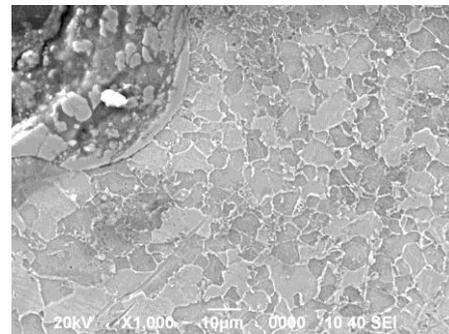
❖ **Batas aAntara Base Material Dan Sambungan**



Gambar 19. Penitikan batas las yang akan diamati (→bagian sambungan las) ,SEM perbesaran 500x



Gambar 18. Penitikan pada base metal perbesaran 1000x



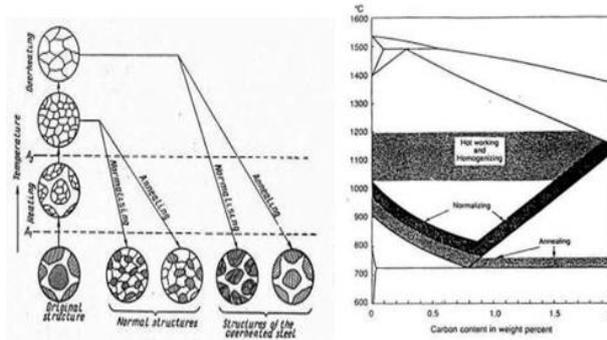
Gambar 20. Bagian perbatasan antara base metal dan lasan

Penempatan sampel uji, penitikan dilakukan pada bagian base material dan dengan perbesaran 500x , sedangkan pada gambar 4.5 memperjelas mikrostruktur sampel *waterwall tube boiler* dengan perbesaran 1000x memperlihatkan bahwa mikrostruktur sampel pipa terdiri dari campuran ferit dan perlit yang merupakan jenis mikrostruktur dari baja karbon. Struktur ferit mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup, sedangkan struktur perlit mempunyai sifat keras dan kurang ulet. Perbedaan sifat mekanis tersebut disebabkan karena kadar karbon dalam fasa ferit lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar karbon dalam fasa perlit. Dan untuk komposisi kimia lokal/mikro (EDAX) dapat dilihat pada daftar lampiran 1 yang menunjukkan bahwa penyebaran unsur Mangan(Mn), Carbon (C), Besi(Fe) cukup merata disemua bagian base material *waterwall tube boiler*.

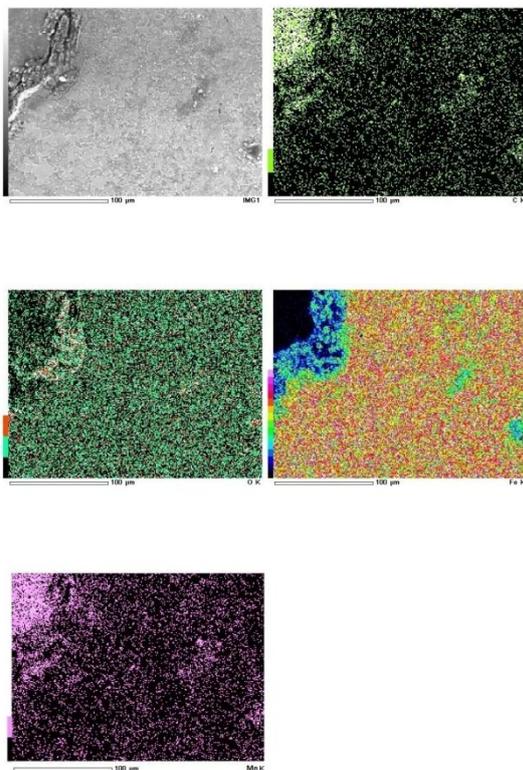
Pada gambar terlihat jelas bahwa bentuk struktur logam pada base metal dan lasan tidak mengalami perubahan yang signifikan, terjadi perubahan fasa namun hasilnya mendekati kembali seperti *base material* itu sendiri. Biasanya pada proses pengelasan yang mengalami perlakuan panas , akan terjadi perubahan fasa dan struktur, tapi dalam kasus kali ini tidak terjadi. Faktor yang menyebabkan hal tersebut dapat terjadi karena pada saat proses pemanasan sampai pada austenisasi (pada proses pengelasan) dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Temperatur yang dipilih tergantung pada jenis baja yang diproses, dimana temperature pemanasan 50 °C – 100 °C di atas garis A₃ untuk baja *hypoeutektoid* (lihat gambar 4.8). Namun pada perbesaran 5000x (lihat lampiran 1) pada bagian HAZ ini berpotensi terjadinya *residual stress* (tegangan sisa).

Dari hasil Mapping (lihat gambar 4.9) homogenitas komposisi kimia material ini pun dapat diperlihatkan dengan cara penyebaran komposisi kimia dari karbon (C) ,Besi (Fe), dan

Mangan (Mn) pada batas butir material tersebut dan didapatkan hasil yang merata dalam penyebarannya.



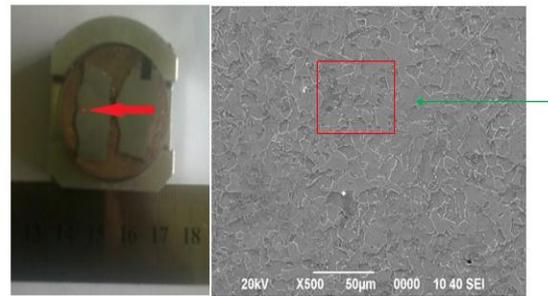
Gambar 21. Skema pengaruh temperatur austenisasi yang menunjukkan perubahan struktur baja dalam proses annealing dan normalizing



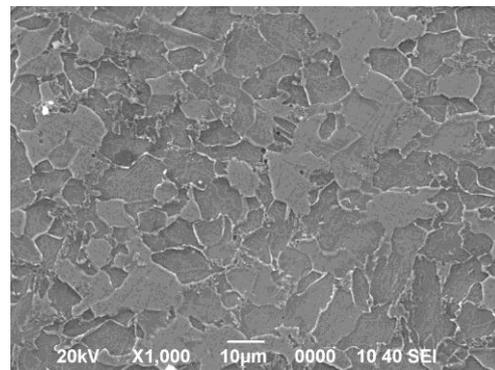
JEOL

Gambar 22. Hasil mapping penyebaran unsur yang hampir merata

Bagian Pada Landasan



Gambar 23. Penitikan Bagian Las Yang Akan diamati (→bagian lasan) ,SEM perbesaran 500x



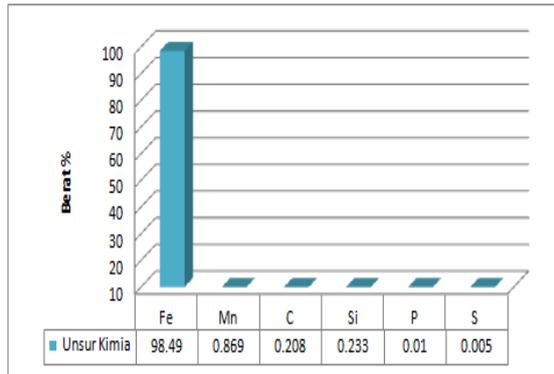
Gambar 24. Perbesaran 1000x pada bagian lasan

Penitikan pada bagian las (lihat gambar 4.10), dari gambar 4.11 struktur material masih berupa ferit dan perlit dengan bentuk perlit sangat kecil dan rapat antara satu dengan yang lain. Dengan adanya perlakuan panas jumlah perlite cenderung bertambah lasan ini. Sedangkan pada daerah base metal jumlah ferit dan perlit cenderung seimbang/tetap, tapi secara keseluruhan strukturnya hampir sama.

Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur – unsur kimia dan presentase dari unsur – unsur yang terkandung di dalam material *waterwall tube boiler*. Pengujian komposisi kimia ini dilakukan di P2M-LIPI, PUSPITEK Area, Serpong. Uji komposisi kimia ini juga untuk mengetahui apakah material *waterwall tube boiler* tersebut sesuai dengan karakter *tube* tersebut. Adapun unsur-unsur kimia yang terkandung dalam material yang dipakai untuk *waterwall tube boiler* adalah sebagai berikut : **Carbon (C), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S), Silikon (Si), Ferrous (Fe).**

Data-data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini :



Gambar 25. Grafik Komposisi Kimia Material Uji

Tabel 1. Komposisi Kimia ASTM SA 178 D

	C	MN	S	P	Si
Spesifikasi		1,00		0,030	
ASTMSA178D	≤ 0,27%	- 1,50%	0,015 (max)	(max)	≥ 0,10

Berdasarkan data hasil pengujian komposisi kimia, bahwa dapat diketahui sampel material yang diuji benar-benar mengandung unsur-unsur komposisi *waterwall tube boiler*.

Dari hasil pengujian didapatkan kandungan unsur – unsur :

Carbon (C) sebesar 0,208%, sedangkan yang dibolehkan menurut standarisasi ASTM (American Standard of Testing Material) adalah sebesar ≤ 0.27%. Ini sudah cukup mendekati dengan batas normalnya, dan kita dapat mengetahui bahwa sampel material sudah bersifat keuletan yang baik dan kekuatan yang *sedang*.

Mangan (Mn) sebesar 0,869% ,sedangkan yang dibolehkan menurut standarisasi ASTM adalah sebesar 1% - 1,5%, unsur ini berfungsi untuk deoksidasi dari baja dan dapat mengikat kandungan sulfur(S) yang berakibat terhindarnya kegetasan pada suhu tinggi. Selain itu dapat menguatkan fasa ferit.

Silikon (Si) adalah 0,233%, paduan dengan Si ini untuk memperbaiki ketahanan terhadap temperatur yang tinggi dan kemampuan oksidasi.

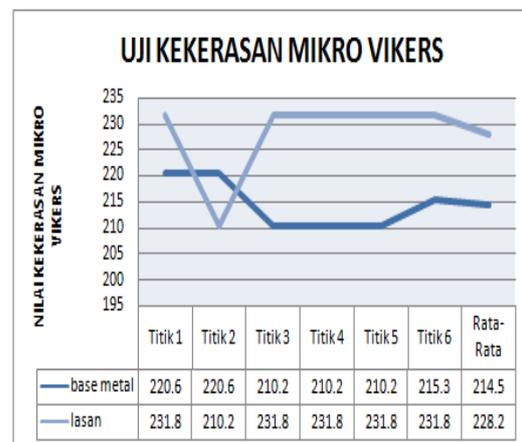
Fosfor (P) adalah 0,01%, paduandenganfosfor ini untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekerasan tetapi menurunkan keuletan dan ketangguhan impact, maka dibatasi 0,03% maksimalnya.

Sulfur (S) adalah 0,005% ,sulfur ini dapat membuat baja menjadi getas pada suhu tinggi,karena merugikan baja pada saat terkena suhu tinggi. Tetapi kandungan sulfur disini masih dalam batas normal yang dimana kandungan maksimalnya 0,015%

Ferro (Fe) hasil pengujian komposisi kimia adalah 98,49%,ini unsur utama dari material sampel, karena unsur pokok dari material *waterwall tube* adalah besi.

Nilai Kekerasan

Dalam pengujian kekerasan memakai metode Vickers yang dilakukan di P2M – LIPI *Building*, PUSPITEK Area, Serpong, Tangerang, Banten, Indonesia. Tapi pada kali ini pengujian dilakukan bukan dengan alat konvensional seperti mesin “Frank Finotest” melainkan menggunakan alat atau sensor digital otomatis yang mampu menterjemahkan kekerasan material langsung ditunjukkan dengan angka kekerasan dari benda uji yang tertera pada layarnya (*Equotip Hardness Tester*) dan langsung dikonversikan ke dalam satuan vickers sesuai dengan standar **JIS Z 2244**, dengan jarak 50µm dari permukaan luar dengan beban 200gf dan indentor intan.



Gambar 26. Grafik uji kekerasan pada tiap titik

Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 2 tempat dengan 6 titik pada permukaan samping sampel waterwall tube (lihat lampiran 2), kemudian nilai kekerasan dirata – ratakan. Hasil pengujian dapat di lihat pada Gambar 4.13 terlihat jelas perbedaan angka yang sangat signifikan yaitu dari titik 1 – 6 yang akan mempengaruhi dalam pemakaiannya.

Sebagaimana diketahui kekerasan ini korelasinya dengan kekuatan yang mana kekuatan ini erat sekali dengan tegangan – regangan dalam yang terjadi pada material tersebut, dan apabila tegangan dalam suatu material, maka material tersebut mudah mengalami retak, dan mempunyai ketahanan korosi yang sangat rendah dan sebaliknya. Dengan nilai kekerasan rata – rata 214 HV sampai dengan 228 HV pada daerah uji kekerasannya menunjukkan bahwa pada daerah tersebut telah terjadi perubahan sifat mekanis dari lunak/ulet (*ductile*) menjadi keras/getas (*brittle*). Maka dengan nilai kekerasan yang telah di dapat, menunjukkan bahwa material tersebut relatif memiliki ketahanan oksidasi yang cukup tinggi terutama pada daerah *waterwall tube boiler*.

Kesimpulan

1. Struktur mikro pada bagian las dan logam induk sama karena proses pengelasan terjadi pendinginan dengan kecepatan relatif lambat . Hasil las disini menunjukkan kemampuan seorang welder dalam menyatukan suatu logam. Namun pada perbesaran 5000x dalam daerah HAZ (perbatasan) terlihat adanya *residual stress* (tegangan sisa) walaupun hanya sedikit.
2. Nilai kekerasan bagian las dengan logam mengalami kenaikan kekerasan sekitar $\pm 5,79$ %. Nilai yang tidak terlalu besar disebabkan karena struktur mikronya hampir sama serta dengan kenaikan nilai kekerasan tersebut menunjukkan bahwa material tersebut relatif memiliki ketahanan oksidasi yang cukup tinggi terutama pada daerah sambungan las *waterwall tube boiler* . Tapi sifatnya berubah menjadi semakin getas.
3. Komposisi kimia pada material inti atau *base metal* dan pada lasan hampir sama dan mendekati, tidak terindikasi adanya kontaminasi unsur – unsur lain ini dibuktikan dengan hasil *mapping* komposisi

lokal pada bagian tersebut, Di mana mendominasi unsur paduan Mangan (Mn) dimana *unsur ini berfungsi untuk deoksidasi dari baja dan dapat mengikat kandungan sulfur(S) yang berakibat terhindarnya kegetasan pada suhu tinggi. Selain itu dapat menguatkan fasa ferit.*

Daftar Pustaka

- Arifin, Ir.Samsul, *Ebook Turbin Uap & Alat Bantunya*, Jakarta, 2004.
- Daniel, A Brandt, *Annual Book of ASTM*, (Online), (<http://www.astm.org>, di akses tanggal 22 juli 2013)
- Goerge E Ditter, *Metalurgi Mekanik*, PT Erlangga, Jakarta 1992.
- Lawrence H. Van Vlack dan Djaprie Sriati, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, PT Erlangga, Jakarta, 1981.
- Lawrence H. Van Vlack, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Logam & Bukan Logam)*, PT Erlangga, Jakarta 1992.
- Rochani, Ir. Habib, *Ebook Teknik Tenaga Uap dan Gas*
- Tata Surdia, *Sifat – Sifat Mekanis Bahan*, (Online), (<http://www.scribd.com>, di akses tanggal 22 juli 2013)
- Welding Study Centre, *Ebook Welding Inspection Training Lv.2*, Jakarta, 2012.