



## Optimalisasi Pengoperasian Boiler dalam Memproduksi Uap untuk Menunjang Pengoperasian Kapal MV. Sinar Kutai

M. Usemahu Taher<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknika, Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran, Jakarta  
Jl. Marunda Makmur No. 1 Cilincing, Jakarta Utara. Jakarta 14150

disubmit pada : 08/8/18

direvisi pada : 05/9/18

diterima pada : 12/10/18

### Abstrak

Kelancaran operasional kapal bisa saja terganggu dalam waktu dan tempat yang tidak bisa kita prediksi, namun bagaimanapun juga gangguan kelancaran operasional kapal harus dapat segera diatasi. Boiler yang menjadi salah satu permesinan yang harus mendapatkan perawatan khusus perlu ditinjau kelancaran operasionalnya. Permasalahan akibat pembakaran yang tidak sempurna sehingga terjadi miss fire menjadi kendala utama terhambatnya operasional kapal. Penelitian ini mengkaji tentang Apa yang menyebabkan kualitas air boiler tidak baik dan penyebab pembakaran pada boiler tidak sempurna. Kejadian ini menunjukkan adanya masalah antara perawatan dengan officer yang bertanggung jawab dalam menangani permesinan tersebut. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kurangnya manajemen perawatan yang dilakukan oleh masinis menjadi faktor utama permasalahan bisa terjadi. Hal hal yang seharusnya dilaksanakannya perawatan sesuai jadwal tidak mencapai tujuan yang di inginkan, kendala pun terjadi. Kedepannya, masinis harus mengevaluasi setiap pelaksanaan perawatan dan gangguan kelancaran operasional mesin, sehingga jika terjadi permasalahan yang sama, masinis sudah mampu menangani secara cepat dan tepat sehingga gangguan kelancaran operasional kapal dapat segera teratasi.

Copyright © 2018, **METEOR STIP MARUNDA**, ISSN:1979-4746

Kata Kunci : Optimalisasi, boiler, pengoperasian kapal

Permalink/ DOI: <https://doi.org/10.36101/msm.v11i2.13>

### 1. PENDAHULUAN

Sudah lama diketahui bahwa hampir setiap kapal niaga memiliki boiler untuk menunjang pengoperasian kapal tersebut, baik sebagai pesawat utama untuk menggerakkan turbin terutama pada kapal-kapal super tanker maupun sebagai pesawat bantu. Dalam pengoperasiannya, Boiler harus sesuai dengan standard operasi prosedur. Oleh karena itu berikut langkah – langkah pengoperasian Boiler: Pertama adalah langkah sebelum pemanasan untuk memastikan bahwa semua peralatan dalam kondisi siap pakai.

Kedua langkah pemanasan supaya pipa – pipa tidak terjadi *Hummer Force*. Ketiga menghubungkan Boiler ke pipa induk steam untuk menyalurkan uap yang diproduksi ke dalam system. Agar boiler selalu dalam keadaan baik beroperasi, maka kita dituntut untuk selalu merawat pesawat ini. Perawatan ini dimaksudkan agar uap yang dihasilkan dapat semaksimal mungkin, karena peranan penggunaan uap sangat diperlukan sekali, sebagai contoh uap digunakan untuk pemanas bahan bakar maupun minyak lumas.

Dalam menjalankan perawatan boiler agar selalu dalam kondisi baik, maka haruslah diketahui beberapa hal yang ada hubungannya

\*) Penulis Korespondensi :

Email : usemahu\_taher@dephub.go.id

dengan penyebab kerusakan *boiler*. Pada umumnya kerusakan-kerusakan pada *boiler* adalah kerusakan pipa yang diakibatkan oleh air pengisi *boiler*. Telah kita ketahui bersama bahwa air pengisi *boiler* banyak mengandung garam mineral dan gas-gas ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) yang dapat mempengaruhi ketahanan pipa-pipa *boiler*.

Penghilangan zat-zat kimia dan gas-gas tersebut merupakan salah satu usaha dalam merawat ketel agar selalu dalam kondisi baik. Dan juga faktor pembakaran yang bertugas memanaskan air *boiler* juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan agar produksi uap dapat terjaga dengan hasil maksimal yaitu 7  $kg/cm^2$ . Tekanan bahan bakar yang dihasilkan pompa selalu dijaga agar penyaluran bahan bakar terpenuhi. Tekanan uap yang dihasilkan saat ini hanya dapat memproduksi uap bertekanan sebesar  $\pm 5 kg/cm^2$ . Setelah dilakukan perbaikan, *boiler* dapat memproduksi uap bertekanan sebesar 7  $kg/cm^2$ .

Oleh karena itu ahli mesin kapal/masinis sebagai operator yang bertanggung jawab pada pengoperasian *boiler*, harus mengerti bagaimana cara pengoperasian *boiler* yang baik sesuai prosedur. Juga pentingnya dengan melakukan perawatan *boiler* maupun air pengisi *boiler* dan selalu berpedoman pada prosedur yang telah ditetapkan dalam Instruction Manual Book.

Dengan demikian pengoperasian dan perawatan (terutama pada *boiler*) dapat mengoptimalkan produksi uap dalam menunjang pengoperasian kapal, juga memperlancar pengoperasian kapal tersebut.

Adapun masalah yang dikaji dalam penelitian ini diantaranya apa yang menyebabkan kualitas air boiler tidak baik? Kemudian apa penyebab pembakaran pada boiler tidak sempurna?

*Boiler* merupakan sebuah bejana tertutup, yang dapat membentuk uap dengan tekanan lebih besar dari 1 atmosfer, yaitu dengan jalan memanaskan air ketel yang berada didalamnya dengan gas-gas panas dari hasil pembakaran bahan bakar [1].

Sebuah *boiler* harus kuat, supaya dapat bekerja dengan aman dibawah tekanan tertentu dan harus dilengkapi dengan pesawat-pesawat atau alat-alat lain sehingga

memungkinkan *boiler* dapat bekerja dengan aman secara terus menerus. Pada kapal - kapal motor, penggunaan uap sudah barang tentu untuk pesawat bantu saja, sedangkan pada kapal-kapal uap penggunaan utama dari uap adalah untuk menggerakkan mesin induk, sedang penggunaan lain adalah untuk keperluan pesawat bantu.

Berdasarkan fungsinya di kapal, *boiler* di bagi menjadi dua golongan yaitu :

a. *Boiler* utama

*Boiler* yang hasil produksi uapnya dipergunakan untuk menggerakkan Mesin induk. Pada masa kini ketel yang dipergunakan sebagai ketel induk pada umumnya adalah ketel pipa air.

b. *Boiler* bantu

*Boiler* yang hasil produksi uapnya yang dipergunakan untuk keperluan pesawat bantu, seperti pompa – pompa, pemanas dan lain – lain.

Pada kapal MV. SINAR KUTAI *boilernya* merupakan pesawat bantu karena fungsinya adalah sebagai pemanas bahan bakar, minyak pelumas, mesin induk, dapur, ruangan, dan air mandi. Sebuah *boiler* harus memiliki persyaratan cara kerja sebagai berikut :

- a. Dalam waktu tertentu harus dapat menghasilkan uap dengan berat tertentu dan tekanan lebih besar dari 1 atmosfer.
- b. Uap yang di hasilkan harus dengan kadar air yang sesedikit mungkin.
- c. Kalau dipakai alat pemanas lanjut, maka pada pemakaian uap yang tidak teratur, suhu uap tidak boleh berubah banyak dan harus dapat di atur dengan mudah.
- d. Pada waktu olah gerak dimana pemakaian uap berubah – ubah maka tekanan uap tidak boleh berubah banyak.
- e. Uap harus dapat dibentuk dengan jumlah bahan bakar yang serendah mungkin.

Sebelum pemanasan boiler, hal yang terpenting dilakukan adalah pemanasan/control yang seksama terhadap semua peralatan pada *Boiler*. Untuk memastikan bahwa semua alat berada dalam kondisi siap pakai, sebelum dilakukan pemanasan perlu dilakukan :

- a). Periksa dan pastikan semua valve pada *boiler* dalam posisi tertutup

b). Periksa semua visual terhadap semua fan, seperti casing, bearing, v-belt, baut penahan, dan lain – lain.

c). Periksa level air pada glass penduga, cobakan gelas penduga, guna memastikan bahwa level air sekitar setengah gelas penduga

d). Periksa pressure gauge berfungsi baik atau tidak.

e). Periksa dan pastikan *blow down valve* dalam posisi tertutup.

f). Kontrol kompressor angin dan pastikan tekanan lebih besar dari 8 bar.

g). Inspeksi ruang bakar dan pastikan bahwa dapur bersih dan fiber bar serta dinding batu siap pakai.

Umumnya suatu *boiler* akan dilengkapi dengan perlengkapan / peralatan sebagai berikut :

a). Dapur pembakaran ( *Furnace* )

b). *Brunder*.

c). Saluran udara pada dapur.

d). *Heating Surface*.

e). Gelas Pengukur

f). Pipa / katup penyalur uap.

g). Pipa / katup pengisi air ketel.

h). Katup pengaman ( *Safety Valve* ).

i). Katup pengosongan.

j). Tangki air

Perlengkapan – perlengkapan *boiler* tersebut merupakan perlengkapan pokok yang harus ada pada tipe - tipe *boiler* yang sekalipun tipenya sederhana maupun kompleks. Selain dari bagian – bagian yang disebut diatas untuk *boiler - boiler* yang modern biasanya dilengkapi dengan beberapa komponen:

a). *Superheater* :

Suatu alat yang dipanaskan oleh gas – gas asap uap kenyang yang diperoleh dari *boiler* dimasukkan kedalam *superheater* ini sehingga dari dalamnya kita memperoleh uap kering ( uap dipanaskan lanjut ). *Superheater* ini biasanya disebut juga pemanas lanjut uap.

b). *Economizer* :

Suatu alat untuk menaikkan temperature air pengisian *boiler*. *Economizer* ini dipanaskan oleh gas–gas asap. Air pengisi *boiler* terlebih dahulu dimasukkan kedalam *economizer* sehingga kita mendapatkan air pengisi boiler yang sudah panas. Hal ini berguna untuk lebih mudahnya mengubah air

tersebut menjadi uap. *Economizer* ini disebut juga pemanas awal dari air pengisi *boiler*.

c). *Air heater*

Suatu alat yang berguna untuk memanaskan udara yang digunakan untuk pembakaran. *Air heater* ini dipanaskan oleh gas – gas asap. Jadi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar sedapat mungkin seluruhnya dipakai supaya jangan banyak panas yang terbuang. Sebab panas yang terbuang berarti suatu kerugian panas.

d). *Stabilizer*

Alat ini sebagai pengatur udara dan menstabilkan udara yang masuk kedalam ruang bakar.

e). *Cup nut*

Alat ini berfungsi sebagai baut pengikat atomizer yang terdapat di muka atomizer block.

f). Katup selenoid

Katup yang bekerja dengan magnet listrik, katup ini digunakan untuk pengaturan pembukaan dan penutupan aliran bahan bakar kedalam ruang pembakaran.

g). Pengopak

Alat ini terdiri atas gabungan komponen-komponen yang berfungsi sebagai pembakar pada ketel uap.

h). Pengatur udara

Dimaksudkan untuk mengatur jumlah udara yang masuk kedalam ruang pembakaran sehingga banyaknya sesuai dengan banyaknya bahan bakar yang masuk ke dalam ruang pembakaran, pemasukan bahan bakar ini di dilakukan oleh *blower* yang di gerakkan oleh motor listrik.

i). Elektroda pembakar

Alat ini berfungsi untuk menimbulkan api dari arus listrik yang berfungsi sebagai pemantik pada awal pembakaran pada ruang pembakaran ketel

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Penelitian berlangsung mulai selama 1 bulan. Adapun tempat melakukan penelitian tentang permasalahan yang diangkat adalah di kapal MV. Sinar Kutai dengan type kapal bulk carrier milik PT. Samudera Indonesia TBK. Dalam proses pengambilan data dibantu oleh

taruna yang sedang melaksanakan praktek laut di kapal tersebut.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Boiler* yang digunakan diatas kapal MV. SINAR KUTAI merupakan *ketel uap* merek KANGRIM dan *oil burners* merek OILON. Adapun air pengisian *boiler* yang digunakan untuk mengisi tangki air *boiler* adalah air yang berasal dari *fresh water generator* dan air tawar yang berasal dari *fresh water tank*.

Pada saat kapal berlayar dari Pakistan menuju Afrika Selatan, tiba-tiba di *Engine Control Room alarm* berbunyi lalu dilayar monitor menunjukkan *Boiler Water Low Level*. Setelah mematikan bunyi *alarm* kemudian saya memberitahu masinis III perihal *alarm* tersebut dan menyuruh cadet mengisi air *boiler* secara manual (karena sistem pengisian secara otomatis sudah lama tidak dapat bekerja).

Saat cadet mengisi air *boiler* terlihat gelas duga garis air berada dibatas atas lalu cadet mematikan pompa pengisian air *boiler*. Kemudian masinis III mencari tahu penyebab mengapa air *boiler* bisa kosong / hanya tersisa sedikit air dan ternyata ditemukan tidak bekerjanya alat *regulator valve* karena didapati bagian dalam tabung terganggu oleh kerak yang menempel pada dinding tabung, sehingga pelampung tidak dapat berjalan normal. Padahal air didalam *boiler* sudah berada pada posisi *low level* tetapi pelampung masih berada diatas, yang seharusnya turun kebawah untuk membuat *regulator valve* bekerja dan pompa pengisian berjalan mengisi tangki air *boiler*.

Kemudian kapal berlabuh di wilayah perairan laut Jambi, dilakukan pengecekan dan perawatan terhadap peralatan appendasi yang dimiliki mesin *boiler* salah satunya terhadap gelas duga penunjuk ketinggian air *boiler*. Saat dilakukan pengecekan pada gelas duga ditemukan terdapat endapan dan kekerasan pada pipa yang berhubungan langsung dengan gelas duga. Hal ini tidak bisa dibiarkan karena dapat mengakibatkan kekeliruan dalam pembacaan ketinggian air tersebut. Lalu masinis III mengecek kualitas dari air *boiler* tersebut, lalu disimpulkan bahwa endapan dan kekerasan pada pipa gelas duga itu disebabkan kurangnya perawatan dan pengawasan

terhadap air pengisi *boiler* dan appendasinya. Apabila dibiarkan akan mengakibatkan penunjukan yang kurang tepat pada gelas duga dan dapat membahayakan serta menghambat kelancaran pengoperasian *boiler* yang berdampak pada semua sistem yang membutuhkan pemanasan diatas kapal khususnya untuk pemanas bahan bakar juga bila dibiarkan berlanjut akan mengganggu pengoperasian kapal. Jadi dapat disimpulkan bahwa Kualitas air tawar didalam *boiler* tidak baik

Pada tanggal 2 Maret kapal sedang berlabuh terdengar *alarm* didalam *engine room* berbunyi, lalu ABK bergegas menuju *engine control room* untuk melihat alarm dan mengecek pada layar monitor UMS dan menunjukkan bacaan *boiler shutdown*. Selanjutnya, ABK memberitahu masinis III dan bergegas menuju tempat permesinan *Boiler*, lalu didapati adanya FO yang menetes deras keluar dari sekat *gasket* antara *burner body* dengan *flame tube*. Lalu masinis III mengambil tindakan dengan membuka *burner body* dengan hati - hati yang didahului memastikan panel *boiler* sudah dalam posisi off untuk menghindari penyalaan yang tiba – tiba. Setelah membuka *burner body* didapati terdapat genangan FO yang tidak ikut terbakar pada bagian dalam *burner body* juga menutupi *flame eye* yang mengakibatkan *safety device* aktif sehingga *boiler* mati secara otomatis.

Pada 29 Maret kapal sedang manuver untuk berlabuh di Richard Bay – Afrika Selatan, cadet di suruh oleh masinis III untuk menyalakan *boiler*, saat proses penyalaan *burner* pada *boiler* dapat menyala atau terjadi pengapian didalam dapur bakar, tetapi setelah beberapa menit tekanan uap yang dihasilkan mesin *boiler* masih rendah kurang dari 3 kg/cm<sup>2</sup>. Sehingga temperatur dari bahan bakar HFO ( *Heavy Fuel Oil* ) masih rendah yaitu dibawah 500C, hal ini disebabkan pemanas tidak menerima panas yang cukup dari *boiler* karena produksi dan tekanan uap yang dihasilkan *boiler* rendah. Setelah itu saya dan masinis III membuka *burner body* dan setelah dilakukan pengecekan ternyata didapati *nozzle* pada *burner* kotor yang mengakibatkan proses pembakaran tidak maksimal. Jadi dapat disimpulkan bahwa Pembakaran pada *boiler* tidak sempurna.

Sebelum melakukan pemecahan masalah maka perlu dilakukan analisis data terlebih dahulu. Adapun analisis data adalah sebagai berikut:

1. Kualitas air tawar didalam *boiler* tidak baik

Beberapa hal yang mempengaruhi air pengisian *boiler* tidak memenuhi syarat karena:

- a. Air masih mengandung endapan keras.
- b. Kadar garam air masih terlalu tinggi.
- c. Air masih mengandung zat klorida.
- d. Adanya gas-gas yang terkandung oleh air yang dapat menyebabkan korosi
- e. Nilai pH air berada pada tingkat yang agresif pada baja.

Mutu air pengisian *boiler* sangat membutuhkan perhatian karena hal tersebut mempengaruhi hasil penguapan, yaitu:

- a. Kekerasannya.
- b. Alkalinitasnya.
- c. Kadar zat klorida.
- d. Kepekatan / Salinitasnya.
- e. Keasaman.

Selain itu, adanya endapan-endapan didalam *boiler* juga memicu kualitas air tawar didalam *boiler* menjadi tidak baik. Endapan-endapan yang melekat pada dinding-dinding *boiler* maupun pada pipa sangat merugikan sekali, karena endapan-endapan tersebut dapat mengakibatkan :

- a. Mengurangi hantaran panas.
- b. Bersifat korosif.
- c. Air *boiler* lambat mendidih.

Kurangnya perawatan terhadap *boiler* yaitu kurang memperhatikan terhadap dari bahan yang dapat menyebabkan kekerasan air, baik yang bersifat sementara maupun yang permanen. Dan air masih mengandung gas-gas, juga masih banyak mengandung kadar garam yang tinggi.

*Boiler* juga dilengkapi dengan beberapa appendasi dan appendasi *boiler* tersebut sebagai penunjang keselamatan kerja dari *boiler* selama beroperasi, sebab itu semua appendasi *boiler* harus diperhatikan. Salah satunya *regulator valve* yang berguna mengatur sirkulasi air tawar ke dalam *boiler*. Faktor penyebab *regulator valve* tidak bekerja dengan normal adalah air yang digunakan untuk mengisi *boiler* banyak mengandung garam-garam mineral akibat kurangnya perawatan dari air *boiler*. Karena kurangnya perawatan

itulah mengakibatkan terjadinya endapan lumpur, yang dapat menyumbat sistem pengisian air *boiler*, sehingga dapat menyebabkan sirkulasi air *boiler* tidak lancar.

2. Pembakaran pada *boiler* tidak sempurna

Pembakaran didalam *boiler* sangat vital fungsinya, karena tanpa adanya pembakaran maka sebuah *boiler* tidak ada artinya dan tidak dapat berfungsi untuk memproduksi uap bertekanan. Kelengkapan aksesoris pada *boiler* juga harus terpasang sesuai tempat yang ditentukan *maker* guna menunjang pengoperasian mesin tersebut.

Beberapa penyebab sistem pembakaran didalam *boiler* tidak sempurna diantaranya:

a) Kualitas bahan bakar tidak baik.

Pada saat bunker bahan bakar, kita mendapat bahan bakar yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Pada kandungan FO banyak terdapat lumpur-lumpur dan kekentalan bahan bakar yang tak sesuai dengan kebutuhan mesin diatas kapal. Faktor lain yaitu bahan bakar dalam tanki harian masih terkandung lumpur dan partikel kotor.

b) Pengabut alat pembakar atau *nozzle* kotor

Pada proses pembakaran selalu menghasilkan karbon dan tidak semua karbon ikut terbuang melalui cerobong asap sisanya ada yang menempel pada dinding dapur pembakaran dan pada *nozzle* yang menyemprotkan bahan bakar, akibat dari kotornya *nozzle* yang disebabkan karbon yang menempel sehingga penyemprotan bahan bakar tidak sempurna mengakibatkan pembakaran tidak maksimal.

c) Ruang dapur pembakaran yang kurang memenuhi syarat.

Dalam ruang dapur pembakaran *boiler* agar mencapai pembakaran yang sempurna harus memenuhi syarat. Kita mengenal segitiga api, ini sangat berpengaruh dalam dapur bakar *boiler*. Kadar udara (oksigen) dalam dapur bakar tidak memenuhi syarat, masih terdapat gas CO<sub>2</sub> dalam dapur ruang bakar sehingga *boiler* sulit menyala.

d) *Dumper fan* tidak bekerja maksimal

Akibat dari tidak *center*-nya *diffuser disc* pada *boiler* sehingga FO yang tidak ikut terbakar mengalir kedalam *Burner Body* juga masuk kedalam kipas *dumper* yang menghambat putaran kipas tersebut karena FO

mengendap dalam *Burner Body*. Akibatnya *supply* udara dalam dapur ruang bakar kurang, dan mengganggu pembakaran pada *boiler*.

e) Bagian-bagian dari *boiler* tidak terpasang sesuai ketentuan

Posisi *combustion head* dan *diffuser disc* yang miring merubah arah pancaran api dari *nozzle*, akibatnya proses pembakaran menjadi terhalang bagian *boiler* yang tidak sesuai tempatnya dan FO yang tidak terbakar masuk kedalam *burner body*.

Dari beberapa evaluasi alternatif pemecahan masalah di atas, pemecahan masalah yang dipilih serta dilakukan berdasarkan situasi dan kondisi subjek penelitian adalah perawatan secara berkala pada komponen – komponen *burner boiler*.

1. Perawatan komponen *nozzle burner* yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar dalam dapur *boiler*. Perawatan pada komponen ini dilakukan dengan pembersihan pada bagian saringan dan memeriksa ketegangan pegasnya, namun bila kondisi sudah tidak memungkinkan maka harus dilakukan penggantian unit yang baru.
2. *Diffuser disc* yang posisi pemasangannya tidak *center* mengakibatkan arah angin tidak sesuai guna mendukung proses pembakaran. Maka dari itu sebelum melakukan pemasangan harus didahului pembacaan pada *manual book* agar tidak terjadi kesalahan pada proses pemasangan.
3. Pada komponen *dumper fan* dilakukan pengecekan dan penyetulan terhadap bukaan pada *dumper flap*. Juga lakukan pembersihan pada area bagian dalam *dumper fan* agar tidak ada kotoran yang menghambat putaran kipas sehingga penyaluran udara kedalam ruang bakar dapat memenuhi syarat.

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa teori dan penjelasan yang diuraikan sebelumnya, maka dapatlah beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyebab kualitas air tawar didalam boiler tidak baik yaitu:
  - a. Air masih mengandung mineral – mineral yang menimbulkan endapan keras.
  - b. Kadar garam air masih terlalu tinggi.
  - c. Air masih mengandung zat chloride.

- d. Adanya gas-gas yang terkandung dalam air yang dapat menyebabkan korosi
  - e. Nilai pH air berada pada tingkat yang agresif pada baja.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan pembakaran pada boiler tidak sempurna
    - a. Kualitas bahan bakar yang rendah
    - b. Temperatur *Fo* sebelum masuk *nozzle burner* rendah
    - c. Ruang dapur tidak memenuhi syarat pembakaran
    - d. Pengabutan bahan bakar tidak normal
    - e. Temperatur udara dalam ruang pembakaran sangat rendah
    - f. Dumper fan tidak bekerja maksimal
    - g. Jumlah udara ( $O_2$ ) yang diperlukan dalam ruang pembakaran sangat minim.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sujanto, *Pesawat kapal 1*, Jakarta : Paramudya Paramita, 1982
- [2] Suharto, *Manajemen Perawatan Mesin*, Jakarta : Rimeka Cipta, 1991
- [3] Alaerts, G. dan S.S. Santika, *Metoda Penelitian Air*, Surabaya : Usaha Nasional, 1984
- [4] Schroeder, C.D, *Solution to Boiler and Cooling Water Problems 2*, New york : Van Nostrand, 1991
- [5] Djokosetyardjo. M.J, *Ketel Uap* Jakarta : Pradnya Paramitha, 2003