

# USAHA PENCEGAHAN TERJADINYA BATU KETEL AKIBAT DARI AIR PENGISI KETEL PADA KETEL UAP PIPA API DI HOTEL CONRAD BALI

**I Nengah Ludra Antara dan Achmad Wibolo**

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali  
Bukit Jimbaran, P.O Box 1064 Tuban, Badung Bali  
Phone: (0361) 701981, Fax: (0361) 701128  
Email : lludraantara@yahoo.com

**ABSTRAK:** Ketel uap merupakan satu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan uap dalam berbagai keperluan. Air didalam ketel uap dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakarsehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah menjadi uap. Perawatan adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. Perawatan juga ditujukan untuk mengembalikan suatu sistem pada kondisinya agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, dan memperpanjang usia kegunaan mesin. Perawatan terhadap ketel uap bertujuan mencegah terjadinya batu ketel dengan cara perlakuan terhadap air pengisi ketel uap yaitu dengan cara mempertahankan kandungan klorin dan pH dalam air. Selain mempertahankan kandungan klorin dan pH dalam air untuk pencegahan batu ketel juga dilakukan dengan *blow down*. Batu ketel adalah deposit mineral yang biasa terjadi. Batu ketel adalah padatan terjadi akibat reaksi dari zat pengotor dengan permukaan pipa logam. Batu ketel berperan sebagai isolator memperlambat transfer panas, yang menyebabkan efisiensi menurun dan pemakaian bahan bakar jadi meningkat. Efek yang lebih serius adalah *overheating* dan penyebab kerusakan pada pipa-pipa ketel uap. Setelah melakukan pengambilan data di lapangan selama satu bulan didapat nilai rata-rata untuk klorin adalah 3,0 ppm dan pH 7,8 ppm. Jadi, Hotel Conrad Bali sudah melakukan perawatan pencegahan batu ketel dengan baik yaitu menjaga kandungan klorin kisaran 2,5~4,0 ppm dan pH 7,0~9,0 ppm.

**Kata Kunci:** Ketel Uap, Perawatan, Air Pengisi, *Blow down*, Batu Ketel

**ABSTRACT:** Boiler is the equipment to generate steam in various purposes. The water in the boiler is heated by the heat from burning of fuel which results in heat transfer from the heat source to water. Consequently, the water is heated and became vapor. Treatment is an action to keep an item or to fix it up that it is in an acceptable condition. Treatment is also intended to return a system to its condition so that it functions accordingly and lengthen the use of machine. Treatment of boiler functions to prevent kettle stone by treating boiler water filter by maintaining chlorine content and pH of water. In addition, kettle stone can also be prevented by blow down. Kettle stone is a mineral deposit. It occurred as a solidify result from reaction of impurities with surface of metal pipe. Kettle stone acts as an isolator which slows heat transfer and results in decrease in efficiency and increase of fuel use. The more serious effect it reveals is overheating and damage on boiler pipes. Data analysis indicated that chlorine value average was 3,0 ppm and pH 7,8 ppm. Conrad Bali hotel has been doing preventive treatment on kettle stone properly by keeping chlorine content between 2,5-4,0 ppm and pH 7,0-9,0 ppm.

**Key words:** bolier, treatment, water filler, blow down, kettle stone.

## I. PENDAHULUAN.

### 1.1 Latar Belakang

Sepanjang sejarah manusia, kemajuan-kemajuan besar di dalam kebudayaan selalu diikuti oleh perkembangan alat-alat dibidang teknologi. Dewasa ini, penggunaan alat-alat dibidang teknologi semakin meningkat untuk memperlancar kegiatan produksi suatu perusahaan. Di Bali salah satu contoh, banyak hotel-hotel berbintang didirikannya. Guna memperlancar kegiatan dalam memberikan pelayanan terhadap wisatawan yang berkunjung ke Hotel, alat-alat teknologi sangat diperlukan untuk menunjang fasilitas Hotel seperti *laundry, kitchen,*

keperluan air panas dalam suatu ruangan, salah satunya adalah pemakaian ketel uap.

Menurut M.J. Djokosetyadjo (1993) yang dikutip oleh Nash Rul (2011) ketel uap merupakan satu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan uap atau *steam* dalam berbagai keperluan. Air didalam ketel uap dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakarsehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan air

yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam ketel uap.

Pada dasarnya ketel uap terdiri dari sebuah bejana yang berisi air, sejumlah pipa – pipa yang merupakan laluan bagi gas panas, dan energi panas dipindahkan dari gas panas tersebut ke air dalam bejana (Syamsir A Muin, 1988: 327). Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tidak seluruhnya dapat digunakan dalam pembentukan uap, karena sebagian panas tersebut ada yang hilang sebagai kehilangan kalor. Diketuainya besarnya kalor yang dihasilkan pada saat pengoperasian ketel uap maka dapat diketahui efisiensi dan panas pembentukan uap dari masing-masing ketel uap yang dihasilkan. Ketel uap merupakan suatu alat yang dibuat untuk dapat memproduksi uap, dan uap yang dihasilkan digunakan di luar ketel uap, misalnya untuk keperluan *loundry, kitchen*, keperluan air panas dalam suatu ruangan dan lain sebagainya. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap tersebut merupakan hasil penguapan air dalam ketel uap dengan pemindahan panas melalui pipa-pipanya. Namun, tidak sembarangan air dapat digunakan sebagai air pengisi ketel. Pada dasarnya air pengisi bersumber dari air alam yang masih mengandung bahan-bahan padat dan gas-gas terlarut pada air sehingga, terjadinya pembentukan kerak di dalam ketel, terjadinya pembentukan buih dan percikan yang menyebabkan korosi, dan *Caustic embrittlement*, untuk menghilangkan gangguan-gangguan pada air pengisi adalah sangat penting, dalam hal ini menganalisis setiap air yang akan digunakan sebagai pengisi ketel dan menentukan setiap sifat dari air dan menentukan cara terbaik adalah sistem pengolahannya. Dimana kotoran-kotoran yang terkandung dalam air secara kasar dapat diproses dengan sistem pemurnian air (*Water Treatment*). Untuk mengatasi hal tersebut perlu suatu pengolahan air yang baik sebelum masuk ke Ketel Uap (*Boiler*), dimana dalam pengolahan air dilakukan dengan system pemurnian air dengan *Water Treatment* (seperti gambar 1).



Gambar 1. Mesin Pemurnian Air Model RO

Sistem pemurnian air bertujuan untuk menghilangkan mineral – mineral yang tidak diinginkan dalam proses produksi uap di boiler. Ada beberapa sistem pemurnian air skala industri yang biasanya digunakan. Seperti *demineralisasi (demin plant)* dan *Reverse Osmosis*. Secara singkat proses

*demineralisasi* menggunakan *resin – resin* penukar *ion*. *Resin* yang telah jenuh dapat diregenerasi menggunakan senyawa kimia seperti  $H_2SO_4$  (*asam sulfat*) untuk *kation* dan  $NaOH$  (*Natrium Hidroksida*) untuk *anion*. Prinsip kerja *Reverse osmosis* mengalirkan air dari daerah berkonsentrasi rendah ke daerah berkonsentrasi tinggi menggunakan membran *semipermeables*. Keunggulan *reverse osmosis* dibanding *resin* penukar *ion* adalah RO dapat menangkap larutan garam yang di dalamnya terdapat unsur *Magnesium (Mg)*, *kalsium (Ca)*, *bikarbonat*, dan *kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>)*. Air pengisi yang telah dimurnikan akan di tampung, di tangki penampungan dimana suhu air pengisi harus dijaga pada sekitar  $90^0$  C dan diinjeksikan bahan-bahan kimia untuk menghilangkan kandungan mineral yang masih tersisa dan menaikkan *alkalinity*. Apabila air yang dipergunakan untuk mengisi ketel uap harus diberi perlakuan terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan maka hal-hal yang tidak diinginkan pada ketel uap akan terjadi, salah satunya adalah timbulnya endapan kerak pada dinding-dinding pipa ketel yang disebut batu ketel. Dengan adanya batu ketel yang melekat pada dinding-dinding ketel maka akan berpengaruh terhadap produksi uap, menghambat penyaluran panas serta pemakaian bahan bakar akan menjadi boros yang lebih patal lagi pipa-pipa pada ketel uap bisa pecah.

Dari uraian tersebut maupun kasus-kasus yang sering dihapai dilapangan terutama pada industri-industri perhotelan khususnya di daerah Bali yang menggunakan ketel uap sebagai sarana pendukung untuk meperlancar operasional hotel, dimana air merupakan media utama untuk menghasilkan uap dan air harus bersih dari segala kotoran dengan pH air pengisi yang diharapkan antara (7.0 -9.0, Manual *Book Grand Kartech*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Daripapanar latar belakang di atas, dan sesuai dengan judul yang diangkat yaitu “**Usaha Pencegahan Terjadinya Batu Ketel Akibat Dari Air Pengisi Ketel Pada Ketel Uap Pipa Api Di Hotel Conrad Bali**” dapat dirumuskan permasalahan dalam studi kasus ini adalah:

- 1) Bagaimana usaha pencegahan batu ketel pada ketel uap pipa api?
- 2) Bagaimana prosedur perlakuan air pengisi ketel uap agar tidak terbentuk batu ketel?

## 1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan yang nantinya dapat muncul dari usaha pencegahan batu ketel akibat air pengisi ketel di Hotel Conrad Bali, maka penulis hanya membahas hal-hal sebagai berikut:

- 1) Usaha pencegahan batu ketel terhadap ketel uap
- 2) Prosedur perlakuan air pengisi ketel uap

## II. METODELOGI

### 2.1 Kerangka Konsep

Usaha pencegahan batu ketel akibat air pengisi ketel uap di Hotel Conrad Bali, dilakukan untuk mengetahui usaha pencegahan batu ketel akibat air pengisi ketel uap di hotel itu. Dalam penelitian ini diperlukan data-data yang dibutuhkan seperti spesifikasi ketel uap yang digunakan, nama komponen-komponen, dan jenis perawatan yang dilakukan.

### 2.2 Kondisi Awal

Perawatan yang dilakukan terhadap ketel uap menyebabkan operasi ketel uap berjalan lebih lancar dan hal-hal yang tidak diinginkan bisa diminimalkan seperti batu ketel maka akan berpengaruh terhadap produksi uap, menghambat penyaluran panas serta pemakaian bahan bakar akan menjadi boros. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukanlah perawatan.

### 2.3 Alat Ukur yang Digunakan

#### 1) *Infrared Thermometer*

Menggunakan metode pengukuran suhu yang cepat, tepat dan akurat dengan objek yang diukur dari kejauhan dan tanpa disentuh, dimana objek sangat panas, jauh letaknya, adanya kebutuhan menghindari kontaminasi objek dan berada di lingkungan yang bahaya.

#### 2) Tes kit

Tes kit adalah alat ukur untuk mengukur konsentrasi ion hidrogen dalam air atau disebut pH dan kandungan klorin atau CL. Cara menggunakan alat ini yaitu masukan air ke dalam tabung sesuai ketentuan kemudian teteskan cairan sebanyak 5 kali. Dimana cairan yang berwarna kuning digunakan untuk mengukur klorin (CL) dan cairan berwarna merah digunakan untuk mengukur konsentrasi ion hidrogen (pH)

### 1.4 Lokasi Penelitian

Pengambilan data penelitian ini dilakukan sekitar satu bulan (Mei – Juni 2015) di Hotel Conrad Bali ,JL. Pratama 168 Tanjung Benoa, Nusa Dua, Kuta Selatan, Badung, Bali.

### 1.5 Analisa Data

Penelitian ini merupakan analisis data yang didapat dari hasil pengamatan yang menggunakan metode observasi lapangan dengan melakukan pengukuran dari alat ukur yang digunakan yaitu *Infrared Thermometer* dan *Tes kit* ,sehingga dapat memberikan penjelasan yang lebih rinci terhadap usaha perawatan dan pencegahan batu ketel

akibat air pengisi ketel uap apakah sudah sesuai dengan SOP (Standar Operasional Perawatan).

## III. PEMBAHASAN.

### 3.1 Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Ketel uap atau *boiler* merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap atau berupa energi kerja. Berikut gambar dan spesifikasi ketel uap yang digunakan di Hotel Conrad Bali, seperti berikut:



Gambar 2. Ketel Uap Hotel Conrad Bali

Sumber: Hotel Conrad Bali

Tabel 3.3 Spesifikasi Ketel Uap Hotel Conrad Bali

<i>Made in</i>	Germany
<i>Date</i>	May 2003
<i>Design Pressure</i>	10 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Test Pressure</i>	15 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Capacity</i>	1250 kg/h
<i>Number</i>	YB 25/10-03

Sumber: *Manual Book Grand Kartech*

Perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*) adalah perawatan yang dilakukan dengan interval tertentu (harian, mingguan, bulanan, tahunan) dengan maksud untuk meniadakan kemungkinan terjadinya gangguan, kemacetan atau kerusakan mesin.

Perlakuan air pengisi di Hotel Conrad Bali termasuk perawatan harian yang bertujuan mencegah terjadinya batu ketel, dimana dilakukan penambahan klorin jika pada saat melakukan pengecekan terhadap air itu belum memenuhi persyaratan atau standar. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengecekan air pengisi ketel uap di hotel Conrad Bali sebagai berikut:

- 1) Siapkan alat ukur yang akan digunakan (*infrared thermometer* dan tes kit)
- 2) Siapkan alat keamanan seperti masker dan sarung tangan
- 3) Pertama mengambil sampel air dari header *domestic water tank* dengan menggunakan tes kit

- 4) Kemudian catat hasil dari pengukuran
- 5) Setelah itu ukur temperatur air menggunakan *infrared thermometer*
- 6) Kemudian catat hasil dari pengukuran
- 7) Setelah selesai, kemudia lanjutkan mengambil sampel air di *header calorifier*
- 8) Langkah pengambilan data di *header calorifier* sama seperti pengambilan data di *header domestic water tank*

Persyaratan air pengisi ketel bebas dari kotoran, *chloride* serendah mungkin tidak lebih dari 6 ppm, kesadahan air tidak lebih dari 26 ppm, bebas dari minyak, bebas bahan padat, pH tidak kurang dari 7 dan bahan *organic* tidak lebih dari 5 ppm (Abell.1981).

Dimana persyaratan Air Pengisi Ketel Uap Di Hotel Conrad Bali (Tabel 1), yang telah dilakukan perlakuan penambahan klorin terhadap air pengisi.

Tabel 1. Standar Air Pengisi Ketel Uap Di Hotel Conrad Bali

Item	Standar Value
Chlorine (ppm)	2,5 ~ 4,0
pH (ppm)	7,0 ~ 9,0

Sumber: *Manual Book Grand Kartech*

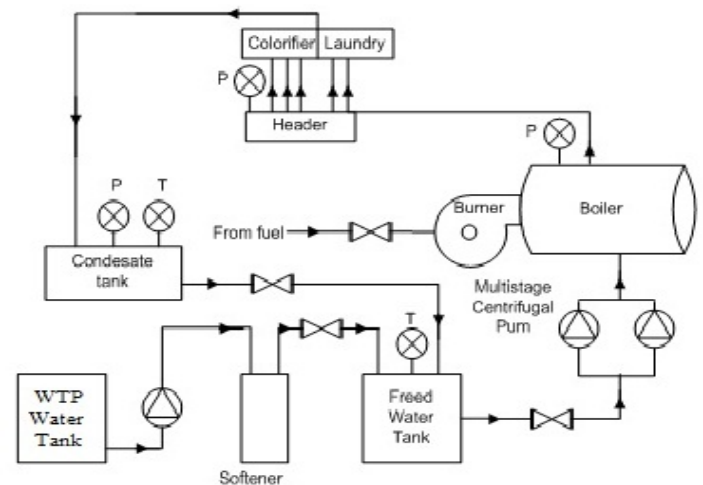
Penambahan klorin akan dilakukan jika klorin di bawah 2,5 ppm dan pH di bawah 7,0 ppm dan klorin yang ditambah kisaran 25 liter sampai 30 liter.

Selain melakukan penambahan klorin untuk mencegah timbulnya batu ketel terhadap ketel uap, di hotel Conrad Bali juga melakukan *blow down*. *Blow down* dilakukan bertujuan untuk mengeluarkan kotoran-kotoran dan endapan-endapan yang terdapat di dalam ketel uap, karena endapan-endapan tersebut dengan proses pemanasan akan dapat melekat pada dinding-dinding bagian dalam pipa ketel uap. *Blow*

*down* dilakukan 2 jam sekali dan lama melakukan *blow down* kurang lebih 7 sampai 10 detik. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *blow down* di hotel Conrad Bali sebagai berikut:

- 1) Persiapkan alat keamanan seperti sarung tangan.
- 2) Buka *blow down valve* secara perlahan kurang lebih 7 sampai 10 detik sampai terbuka sepenuhnya
- 3) Setelah *blow down valve* terbuka sepenuhnya maka tutup kembali dengan cepat agar air tidak habis dan ketel uap berjalan sesuai skema alirannya.

Skema aliran ketel uap di hotel Conrad Bali dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Skema Aliran Ketel Uap Di Hotel Conrad Bali

Sumber: Dokumentasi

### 3.2 Data Hasil Pengukuran

Adapun data-data yang didapat dari alat ukur setelah melakukan pengamatan di lapangan selama satu bulan seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Dari Pengukuran

No	Date	Domestic Water Tank			Header Calorifier		
		Temperatur (°C)	Chlorine (ppm)	pH (ppm)	Temperatur (°C)	Chlorine (ppm)	pH (ppm)
1	15-05-2015	29,0	3,0	7,8	55,8	1,0	7,6
2	16-05-2015	29,0	3,0	7,8	65,1	1,0	7,6
3	17-05-2015	29,5	3,0	7,8	56,1	1,0	7,6
4	18-05-2015	29,2	3,0	7,8	56,2	1,0	7,6
5	19-05-2015	29,1	3,0	7,8	55,9	1,0	7,6
6	20-05-2015	29,5	3,0	7,8	65,0	1,0	7,6
7	21-05-2015	29,1	3,0	7,8	55,7	1,0	7,6
8	22-05-2015	29,7	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
9	23-05-2015	29,5	3,0	7,8	65,0	1,0	7,6
10	24-05-2015	29,6	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
11	25-05-2015	29,7	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
12	26-05-2015	29,6	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
13	27-05-2015	29,5	3,0	7,8	65,2	1,0	7,6

14	28-05-2015	29,5	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
15	29-05-2015	29,5	3,0	7,8	65,0	1,0	7,6
16	30-05-2015	29,5	3,0	7,8	56,3	1,5	7,6
17	31-05-2015	29,5	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
18	01-06-2015	29,5	3,0	7,8	56,5	1,5	7,6
19	02-06-2015	28,7	3,0	7,8	56,3	1,5	7,6
20	03-06-2015	29,5	3,0	7,8	65,0	1,0	7,6
21	04-06-2015	29,1	3,0	7,8	55,7	1,0	7,6
22	05-06-2015	28,9	3,0	7,8	56,4	1,0	7,6
23	06-06-2015	29,1	3,0	7,8	65,2	1,0	7,6
24	07-06-2015	29,0	3,0	7,8	55,8	1,0	7,6
25	08-06-2015	29,0	3,0	7,8	65,1	1,0	7,6
26	09-06-2015	29,5	3,0	7,8	56,1	1,0	7,6
27	10-06-2015	29,2	3,0	7,8	56,2	1,0	7,6
28	11-06-2015	29,1	3,0	7,8	55,9	1,0	7,6
29	12-06-2015	29,5	3,0	7,8	65,0	1,0	7,6
30	13-06-2015	29,1	3,0	7,8	55,7	1,0	7,6

### 4.3 Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data di lapangan dan hasil pengukuran alat ukur kemudian hasil data dirata-ratakan. Nilai rata-rata pengukuran alat ukur selama satu bulan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Pengukuran Alat Ukur Selama Satu Bulan

Domestic Water Tank			Header Calorifier		
Temperatur (°C)	Chlorine (ppm)	pH (ppm)	Temperatur (°C)	Chlorine (ppm)	pH (ppm)
29,3	3,0	7,8	58,84	1,15	7,6

Jadi hasil pengolahan data seperti tabel 3, yang mana temperaturnya (29,3), Chlorine (3,0), pH (7,8) pada Domestic Water Tank, pada Header Calorifier temperaturnya (58,84), Chlorine (1,15), dan pH (7,6).

### 5.1 Simpulan

Dari uraian dan pembahasan mengenai pencegahan batu ketel akibat air pengisi ketel uap di Hotel Conrad Bali, maka dapat disimpulkan antara lain:

- Usaha pencegahan batu ketel dapat dilakukan dengan cara menjaga kandungan klorin dan pH agar air yang nantinya masuk ke ketel uap sudah memenuhi persyaratan yaitu mengandung klorin kisaran antara 2,5~4,0 ppm dan pH kisaran antara 7,0~9,0 ppm sebelum air itu masuk ke ketel uap. Maka dari itu, setiap harinya akan dilakukan pengecekan terhadap air yang nantinya akan masuk ke ketel uap. Selain menjaga kandungan klorin dan pH, pencegahan batu ketel juga dilakukan dengan cara melakukan *blow down* setiap 2 jam sekali kurang lebih 7 sampai 10 detik.
- Prosedur perlakuan air pengisi ketel uap yaitu pertama-tama kita harus melakukan pengecekan terhadap air itu jika kadar klorin < 2,5 ppm dan

pH < 7,0 ppm, maka perlu dilakukan perlakuan terhadap air itu dengan cara penambahan klorin. Penambahan klorin akan dilakukan jika kadar klorin di bawah 2,5 ppm dan pH di bawah 7,0 ppm dan klorin yang ditambah kisaran 25 liter sampai 30 liter.

### 5.2 Saran

Dari studi kasus yang telah dilakukan di Hotel Conrad Bali, dan hasil data yang didapat, disarankan kepada Masinis beserta stafnya di Hotel tersebut antara lain:

- Melakukan pemeriksaan secara teratur dan kontinyu terutama pada air pengisi agar ketel uap terhindar dari batu ketel dan ketel uap bisa beroperasi secara maksimal.
- Lakukanlah *blow down* secara teratur dan sesuai prosedurnya karena *blow down* sangat penting dilakukan untuk pencegahan batu ketel.
- Ikutilah semua prosedur dalam penggunaan dan perawatan terhadap ketel uap itu agar usia ketel uap lebih panjang dan penggunaannya tetap aman.

### DAFTAR PUSTAKA

- Antony Corder. 1996. Teknik Manajemen Pemeliharaan. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Jefri Satriawan. 2013. Pengolahan Air. <http://chemicalengineeringatip.com/2013/05/utilitas-pengolahan-air>. April 2015
- LA DI Bruijn dan L Muilwijk, Ketel Uap, Pradnya Pramitra, Jakarta 1980.
- Martina Indah Lestari. 2005. Himpunan Peraturan Perundangan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) RI. Portalk3.com.
- Muliati. 2008. Pengendalian Korosi Pada Ketel Uap. <http://portalgaruda.org/article.php?article>. April 2015

- 6) *Onewr Books Hotel Conrad Bali, Maentenant Steam Boiler*
- 7) Sunardi., ST. 2011. Boiler Chemical Treatment.  
<https://suntzu2107.wordpress.com/2011/01/25/boiler-chemical-treatment/>. April 2015
- 8) Silalahi Abel, Ketel Uap II, ATN Malang 1981
- 9) Syamsir A. Muin, Peswat – Pesawat Konversi Energi I, CV. Rajawali, Jakarta 1988
- 10) Snoeyink, V.L. and Jenkins, D. 1980. *Water Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- 11) Solorza, O. and Olivares, L. 1991. “Experimental Demonstration of Corrosion Phenomena.”
- 12) Walker, R. 1982. “The Corrosion and Preservation of Iron Antiques.”*Journal of Chemical*