

# Analisis Kebocoran Instalasi Pipa Distribusi *Steam* pada *Boiler* untuk Tindakan Pemeliharaan di RSUP. Dr. M. Djamil Padang

Yon Mairizal<sup>1\*</sup>, Muknizar<sup>2</sup>, Risal Abu<sup>3</sup>, Zulkarnain<sup>4</sup>, Azmil Azman<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Teknik Mesin, Universitas Ekasakti

Jalan Veteran Dalam 26 Padang

E-mail: nmrizal@gmail.com\*

## Abstract

Boilers are one of the supporting facilities that play an important role in hospitals. The steam produced by the boiler in the form of saturated steam is used for laundry purposes and to sterilize medical equipment where the temperature must reach/exceed 270 °F. Therefore, the saturated steam produced by the boiler is a source of sterilization used in hospitals today, including RSUP Dr. M. Djamil Padang. The research was carried out to determine the factors that cause leaks and determine appropriate maintenance actions. Based on the research results, it was found that oxidation corrosion and thermal fatigue occurred due to overheating so that the steam distribution pipe cracked/leaked. Maintenance activities: Arranging water access, checking and calibrating temperature and pressure sensors regularly, retubing if the thickness of the distribution pipe is only 71% of the initial design size or painting to protect the pipe in contact with water and air, or the pipe is wrapped in rockwool to prevent metal from coming into contact with water and air.

**Keywords:** *Boiler, overheating, leakage, maintenance*

## Abstrak

*Boiler* adalah salah satu sarana pendukung yang peranannya cukup penting pada Rumah Sakit. Uap yang dihasilkan *Boiler* berupa uap jenuh dimanfaatkan untuk keperluan *laundry* dan untuk mensterilkan peralatan medis dimana suhu harus mencapai/melebihi 270 °F. Oleh karena itu, uap jenuh yang dihasilkan *Boiler* adalah sumber sterilisasi yang digunakan di rumah sakit saat ini, termasuk RSUP Dr. M. Djamil Padang. Dalam penelitian dilakukan untuk mengetahui faktor yang menyebabkan kebocoran dan mengetahui tindakan pemeliharaan yang tepat. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh terjadi korosi oksidasi dan *thermal fatigue* karena *overheating* sehingga pipa distribusi *steam* retak/ bocor. Kegiatan pemeliharaan: Pengaturan akses air, cek dan kalibrasi sensor temperatur serta tekanan secara rutin, *retubing* apabila ketebalan pipa *distribusi* hanya tersisa 71% dari ukuran desain awal atau pengecatan untuk melindungi pipa kontak dengan air dan udara, atau pipa dibalut *rockwool* untuk mencegah logam kontak dengan air dan udara.

**Kata kunci:** *Boiler (Ketel uap), terlalu panas, Kebocoran, pemeliharaan,*

## 1. Pendahuluan

*Boiler* (ketel uap) adalah salah satu sarana pendukung yang peranannya cukup penting pada Rumah Sakit (RS). Uap yang dihasilkan *boiler* berupa uap jenuh dimanfaatkan untuk keperluan *laundry*, dapur, dan untuk mensterilkan peralatan medis dimana suhu harus mencapai atau melebihi 270° Fahrenheit (sekitar 132° C). Kegagalan pada pipa *boiler* sangat bervariasi. Beberapa variasi mekanisme kegagalan dapat terjadi pada *boiler* karena beroperasi pada temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan lingkungan yang abrasif sehingga memungkinkan munculnya variasi mekanisme kegagalan seperti

*overheating, pitting corrosion, creep, erosion, thermal fatigue, corrosion fatigue dan stress corrosion cracking.*

RSUP Dr. M. Djamil Padang menggunakan *boiler* merk Hoval jenis pipa api produksi tahun 2000. *Boiler* tersebut digunakan untuk menghasilkan uap dengan kapasitas sekitar 2,5 ton/jam dengan tekanan maksimal 11 bar dan tekanan yang digunakan 7 bar. Pada *boiler* jenis ini, nyala api dan gas panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar solar industri untuk men-transfer kalor dengan konsumsi ± 1000 liter/hari. *Boiler* ini menghasilkan suhu *steam* hasil pembakaran ± 260°C menggunakan bahan baku air yang telah di *treatment* dengan suhu

minimal  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  agar diperoleh efisiensi dalam proses konversi air menjadi *steam*.

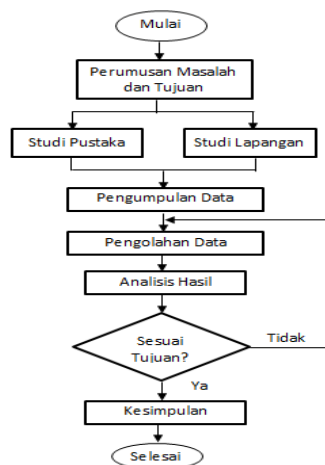
Dari berbagai variasi mekanisme kegagalan, korosi menjadi salah satu penyebab kegagalan pada *boiler* sehingga pengendalian kontaminan dan *water hardness* menjadi penting agar operasi *boiler* dalam kondisi aman dalam jangka waktu yang panjang. Selain itu inspeksi pada pipa-pipa untuk mengetahui pengurangan ketebalan pada dinding sangat penting untuk dilakukan.

Berdasarkan hal tersebut diatas, dalam skripsi ini dilakukan analisis penyebab kebocoran instalasi pipa distribusi *steam* untuk tindakan pemeliharaan pada *boiler* di RSUP Dr. M. Djamil Padang. Diharapkan dengan penerapan sistem pemeliharaan yang tepat pada instalasi pipa-pipa distribusi *steam*, diharapkan dapat mengurangi *looses* pada *boiler* sehingga dapat mendistribusikan *steam* dengan efisien ke bagian-bagian yang membutuhkan

Perumusan masalah nya adalah: Faktor apa saja yang menyebabkan kebocoran pipa-pipa distribusi *steam* pada *boiler* di RSUP Dr. M. Djamil Padang dan Bagaimana tindakan pemeliharaan yang tepat.

## 2. Metodologi

Penelitian dilaksanakan selama 2 (dua) bulan terhitung sejak bulan Maret sampai Juni 2023. Tempat penelitian dilaksanakan pada Unit Boiler (Ketel Uap) RSUP Dr. M. Djamil Padang yang beralamat di jalan Perintis Kemerdekaan Padang



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Spesifikasi *Boiler* merk Hoval

Mesin *boiler* merk Hoval di Unit *Boiler* RSUP. Dr. M Djamil Padang diproduksi pada

tahun 2000 dan termasuk jenis mesin *boiler* pipa api. *Boiler* ini digunakan untuk menghasilkan uap dengan kapasitas kecil sekitar 2.5 ton/jam dengan tekanan maksimal 11 bar dan tekanan yang digunakan 7 bar. Pada *boiler* jenis ini nyala api dan gas panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar solar industri untuk men-*transfer* panasnya dengan penggunaan dalam sehari lebih kurang 1000 liter. *Boiler* ini menghasilkan suhu *steam* hasil pembakaran  $\pm 260^{\circ}\text{C}$  dan menggunakan bahan baku air yang telah di *treatment* dengan suhu minimal  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  agar efisiensi dalam proses pembakaran air menjadi *steam*. *Boiler* merk Hoval ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Unit *Boiler* Hoval RSUP Dr. M. Djamil Padang

Berdasarkan hasil inspeksi visual pada pipa distribusi *steam* terlihat pada beberapa bagian pipa terdapat pecahan dalam arah *circum ferential*. Pecahan pipa distribusi *steam* ukuran 2" menonjol ke arah luar dan berbentuk seperti *fish mouth*/mulut ikan (Gambar 4), bentuk pecahan seperti ini mengindikasikan sebagai salah satu ciri-ciri terjadinya kegagalan pipa berupa *overheating*. Selain itu ditemukan juga kerak yang menempel pada permukaan luar dan dalam pipa



Gambar 3 Bentuk Pecahan Pipa

Indikasi lain faktor penyebab terjadinya kebocoran pada pipa distribusi *steam boiler* adalah disebabkan oleh *thermal fatigue* pada material, yakni *overheating*. Penyebab terjadinya *overheating* pada pipa *boiler* karena adanya kerak. Selain itu, faktor penyebab lain adalah korosi oksidasi

Selanjutnya dilakukan pengukuran ketebalan dinding pipa di daerah sekeliling pecahan. Nilai ketebalan terkecil sebesar 5, 89 mm di daerah paling dekat dengan pecahan. Sedangkan bagian di kanan dan kiri pipa yang jauh

dari pecahan sebesar 7,35 mm. Adapula pengukuran diameter pipa yang lain, hasil pengukuran menunjukkan bahwa diameter dalam sebesar 35 mm dan diameter luar sebesar 51 mm. Berdasarkan identifikasi awal berupa pengecekan secara visual, kegagalan pipa yang terjadi masuk dalam kategori visual berupa *overheating*.

Permukaan dinding pipa distribusi *steam* bagian luar terlihat berwarna oranye. Fenomena yang terjadi pada dinding pipa adalah terjadinya korosi temperatur tinggi atau korosi oksidasi. Warna oranye pada pipa merupakan produk korosi (karat). Produk korosi menempel pada permukaan dinding pipa distribusi *steam* bagian luar

Pada bagian pipa yang mengalami kebocoran terdapat di daerah pipa yang mengalami penipisan ketebalan dan di sekitar lubang, pipa juga mengalami korosi. Hal ini semakin membuktikan bahwa kebocoran disebabkan oleh korosi oksida

Berdasarkan hasil pengamatan pada seluruh sistem *boiler* seluruh data dicatat pada tekanan tertentu meliputi volume dan kondisi pada pipa distribusi steam seperti ditunjukkan pada Tabel 1

**Tabel 1.**  
Volume dan kondisi pada pipa distribusi steam

Pipa distribusi Steam	Pipa 1"		Pipa 1,5"		Pipa 2"		Pipa 2,5"		Pipa 3"	
	Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Bocor/ Tidak	Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Bocor/ Tidak	Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Bocor/ Tidak	Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Bocor/ Tidak	Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Bocor/ Tidak
1	1,7	tidak	1,9	tidak	1,9	Bocor	1,92	tidak	1,97	tidak
1,5	1,2	tidak	1,35	tidak	1,32	Bocor	1,37	tidak	1,39	tidak
2	0,98	tidak	0,99	tidak	0,91	Bocor	1,21	tidak	1,12	tidak
3	0,67	tidak	0,73	tidak	0,69	Bocor	0,93	tidak	0,96	tidak
4	0,54	tidak	0,65	tidak	0,61	Bocor	0,75	tidak	0,79	tidak
5	0,38	tidak	0,47	tidak	0,42	bocor	0,57	tidak	0,68	tidak
6	0,27	tidak	0,36	tidak	0,31	bocor	0,46	tidak	0,49	tidak
6,5	0,25	tidak	0,29	tidak	0,22	bocor	0,39	tidak	0,41	tidak

### Faktor Penyebab Kebocoran Pipa Distribusi Steam

Sesuai hasil pengamatan tentang kebocoran pipa distribusi *steam boiler*, dapat dinyatakan bahwa pipa distribusi *steam* yang bocor disebabkan oleh korosi oksidasi dan *thermal fatigue* pada material, yakni *overheating*.

#### a. Korosi oksidasi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi material (khususnya logam dan

paduannya) atau sifatnya akibat berinteraksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses perusakannya. Dilihat dari aspek elektrokimia, korosi merupakan proses terjadinya transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Logam berlaku sebagai sel yang memberikan elektron anoda dan lingkungannya sebagai penerima elektron katoda. Reaksi yang terjadi pada logam yang mengalami korosi adalah reaksioksidasi, dimana atom-atom logam larut kelingkungannya menjadi ion-ion dengan melepaskan elektron pada logam tersebut. Sedangkan dari katoda terjadi reaksi, dimana ion-ion dari lingkungan mendekati logam dan menangkap elektron - elektron yang tertinggal pada logam.

Karat terjadi karena bertemunya 4 (empat) elemen yaitu : Anoda, Katoda, Elektrolit dan Konduktor. Masing-masing elemen tersebut memiliki peran tersendiri, misalnya: Anoda sebagai logam yang lebih reaktif akan mendonorkan elektronnya menuju katoda (donor elektron ini terjadi karena adanya perbedaan potensial antara anoda dan katoda). Elektron yang lepas dari anoda ini akan berjalan menuju katoda melalui konduktor yang menghubungkan antara anoda dengan katoda. Selanjutnya katoda menerima elektron dari anoda untuk selanjutnya bereaksi secara kimia dengan elektrolit. Reaksi kimia ini berlangsung dan hasil akhirnya adalah sesuatu yang kita kenal sebagai karat.

Secara umum pencegahan korosi oksidasi pada pipa *steam* dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengecatan, untuk melindungi logam (pipa) kontak dengan air dan udara, dimana cat yang mengandung timbal dan seng akan lebih melindungi logam terhadap karat.
2. Dibalut *rockwool/glasswool* yang dapat juga mencegah logam kontak dengan air dan udara.
3. Pelapisan dengan timah yang tahan karat dengan proses pelapisan dilakukan secara *electrolysis* atau *electroplating*.
4. Pelapisan dengan seng dapat melindungi logam meskipun lapisannya ada yang rusak. Hal ini karena potensial *electrode* logam lebih *negative* dari pada seng, maka logam yang kontak dengan seng akan membentuk sel elektrokimia dengan logam sebagai

katode, sehingga seng akan mengalami oksidasi sedangkan logam akan terlindungi.

#### b. *Thermal fatigue*

Selain korosi oksidasi, kebocoran pipa distribusi *steam* disebabkan oleh *Thermal fatigue* karena *overheating*. Pipa yang retak oleh adanya regangan yang terjadi bergantian atau berulang-ulang disebut gagal karena kelelahan. Makin besar regangan yang terjadi pada setiap *cycle* makin cepat terjadi kelelahan, banyak terjadi dimana *cycle* dan regangan berada diatas garis lengkung yang teratas (batas limit kelelahan). Frekuensi untuk penerapan regangan biasanya dicantumkan pada faktor yang mempengaruhi jumlah *cycle* yang menyebabkan kelelahan, pada lingkungan yang korosif kelelahan pada tingkat regangan tertentu terjadi hanya pada jumlah *cycle* yang lebih sedikit dan kelelahannya tidak tampak lagi, dengan kata lain kelelahan dapat saja terjadi pada nilai regangan berapa saja asalkan *cycle*-nya cukup besar.

Kombinasi antara kelelahan dengan karat dinamakan karat kelelahan yang terjadi pada titik-titik yang menerima beban dan dipacu oleh proses oksidasi yang berupa paduan oksidasi dengan kelelahan dengan suhu proses elektrokimianya mencapai intensitas maksimum 3000 °F, karena suhu diatas itu akan terjadi pembentukan oksida yang melindungi pengkaratan, dan kelelahan pada pipa sering terjadi pada pipa yang di tekuk dingin karena regangan yang memecahkan film oksida pelindung permukaan pipa.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan *trouble shooting* dan hasil pengolahan data pada *boiler* merk Hoval di RSUP. Dr. M Djamil Padang diperoleh hasil bahwa kebocoran pipa distribusi *steam* disebabkan oleh Korosi, Oksidasi dan *Thermal fatigue*.

- Pengaruh Korosi Oksidasi terhadap Kebocoran Pipa
- Pengaruh *Thermal Fatigue* terhadap Kebocoran Pipa *Steam*: Awal retak (*crack initiation*), Perambatan retak (*crack propagation*), Patah akhir (*final fracture/sudden fracture*)
- *Overheating*: *Short-term overheating*, *Long-term overheating*
- Rekomendasi Tindakan Pemeliharaan pada Kebocoran Pipa Distribusi *Steam*.

Untuk mencegah terjadinya korosi oksidasi, beberapa hal dapat dilakukan antara lain:

- Pengaturan akses air.
- SOP pengoperasian dan pemeliharaan *boiler* dilaksanakan dengan baik.
- Cek dan kalibrasi sensor temperatur serta tekanan di *boiler* secara rutin.
- Cek kondisi pipa *boiler* saat *overhaul*, dan lain-lain.
- *Retubing* perlu segera dilakukan karena diprediksi pada 2 tahun mendatang sejak ditemukan kebocoran, ketebalan pipa distribusi *steam boiler* hanya tersisa 71% dari ukuran desain awal pipa tersebut.

#### Rekomendasi Tindakan Pemeliharaan Menyeluruh pada Pipa *Steam*

- Pemeliharaan *boiler* pada saat beroperasi dapat berupa pemeliharaan harian, mingguan dan bulanan. Tujuan dilakukannya perawatan pada saat *boiler* beroperasi untuk memastikan bahwa *boiler* dapat dipastikan berjalan dengan aman dan efisien.
- Pemeliharaan pada Saat *Boiler* tidak Beroperasi. Pemeliharaan *boiler* yang dimaksud adalah pemeliharaan yang dilakukan pada saat *boiler* tidak beroperasi, biasanya berupa *Minor Overhaul* ataupun *Major Overhaul* yang merupakan pemeliharaan tahunan.

##### a. Pemeliharaan Harian

Adapun yang dilakukan adalah:

- Air Umpan *Boiler*: Periksa secara visual jumlah air yang masuk ke dalam *boiler* dan catat kedalam *log sheet*.
- *Blow Down Valve*: Lakukan *blow down* Setiap 2 Jam sekali/sesuai dengan aturan yang telah ditentukan.
- Bahan Bakar: Memeriksa pemakaian bahan bakar
- Alat bantu *boiler* (*Appendages*, pompa, kompressor dan lain-lain). Lakukan pemeriksaan secara visual terhadap peralatan bantu boiler dan catat kedalam *log sheet*
- Kandungan O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>: Memeriksa O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam gas asap dan catat kedalam *log*

##### b. Pemeliharaan Mingguan

Tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Gelas Penduga (*sight glass*): Membuka *valve* pembersih pada gelas penduga.

- *Safety Valve* (katup pengaman): Lakukan pengujian *safety valve* (katup pengaman) *boiler*.
- *Feed water control levels*: melakukan pengujian *feed water control levels*
- Saluran air umpan *boiler*: Lakukan pengecekan pada pipa saluran air umpan *boiler*

#### c. Pemeliharaan Bulanan

Adapun yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Saringan pompa isap: Periksa saringan isap semua pompa pada unit *boiler*
- Alat bantu *boiler* (*Appendages*) : Periksa semua *Appendages* pada *boiler* apakah perlu ada perbaikan.
- Pompa: Lakukan pengecekan kepada semua pompa antara lain, pelumasan, motor penggerak, dan sistem kelistrikannya.
- *Header/Steam Accumulator*: Lakukan *blow down* pada *header/steam accumulator*
- Cerobong asap: Bersihkan cerobong asap dan keluarkan abu dari dalam *boiler*

#### d. Pemeliharaan Quarterly (6 bulanan)

Adapun yang dilakukan sebagai berikut:

- Pintu ruang asap; Memeriksa kerapatan pintu ruang asap (*smoke box doors*).
- *Man Hole*; Memeriksa kerapatan *man hole*.
- *Safety Valve*: Memeriksa *safety valve* dan memasang kembali
- Gelas penduga (*sight glass*): Memeriksa tingkat ketinggian air pada Gelas penduga (*sight glass*) dan memastikan tidak ada kebocoran.
- Peralatan Elektrikal: Periksa semua saklar, tombol, panel dan *power connection*, dan pastikan semua pada kondisi masih baik dan siap beroperasi.
- *Pressure Controller*: Periksa semua panel yang berhubungan dengan *Pressure Controller*
- Kipas (fan): Periksa getaran kipas (fan) pada semua motor listrik yang beroperasi dan pastikan masih berada pada kondisi normal
- Cerobong asap: Periksa keamanan tinggi rendahnya CO<sub>2</sub> dan semua sambungan/*flanges* pada kondisi baik.
- *Safety valve flanges* dan *modulating valve flange*: Memeriksa kerapatan

*safety valve flanges* dan *modulating valve flange*.

#### e. Pemeliharaan Tahunan

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pemeliharaan tahunan sebagai berikut:

- *Cleaning Boiler*: Lakukan semua prosedur *cleaning boiler*, mulai dari pembongkaran, pembersihan, *hidrostatic Test*, serta berkoordinasi dengan Departemen Tenaga Kerja (Depnaker) untuk dilakukan pemeriksaan sampai didatarkannya surat ijin operasi.
- *Minor Overhaul*: Lakukan semua prosedur *minor overhaul boiler* sesuai dengan standar yang telah dibuat, mulai dari pembongkaran, pembersihan, penggantian peralatan bila ada dan penyelesaian pekerjaan.

*Mayor Overhaul*: Lakukan semua prosedur *mayor overhaul boiler* sesuai dengan standar yang telah dibuat, mulai dari pembongkaran, pembersihan, penggantian peralatan bila ada dan penyelesaian pekerjaan

## 4. Simpulan

1. Faktor-faktor yang menyebabkan kebocoran pipa-pipa distribusi *steam* pada *boiler* di RSUP Dr. M. Djamil Padang adalah:
  - a. Korosi oksidasi: kebocoran pipa *steam* akibat korosi oksidasi, yaitu logam (pipa) mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi.
  - b. *Thermal fatigue* karena *overheating*.
2. Rekomendasi kegiatan pemeliharaan:
  - a. Pengaturan akses air.
  - b. SOP pengoperasian dan pemeliharaan *boiler* dilaksanakan dengan baik
  - c. Cek dan kalibrasi sensor temperatur dan tekanan di *boiler* secara rutin
  - d. Cek kondisi pipa *steam boiler* saat *overhaul*, dan lain-lain.
  - e. *Retubing*
  - f. Pengecatan,
  - g. Pipa dibalut *rockwool/glasswool* yang dapat juga mencegah logam kontak dengan air dan udara.
  - h. Pelapisan dengan timah
  - i. Pelapisan dengan seng

## Saran

1. Melakukan pemeliharaan dan monitoring secara rutin
2. Melakukan pemeliharaan secara terstruktur terhadap sistem pemipaan *boiler*

3. Melakukan penjadwalan/ pergantian jam operasi boiler secara rutin antara boiler yang sedang beroperasi dengan boiler yang spare,
4. Menjalankan pemeliharaan sesuai plan maintenance dan manual book.
5. Pemeliharaan terhadap kebocoran pipa distribusi steam dilakukan secara sistematis dan menyeluruh agar sistem boiler tetap berjalan dengan lancar.

#### Daftar Pustaka

- [1] Assauri Sofjan, 1998, *Manajemen Produksi Dan Operasi*, Edisi Revisi 1998, Jakarta.
- [2] Corder, Antony, 1992, *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Jakarta: Erlangga.
- [3] Dhillon, B.S., 2006, *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. New York: Taylor and Francis Group.
- [4] Djokostyardjo, M. J., 1999, *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [5] Fithri, Prima, 2010, *Optimasi Preventive Maintenance dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan Mixed Integer Non Linier Programming Dari Kamran*, Thesis Master, Universitas Indonesia.
- [6] Handoko T Hani, 1991, *Dasar-dasar Manajemen Produksi dan Operasi*, BPFE, Yogyakarta.
- [7] Handoyo, Jusak Johan, 2016, *Ketel Uap, Turbin Uap, dan Turbin Gas Penggerak Utama Kapal* (Edisi 3), Djangkar: Jakarta.
- [8] Jardine, A.K.S., 1973, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Canada: Pitman Publishing.
- [9] Kitto, J.B. and S. Stultz, 2006, *Steam its generation and use, 41st ed.* Ohio: The Babcock & Wilcox Company.
- [10] Kurniawan, Fajar, 2013, *Manajemen Perawatan Industri: Teknik dan Aplikasi Implementasi Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance dan Reability Centered Maintenance (RCM)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [11] Mallikarjuna, V., Jashuva, N., & Reddy, B. R. B. (2014). Improving Boiler Efficiency By Using Air Preheater. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 3(2), 11–24.
- [12] Marwan dan Awig Dwi Sulisty Budi, 1986, *Pengelolaan Karyawan*, BPFE, Yogyakarta.
- [13] Nurcahyo, R., 2006, *Modern Maintenance Managemen and Spare part Management, Quality Buana Insani* Colsulting: Jakarta.
- [14] Pratikto, 2008, *Ketel Uap Pipa Air Bi Drum*, CV. Asrori, Malang.
- [15] Setiawan, F.D, 2008, *Perawatan Mekanikal Mesin Produksi*, Maximus, Yogyakarta.
- [16] Siswanto, Yansen, 2010, *Perancangan Preventive Maintenance berdasarkan Metode Realibility Centered Maintenance (RCM) pada PT Sinar Sosro*. Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- [17] Soesetyo, I. dan Bendatu, L.Y., 2014, *Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia* - 89 Sepajang, Vol. 2, No.2, Juni 2014, hlm. 147-154.
- [18] Soenoko Rudy, Gunadiarta Imade, 2009, *Bahasan Termal Bahan-Bahan dan Ketel Uap*, Jilid I,II, CV. Citra, malang.
- [19] Syamsir A. Muin, 1988, *Pesawat-pesawat konversi energi (I): Ketel uap*. Jakarta : Rajawali
- [20] Team, I. P., 2016, *Pemeliharaan Mekanik Air Heater Level 1,2,3*
- [21] Veen, Van Der, T., 1977, *Teknik Ketel Uap*, Educative Groepm: Jakarta.
- [22] Widharto Sri, 2005, *Inspeksi Teknik*, Buku 1, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.