

Analisis Kegagalan *High Pressure Cooling Boiler Water Circulating Pump* Pada PLTU Paiton Unit 9 (Studi Kasus Di PLTU Paiton Unit 9)

Dedy Setiawan¹, Djoko Wahyudi, S.T., M.T², Indah Dwi Noor K.D.³

^{1,2,3}Mechanical Engineering Department, Univeristy of Panca Marga Probolinggo, Indonesia

*Corresponding author: : dedystieeaone@gmail.com

Abstrak

Desain boiler di PLTU Paiton 9 menggunakan sistem sirkulasi paksa yang mana untuk memastikan sirkulasi air di rangkaian dinding-dinding pipa boiler menggunakan *Boiler Water Circulating Pump* (BWCP). Fungsi pompa tersebut untuk memompa air boiler untuk sirkulasi kembali dari steam drum ke *lower header*. Dua dari tiga buah BWCP beroperasi pada beban penuh sehingga mempunyai satu buah BWCP untuk bersiap apabila salah satu pompa terjadi gangguan. Bila hanya beroperasi satu buah pompa maka beban harus diturunkan menjadi 60% dari *Maximum Continues Rate* (MCR). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan pada high pressure cooling BWCP. Pengamatan material, *trending* dan *thickness test* dilakukan untuk mendukung hasil analisa. Hasil pengujian *thickness* didapat pipa nomor 13 pada BWCP A tidak memenuhi standar ketebalan yaitu 3 mm dari standar 5mm, dan ketebalan material pada daerah sambungan pipa *high pressure cooling* juga tidak sesuai standar. Pipa dengan ketebalan 5 mm disambung dengan pipa ketebalan 3 mm. Dari hasil pengamatan, pipa high pressure cooling pecah, diakibatkan oleh tertahannya pipa pada mangkok penyalur air pembuangan. Pipa tersebut mengalami stress karena tidak ada ruang untuk mengikuti ekspansi boiler. Dari hasil *trending*, pecahnya *line drain high pressure cooling* BWCP menyebabkan air boiler dengan tekanan 180 bar dan suhu 357 °C masuk ke dalam motor yang menyebabkan suhu belitan motor mengalami kenaikan hingga 357 °C. Hal ini mengakibatkan motor BWCP tidak dapat dioperasikan kembali karena mengalami kerusakan pada *insulation winding*/ belitan. Setelah dilakukan pengujian dan analisa, maka ditemukan faktor penyebab dan mekanisme kegagalan.

Keywords: BWCP, *high pressure cooling*, *thickness*, ekspansi boiler, *trending*.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi merupakan hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia untuk meningkatkan kesejahteraan hidup. Salah satu kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan lagi dalam kehidupan manusia sekarang ini adalah kebutuhan energi listrik. Dalam usaha penyediaan energi listrik yang handal dan efisiensi PT. PJB UBJ O&M PLTU Paiton adalah salah satu perusahaan yang beroperasi dalam bidang pembangkitan listrik yang menghasilkan daya 1x660 MW untuk memenuhi kebutuhan listrik di pulau Jawa, Bali, dan Madura. Berdasarkan metode sirkulasi

yang digunakan, boiler di Paiton 9 menggunakan sistem sirkulasi paksa yang mana untuk memastikan sirkulasi air di rangkaian wall tubes boiler menggunakan *Boiler Water Circulating Pump* (BWCP). Sebagaimana fungsinya, peralatan pompa tersebut memompa air boiler untuk sirkulasi kembali dari steam drum ke lower header. Dua dari tiga buah BWCP beroperasi pada beban penuh sehingga mempunyai satu buah BWCP untuk bersiap apabila salah satu pompa terjadi gangguan. Bila hanya beroperasi satu buah BWCP maka beban harus diturunkan menjadi 60% dari *Maximum Continues Rate* (MCR).

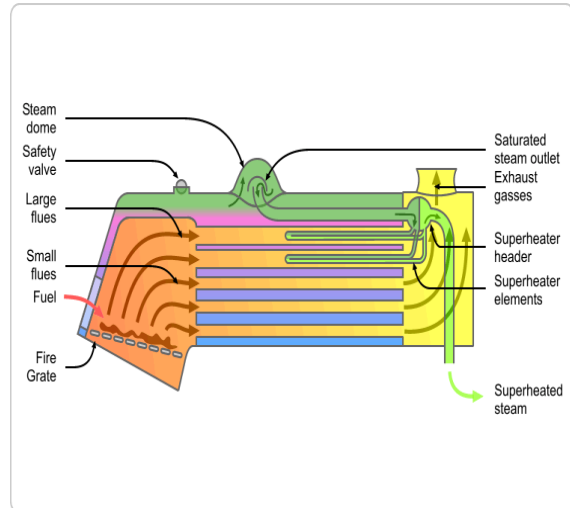
Pada beberapa tahun yang lalu BWCP sering mengalami gangguan, hal ini bisa dilihat dari daftar WO (work order) yang terekam, salah satunya yaitu kebocoran pada cooling high pressure BWCP. Analisa kegagalan dilakukan berdasarkan data operasi. Metode analisa yang digunakan adalah pengamatan material dan pengujian terhadap pipa pendingin pompa. Dalam makalah ini dibahas mengenai faktor penyebab dan mekanisme kebocoran pada kebocoran pipa high pressure cooling BWCP

2. Tinjauan Teoritis

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi dari uap air keluaran boiler tersebut selanjutnya digunakan untuk memutar turbin. Dalam proses konversi energi, boiler mempunyai fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertansfer ke fluida kerja. Boiler dapat di klasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan posisi air – uap air dengan ruang bakar, sirkulasi air, tekanan kerja, dan sumber energi.

a. Boiler Berdasarkan Posisi Relatif Uap Dan Air

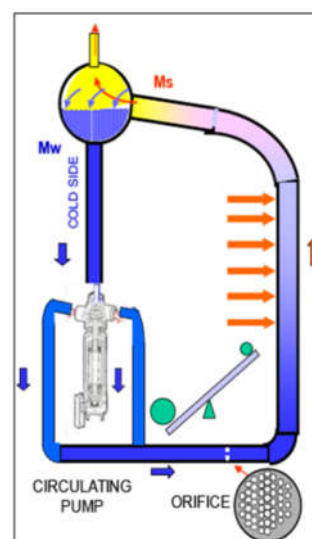
Pada perancangan suatu boiler dibutuhkan konstruksi yang tepat sesuai dengan spesifikasi dan fungsinya, jika menginginkan hasil output yang besar maka diperlukan tipe boiler yang besar pula. Semakin handal tipe boiler yang digunakan semakin efisien hasil yang dicapai. Boiler dengan klasifikasi menurut pipa ini dibagi menjadi dua yaitu boiler dengan tipe pipa api dan boiler dengan pipa air. Desain dari kedua tipe boiler ini juga berbeda, boiler pipa api memiliki desain yang sederhana sedangkan boiler pipa air memiliki desain yang kompleks.



Gambar 1: Boiler Pipa Api

b. Boiler Berdasarkan Metode Sirkulasi

Pada boiler pipa air, sirkulasi air di dalam pipa-pipa boiler sangat penting. Selain untuk meningkatkan efisiensi boiler, perputaran air juga dapat menjaga keawetan boiler. Mengingat air di dalam boiler tersebut juga berfungsi sebagai media pendingin wall tube, keterlambatan sedikit saja air untuk bersirkulasi, akan mengakibatkan pipa air mengalami tegangan termal tinggi. Berdasarkan metode sirkulasi air terdapat dua metode sirkulasi yaitu sirkulasi alami / natural dan juga paksa



Gambar 2 : Boiler Sirkulasi Alami dan Paksa

c. Boiler Berdasarkan Tekanan Kerja

Kemampuan suatu pembangkit dalam menghasilkan daya keluaran yang tinggi juga berpengaruh dengan tipe boilernya. Berdasarkan tekanan kerjanya dan mengacu pada siklus rankine, semakin tinggi daya yang diinginkan maka suhu dan tekanan yang dibutuhkan juga harus sesuai dengan tekanan kerjanya. Maka akan semakin efisien boiler yang dihasilkan.

d. Boiler Berdasarkan Sumber Energi

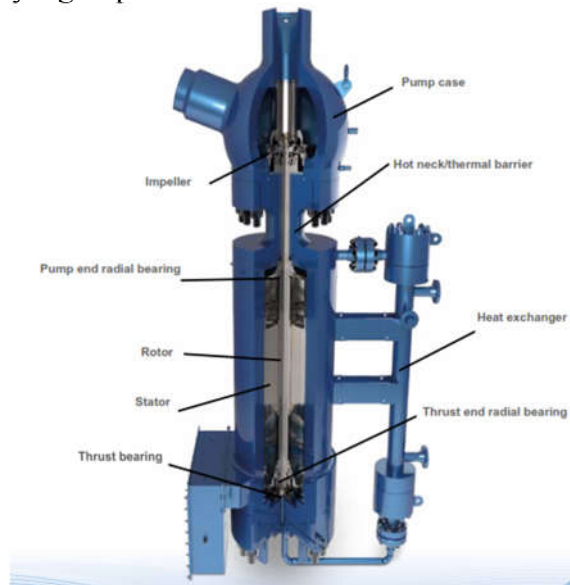
Dalam suatu pembangkit terdapat macam-macam sumber energi sebagai bahan bakar yang digunakan dalam proses pembuatan uap. Dalam sejarah, awal sumber energi yang digunakan hanya dari fosil, berkembangnya teknologi dan jaman banyak mulai ditemukan sumber energi lain bahkan nanti dapat beralih ke energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan. Macam-macam boiler berdasarkan sumber energi antara lain:

1. Boiler Batubara
2. Boiler Minyak
3. Boiler Nuklir
4. Boiler Tenaga Surya
5. Boiler Tenaga Sampah

e. Boiler Water Circulating Pump

Boiler Water Circulating Pump (BWCP) adalah sebuah pompa jenis sentrifugal yang digunakan untuk memompa air dari *steam drum* dan mensirkulasikannya menuju *wall tubes* (pipa-pipa yang berada di dinding *boiler*) yang kemudian air tersebut dipanasi oleh pembakaran di *furnace* dan selanjutnya dikirim kembali ke *steam drum*. Pompa ini menggunakan hanya satu poros antara motor dan pompanya. Di antara motor dan pompa tidak menggunakan suatu sistem sealing. Jadi media air yang dipompa terdapat sedikit celah ruang untuk dapat masuk ke motor. Motor pompa dilengkapi dengan sebuah *heat exchanger* (penukar kalor) sehingga air yang ada di dalam motor selalu tersirkulasi dan didinginkan. Air tersebut didinginkan oleh media *close cycle cooling water system* atau pendingin

sistem tertutup yang berasal dari sistem yang terpisah



Gambar 3 : Pompa BWCP

Daya Poros Dan Efisiensi Pompa Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena ada sebagian energi kinetik yang hilang dalam bentuk losses atau kerugian. Efisiensi pompa adalah suatu faktor yang dipergunakan untuk menghitung losses ini. Efisiensi pompa terdiri dari :

1. Efisiensi hidrolis, memperhitungkan *losses* akibat gesekan antara cairan dengan impeler dan losis akibat perubahan arah yang tiba-tiba pada *impeler*.
2. Efisiensi volumetris, memperhitungkan *losses* akibat resirkulasi pada ring, *bushing*, dll.
3. Efisiensi mekanis, memperhitungkan losis akibat gesekan pada seal, *packing gland*, bantalan, dll.

Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan head tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan head yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada *designed point* tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah. Efisiensi

pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah. Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa. Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

$$\eta = \frac{PH}{PS}$$

Dimana:

PH = daya hidrolis

PS = daya shaft/poros pompa

Daya hidrolis adalah daya yang diperlukan oleh pompa untuk mengangkat sejumlah zat cair pada ketinggian tertentu.

f. Daya Air

Energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu disebut daya air, yang dapat ditulis sebagai:

$$P_w = 0,163\gamma QH$$

Dimana :

γ = berat air per satuan volume (kgf/l)

Q = Kapasitas (m³ /min)

H = Head Total Pompa (m)

P_w = Daya Air (kW)

Atau

$$P_w = \gamma QH$$

Dimana γ dinyatakan dalam KN/m³ dan Q dalam m³ /s.

g. Daya Poros

Daya poros yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan daya air ditambah kerugian daya didalam pompa. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

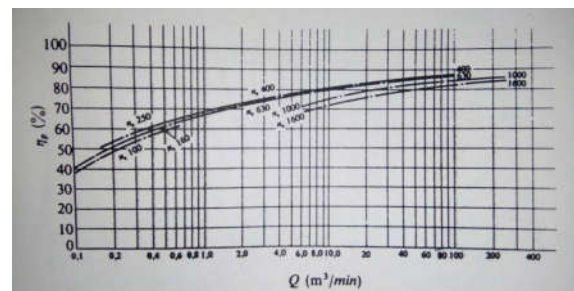
$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

Dimana:

P = daya poros (kW)

η_p = Efisiensi pompa (pecahan)

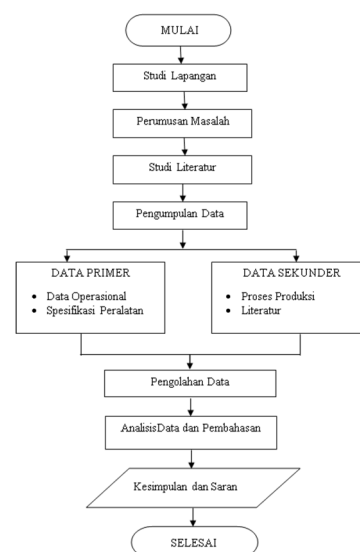
Harga-harga standar efisiensi pompa η_p diberikan dalam gambar 5. Efisiensi pompa untuk pompa-pompa jenis khusus dapat diperoleh dari pabrik pembuatnya.



Gambar 4 : Efisiensi Standar Pompa

4. Metode Penelitian

Dalam penelitian dilengkapi dengan alur pemecahan masalah, dimana alur pemecahan masalah ini menggambarkan suatu kerangka mekanisme penelitian yang dimulai dari tahap awal penelitian sampai dengan akhir penelitian. Adapun tahap penelitian digambarkan pada diagram berikut:



Gambar : 3.1 Diagram Alur Penelitian

5. Hasil dan Pembahasan

Historis Operasional Berdasarkan SR (Service Request) nomor 91596 yang dibuat pada tanggal 29 Maret 2018 tentang line cooling high pressure (camber) BWCP C bocor, dapat dilihat isi dari Service request tersebut yaitu:

GEJALA: Line cooling high pressure BWCP C Bocor (line pecah).

DAMPAK: Air pendingin di BWCP C berkurang dan berakibat suhu motor BWCP C tinggi.

TARGET: Line cooling normal kembali.

Bahwa pada kasus yang terjadi terdapat kebocoran pada line cooling high pressure BWCP C yang mengakibatkan kegagalan pada sistem BWCP tersebut. Pada saat pompa jalan, parameter sudah sesuai dengan kondisi operasi normal.

a. Analisa Gangguan

Potensial Cause Penyebab potensial kegagalan high pressure cooling sistem BWCP C adalah ketebalan material pada pipa sambungan HP (high pressure) cooling yang tidak sesuai standar. Analisa dengan diagram tulang ikan atau fishbone diagram digunakan untuk analisis permasalahan. Berikut fishbone diagram yang difungsikan untuk mengetahui penyebab kegagalan:



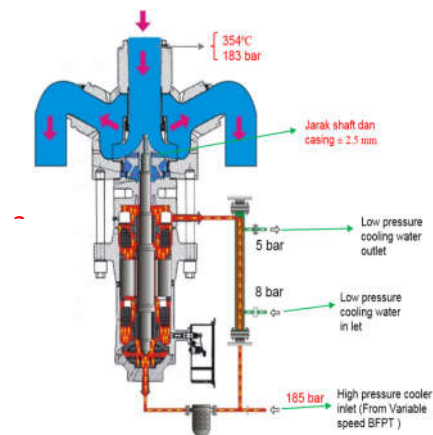
Gambar 6: Fishbone Diagram pecahnya line HP cooling sistem BWCP

b. Evaluasi Potensial Cause

BWCP berfungsi mensirkulasi air boiler dari steam drum ke *lower header down comer*. BWCP dilengkapi dengan sistem pendingin HP cooling dan LP cooling. Air pendingin HP Cooling BWCP dapat

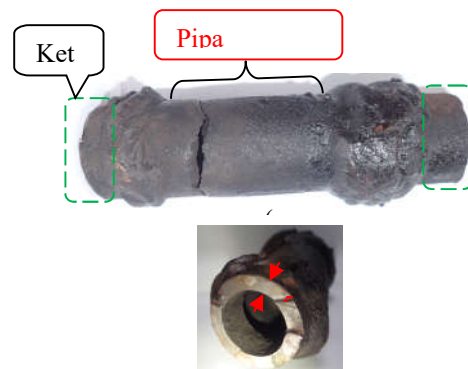
disuplai dari *Condensate Pump*, *Boiler Feed Pump* dan *Make up Pump (Emergency)*. Di dalam motor BWCP terdapat *auxiliary impeller* yang berfungsi untuk mensirkulasi HP cooling didalam belitan motor hingga *Heat exchanger (closed cycle)*. HP Cooling didinginkan oleh *Heat exchanger* melalui LP Cooling BWCP. HP cooling inilah yang berfungsi melindungi belitan rotor & stator dari penetrasi air boiler masuk ke dalam motor.

Sistem pendinginan tertutup HP cooling BWCP yang dilengkapi dengan heat exchanger seperti yang diperlihatkan pada gambar 7



Gambar 7: High Pressure

Cooling Dari hasil pengamatan pipa yang pecah didapatkan fakta bahwa pipa tersebut merupakan pipa sambungan dengan ketebalan pipa yang berbeda. Yaitu pipa dengan ketebalan 5 mm disambung dengan pipa dengan ketebalan 3 mm seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8: Sambungan pipa tidak standar

c. Perhitungan Efisiensi Terhadap Pompa Breakdown

Pengaruh jumlah pompa yang beroperasi akan berbanding lurus dengan kondisi beban (MW) unit yang dibangkitkan. Oleh karena itu perhitungan efisiensi pompa dengan kondisi beroperasi 1 pompa dan 2 pompa dihitung untuk mengetahui dampak yang apabila pompa mengalami kegagalan operasi/stop. Berdasarkan data Tabel dibawah dapat diketahui:

- Debit (Q)**

$$Q(1) = 4665 \text{ m}^3/\text{h} = 1,295 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 77,748 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q(2) = 4087 + 4087 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 2,2705 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 136,23 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Densitas (γ)**

$$= 997 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$= 9777 \text{ N}/\text{m}^3$$

$$= 9,777 \text{ KN}/\text{m}^3$$

- Head Pompa (H)**

$$= 32$$

a. Efisiensi 1 Pompa

- Daya Air (Pw)**

$$P_w = \gamma \cdot Q \cdot H$$

$$= 9,777 \text{ KN}/\text{m}^3 \cdot 1,295 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 32 \text{ m}$$

$$= 405,4091 \text{ kW}$$

- Daya poros (P)**

$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

$$\eta_p(77,748 \text{ m}^3/\text{min}) = 50 \%$$

$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

$$= \frac{405,4091 \text{ kW}}{50\%} = 405,4091 \text{ kW} \times \frac{100}{50}$$

$$= 810,8183 \text{ kW}$$

$$\eta_p = \frac{P_w}{P}$$

$$= \frac{405,4091 \text{ kW}}{810,8183 \text{ kW}} = 0,5 = 50 \%$$

b. Efisiensi 2 pompa

- Daya Air (Pw)**

$$P_w = \gamma \cdot Q \cdot H$$

$$= 9,777 \text{ KN}/\text{m}^3 \cdot 2,2705 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 32 \text{ m}$$

$$= 710,3577 \text{ kW}$$

- Daya poros (P)**

$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

$$\eta_p(136,23 \text{ m}^3/\text{min}) = 69 \%$$

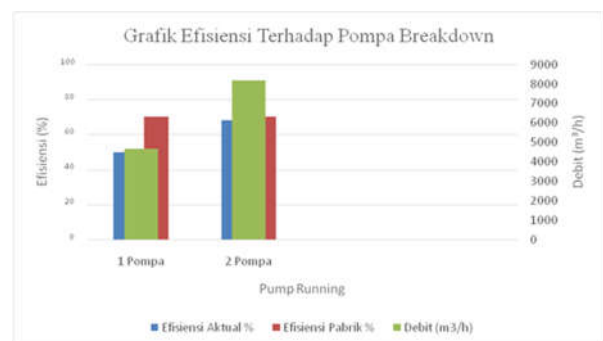
$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

$$= \frac{710,3577 \text{ kW}}{69\%} = 710,3577 \text{ kW} \times \frac{100}{69}$$

$$= 1029,504 \text{ kW}$$

$$\eta_p = \frac{P_w}{P}$$

$$= \frac{710,3577 \text{ kW}}{1029,504 \text{ kW}} = 0,6899 = 68 \%$$



Gambar 9: Grafik Efisiensi Pompa Breakdown

Gambar 9 Grafik efisiensi pompa disebabkan kebocoran pada cooling high pressure BWCP adalah ketebalan material pipa cooling yang tidak sesuai standar.

6. Kesimpulan

Kesimpulan Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Mekanisme terjadinya kebocoran yaitu pipa dengan ketebalan 5 mm disambung dengan pipa ketebalan 3 mm sehingga pipa menjadi pecah karena pipa drain tertahan pada mangkok penyalur air drain.
2. Hasil pengujian dan analisa terdapat 1 titik nomor 13 BWCP A yang nilai ketebalannya yang tidak memenuhi ijin ketebalan minimum pipa sebesar 3 mm atau 60% dari 70% minimum ketebalan yang diijinkan.
3. Pengujian ketebalan material ini sebelumnya belum pernah dilakukan secara rutin oleh pihak perusahaan.

Referensi

- [1] Anonim. PT. PJB UBJ O&M PLTU Paiton. 2008. Instruction Of Installation and Using Force Circulation Pump.
- [2] Anonim. PT. PJB UBJ O&M PLTU Paiton. 2009. Operating and Maintenance Manual, Volume I : Design Manual.
- [3] Anonim. PT. PJB UBJ O&M PLTU Paiton. 2009. Operating and Maintenance Manual, Volume II : Operation Manual.
- [4] Sularso. Haruo Tahara. 1983. Pompa & Kompresor. Bandung: PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- [5] Anonim. 2011. 38DL PLUS Ultrasonic Thickness Gage Basic Operation Manual. Olympus NDT, Inc.
- [6] Brooks, C. R dan A. Choudury. 2002. Failure Analysis of Engineering Materials. New York : McGraw-Hill.
- [7] Anonim. 2002. ASM Handbook Vol.11 Failure Analysis and Prevention. Material Park. Ohio : ASM International.
- [8] Haezer, Eben. 2016. “Analisa Kegagalan Riser Wall Tube Nomor 3 Astm A210 Grade A -1 Pada Boiler Pltu Unit 2 Pt X”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [9] Agung, Bimarum Laksamana. 2019. “Analisa Potensi Kebocoran Akibat Pengaruh Erosi Dan Water Hammer Terhadap Line 04/Swbes/04 -003 Sea Water Cooling System”. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Surabaya.
- [10] Fatah. M.C., Rafsanjani. Damiri. D.J., Rusjdi. H.,2018. “Analisa Properties Material Pipa Economizer PLTU Jateng 2 Adipala 1 x 660 MW”. Sekolah Tinggi Teknik PLN. P -ISSN: 2356 - 1513
- [11] Utama, Hafizh Daru Teguh. 2017. “Analisis Kegagalan Pada Pipa Penyalur Air Pendingin Di Pt. Holcim Tbk. Tuban”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [12] Azly, Rahmad. 2017. Cara Mengukur Ketebalan Benda Dengan Thickness Meter Digital.
- [13] Alief Rakhman. 2013, Fungsi Dan Prinsip PLTU.
- [14] Khairur Rizki Azizah. 2018, <https://wordpress.com/2018/01/19/ultra-sonic-thickness-gauge/>. Diakses pada tanggal 1 Februari 2020.