

Hubungan Antara Ketebalan Kerak Pada Pipa Pemanas Terhadap Produksi Uap Ketel Pada Kapal MT. *Camelia*

Andi Rafly¹⁾, Tony Santiko²⁾, Musriady³⁾

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Program Studi Teknika

Jln. Tentara Pelajar No. 173 Makassar, Kode Pos. 90172

*Email: andirafly@gmail.com, tony-santiko@gmail.com, musriady@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak pembentukan kerak pada pipa pemanas boiler terhadap efisiensi produksi uap di kapal MT. *Camelia*. Penelitian dilaksanakan selama 12 bulan dengan menggunakan metode kualitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara verbal dan dokumentasi tertulis, mencakup tekanan masuk dan keluar, spesifikasi boiler, data perawatan, serta catatan kerusakan boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerak yang terbentuk pada pipa pemanas cenderung meningkat seiring waktu dan menyebabkan kerugian operasional. Penumpukan kerak mengurangi diameter dalam pipa, yang pada akhirnya menyebabkan aliran fluida melambat akibat hambatan aliran. Penurunan laju aliran uap berdampak pada berkurangnya energi yang tersedia dalam fluida, sehingga menurunkan efisiensi dan kapasitas produksi uap. Temuan ini menunjukkan pentingnya pemeliharaan rutin dan pengendalian kerak untuk menjaga kinerja optimal boiler.

Kata Kunci: Ketel Uap, Kerak, Pipa Pemanas.

1. PENDAHULUAN

Transportasi laut memiliki peran yang sangat penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia sebagai negara kepulauan. Moda transportasi ini dinilai efisien untuk mendukung perdagangan antarpulau, kegiatan ekspor-impor, serta mobilisasi penduduk. Seiring dengan pesatnya perkembangan pelayaran, diperlukan pengaturan, pengawasan, dan perawatan rutin guna menjaga keselamatan serta efisiensi operasional kapal.

Salah satu fasilitas pendukung kapal yang krusial adalah sistem pipa pemanas, yang berfungsi untuk memanaskan bahan bakar atau kargo berupa minyak berat agar viskositasnya menurun, sehingga lebih mudah dipompa. Namun, permasalahan umum yang sering terjadi pada pipa pemanas adalah pembentukan kerak atau endapan mineral. Kerak ini mengganggu proses perpindahan panas serta memperlambat aliran fluida, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan efisiensi sistem.

Fenomena pembentukan kerak juga ditemukan pada boiler kapal MT. *Camelia*, di mana produksi uap mengalami penurunan akibat terbentuknya kerak pada pipa evaporator. Kerak tersebut menjadi hambatan bagi perpindahan panas, sehingga efisiensi produksi uap menurun meskipun proses pembakaran berlangsung normal. Kerak terbentuk dari pengendapan partikel mineral dalam air yang melebihi kelarutannya, terutama dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi. Akibatnya, aliran fluida terganggu, tekanan meningkat, dan risiko kerusakan pipa pun bertambah.

Penanganan kerak umumnya dilakukan dengan metode kimiawi, seperti penggunaan resin penukar ion atau zat penghambat kerak. Namun, metode ini memiliki keterbatasan,

antara lain potensi perubahan sifat kimia larutan yang dapat memengaruhi kinerja dan hasil produksi uap boiler secara keseluruhan.

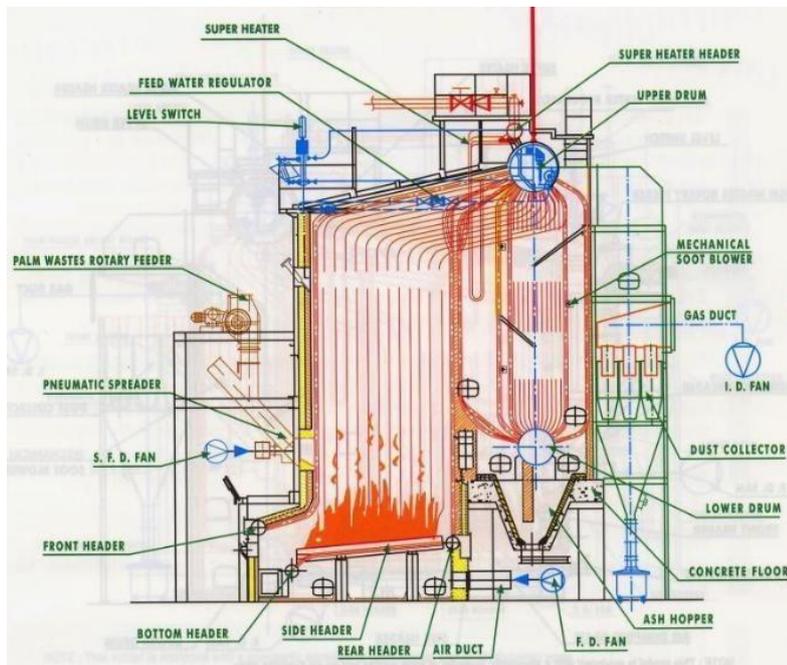
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara ketebalan kerak pada pipa pemanas dengan tingkat produksi uap pada boiler di kapal MT. *Camelia*, melalui pendekatan analisis termodinamika. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memahami sejauh mana kerak dapat memengaruhi efisiensi perpindahan panas dan volume uap yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dan teoritis, khususnya bagi taruna pelayaran, dalam memahami dampak kerak pada sistem pemanas kapal serta upaya-upaya pencegahannya.

Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada kondisi boiler di kapal MT. *Camelia* selama beroperasi di Laut Tiongkok pada tanggal 27 Juni 2023. Diharapkan, penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat bagi praktisi industri pelayaran, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik kelautan dan maritim

2. KAJIAN PUSTAKA

Pemanfaatan uap telah dikenal sejak ribuan tahun lalu. Pada abad ke-1, Hero dari Alexandria menciptakan alat berbasis uap bernama *Aeolipyle*, namun hanya sebagai hiburan. Perkembangan signifikan terjadi pada abad ke-17, ketika Giovanni Battista Porta (1606) dan Evangelista Torricelli (1643) mengembangkan prinsip tekanan atmosfer dan ruang hampa. Penemuan ini mendorong Thomas Savery mematenkan pompa vakum pada 1698, yang menjadi dasar mesin uap modern. Mesin uap pertama yang efektif diciptakan oleh Thomas Newcomen (1712), di mana uap digunakan untuk menggerakkan piston. Pada 1769, James Watt menyempurnakan mesin ini dengan menambahkan kondensor dan silinder, memicu Revolusi Industri [2].

Ketel uap adalah alat untuk menghasilkan uap dengan memanaskan air di dalam bejana tertutup menggunakan pembakaran bahan bakar. Uap yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti menggerakkan mesin utama, pemanas, atau peralatan bantu di kapal [3].



Gambar 1 Bagian - Bagian Boiler

1) Jenis-Jenis Ketel Uap

- a) Ketel Pipa Api, Gas panas mengalir melalui pipa yang dikelilingi air, memanaskan air hingga menghasilkan uap.
- b) Ketel Pipa Air, Air mengalir melalui pipa yang dikelilingi oleh gas panas. Jenis ini lebih efisien dan modern dibandingkan ketel pipa api.

2) Fungsi Ketel Uap

Ketel uap memiliki fungsi utama berdasarkan penggunaannya di kapal [5].

- a) Ketel Induk, Menghasilkan uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan mesin utama.
- b) Ketel Bantu, Digunakan untuk menghasilkan uap bagi sistem pemanas, pompa, dan peralatan pendukung lainnya.

3) Bagian-Bagian Ketel Uap

- a) Komponen Utama, Terdiri dari main steam drum sebagai tempat pengumpulan uap, superheater untuk menghasilkan uap kering, economizer untuk memanaskan air umpan, dan oil burner untuk pembakaran bahan bakar [6].
- b) Komponen Bantu, Termasuk force draft fan untuk memasok udara ke ruang bakar dan induce draft fan untuk membuang gas hasil pembakaran [8].
- c) Pendukung Sistem, Meliputi deaerator untuk menghilangkan gas terlarut dalam air, pemanas air umpan, dan sistem blowdown untuk menjaga kualitas air boiler [9].

4) Esensi Ketel Uap yang Baik

Ketel uap yang baik harus mampu menghasilkan uap secara efisien dengan bahan bakar yang minimal [10]. Desainnya harus ringan, hemat tempat, mudah dirawat, dan dapat beradaptasi dengan beban yang berubah-ubah. Selain itu, ketel harus memiliki toleransi terhadap korosi dan endapan, serta memungkinkan sirkulasi panas dan air yang optimal.

5) Proses Penyerapan Panas

Panas dalam ketel uap diserap melalui tiga cara:

- a) Radiasi, Panas berpindah melalui gelombang elektromagnetik dari nyala api ke permukaan yang dipanaskan.
- b) Konveksi, Panas berpindah melalui gerakan molekul gas atau cairan.
- c) Konduksi, Panas berpindah melalui kontak langsung antar permukaan padat.

6) Pemilihan Ketel Uap

Pemilihan ketel uap didasarkan pada kebutuhan daya, tekanan kerja, lokasi, ketersediaan bahan bakar, dan efisiensi sistem [1]. Hal ini memastikan ketel yang digunakan sesuai dengan kebutuhan operasional.

a. Tinjauan Umum Tentang Uap

1) Pengertian Uap

Uap adalah fase gas dari air yang terbentuk saat air dipanaskan hingga titik didih. Uap digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama sebagai sumber energi termal. Keunggulan uap antara lain efisiensi, biaya produksi rendah, mudah didistribusikan, serta fleksibel untuk berbagai keperluan [12].

2) Proses Pembentukan Uap

- a) Fase Padat, Air dalam bentuk es mulai mencair pada 0°C karena energi panas memutus ikatan molekul.
- b) Fase Cair, Molekul bergerak lebih bebas, dan suhu meningkat hingga mencapai titik didih.
- c) Fase Gas, Molekul dengan energi tinggi berubah menjadi uap pada suhu titik didih, menghasilkan uap basah (wet steam) yang akhirnya menjadi uap jenuh (saturated steam) saat semua air menguap. Pemanasan lanjutan menghasilkan uap superpanas (superheated steam) [13].

3) Uap Jenuh dan Uap Superpanas

- a) Uap Jenuh, Dalam kesetimbangan dengan air, suhu dan tekanan seragam, serta dapat mengembun jika didinginkan.
- b) Uap Superpanas, Suhnya lebih tinggi dari titik didih, tidak dalam kesetimbangan dengan air, dan tidak mengembun meskipun didinginkan.

4) Fungsi Uap di Kapal

Uap dimanfaatkan untuk memanaskan bahan bakar, tangki penyimpanan, pemanas sirkulasi mesin, serta kebutuhan operasional lainnya.

b. Tinjauan Umum Tentang Kerak

1) Pembentukan Kerak pada Boiler [3]

a) Definisi Kerak: Deposit keras akibat endapan mineral seperti kalsium karbonat dan silika. Kerak mempersempit aliran fluida, menghambat perpindahan panas, dan menurunkan efisiensi.

b) Penyebab Utama: Air keras yang mengandung kalsium dan magnesium, serta zat terlarut lainnya.

c) Dampak Kerak: Isolasi panas, peningkatan suhu logam, dan potensi kegagalan pipa akibat overheating.

2) Pengelolaan Air Boiler

a) Pengolahan Internal: Penambahan zat kimia untuk mengendapkan mineral dan memudahkan pembuangan lumpur melalui blowdown.

b) Pengolahan Eksternal: Melibatkan demineralisasi, pertukaran ion, dan osmosis balik untuk menghilangkan mineral dan gas terlarut dari air umpan.

3) Pencegahan Kerak

Pendekatan preventif meliputi pemilihan metode pengolahan air yang tepat, pemantauan kualitas air secara rutin, dan konsultasi dengan spesialis untuk menentukan teknik terbaik sesuai kondisi operasi.

Pemahaman mendalam tentang uap dan pengelolaan kerak sangat penting dalam menjaga efisiensi dan keandalan sistem boiler, baik di kapal maupun dalam aplikasi industri [5].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan antara metode lapangan dan studi pustaka untuk menganalisis fenomena pembentukan kerak pada boiler kapal MT. *Camelia*. Penelitian lapangan dilakukan melalui observasi langsung terhadap sistem boiler kapal guna memperoleh data primer, seperti suhu, tekanan, durasi operasional, serta catatan pemeliharaan. Data-data tersebut memberikan gambaran spesifik mengenai faktor-faktor yang memengaruhi terbentuknya kerak serta efisiensi operasional sistem boiler.

Di samping itu, penelitian pustaka dilakukan untuk memperkuat analisis dengan merujuk pada literatur teknis, manual operasional, serta hasil studi terdahulu yang relevan. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan landasan teoritis dalam memahami mekanisme pembentukan kerak dan strategi pengendaliannya.

Analisis dilakukan secara deskriptif untuk mengidentifikasi hubungan antara kinerja boiler dan pembentukan kerak. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan dampak kerak terhadap efisiensi perpindahan panas dan konsumsi energi. Dengan memadukan data primer dan sekunder, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh parameter operasional, seperti komposisi air, suhu, dan tekanan, terhadap intensitas pembentukan kerak.

Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai strategi pemeliharaan yang efektif serta prosedur operasional yang dapat diterapkan untuk mengendalikan pembentukan kerak, sehingga dapat meningkatkan efisiensi kerja dan memperpanjang masa pakai boiler.

4. HASIL PENELITIAN

PT. Megaport Shipmanagement Pte. Ltd. adalah perusahaan pelayaran internasional dengan pengalaman hampir 50 tahun di bidang angkutan kapal tanker. Perusahaan ini memiliki tiga kapal, yaitu MT. ANTARES, MT. STARSHIP, dan MT. CAMELIA. Kapal terakhir, MT. CAMELIA, adalah kapal jenis chemical tanker kelas II/III dengan mesin Hitachi Zosen-Man B&W 6 S35MC Mk7, yang diluncurkan pada 6 Januari 2007 dan mulai beroperasi pada 16 April 2007. Kapal ini dibeli pada tahun 2001 dari perusahaan di Bangladesh, tepat setahun sebelum proyek laut saya dimulai.

Tabel 1. Spesifikasi Boiler

Merk	Miura
Tipe	Horizontal smoke tube vertical composite MKSC22- 1000/1000
Jumah	1
Kapasitas	10 Ton
Tekanan	8,5 Bar
Berat	21.7 Ton
Tahun pembuatan	2007

Tabel 2. Pengujian pH Air Boiler

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Ph</i>	<i>Maintenance</i>
<i>19 April 2023</i>	<i>At Sea</i>	<i>Normal 11,0</i>	<i>Maintain Current Daily</i>

20 mei 2023	<i>Anchorage at singapore</i>	<i>Hig h 13, 2</i>	<i>Give a chemical and do blowdown</i>
20 juni 2023	<i>Stbyarrival at china</i>	<i>Nor ma l 11, 2</i>	<i>Maintain currentdaily dosage</i>
22 juli 2023	<i>At sea</i>	<i>Low 7,3</i>	<i>Give a chemical to the daily tank</i>

Sumber : Log Book MT. Camelia

1) Normal

Pada kadar pH normal dilakukan beberapa cara yang pertama di lakukan pemeliharaan secara rutin dengan memberikan boiler water treatment pada tangki cascade dengan perbandingan 1 : 1000 sedangkan pada tangki condensate di berikan condensate water treatment dengan perbandingan 1 : 50

2) Low

Pada kadar pH low akan dilakukan pemberian cairan kimia secara teratur dan mengikuti panduan dari buku manual yaitu dengan perbandingan 1 : 1000 sedangkan pada tangki condensate di berikan condensate water treatment dengan perbandingan 1 : 50.

3) High

Apabila kadar pH air boiler mengalami keadaan ini akan dilakukan 2 cara yang pertama pemberian cairan kimia dan blowdown, blowdown itu sendiri adalah carang yang sangat efektif untuk menyelesaikan masalah ini dengan melakukan drain pada air boiler baik itu pada tangki cascade/condensate maupun pada air yang berada dalam boiler agar dapat mengurangi korosi pada pipa.

a. Sistem Pengoperasian Pada Boiler

1) Prosedur Pengisian Air Umpan

- a) Pastikan katup dan sistem pompa terbuka serta berfungsi normal.
- b) Aktifkan pompa umpan secara otomatis, nyalakan lampu pilot, dan periksa tekanan serta indikasi kebocoran.

2) Ventilasi Udara Sistem Sirkulasi Bahan Bakar

- a) Buka semua katup bahan bakar dan ventilasi udara untuk mengeluarkan udara terperangkap.

- b) Periksa suhu, tekanan, dan kebocoran pada sistem bahan bakar serta pastikan pompa dan kipas bekerja baik.
- 3) Prosedur Pembakaran
 - a) Nyalakan pembakaran setelah memastikan suhu bahan bakar cukup dan unit siap.
 - b) Pantau kualitas api, warna asap, dan getaran, lalu buka katup uap secara perlahan.
- 4) Prosedur Pemadaman
 - a) Tingkatkan tekanan uap, matikan pembakaran, dan buang air di permukaan.
 - b) Tutup katup utama, periksa level air dan minyak, lalu matikan sistem dengan aman.
- b. Syarat Kebutuhan Air untuk Boiler

Berdasarkan hasil inspeksi air boiler (normal) dan manual instruksi:

- 1) Tidak boleh ada endapan yang keras dan lengket.
- 2) Jenis garam dalam air harus dijaga pada konsentrasi minimal.
- 3) Tidak boleh ada gas penyebab korosi dalam air.
- 4) pH air tidak boleh terlalu tinggi hingga merusak material baja.

Berikut adalah standar kriteria pengujian untuk menghilangkan bahan berbahaya dari air umpan boiler:

- 1) Hasil uji pH: 11,2–12,2
 - 2) Hasil uji hidroksida: 0,003–0,10 ppm
 - 3) Hasil uji fosfat: 20–40 ppm
 - 4) Hasil uji P-alkalinitas: 100–150 ppm
 - 5) Hasil uji T-alkalinitas: 100–150 ppm
 - 6) Hasil uji klorida: 50–300 ppm
- c. Hubungan Antara Produksi Uap pada Boiler di MT. Camelia dengan Ketebalan Kerak pada Pipa Pemanas

Kerak pada pipa pemanas boiler merupakan salah satu masalah utama yang memengaruhi efisiensi produksi uap. Kerak, yang sering terdiri dari senyawa seperti CaCO_3 atau MgCO_3 , terbentuk dari mineral terlarut dalam air boiler. Proses pengendapan ini terjadi ketika uap melewati pipa pemanas, sehingga partikel mineral menempel di dinding pipa dan membentuk lapisan keras. Akumulasi kerak menghambat aliran fluida, mengurangi diameter efektif pipa, dan menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas.

Gambar 2 Kerak Pada Boiler



Sumber : MT. Camelia

Ketebalan kerak secara langsung memengaruhi transfer energi dari gas panas ke air atau uap. Kerak bertindak sebagai isolator termal yang menghalangi konduksi panas, mengurangi kemampuan pipa untuk memanaskan fluida. Misalnya, pipa pemanas yang seharusnya mentransfer panas hingga 600°C mungkin kehilangan hingga 100°C karena adanya kerak. Pada kondisi lebih buruk, lapisan kerak tebal dapat menurunkan kapasitas perpindahan panas hingga setengahnya, sehingga menurunkan produksi uap secara signifikan dan meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Selain itu, kerak memicu korosi pada pipa boiler, terutama jika air yang digunakan berasal dari penyulingan air laut. Komponen seperti MgCl_2 , CaSO_4 , atau NaCl yang tersisa dalam air boiler berkontribusi pada pembentukan kerak dan mempercepat kerusakan dinding pipa. Kerusakan ini menciptakan risiko overheating karena penghalang aliran fluida, meningkatkan tekanan di dalam pipa, dan memicu kegagalan mekanis seperti kebocoran atau ledakan pada boiler. Akibatnya, selain kehilangan efisiensi, risiko keselamatan operasional kapal juga meningkat.

5. PENUTUP

Berdasarkan temuan penelitian, peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kerak pada pipa pemanas boiler terbentuk akibat kandungan mineral seperti kalsium sulfat dalam air laut, yang menumpuk dan mempersempit diameter pipa jika tidak dirawat.
- b. Ketebalan kerak yang meningkat mengurangi efisiensi perpindahan panas, menurunkan produksi uap, dan meningkatkan konsumsi bahan bakar.
- c. Penumpukan kerak juga menyebabkan korosi, melemahkan struktur logam, dan meningkatkan risiko kerusakan pada pipa.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, tindakan pencegahan berikut direkomendasikan untuk mengurangi pembentukan kerak pada boiler:

- a. Lakukan blowdown secara rutin dan gunakan perawatan air boiler untuk mencegah kerak.
- b. Terapkan perawatan eksternal, seperti filtrasi dan demineralisasi, serta perawatan internal menggunakan descaler berbasis fosfat dan agen anti-korosi dengan rasio larutan 1000:1 untuk tangki cascade dan 50:1 untuk tangki kondensat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Asnawati. (2001). Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. Jurnal Ilmu Dasar. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jtm/article/view/4859>
<https://adoc.tips/queue/asnawati-staf-pengajar-jurusan-kimia-fakultas-mipa-universit.html> (diakses pada tanggal 07 maret 2020).
- [2].Anonim.(2018) Masalah-masalah Pada Boiler. <https://bahankimiaboiler.banyubiruberkahsejati.co.id/masalah-masalah-pada-boiler/>. (diakses pada tanggal 15 April 2020).
- [3]. Bhatia,A. (2003). Coolong Water Problems and solutions, Contitunuing Education and Developtment, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. <https://www.boiler.co.id/pengertian-boiler/,com> (diakses pada tanggal 05 Maret 2020).
- [4]. Buhani, Sudarso. (2015). Penanggulangan Kerak Edisi 2. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [5]. Burhanuddin Aan. Ketel Uap (Steam Boiler). UPGRI, Semarang. CherryAdam. (2021). Boiler Overheating: Causes, Signs & How to Fix It. <https://www.boilerguide.co.uk/articles/boiler-overheating-causes-signs-fix>. (diakses pada tanggal 10 April 2022).
- [6]. Eonchemicals Biographical Info. Boiler Water Treatment Untuk Pencegahan Masalah. <https://www.eonchemicals.com/artikel/boiler-water-treatment> . (diakses pada tanggal 11 Februari 2022).
- [7].Eonchemicals Biographical Info. Masalah Scale Boiler. <https://www.eonchemicals.com/solusi/problem-scale-boiler/>. (diakses pada tanggal 11 Februari 2022).
- [8].Eonchemicals Biographical Info. Bebebrapa Problem Boiler. <https://www.eonchemicals.com/solusi/problem-boiler/>. (diakses pada tanggal 11 Februari 2022).
- [9].Johan Ir Jusak, (2016). Ketel uap d.an turbin uap, edisi 3. <https://onesearch.id/Record/IOS3729.ai:slims-19074> (diakses pada tanggal10 Maret 2020).
- [9] Novianto Andi. (2018). Pengamatan Terjadinya Kerak CuCO₃ Pada KetelUap Traksi Vol.18 No.1

- [10]. Sulaiman. (2007). Pencegahan Korosi Dengan Boiler Water Treatment (BWT) Pada Ketel Uap Kapal Vol.4 No.1.
- [11]. Subagyo Rahmat. (2018). Sistem Pembangkit Dan Turbin Uap. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Winarto Soendon. Penghematan Energi Pada Sistem Boiler. Forum Teknologi Vol.04 No.2.
- [12]. Yohana dan Askhabul. (2009). Boiler mengubah energi-energi dengan bahan bakar kayu Jenis uap.
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://media.neliti.com/media/publications/111335-ID-perancangan-boiler-pipa-api-untuk-perebu.pdf>.
(diakses pada tanggal 05 Maret 2022) .