

Analisis Terjadinya *Flame Failure* pada *Burner Auxiliary Boiler* di Kapal MV. Sky Free

Muhammad Ichsan Purnama^{1*}, Iksan Saifudin², Kris Wanto³, Aris Jamaan⁴, Stevian Geerbel Adrianes Rakka⁵

^{1,2,3,4,5}Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara, Indonesia

Alamat: Jl. Trans Sulawesi, Desa Tawaang Timur, Kec. Tenga, Kab. Minahasa Selatan, Sulawesi Utara

Korespondensi penulis: purnamaichsan70@gmail.com*

Abstract. Boilers are auxiliary aircraft on ships that function to produce steam to support the performance of machinery that requires steam to operate. On the ship where the author practices, flame failure often occurs in the auxiliary boiler burner so that ship operations are disrupted. The purpose of this research is to find out what are the causes of flame failure in the auxiliary boiler burner, the impact caused, and the efforts made to overcome these problems. This research uses a qualitative descriptive method to obtain information / data from the occurrence of flame failure on the auxiliary boiler burner on the MV. Sky Free. Data collection techniques were carried out by observation, interview, and documentation. From the results of the study it is known that the causes of flame failure in the burner are dirty nozzles and filters on the nozzle, carbon buildup in the combustion head and furnace, and the distance between ignition electrodes that are too tenuous. The impact of the flame failure is a decrease in steam production which results in low fuel temperatures and not optimal main engine jacket water pre-heater so that ship operations are disrupted. Efforts to overcome flame failure in the burner are to maintain the fuel system leading to the boiler, burner components, and boiler combustion chamber routinely, and to readjust the electrode distance according to the manual book.

Keywords: Auxiliary Boiler, Burner, Flame Failure

Abstrak. Boiler merupakan pesawat bantu di kapal yang berfungsi untuk memproduksi steam guna menunjang kinerja permesinan yang membutuhkan steam untuk dapat beroperasi. Di kapal tempat penulis praktik sering terjadi *flame failure* pada *burner auxiliary boiler* sehingga kegiatan operasional kapal terganggu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apa saja penyebab terjadinya *flame failure* pada *burner auxiliary boiler*, dampak yang ditimbulkan, dan upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif untuk memperoleh informasi/data dari kejadian *flame failure* pada *burner auxiliary boiler* di kapal MV. Sky Free. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi, wawancara, dan dokumentasi. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penyebab terjadinya *flame failure* pada *burner* adalah kotornya *nozzle* dan *filter* pada *nozzle*, penumpukan karbon pada *combustion head* dan *furnace*, serta jarak antar *ignition electrode* yang terlalu renggang. Dampak yang ditimbulkan dari *flame failure* tersebut adalah menurunnya produksi steam yang berakibat pada temperatur bahan bakar menjadi rendah dan tidak optimalnya *main engine jacket water pre-heater* sehingga kegiatan operasional kapal menjadi terganggu. Upaya untuk mengatasi *flame failure* pada *burner* adalah dilakukannya perawatan terhadap sistem bahan bakar yang menuju ke boiler, komponen burner, dan ruang bakar boiler secara rutin, serta dilakukan penyetelan ulang jarak elektroda sesuai dengan manual book.

Kata kunci: Auxiliary Boiler, Burner, Flame failure

1. LATAR BELAKANG

Boiler merupakan salah satu pesawat bantu untuk memproduksi steam di atas kapal yang peranannya sangat vital di kapal. *Boiler* di kapal MV. Sky Free merupakan boiler pipa air, yang sistem kerjanya memanaskan air ketel yang berada pada pipa-pipa oleh gas buang mesin induk disaat sedang beroperasi maupun dari *burner* disaat kapal sedang sandar atau berlabuh. Steam hasil dari boiler tersebut digunakan untuk memanaskan bahan bakar MFO, pemanas tangki-tangki bahan bakar dan minyak lumas, pemanas awal air

pendingin mesin induk, dan kebutuhan akomodasi lainnya. Pada saat penulis melaksanakan praktik laut sering terjadi permasalahan pada *burner auxiliary boiler*. *Burner auxiliary boiler* di kapal MV. Sky Free sering mengalami *flame failure*, permasalahan tersebut jika tidak segera diatasi dapat menyebabkan produksi uap terganggu sehingga kegiatan operasional kapal terganggu, maka dari itu penulis tertarik untuk membuat penelitian dengan judul “Analisis Terjadinya *Flame failure* Pada *Burner Auxiliary Boiler* di Kapal MV. SKY FREE”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apa yang menyebabkan *flame failure* pada *burner*, dampak yang ditimbulkan akibat kejadian tersebut, dan upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi *flame failure* pada *burner auxiliary boiler*.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengertian Boiler

Menurut Yuliyani dalam Putri (2022) *boiler* merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan air untuk menghasilkan uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Air tersebut berada didalam bejana tertutup yang dipanaskan menggunakan gas panas hasil pembakaran bahan bakar. Handoyo (2015) menambahkan bahwa uap bertekanan (*steam*) yang dihasilkan oleh *boiler* mempunyai tekanan lebih dari 1 atmosfer atau 1 bar. Uap yang mempunyai tekanan lebih dari 1 bar akan mempunyai energi panas yang cukup besar sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan di kapal seperti pemanas bahan bakar MFO, pemanas tangki-tangki bahan bakar maupun minyak lumas, pemanas awal air pendingin mesin induk, dan kebutuhan akomodasi lainnya.

Pengertian Burner

Burner merupakan komponen pada *boiler* yang bekerja dengan cara membakar campuran antara bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar *boiler* untuk menghasilkan sumber api. Di dalam ruang bakar tersebut terjadi proses pembakaran pada *boiler*.

Bahan Bakar Burner

Berikut adalah jenis bahan bakar yang digunakan untuk *burner auxiliary boiler* di kapal MV. Sky Free :

1. *Marine Fuel Oil* (M.F.O)

Marine Fuel Oil (MFO) merupakan bahan bakar minyak berat hasil dari penyulingan minyak mentah. Bahan bakar MFO mempunyai tingkat kekentalan

(*viscosity*) yang tinggi dan masih mengandung banyak kotoran, maka dari itu bahan bakar ini tidak dapat diaplikasikan secara langsung melainkan harus melalui proses *treatment* guna menurunkan tingkat kekentalannya dan memisahkannya dari lumpur/kotoran dan air. Dari segi ekonomi bahan bakar MFO lebih murah daripada bahan bakar MDO.

2. *Marine Diesel Oil* (M.D.O)

Bahan bakar MDO merupakan bahan bakar distilasi yang mengandung fraksi berat atau campuran bahan bakar fraksi berat dan fraksi ringan yang berwarna hitam. Bahan bakar ini mempunyai tingkat viskositas yang rendah sehingga tidak perlu dipanaskan untuk digunakan.

Sistem Kerja *Burner*

Sistem pembakaran pada *burner* dimulai dari bahan bakar pada *service tank* yang dipompa oleh *FO Feed Pump* dengan tekanan 40 bar menuju ke *burner*. Sebelum menuju ke *burner*, bahan bakar melalui *oil gas separator* terlebih dahulu untuk dipisahkan kandungan gas yang terdapat dalam bahan bakar. Kemudian setelah sampai di *burner* bahan bakar dipanaskan oleh *heater* elektrik hingga temperatur bahan bakar berkisar antara 95-105°C. Ketika *burner* dioperasikan *blower* dan *oil pump* akan beroperasi, *blower* akan menghasilkan udara untuk pembilasan udara dalam ruang bakar selama 30 detik. Kemudian *ignition electrode* memantikkan listrik sehingga muncul percikan api selama 15 detik, setelah itu *solenoid valve* secara otomatis terbuka dan *oil pump* memompa bahan bakar dengan tekanan 20-25 bar menuju ke *nozzle* untuk dikabutkan. Kemudian terjadilah pembakaran dalam ruang bakar guna memanaskan air dalam ketel. Selama pembakaran berlangsung *flame eye* akan mendeteksi adanya pembakaran di ruang bakar.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif kualitatif. Menurut Kristianti (2023) penelitian deskriptif merupakan penelitian yang dilakukan terhadap suatu objek atau kondisi dengan tujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis, aktual, dan akurat mengenai fakta-fakta yang diselidiki. Menurut Abdussamad (2021) penelitian kualitatif merupakan jenis penelitian yang analisis datanya lebih menekankan pada proses penyimpulan deduktif dan induktif serta dinamika hubungan antar fenomena yang diamati, dengan menggunakan logika. Pendekatan kualitatif menampilkan prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif, dalam hal ini peneliti menafsirkan dan menjelaskan data-

data yang didapat peneliti dari observasi (pengamatan), wawancara, dan dokumentasi. Sehingga didapatkan jawaban dari permasalahan dengan rinci dan jelas. Dalam penelitian ini peneliti bermaksud untuk mengungkap penyebab, dampak yang ditimbulkan, dan upaya untuk mengatasi *flame failure* pada *burner auxiliary boiler*. Penelitian ini dilakukan di *engine room* kapal MV. Sky Free pada tanggal 27 September 2023 – 4 Mei 2024 yang dimana pada rentang waktu tersebut *burner auxiliary boiler* sering mengalami *flame failure* dan lebih tepatnya pada saat kapal sedang sandar atau berlabuh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyebab Terjadinya *Flame failure* Pada Burner

Berdasarkan hasil observasi, terjadinya *flame failure* pada *burner auxiliary boiler* di kapal MV. Sky Free disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

a. Kotornya *filter* pada *nozzle*

Bahan bakar yang digunakan pada *burner auxiliary boiler* di kapal MV. Sky Free menggunakan jenis MFO, yang tentunya bahan bakar tersebut mengandung lumpur dan dapat mengakibatkan *filter* pada *nozzle* kotor apabila tidak dilakukannya perawatan yang rutin terhadap sistem bahan bakar pada *burner*. Sebelum masuk ke *burner*, bahan bakar sudah melewati proses purifikasi dan melewati beberapa *filter*. Namun kurangnya perawatan pada *filter* bahan bakar menyebabkan kotoran pada bahan bakar tidak dapat tersaring dengan baik sehingga *filter* pada *nozzle* dipenuhi dengan kotoran-kotoran bahan bakar dan menyebabkan proses pengabutan bahan bakar kurang optimal.

b. Terdapatnya penumpukan karbon pada *combustion head* dan *furnace*

Penumpukan karbon pada *combustion head* ini disebabkan karena tekanan bahan bakar yang kurang sehingga bahan bakar yang dikabutkan tidak terbakar dengan baik sehingga membeku dan dapat menumpuk dalam waktu yang lama. Berdasarkan kejadian penulis, saat itu kondisi *nozzle* terdapat lelehan bahan bakar yang memadat, pada *diffuser disc* banyak terdapat karbon yang menempel dan di depan *diffuser disc* terdapat karbon yang membeku hingga menutup ruang bakar. Tumpukan karbon tersebut yang mengakibatkan *boiler* mati. Selain itu tumpukan karbon jika terbakar kembali dapat mengakibatkan gas buang berwarna hitam dan menimbulkan pencemaran.

c. Jarak antar *ignition electrode* yang terlalu renggang

Jarak antar *ignition electrode* bisa merenggang dengan sendirinya akibat dari renggangnya pengikat elektroda yang disebabkan karena getaran-getaran pada *burner* saat beroperasi, selain itu bisa juga terjadi ketika membersihkan elektroda terlalu kuat sehingga jarak menjadi renggang. Jarak antar *ignition electrode* yang tidak sesuai dapat mengakibatkan tidak terbentuknya percikan api pada *electrode*. Tidak adanya percikan api pada *electrode* maka *burner* tidak dapat melakukan pembakaran. Karena salah satu unsur segitiga api adalah panas dan panas tersebut berasal dari percikan *ignition electrode*. Berikut adalah gambar renggangnya jarak antar elektroda ketika terjadi *flame failure*.



Gambar 1. Jarak elektroda yang renggang

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Dampak Terjadinya *Flame failure* pada *Burner*

Terjadinya *flame failure* pada *burner* menyebabkan produksi *steam* terganggu, permesinan yang membutuhkan *steam* untuk beroperasi juga tidak bekerja secara optimal. Seperti yang sudah terjadi di kapal MV. Sky Free, terjadinya *flame failure* pada *burner* menimbulkan beberapa dampak yang diakibatkan, antara lain :

a. Temperature bahan bakar menjadi rendah

Bahan bakar MFO merupakan bahan bakar utama di kapal MV. Sky Free. Bahan bakar MFO ini mempunyai nilai kekentalan yang tinggi daripada MDO sehingga dalam penyimpanan maupun penggunaannya harus dengan suhu yang tinggi. Semua *heater* bahan bakar di kapal MV. Sky Free bekerja dengan memanfaatkan *steam* dari *boiler*. Tidak terdapatnya produksi *steam* menyebabkan dinginnya temperatur bahan bakar pada tangki dan *heater* bahan bakar tidak berfungsi sehingga mengakibatkan bahan bakar kental. Nilai kekentalan bahan bakar yang harus dicapai antara 12-14 Cst dan temperatur bahan bakar pada *settling tank* harus 80-90 °C serta pada *service tank* 90 °C. Sedangkan saat terjadi *flame failure* pada *boiler* temperatur *settling tank* turun

hingga 60 °C dan 70 °C pada *service tank*. Selain itu FO purifier juga tidak dapat dioperasikan karena purifier hanya dapat beroperasi jika temperatur bahan bakar mencapai 90 °C. Mesin induk dan generator pun juga tidak dapat berfungsi jika temperatur bahan bakar rendah dan tingkat kekentalannya tinggi, sehingga harus menggunakan bahan bakar MDO. Jika bahan bakar MDO ini digunakan dalam jangka waktu yang lama dapat merugikan perusahaan dan pen-*charter*, karena dari segi ekonomi bahan bakar MDO lebih mahal daripada MFO.

b. Tidak optimalnya kinerja *M/E jacket water pre-heater*

Selain heater bahan bakar, *M/E jacket water pre-heater* juga memanfaatkan *steam* untuk dapat beroperasi. *M/E jacket water pre-heater* ini berfungsi untuk menjaga temperatur *jacket cooling main engine* tetap hangat saat tidak dioperasikan. Temperatur pada *jacket cooling main engine* harus dijaga pada suhu 65-75 °C. Terjadinya *flame failure* pada *burner auxiliary boiler* ini mengakibatkan kinerja dari *M/E jacket water pre-heater* menjadi tidak optimal, saat itu suhu *jacket cooling* hanya mencapai 48 °C. Sering terjadinya *flame failure* pada *burner* mengakibatkan tidak stabilnya temperatur pendingin *main engine* dan berdampak pada kebocoran *jacket cooling main engine*.

Upaya Untuk Mengatasi *Flame failure* Pada Burner

Setelah diketahui penyebab terjadinya *flame failure* pada *burner*, maka kita dapat mengatasi permasalahan tersebut. Berikut adalah upaya yang dilakukan untuk mengatasi *flame failure* pada *burner* :

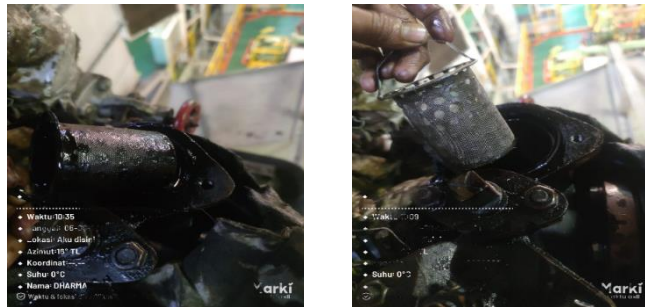
a. Upaya yang dilakukan pada sistem bahan bakar *boiler*

Sebelum membersihkan *filter* pada *nozzle*, sebaiknya dilakukan perawatan pada sistem bahan bakar yang menuju ke *boiler*. Terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kotorannya *filter* pada *nozzle*, antara lain :

1) Perawatan *filter* bahan bakar yang terdapat pada sistem bahan bakar *boiler*

Sebelum masuk ke *burner* bahan bakar melewati *filter* yang ada pada *feed pump* dan *oil pump burner*. Perawatan ini dilakukan untuk memeriksa kondisi *filter*, jika *filter* rusak maka segera diganti dengan *sparepart* yang ada karena jika hal ini dibiarkan terlalu lama maka kotoran yang masih tersisa pada *service tank* akan lolos dari *filter* sehingga kotoran akan menumpuk di *nozzle*. Jika kondisi *filter* kotor, maka sebaiknya segera dibersihkan karena hal tersebut akan mengakibatkan aliran bahan bakar tidak lancar dan tekanan pompa menjadi

berkurang. Perawatan ini harus dilakukan secara rutin agar kotoran-kotoran bahan bakar dapat tersaring dengan baik sehingga pembakaran bahan bakar sempurna.



Gambar 2. Filter pada FO supply pump boiler sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dibersihkan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

2) Penceratan pada *service tank*

Berdasarkan hasil wawancara penulis dengan masinis 4, tangki *service* bahan bakar harus rutin dicerat untuk mengeluarkan air yang masih bercampur dengan bahan bakar selain itu juga untuk mengeluarkan endapan lumpur pada bahan bakar dan mencegah lumpur tersebut mengeras di dalam tangki. Penceratan ini dilakukan setiap empat jam sekali untuk mencegah bercampurnya bahan bakar dengan air dan lumpur. Penceratan ini dapat menjadi alternatif untuk mengurangi kotorannya *filter* bahan bakar.

3) Perawatan terhadap purifier

Pada dasarnya fungsi dari purifier adalah untuk memisahkan bahan bakar dari kotoran maupun air. Perawatan terhadap purifier ini harus dilakukan secara berkala sesuai manual book agar bahan bakar yang dipindahkan ke *service tank* dalam keadaan yang bersih dari air maupun lumpur.

4) *Flushing* saluran bahan bakar menggunakan MDO

Pemakaian bahan bakar pada *boiler* yang biasanya memakai MFO, setiap pembakaran awal maupun sebelum *burner* dimatikan bahan bakar diganti menggunakan MDO selama ± 15 menit. Hal tersebut menurut masinis 4 dapat berfungsi untuk membersihkan saluran bahan bakar dari sisa-sisa kotoran bahan bakar MFO.

5) Perawatan pada *nozzle* dan *filter*-nya

Perawatan terhadap *nozzle* harus dilakukan secara rutin agar kejadian *flame failure* ini tidak terjadi berulang-ulang. Perawatan ini dapat dilakukan setiap kapal jalan, karena pada saat itu media pemanas *boiler* menggunakan gas buang dari mesin induk sehingga kegiatan perawatan tidak mengganggu produksi *steam*. Sebelum *nozzle* dan *filter nozzle* dibersihkan periksa terlebih dahulu kondisinya apabila sudah tidak layak pakai sebaiknya diganti dengan sparepart yang baru dan apabila masih layak pakai dapat dibersihkan menggunakan MDO dan disemprot menggunakan angin bertekanan.



Gambar 3. Kondisi *nozzle* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dibersihkan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

b. Upaya yang dilakukan terhadap penumpukan karbon pada *combustion head* dan *furnace*

Penumpukan karbon pada *combustion head* ini pada dasarnya disebabkan karena tekanan bahan bakar yang kurang dan upaya untuk mengatasi permasalahan terkait bahan bakar sudah dijelaskan di atas. Kondisi *combustion head* yang penuh dengan penumpukan karbon tersebut harus segera dibersihkan. Penggunaan bahan bakar MDO selain untuk *flushing* saluran bahan bakar pada *boiler* dapat berfungsi juga untuk mengurangi karbon-karbon yang menempel pada *furnace*. Perawatan terhadap *combustion head* dan *furnace* harus selalu diperhatikan untuk menghindari keluarnya asap hitam pada gas buang *boiler* dan mengurangi terjadinya *flame failure* pada *burner*.

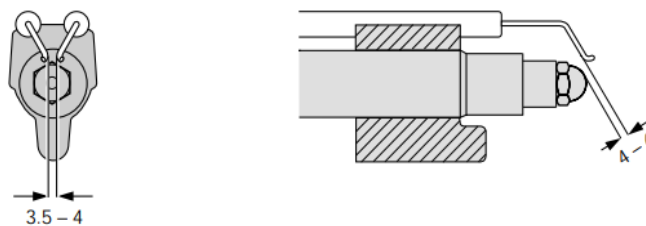


Gambar 4. Kondisi *combustion head* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dibersihkan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

c. Upaya yang dilakukan terhadap jarak elektroda yang terlalu renggang

Setiap melakukan perawatan *burner*, perhatikan jarak antar kedua elektroda maupun jarak antara elektroda dengan *nozzle* sesuai *manual book* dan pastikan baut pengikat elektroda sudah kencang. Jarak antar kedua elektroda sesuai *manual book* adalah 3.5 - 4 mm, sedangkan jarak antara elektroda dengan *nozzle* adalah 4 – 6 mm. Pastikan juga kondisi elektroda bersih dari residu bahan bakar MFO.



Gambar 5. Jarak elektroda sesuai *manual book*.

Sumber : Weishaupt (1999)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Faktor yang menyebabkan terjadinya *flame failure* pada *burner* adalah kotornya *filter* pada *nozzle* dan *nozzle* yang tersumbat sehingga menyebabkan tekanan bahan bakar rendah. Tekanan bahan bakar yang rendah dapat mengakibatkan terjadinya *flame failure* pada *boiler* dan penumpukan karbon pada *combustion head* dan *furnace*. Selain itu jarak antar elektroda yang tidak sesuai juga menjadi faktor penyebab terjadinya *flame failure* pada *boiler*.

- b. Dampak yang ditimbulkan dari *flame failure* pada *burner auxiliary boiler* adalah menurunnya produksi *steam* yang berakibat pada temperatur bahan bakar menjadi rendah. Temperatur bahan bakar pada *settling tank* yang seharusnya 80-90 °C pada saat itu hanya mencapai 60 °C dan pada *service tank* yang seharusnya 90 °C saat itu hanya 70 °C. Serta tidak optimalnya kinerja *main engine jacket water pre-heater* yang mengakibatkan turunnya temperatur *jacket cooling water inlet* yang pada normalnya 65-75 °C saat itu hanya mencapai 48 °C. Tentunya hal tersebut dapat mengganggu kegiatan operasional kapal.
- c. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi *flame failure* pada *burner* yang disebabkan oleh kotornya *nozzle* dan penumpukan karbon pada *combustion head* dan *furnace* adalah dengan melakukan perawatan terhadap sistem bahan bakar yang menuju ke *boiler* dan dilakukannya pembersihan secara rutin terhadap komponen *burner* dan ruang bakar *boiler*. Jarak antar *ignition electrode* yang renggang dapat dilakukan penyetelan ulang sesuai dengan *manual book* yaitu 3.5-4 mm dan jarak antar *ignition electrode* dengan *nozzle* yaitu 4-6 mm, serta dilakukan pengecekan yang rutin setiap melaksanakan perawatan terhadap *burner*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut :

- a. Lakukan perawatan terhadap *burner* secara rutin dan terencana sesuai dengan *Planned Maintenance System (PMS)*. Dalam perawatan harus dilakukan dengan tepat sesuai buku petunjuk yang diterbitkan oleh pabrikan.
- b. Pada saat *boiler* beroperasi lakukan pemeriksaan rutin terhadap temperatur bahan bakar, tekanan bahan bakar, tekanan *steam*, dan asap yang keluar dari cerobong *boiler*. Apabila salah satu dari hal tersebut tidak sesuai, maka segera lakukan pemeriksaan terhadap sistem pembakaran pada *boiler*.

DAFTAR REFERENSI

- Abdussamad, Z. (2021). *Metode penelitian kualitatif*. Makassar: CV. Syakir Media Press.
- Alfaridzi, R. (2023). Mengenal fire tube boiler. Diakses dari <https://shasolo.com/mengenal-fire-tube-boiler/>
- Greens Shazhou ZYC 1.5/1.0-0.7. (2009). *Composite boiler final drawing*. Jiangsu: Zhangjiagang Greens Shazhou Boiler Co. Ltd.
- Handoyo, J. J. (2015). *Ketel uap (Ahli teknik tingkat III)* (Edisi 3). Jakarta: Maritim Djangkar.
- Kristiyanti, M. (2023). *Metode penelitian*. Semarang: CV. Pustaka STIMART AMNI Semarang.
- Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara. (2024). *Pedoman penyusunan artikel ilmiah*.
- Putra, O. M. D., et al. (2024). Pengaruh kualitas bahan bakar terhadap auxiliary steam boiler di kapal MT. SC Champion XLV. *Jurnal Maritim Malahayati*, 5(2), 210–217.
- Putri, D. N., et al. (2022). Efisiensi thermal water tube boiler berbahan bakar gas dan solar pada produksi saturated dan superheated steam berdasarkan level ketinggian air dalam steam drum. *Distilasi*, 7(1), 1–7.
- Ridhuan, K. (2018). Ketel uap. Universitas Muhammadiyah Metro. Diakses dari <https://www.studocu.com/id/document/universitas-muhammadiyah-metro/teknik-mesin/dasar-ketel-uap-materi/41998294>
- Salsabila, G. R. H. H. (2019). Proses treatment marine fuel oil (MFO) sebagai bahan bakar pada mesin diesel. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 11(1), 30–35.
- Santiko, T., & Saifudin, I. (2022). *Perawatan dan perbaikan permesinan*. Semarang: Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
- STX DaLian Engine. (2009). *Main diesel engine STX-MAN B&W 6S50MC-C7*. Changxing: STX DaLian Engine Co. Ltd.
- Sugiyono. (2018). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta.
- Sukmadinata, N. S. (2013). *Metode penelitian pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Syahputra, R. I., Ardiansyah, & Gunarti, M. R. (2020). Optimalisasi kinerja burner guna meningkatkan produksi uap pada boiler di atas kapal KM. Amarisa. *Jurnal 7 Samudra*, 5(1).
- Taizhou Kouan. (2009). *Ship drawing & manuals (Pipe line diagram)*. Taizhou: Kouan Shipbuilding Industry Co.
- Weishaupt. (1999). *Installation and operating instructions Weishaupt dual fuel burner sizes 1 to 11*. Germany: Weishaupt Corp.
- Weishaupt. (1999). *Installation and operating instructions Weishaupt oil burners L, RL, M/MS, RM/RMS, sizes 5 to 11*. Germany: Weishaupt Corp.
- Yusuf, A. M. (2014). *Metode penelitian: Kuantitatif, kualitatif & penelitian gabungan*. Jakarta: Prenadamedia Group.