E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 6027-6038
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Analisis Dampak Ketidaktepatan Posisi *Ignition Rod* terhadap Operasional *Auxiliary Boiler* di M.V CMA CGM NILE

Langgeng Waskito Wijaya Kusuma[1], Ahmad Wahid[2], Jamaluddin[3]
[1,2,3] Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Email : waskitowijaya92@gmail.com, waskitowijaya92@gmail.com, waskitowijaya92@gmail.com

Abstrak

Boiler sebagai permesinan bantu di kapal memiliki peran penting dalam penyediaan uap untuk kebutuhan operasional seperti pemanasan bahan bakar, sistem bantu, dan kebutuhan domestik. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah *flame failure*, yaitu padamnya nyala api pada *burner* yang menyebabkan sistem pembakaran berhenti otomatis, sehingga berpotensi menurunkan keandalan permesinan, mengganggu operasional, dan meningkatkan risiko keselamatan. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan bahan bakar dan udara, kegagalan sistem penyalaan awal, serta ketidaktepatan posisi *ignition rod* atau elektroda pengapian. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor teknis penyebab *flame failure* pada *boiler* di M.V CMA CGM NILE serta mengkaji upaya penanganan dan pencegahannya. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus pada sistem pembakaran *auxiliary boiler*. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap *burner*, sistem bahan bakar, udara pembakaran, dan perangkat pengaman, serta wawancara terstruktur dengan perwira dan operator mesin. Data pendukung diperoleh dari *log book*, manual operasi, dan catatan perawatan. Analisis data dilakukan secara sistematis dengan mengkaji keterkaitan kondisi operasional, gangguan komponen pembakaran, dan mekanisme proteksi *boiler* berdasarkan standar teknis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidaktepatan posisi *ignition rod* atau elektroda pengapian, penyumbatan *nozzle*, serta penurunan kinerja sensor *flame detector* menjadi faktor penyebab *flame failure*. Upaya perawatan preventif dan pembersihan komponen secara berkala terbukti efektif mengembalikan kestabilan operasional *boiler*.

Kata Kunci: *Boiler, flame failure, burner, sistem pembakaran, perawatan boiler, keandalan operasional, auxiliary boiler, MV CMA CGM NILE.*

Abstract

The boiler, as auxiliary machinery on board ships, plays an important role in supplying steam for

operational needs such as fuel heating, auxiliary systems, and domestic purposes. One of the common disturbances in boiler operation is flame failure, which is the extinction of the burner flame causing the combustion system to stop automatically. This condition can reduce machinery reliability, disrupt ship operations, and increase safety risks. Flame failure is generally caused by an imbalance of fuel and combustion air, failure of the ignition system, and inaccuracy of the ignition rod position. This study aims to identify the technical factors causing flame failure in the boiler of MV. CMA CGM NILE and to examine appropriate handling and prevention measures. This research employs a descriptive qualitative method with a case study approach on the auxiliary boiler combustion system. Data collection was carried out through direct observation of the burner, fuel system, combustion air system, and safety devices, as well as structured interviews with engine officers and operators. Supporting data were obtained from log books, operation manuals, and maintenance records. Data analysis was conducted systematically by examining the relationship between operational conditions, potential component failures in the combustion system, and boiler protection mechanisms based on technical standards. The results showed that the inaccuracy of the ignition rod position, nozzle blockage, and decreased performance of the flame detector sensor were factors causing flame failure. Preventive maintenance and regular component cleaning proved effective in restoring the operational stability of the boiler.
Keywords: *Boiler, flame failure, burner, combustion system, boiler maintenance, operational reliability, auxiliary boiler, MV CMA CGM NILE.*

PENDAHULUAN

Pada praktiknya di kapal, termasuk pada M.V CMA CGM NILE, ditemukan adanya ketidaktepatan posisi *ignition rod* yang berdampak langsung terhadap proses penyalaan bahan bakar. Ketidaktepatan ini dapat menyebabkan percikan api tidak berada pada zona campuran bahan bakar–udara yang optimal, sehingga memicu kegagalan penyalaan (*misfire*), pembakaran tidak sempurna, hingga potensi akumulasi bahan bakar yang berisiko menimbulkan ledakan kecil (*furnace blowback*). Fenomena ini menjadi semakin krusial mengingat *auxiliary boiler* berperan penting dalam mendukung sistem pemanas bahan bakar, pemanas air, dan kebutuhan operasional kapal secara keseluruhan (Tony Santiko, 2020).

Boiler didefinisikan sebagai bejana tertutup (*closed vessel*) yang menghasilkan

uap air untuk berbagai kebutuhan industri dan kelautan. *Boiler* modern dirancang dengan sistem kontrol dan proteksi terhadap korosi guna menjaga efisiensi termal dan keselamatan operasi (Hamed *et al.*, 2024). Selain itu, *boiler* juga dipandang sebagai *pressure vessel* atau bejana bertekanan yang harus memenuhi standar keselamatan dan efisiensi energi (Napid *et al.*, 2025). Pentingnya penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem pembakaran bekerja sesuai dengan standar teknis dan keselamatan yang telah ditetapkan.

Dalam pengoperasiannya, *boiler* harus dijalankan sesuai dengan prosedur yang benar agar tetap aman dan efisien. Pengoperasian *boiler* di kapal menuntut perhatian khusus terhadap keseimbangan antara suplai bahan bakar dan udara pembakaran. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, peningkatan konsumsi bahan bakar, atau bahkan kegagalan nyala api. Karena itu, pengawasan tekanan, temperatur, dan warna nyala api menjadi indikator penting dalam menilai efisiensi operasi *boiler* (Narto *et al.*, 2023). Dengan perawatan rutin seperti pembersihan *nozzle*, pengecekan sensor, dan kalibrasi kontrol otomatis, operator dapat mencegah terjadinya gangguan pembakaran maupun *flame failure* (Gong *et al.*, 2021).

Salah satu gangguan paling serius adalah *flame failure* atau kegagalan nyala api. *Flame failure* terjadi ketika api di ruang bakar padam secara tiba-tiba karena terganggunya suplai bahan bakar, ketidakseimbangan udara pembakaran, kerusakan *igniter*, atau tidak berfungsinya *flame eye/detector*. Jika tidak segera ditangani, *flame failure* dapat menyebabkan penumpukan gas bahan bakar, peningkatan tekanan ruang bakar, hingga potensi ledakan yang membahayakan keselamatan kapal dan awak. Menurut Xu *et al.* (2021), fenomena *flame failure* berkaitan erat dengan hilangnya arus ion (*ion current*) yang dihasilkan oleh proses pembakaran. Penurunan sinyal ion merupakan indikator penting terjadinya *extinction* atau padamnya nyala api pada sistem *boiler*. Selain itu, *flame failure* biasanya merupakan hasil kombinasi dari beberapa faktor operasional seperti tekanan bahan bakar yang rendah, kualitas bahan bakar yang buruk, serta perawatan yang tidak teratur terhadap komponen *burner* (Wang *et al.*, 2024).

Selain berisiko terhadap keselamatan, kegagalan pembakaran juga berdampak

pada efisiensi operasi kapal. Proses pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, pembentukan jelaga (*soot*), serta menurunnya kemampuan transfer panas pada permukaan pemanas (Ciupek, 2024). Kondisi ini pada akhirnya dapat menurunkan efisiensi *boiler* dan mempercepat kerusakan komponen seperti *burner tip*, *atomizer*, dan *boiler tube*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya *flame failure* pada sistem pembakaran *boiler* di M.V CMA CGM NILE serta menentukan upaya penanganan dan pencegahan yang efektif agar tidak menimbulkan gangguan berulang.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif, yaitu jenis penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan secara mendalam fenomena yang terjadi di lapangan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi tanpa melakukan perhitungan statistik. Pendekatan ini berfokus pada pemahaman makna, proses, dan kondisi nyata di lapangan. Variabel utama dalam penelitian ini adalah kinerja *burner boiler* sebagai variabel dependen. *Flame failure* didefinisikan sebagai kondisi ketika nyala api pada *burner boiler* padam atau gagal menyala akibat gangguan pada sistem bahan bakar dan sistem sensor (*flame eye*). Variabel independen yang diduga memengaruhi kinerja *burner boiler* antara lain kondisi *nozzle burner*, yang memengaruhi pola penyemprotan dan distribusi bahan bakar ke ruang bakar, serta kesalahan pada sistem sensor (*flame detector*), yang tidak dapat mendeteksi pembakaran karena tertutup kotoran sisa pembakaran. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di kamar mesin M.V CMA CGM NILE, wawancara terstruktur dengan teknisi dan operator *boiler*, dokumentasi berupa catatan *logbook*, laporan perawatan, dan manual operasi, serta pengukuran lapangan untuk memperoleh data teknis parameter operasi *boiler*. Analisis data dilakukan secara kualitatif dan sistematis melalui reduksi data, penyajian data dalam bentuk uraian naratif dan tabel, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Data yang diperoleh kemudian dikaji keterkaitannya dengan standar operasional dan manual pabrikan (Utomo *et al.*, 2024).

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 6027-6038
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Objek Penelitian

M.V CMA CGM NILE merupakan kapal *container* berbendera Malta yang dioperasikan oleh CMA CGM GROUP. Kapal ini memiliki panjang keseluruhan (LOA) 299,98 meter dan *deadweight* 117.293 MT. Sistem *boiler* yang digunakan adalah *auxiliary boiler* yang berfungsi menyediakan uap saat mesin induk tidak beroperasi optimal atau ketika kapal berada di pelabuhan. Uap tersebut dimanfaatkan untuk pemanasan bahan bakar (*fuel oil heating*), pemanasan air, serta kebutuhan domestik kapal.

Pada tanggal 25 Mei 2025, kapal sedang dalam posisi *drifting* di Shanghai, China. Pada pukul 14.00 LT terjadi *shutdown* tiba-tiba pada *boiler* yang ditandai dengan alarm *boiler failure*. Setelah dilakukan pengecekan oleh *oiler* jaga dan masinis, ditemukan komponen *nozzle* dan elektroda dalam kondisi kotor, serta terjadi keretakan pada *flame eye/detector*. Selanjutnya dilakukan *overhaul* untuk mengganti komponen yang aus dan retak. Namun, setelah pemasangan dan uji coba, *boiler* kembali *shutdown* karena kesalahan pengaturan rasio udara yang masuk (*air-fuel ratio*).

Hasil Observasi dan Pengukuran Teknis

Berdasarkan hasil penelitian dan pengamatan langsung terhadap kinerja *burner* pada sistem *boiler*, diketahui bahwa permasalahan utama yang terjadi selama operasional adalah gangguan proses pembakaran yang menyebabkan terjadinya *flame failure*. Kondisi ini ditandai dengan padamnya nyala api baik pada saat proses penyalaan awal (*ignition*) maupun ketika *burner* sedang beroperasi, sehingga sistem proteksi *burner* bekerja dan menghentikan operasi *boiler* secara otomatis (*boiler trip*).

Tabel 1. Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Perbaikan

No	Parameter	Kondisi Sebelum Perbaikan	Kondisi Setelah Perbaikan	Spesifikasi / Standar
1	*Nozzle Burner*	Kotor, tersumbat karbon	Dibersihkan, aliran bahan bakar merata	Bersih, tidak tersumbat

No	Parameter	Kondisi Sebelum Perbaikan	Kondisi Setelah Perbaikan	Spesifikasi / Standar
2	Pola Semprot	Tidak simetris	Simetris dan merata	Simetris seluruh ruang bakar
3	Viskositas Bahan Bakar	18–20 cSt	12–13 cSt	12–13 cSt
4	Temperatur Bahan Bakar	< 80°C	90°C–110°C	110°C–130°C (tergantung jenis HFO)
5	Elektroda *Igniter*	Jarak 5–6 mm, berkerak	Jarak 3,5 mm, bersih	3–4 mm, bersih, tidak aus
6	Percikan (*Spark*)	Lemah, tidak stabil	Kuat, stabil	Stabil dan terang
7	Waktu *Ignition*	±10 detik	±3 detik	< 5 detik
8	Nyala Api	Tidak stabil, asap hitam pekat	Stabil, nyala sempurna, asap minimal	Nyala stabil, sempurna
9	Residu Karbon	Tinggi, menempel di dinding ruang bakar	Berkurang signifikan	Minimal, tidak mengganggu operasi

Sumber: Tabel 4.2 skripsi, MV CMA CGM NILE (2025)

Analisis Faktor Penyebab *Flame Failure*

Berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara dengan *crew engine*, serta studi *logbook* dan *manual book boiler*, diperoleh beberapa faktor utama yang menyebabkan terjadinya *flame failure* pada sistem pembakaran *boiler*.

1. Gangguan pada Sistem Bahan Bakar

Salah satu penyebab utama *flame failure* adalah tidak stabilnya suplai bahan bakar menuju *burner*. Pada saat kejadian, tekanan bahan bakar teridentifikasi mengalami

penurunan dari kondisi normal sekitar 7–10 bar menjadi 4–5 bar, sehingga proses atomisasi bahan bakar tidak berlangsung secara sempurna. Penurunan tekanan ini menyebabkan bahan bakar tidak terpecah menjadi partikel halus, sehingga pembakaran menjadi tidak stabil. Selain itu, temperatur bahan bakar yang seharusnya berada pada kisaran 110–130°C untuk mendapatkan viskositas yang baik teridentifikasi menurun hingga sekitar 90–100°C. Kondisi ini menyebabkan bahan bakar menjadi lebih kental sehingga memperburuk proses atomisasi di *nozzle burner*. Hal ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa kualitas air umpan dan proses perpindahan panas sangat menentukan efisiensi termal (Shokri *et al.*, 2023; Riady, 2024).

2. Ketidakseimbangan Udara Pembakaran

Sistem suplai udara pembakaran tidak selalu berada pada kondisi optimal. Ketidakseimbangan antara jumlah udara dan bahan bakar menyebabkan proses pembakaran tidak berlangsung secara sempurna. Pada beberapa kejadian *flame failure*, ditemukan bahwa *blower* tidak bekerja secara maksimal akibat penumpukan debu dan kotoran pada saluran udara. Hal ini menyebabkan suplai oksigen ke ruang bakar berkurang sehingga nyala api menjadi lemah dan mudah padam. Indikasi lain yang diamati adalah perubahan warna nyala api menjadi kemerahan serta munculnya asap hitam pekat dari cerobong. *Boiler* modern seharusnya dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis untuk menjaga keseimbangan antara pasokan bahan bakar, udara pembakaran, dan aliran air (Wang *et al.*, 2024).

3. Faktor Operasional dan Teknis

Faktor operasional yang berkaitan dengan kesalahan manusia memiliki kontribusi signifikan terhadap terjadinya *flame failure*. Ditemukan bahwa operator tidak selalu melakukan pemeriksaan rutin terhadap komponen penting seperti *nozzle*, elektroda, *flame detector*, dan filter bahan bakar sebelum pengoperasian. Kondisi elektroda pengapian teridentifikasi kotor dan mengalami keausan, serta jarak elektroda tidak sesuai dengan standar, sehingga percikan api tidak optimal saat proses penyalaan awal. Kesalahan dalam pengaturan rasio udara dan bahan bakar serta keterlambatan dalam merespons tanda-tanda awal gangguan juga menjadi faktor pendukung.

Upaya Penanganan dan Perawatan

Berdasarkan hasil temuan, upaya penanganan yang dilakukan meliputi perawatan preventif dan korektif pada komponen kritis *boiler*.

1. Perawatan dan Penanganan *Nozzle Burner*

Tindakan perawatan meliputi pembersihan *nozzle* dan pembersihan filter bahan bakar dari kotoran, lumpur, serta partikel asing yang dapat menghambat aliran bahan bakar. Setelah dilakukan perawatan, hasil pengukuran menunjukkan peningkatan kestabilan tekanan bahan bakar yang berada pada kisaran ±1,5 hingga 2 bar, dengan suhu bahan bakar pada rentang ±90 hingga 100°C yang menandakan viskositas telah berada dalam kondisi optimal. Pola semprotan menjadi lebih merata dan berbentuk kabut halus. Menurut Purnama (2025), *flame failure* pada *burner* kapal sering disebabkan oleh penyumbatan *nozzle* bahan bakar, sehingga pembersihan rutin sangat penting untuk mencegah gangguan sistem pembakaran.

2. Perawatan dan Penanganan Sistem *Ignition* (Elektroda)

Tindakan perawatan berupa pembersihan elektroda, penyetelan ulang jarak elektroda, serta pemeriksaan dan perbaikan pada sistem kelistrikan *igniter*. Sebelum perawatan, jarak elektroda melebihi standar, yaitu 5–6 mm, dan waktu *ignition* mencapai ±10 detik. Setelah pembersihan elektroda, penyetelan ulang jarak, serta pemeriksaan sistem kelistrikan *igniter*, jarak elektroda berada pada 3,5 mm dan sesuai standar 3–4 mm. Pengukuran tegangan *igniter* menunjukkan ±5.000–15.000 volt, dengan tegangan sistem utama 220 V atau 440 V. Waktu *ignition* turun menjadi ±3 detik, lebih cepat dari standar < 5 detik. Sistem *ignition* yang tidak presisi menjadi salah satu penyebab utama kegagalan pembakaran (Nugroho *et al.*, 2025).

3. Perawatan dan Penanganan *Flame Eye* (*Flame Detector*)

Flame eye mengalami penurunan kinerja akibat kotoran dan endapan pada permukaan sensor, sehingga sensitivitas dalam mendeteksi nyala api menurun. Perawatan dilakukan dengan membersihkan lensa sensor dari debu atau jelaga serta melakukan kalibrasi ulang agar sistem deteksi nyala tidak mengalami *false flame failure*. Keandalan detektor api sangat dipengaruhi oleh posisi, kondisi komponen, dan tingkat

kebersihan sensor (Mualim, 2022).

Tabel 2. Jadwal *Planned Maintenance System* (PMS) *Boiler*

Frekuensi	Perawatan
Harian	1. Pemeriksaan visual nyala api melalui *sight glass* pada *burner* 2. Cek tekanan dan suhu bahan bakar 3. Periksa kebocoran pada sistem *fuel oil* dan *steam* 4. Cek indikator pada panel kontrol
Mingguan	1. Membersihkan filter bahan bakar 2. Cek dan bersihkan *nozzle* jika diperlukan 3. Menguji fungsi elektroda dan *spark* 4. Periksa kondisi *flame detector/eye*
Bulanan	1. Bongkar dan bersihkan *nozzle* secara menyeluruh 2. Cek kondisi kabel *ignition transformer* 3. Periksa *fan/blower* dan bersihkan debu 4. Kalibrasi *flame eye/detector* 5. Cek kondisi *solenoid valve* bahan bakar 6. Pengujian sistem *safety interlock*
Tahunan	1. *Overhaul burner* 2. *Service fuel oil pump* 3. Kalibrasi sistem kontrol dan *safety* 4. Pengujian performa *boiler* secara keseluruhan

Sumber: Tabel 4.3 skripsi, MV CMA CGM NILE (2025)

Berdasarkan analisis terhadap data observasi, wawancara, dan dokumentasi di M.V CMA CGM NILE, dapat ditegaskan bahwa kejadian *flame failure* pada *boiler* bukan merupakan gangguan tunggal, melainkan akumulasi dari beberapa ketidaksesuaian kondisi operasional dan kelemahan dalam sistem perawatan. Kestabilan proses pembakaran pada *boiler* sangat bergantung pada keseimbangan antara bahan bakar, udara pembakaran, dan sistem penyalaan.

Kondisi aktual menunjukkan bahwa keseimbangan tersebut tidak tercapai secara

optimal, yang secara langsung mengindikasikan adanya kelemahan dalam pengendalian parameter operasi. Hal ini sejalan dengan penelitian Wang *et al.* (2024) yang menjelaskan bahwa *flame failure* merupakan hasil kombinasi beberapa gangguan operasional yang terjadi secara bersamaan, seperti tekanan bahan bakar yang tidak stabil, kualitas bahan bakar yang menurun, serta kurangnya perawatan terhadap sistem pembakaran.

Selain itu, penelitian Purnama (2025) menyatakan bahwa penyebab utama *flame failure* pada *boiler* kapal meliputi penyumbatan *nozzle*, ketidaksesuaian jarak elektroda pengapian, serta penumpukan karbon pada komponen *burner*. Kondisi tersebut juga ditemukan pada sistem *boiler* yang diteliti, di mana *nozzle* dan komponen pembakaran lainnya berada dalam kondisi kurang bersih akibat tidak dilakukannya perawatan secara rutin.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkuat temuan penelitian terdahulu, tetapi juga menunjukkan adanya kesenjangan antara teori dan praktik di lapangan. Kelemahan dalam sistem pengawasan dan penerapan prosedur operasional menjadi salah satu faktor utama yang memperbesar risiko terjadinya *flame failure*. Sistem perawatan yang diterapkan menunjukkan kecenderungan masih bersifat reaktif (*corrective maintenance*), yaitu tindakan perbaikan dilakukan setelah terjadi gangguan. Padahal, penerapan *Planned Maintenance System* (PMS) secara disiplin dan konsisten sangat penting untuk menjaga keandalan permesinan kapal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai identifikasi faktor penyebab *flame failure* pada *boiler* dan upaya penanganannya di M.V CMA CGM NILE, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Gangguan sistem bahan bakar menyebabkan *flame failure* akibat kondisi bahan bakar yang tidak optimal, seperti tekanan tidak stabil, kualitas bahan bakar buruk, serta *nozzle* dan filter yang kotor. Hal ini menyebabkan pola semprotan tidak merata sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna dan nyala api mudah padam.
2. Kegagalan sistem penyalaan (*ignition*) terjadi akibat elektroda kotor, jarak elektroda tidak sesuai, atau tegangan *igniter* lemah. Kondisi ini mengakibatkan percikan api

tidak mampu menyalakan campuran bahan bakar dan udara secara stabil.

3. Masalah pada *flame detector* yang kotor, tidak terkalibrasi, atau mengalami penurunan sensitivitas dapat gagal mendeteksi nyala api. Akibatnya, sistem menganggap tidak ada pembakaran dan secara otomatis menghentikan operasi *boiler* (*false flame failure*).
4. Upaya penanganan dan pencegahan dilakukan melalui perawatan rutin yang terfokus, yaitu pembersihan *nozzle* dan filter bahan bakar, penyetelan serta pembersihan elektroda, dan kalibrasi *flame detector*. Tindakan ini terbukti meningkatkan kestabilan pembakaran, mempercepat proses *ignition*, dan menjaga keandalan operasi *boiler*.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, disarankan agar dilakukan perawatan preventif terjadwal pada sistem bahan bakar (*nozzle*, filter, dan tekanan) serta pengawasan kualitas bahan bakar untuk menjaga kestabilan pembakaran. Selain itu, perlu dilakukan pemeriksaan dan penyetelan rutin sistem *ignition*, meliputi kondisi elektroda dan tegangan *igniter* agar proses penyalaan berlangsung optimal. Kalibrasi dan pembersihan *flame detector* juga harus dilakukan secara berkala guna memastikan akurasi deteksi nyala api dan mencegah *false flame failure*, serta diperlukan penerapan *Planned Maintenance System* (PMS) yang terfokus pada komponen kritis untuk meningkatkan keandalan operasional *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

Ciupek, B. (2024). *Heat Transfer Mechanisms in Boiler Systems*. International Journal of Thermal Sciences.

Gong, Y., *et al.* (2021). *Routine Maintenance and Automatic Control Calibration for Marine Boilers*. Ocean Engineering.

Hamed, M. A., *et al.* (2024). *Definition and Modern Design of Closed Vessel Boilers for Marine and Industrial Applications*. Journal of Marine Science and Engineering.

Mualim, I. (2022). *Analisis Kerusakan dan Perawatan Flame Detector pada Boiler Kapal*. Skripsi. Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Napid, S. B. (2025). *Analysis and Effect of Steam Production Amount on Efficiency of Simple*

Tube Boiler Applications. Conference FT UISU.

Narto, A. P. (2023). *Analysis of the Occurrence of Combustion Failure in the Steam Boiler at KM. Nggapulu*. Research Synergy Press.

Nugroho, I. G. W. E., Rahayu, T., Kristiyono, A. E., Gunarti, M. R., & Prawoto, A. (2025). *Analisis Sistem Pembakaran Burner Boiler di Atas Kapal MV. Tanto Abadi*. Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi, 4(2), 163–175.

Purnama, D. (2025). *Analisis Penyebab Flame Failure pada Auxiliary Boiler Kapal Niaga dan Penanganannya*. Jurnal Teknologi Maritim Indonesia, 14(1), 22–33.

Riady, M. I. (2024). *Effect Analysis of Boiler Feed Water and Exhaust Gas Turbine Generator against Steam Products*. Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy (JMEMME), 8(1).

Shokri, S. A. (2023). *Effect of Feedwater Quality on Marine Boiler Performance*. Applied Thermal Engineering, 235, 120879.

Tony Santiko, I. S. (2020). *Modul Praktikum Konstruksi dan Prinsip Kerja Permesinan Bantu*. PIP Semarang.

Utomo, A. S. (2024). *Desain dan Analisis Komponen Utama pada Sistem Boiler Kapal*. Jurnal Rekayasa Mesin, 19(1), 44–55.

Wang, L. C. (2024). *Data-Driven Fault Detection of Ship Boiler Systems Using Process Mining*. Processes, 12(2), 278.

Xu, F. Z. (2021). *Flame Failure Detection Using Ion Current Signal in Marine Oil-Fired Boilers*. Sensors, 21(9), 3224.