

## Analisis Sistem Pembakaran *Burner Boiler* Di Atas Kapal MV. Tanto Abadi

I Gede Widhyantara Erix Nugroho<sup>1</sup>, Trisnowati Rahayu<sup>2</sup>, Antonius Edy Kristiyono<sup>3</sup>, Monika Retno Gunarti<sup>4</sup>, Agus Prawoto<sup>5</sup>

Program Studi Teknika, Program Diploma IV Pelayaran, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 12 Juni 2025

Revised: 29 Juni 2025

Accepted: 19 Juli 2025

#### Keywords:

Burner Boiler

Initial Combustion Failure

Maintenance Optimization

Boiler System Performance

#### Published by

Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an

open-access article distributed under the

Creative Commons Attribution which permits

unrestricted use, distribution, and reproduction

in any medium, provided the original work is

properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan pembakaran awal pada sistem burner boiler di kapal MV. Tanto Abadi, serta mengevaluasi efektivitas tindakan perawatan dalam mengoptimalkan kinerja sistem. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif, dengan teknik pengumpulan data berupa observasi, wawancara, dan dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan pembakaran adalah kondisi nozzle yang kotor, sistem ignition yang tidak presisi, blower yang tidak optimal, tekanan bahan bakar yang tidak stabil, serta kualitas bahan bakar yang buruk. Dampak dari kegagalan ini meliputi tertundanya produksi steam, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan sistem shutdown otomatis. Setelah dilakukan perawatan seperti pembersihan nozzle dan elektroda, penyetelan ulang jarak elektroda, serta penggantian packing burner, performa sistem menunjukkan peningkatan signifikan. Tekanan bahan bakar dan uap kembali ke kondisi optimal, dan proses produksi berjalan stabil. Kegiatan perawatan rutin serta keterlibatan aktif kru dan kadet dalam proses teknis turut berkontribusi terhadap keberhasilan sistem pembakaran.

This study aims to analyze the causes of initial combustion failure in the burner boiler system onboard MV. Tanto Abadi, and to evaluate the effectiveness of maintenance actions in optimizing system performance. The research method used is qualitative descriptive, with data collection techniques including observation, interviews, and documentation. The findings indicate that the main causes of combustion failure are dirty nozzles, imprecise ignition systems, suboptimal blower performance, unstable fuel pressure, and poor fuel quality. The impacts include delayed steam production, increased fuel consumption, and automatic shutdowns. After performing maintenance such as nozzle and electrode cleaning, electrode gap adjustment, and burner packing replacement, the combustion system performance improved significantly. Fuel and steam pressure returned to optimal conditions, and the steam production process became stable. Routine maintenance activities and active involvement of the crew and cadets in technical processes contributed to the success of the combustion system.

#### Corresponding Author:

I Gede Widhyantara Erix Nugroho

Program Studi Teknika, Program Diploma IV Pelayaran, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Jl. Gunung Anyar Boulevard No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

Email: [erixnugroho10@gmail.com](mailto:erixnugroho10@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Sistem pembakaran pada *burner boiler* memegang peranan yang sangat penting dalam

mendukung proses produksi *steam* yang menjadi sumber energi utama di atas kapal. *Steam* ini tidak hanya digunakan sebagai tenaga penggerak turbin untuk sistem propulsi kapal, tetapi juga memiliki berbagai fungsi penting lainnya, seperti sebagai media pemanas ruangan, penggerak pompa, serta dalam proses pengolahan air. Dengan peran yang begitu vital, efisiensi dan stabilitas sistem pembakaran *burner boiler* menjadi faktor krusial yang harus dijaga guna memastikan kelancaran operasional kapal. Dalam praktiknya, pengoperasian sistem pembakaran pada *burner boiler* menghadapi berbagai tantangan teknis. Ketidakseimbangan rasio antara udara dan bahan bakar merupakan salah satu masalah yang sering muncul, yang dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna serta penurunan efisiensi *boiler*. Selain itu, tingginya emisi gas buang, seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), menjadi perhatian serius karena berdampak negatif terhadap lingkungan dan regulasi emisi yang semakin ketat.

Tantangan lain yang kerap ditemui adalah penumpukan endapan karbon yang dapat menghambat kinerja *boiler*, sehingga memerlukan perawatan intensif dan meningkatkan biaya operasional kapal. Seiring dengan perkembangan teknologi modern, berbagai inovasi telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan efisiensi sistem pembakaran *burner boiler*. Beberapa solusi yang telah diterapkan meliputi penggunaan sensor canggih untuk pemantauan kinerja sistem secara real-time, penerapan sistem kontrol otomatis untuk menjaga rasio udara dan bahan bakar yang optimal, serta analisis gas buang untuk memastikan proses pembakaran yang lebih bersih dan efisien.

Dengan perkembangan teknologi modern, berbagai inovasi telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi sistem pembakaran pada *burner boiler*. Inovasi tersebut mencakup penggunaan sensor canggih untuk memantau parameter pembakaran secara *real-time*, penerapan sistem kontrol otomatis yang mampu mengatur rasio udara dan bahan bakar dengan presisi tinggi, serta teknologi analisis gas buang untuk memastikan pembakaran yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Seiring dengan meningkatnya tuntutan terhadap efisiensi energi dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, penerapan teknologi ini menjadi semakin penting di industri perkapalan.

Perlu diadakan analisis penyebab terjadinya kegagalan pembakaran pada *burner boiler* serta faktor-faktor teknis yang memengaruhi kinerja *burner boiler* dan menyusun strategi yang tepat agar sistem bekerja lebih efisien dan handal di atas kapal MV. Tanto Abadi untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan awal pada *burner boiler*, untuk mengetahui dampak apa saja yang terjadi akibat kegagalan pembakaran pada *burner boiler*, untuk mengetahui cara mengatasi kegagalan pembakaran pada *burner boiler* guna menunjang produksi *steam*.

## URAIAN TEORI

### Boiler

Menurut Rizqi Andromeda Suhail (2023) *Boiler* adalah perangkat penting yang dirancang untuk memanaskan air hingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi melalui proses pembakaran bahan bakar. Proses ini melibatkan transfer energi panas dari bahan bakar, seperti batu bara, minyak, gas, atau biomassa, ke air dalam sistem *boiler*. Uap yang dihasilkan memiliki berbagai fungsi kritis, termasuk mendukung kebutuhan operasional di sektor industri, seperti penggerak turbin untuk pembangkit listrik, proses pemanasan dalam produksi kimia, serta pengeringan dalam industri tekstil dan kertas. Dalam sektor transportasi, *boiler* digunakan di kapal untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin atau menyediakan sistem pemanas bahan bakar. Selain itu, *boiler* juga dimanfaatkan dalam aplikasi rumah tangga, seperti menyediakan air panas dan sistem pemanas ruangan. Dengan kemajuan teknologi, *boiler* modern kini dilengkapi dengan fitur kontrol otomatis dan sistem efisiensi energi yang lebih baik, memungkinkan penghematan bahan bakar, pengurangan emisi gas buang, serta peningkatan keamanan dan keandalan operasional. Hal ini menjadikan *boiler* sebagai komponen vital dalam berbagai bidang yang membutuhkan energi termal dalam bentuk uap.



Gambar. 1 Boiler

Menurut Saidur et.al. (2023) *Boiler* didefinisikan sebagai perangkat yang dirancang untuk menghasilkan uap dengan cara memanaskan air menggunakan energi panas yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar. Proses ini melibatkan konversi energi kimia dalam bahan bakar, seperti batu bara, gas, minyak, atau biomassa, menjadi energi termal yang ditransfer ke air dalam sistem *boiler*. Uap yang dihasilkan dari *boiler* memiliki berbagai fungsi penting, mulai dari menggerakkan turbin di pembangkit listrik hingga mendukung proses produksi di industri manufaktur, kimia, dan tekstil. Efisiensi *boiler* menjadi faktor kunci yang menentukan kinerja dan hematnya penggunaan bahan bakar, serta dapat dipengaruhi oleh desain *boiler* yang optimal, kondisi operasi seperti tekanan dan suhu kerja, serta kualitas bahan bakar yang digunakan.



Gambar. 2 Komponen boiler

Komponen pertama yang memegang peranan krusial adalah **steam drum**, yaitu wadah utama tempat pemisahan antara uap dan air melalui mekanisme gravitasi serta perangkat pemisah seperti *cyclone separator* dan *demister*. Fungsi ini tidak hanya menjamin kualitas uap yang bebas dari kontaminan air, tetapi juga menjaga kestabilan tekanan dalam sistem, yang esensial untuk mendukung efisiensi dan keselamatan operasi boiler.

Proses pembakaran bahan bakar berlangsung di dalam **furnace**, yaitu ruang tertutup yang dirancang untuk memfasilitasi pembakaran sempurna dari bahan bakar padat, cair, maupun gas. Efisiensi furnace sangat bergantung pada desain aliran udara dan distribusi panas yang merata. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan energi panas maksimal dengan emisi yang lebih rendah.

Energi panas dari gas buang yang dihasilkan oleh furnace tidak langsung dibuang begitu saja. Melalui **economizer**, sebagian panas sisa ini dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke boiler. Proses ini tidak hanya mengurangi konsumsi bahan bakar tetapi juga memperpanjang umur burner dengan mengurangi beban termal. Selanjutnya, kualitas energi dari uap yang dihasilkan diperkuat melalui **superheater**, yang berfungsi meningkatkan suhu uap jenuh hingga mencapai kondisi superpanas. Uap superpanas memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dan sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan energi mekanik besar, seperti turbin uap.

Panas radiasi dari ruang bakar juga diserap langsung oleh **water wall tubes**, yaitu serangkaian pipa yang dipasang di sepanjang dinding furnace. Pipa-pipa ini tidak hanya mempercepat proses konversi air menjadi uap, tetapi juga berfungsi sebagai pelindung struktur dinding dari paparan langsung api. Untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, sistem ini dilengkapi dengan **air preheater**. Komponen ini memanaskan udara pembakaran dengan menggunakan panas gas buang, sehingga suhu udara masuk lebih tinggi. Udara yang lebih panas mempercepat proses pembakaran dan menurunkan konsumsi bahan bakar, sekaligus mengurangi emisi. Keselamatan operasi boiler dijamin melalui **safety valve**, yaitu katup otomatis yang dirancang untuk melepaskan tekanan berlebih dari dalam boiler. Perangkat ini menjadi elemen vital dalam mencegah kecelakaan seperti ledakan akibat overpressure. Pasokan air ke dalam sistem boiler disuplai oleh **feedwater pump**, yang bekerja dengan memberikan tekanan tinggi agar air mampu masuk ke boiler yang sedang berada dalam kondisi bertekanan uap tinggi. Stabilitas aliran air sangat penting untuk mencegah gangguan dalam proses pembentukan uap.

Untuk memudahkan pengawasan terhadap level air dalam boiler, digunakan **gauge glass** yang memberikan tampilan visual langsung terhadap ketinggian air. Pengamatan ini penting untuk menghindari risiko overheating pada pompa dan burner, serta mencegah efisiensi operasi yang menurun akibat kelebihan air. Keseluruhan proses ini dikendalikan oleh **control system** yang terintegrasi dengan sensor dan aktuator untuk memantau parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, dan aliran air. Sistem kontrol modern umumnya berbasis PLC dan SCADA yang memungkinkan pengoperasian otomatis dan responsif terhadap perubahan kondisi operasi.

Gas buang yang dihasilkan oleh proses pembakaran dialirkan ke atmosfer melalui **cerobong (chimney)**. Cerobong ini dirancang untuk menciptakan *draft alami* guna menarik udara pembakaran dan menjaga sirkulasi gas buang secara efisien. Cerobong modern juga dilengkapi perangkat kontrol emisi untuk meminimalkan dampak lingkungan.

Terakhir, untuk mencegah kerusakan akibat korosi, sistem boiler dilengkapi dengan **deaerator** yang berfungsi menghilangkan oksigen dan gas terlarut lain dari air umpan. Proses ini meningkatkan umur layanan komponen serta menjamin kualitas uap yang terbentuk. Dengan desain dan integrasi yang tepat dari seluruh komponen tersebut, sistem boiler mampu menghasilkan energi uap dengan efisiensi tinggi, operasi yang aman, serta dampak lingkungan yang terkendali. Pemahaman mendalam terhadap setiap komponen menjadi landasan penting dalam optimalisasi sistem termal berbasis boiler.

## **Burner**

Menurut Rofiq Syaiful (2019), *Burner* merupakan salah satu komponen utama dalam sistem *boiler* yang memiliki fungsi penting dalam proses pembakaran bahan bakar, khususnya bahan bakar minyak. Fungsi utama *burner* adalah mengubah bahan bakar cair menjadi partikel-partikel kabut halus (proses atomisasi), sehingga memudahkan pencampuran yang optimal dengan udara. Proses ini sangat penting karena pengabutan yang baik memungkinkan terjadinya pembakaran yang lebih efisien dan sempurna, serta menghasilkan panas yang lebih stabil dan merata di dalam ruang bakar *boiler*. Dengan distribusi panas yang optimal, *boiler* dapat beroperasi dengan efisiensi tinggi, konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, dan emisi gas buang yang lebih bersih. Oleh karena itu, peran *burner* tidak hanya memastikan efisiensi pembakaran, tetapi juga mendukung performa dan keamanan operasional *boiler* secara keseluruhan. *Burner boiler* bertugas mencampur bahan bakar dan udara untuk menghasilkan pembakaran yang stabil dan efisien. Efisiensi *burner* sangat memengaruhi kinerja *boiler* secara keseluruhan.

Menurut Rafly Novelardy (2023), ada beberapa bagian komponen yang menunjang kinerja *boiler* dalam suatu pembakaran. Komponen-komponen tersebut yang membentuk suatu sistem pembakaran (*burner*) yang digunakan untuk membakar bahan bakar dalam berbagai aplikasi industri, seperti *boiler*, *furnace*, kiln, atau pembangkit listrik. Setiap komponen memiliki peran tertentu dalam memastikan bahwa pembakaran berjalan efisien, aman, dan optimal. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen-komponen utama dalam *burner*.



Gambar. 3 Komponen burner

*Nozzle* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembakaran, terutama pada *burner* yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti *boiler*, kiln, dan *furnace*. Fungsi utama *nozzle burner* adalah mengatur aliran dan penyemprotan bahan bakar, baik dalam bentuk cair maupun gas, sehingga bercampur dengan udara secara optimal untuk menghasilkan pembakaran yang efisien dan sempurna. Proses atomisasi yang dilakukan oleh *nozzle* memecah bahan bakar menjadi partikel-partikel kecil, yang memungkinkan permukaan kontak antara bahan bakar dan udara menjadi lebih luas.

*Blower (fan)* burner merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembakaran yang berfungsi untuk menghasilkan aliran udara yang cukup dan terkontrol ke dalam ruang pembakaran. *Blower* ini bekerja dengan menciptakan tekanan udara yang membantu mencampur udara dengan bahan bakar secara optimal, sehingga memastikan proses pembakaran berlangsung secara efisien dan sempurna. Aliran udara yang dihasilkan oleh *blower* harus memiliki kecepatan dan tekanan yang sesuai agar rasio udara-bahan bakar tetap berada dalam kondisi yang ideal, yang merupakan faktor penting dalam menghasilkan nyala api yang stabil serta mengurangi pembentukan gas emisi berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).

*Fuel pump* adalah komponen vital dalam sistem pembakaran yang berfungsi untuk memompa bahan bakar dari tangki penyimpanan ke *nozzle burner* dengan tekanan yang sesuai. Pompa ini memastikan bahan bakar dapat disuplai secara stabil dan dalam jumlah yang tepat agar proses pembakaran berlangsung secara efisien dan optimal. Keandalan *fuel pump* sangat penting dalam menjaga kestabilan aliran bahan bakar, karena fluktuasi aliran atau tekanan yang tidak konsisten dapat mengganggu proses pembakaran dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan. *Ignition system* adalah sistem yang memiliki peran vital dalam proses pembakaran, yaitu untuk menyalakan campuran bahan bakar dan udara di dalam *burner* sehingga menghasilkan nyala api yang stabil dan efisien. Sistem ini dirancang untuk menciptakan percikan atau suhu tinggi yang cukup guna memulai reaksi pembakaran secara cepat dan aman. Keandalan *ignition system* sangat penting karena proses pembakaran tidak akan berjalan tanpa adanya pemantik awal yang efektif. Dalam berbagai aplikasi industri seperti *boiler*, *furnace*, dan kiln, *ignition system* memainkan peran kunci dalam menjaga kontinuitas operasional sistem pembakaran.

*Combustion chamber* adalah ruang atau tempat di mana proses pembakaran bahan bakar berlangsung dalam sebuah sistem pembakaran. Ruang ini dirancang dengan presisi untuk memastikan bahwa bahan bakar dapat bercampur dengan udara secara optimal, sehingga pembakaran berlangsung secara efisien dan menghasilkan energi panas yang maksimal sesuai kebutuhan aplikasi, seperti pada *boiler*, *furnace*, atau kiln. *Air damper* adalah salah satu komponen penting dalam sistem pembakaran yang berfungsi untuk mengatur jumlah udara yang masuk ke ruang pembakaran. Dengan perannya sebagai pengontrol aliran udara, *air damper* memastikan terciptanya rasio udara dan bahan bakar yang ideal, yang merupakan faktor kunci untuk mencapai pembakaran yang efisien dan sempurna. Proses pencampuran yang optimal ini tidak hanya menghasilkan energi panas yang maksimal tetapi juga membantu mengurangi emisi gas buang yang berbahaya, seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).

*Flame sensor* adalah perangkat penting dalam sistem pembakaran yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan api di dalam ruang pembakaran. Sensor ini dirancang untuk memastikan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan baik dan api tetap menyala secara stabil. *Control panel* adalah perangkat kontrol yang dirancang untuk mengatur dan memantau operasional sistem pembakaran, seperti *burner* yang digunakan pada *boiler*, *furnace*, atau kiln. Panel ini berfungsi sebagai pusat kendali yang bertanggung jawab dalam mengelola berbagai komponen *burner*, termasuk pengaturan aliran bahan bakar dan udara, suhu, tekanan, serta parameter operasional lainnya. Dengan adanya *control panel*, proses pembakaran dapat berjalan secara aman, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan operasional industri. Panel kontrol *burner* biasanya memiliki banyak fitur, seperti layar tampilan digital, tombol kontrol manual, indikator status operasi, dan alarm peringatan untuk mendeteksi kondisi abnormal dalam sistem pembakaran.

*Pressure gauge* adalah alat penting yang digunakan untuk mengukur tekanan dalam sistem pembakaran, khususnya pada aliran bahan bakar atau udara yang masuk ke *burner*. Pengukuran tekanan ini sangat krusial karena tekanan yang tepat merupakan salah satu faktor utama untuk mencapai pembakaran yang efisien, stabil, dan aman. Dengan memastikan tekanan berada pada level yang sesuai, sistem dapat beroperasi dengan efisiensi optimal dan risiko gangguan operasional dapat diminimalkan. *Pressure gauge* biasanya dilengkapi dengan skala pengukuran yang jelas dan akurat, memungkinkan operator untuk memantau kondisi tekanan secara *real-time*.

*Temperature control* adalah sistem atau perangkat yang sangat penting dalam mengatur dan mengontrol suhu dalam proses pembakaran di berbagai aplikasi industri, seperti *boiler*, *furnace*, kiln, dan mesin lainnya yang menggunakan *burner*. Fungsi utama dari *temperature control burner* adalah untuk menjaga suhu pembakaran pada level yang tepat, sehingga proses pembakaran dapat berjalan efisien, aman, dan sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi. Dengan mengatur suhu secara akurat, sistem pembakaran dapat beroperasi pada kondisi ideal yang tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mengoptimalkan kualitas produk yang dihasilkan.

*Exhaust gas outlet* adalah saluran atau sistem yang digunakan untuk mengalirkan gas hasil pembakaran (*exhaust gases*) dari ruang pembakaran *burner* ke atmosfer atau sistem pembuangan lainnya. Dalam sistem pembakaran, *exhaust gas outlet* berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran yang dihasilkan selama proses pembakaran bahan bakar. Gas-gas ini mengandung zat yang telah terbakar, seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan uap air, serta mungkin juga mengandung partikel atau polutan lain, seperti jelaga dan asap, yang terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna.

*Safety device* bekerja dengan mendeteksi dan mencegah kondisi berbahaya, seperti kebakaran, kebocoran gas, suhu berlebih, kehilangan api, atau kegagalan aliran bahan bakar, yang bisa berpotensi menyebabkan kerusakan pada *burner*, kebakaran, atau bahkan ledakan. *Gas leak detectors*, *pressure relief valves*, *temperature cutoffs*, dan *flame sensors* adalah beberapa contoh perangkat keselamatan dalam sistem pembakaran. Relai keselamatan api memantau api di dalam ruang pembakaran dan akan secara otomatis menghentikan aliran bahan bakar jika api padam, mencegah kebocoran bahan bakar yang dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan. *Gas leak detectors* juga mendeteksi kebocoran bahan bakar.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian deskriptif kualitatif. Menurut Sarwono (2012:239), prinsip pokok teknik analisis kualitatif ialah mengolah dan menganalisis data-data yang terkumpul menjadi data yang sistematis, teratur, terstruktur, dan mempunyai makna, setelah seluruh data dari hasil penelitian diperoleh, dilaksanakan teknik analisa data. Metode ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan kinerja sistem pembakaran *burner boiler* guna menunjang produksi *steam* yang efisien di atas kapal MV. Tanto Abadi.



Gambar. 4 Teknik pengumpulan data

Metode observasi melibatkan pengumpulan data dengan mengamati secara langsung kegiatan yang dilakukan terhadap proses pembakaran dalam *burner boiler*, termasuk suhu pembakaran, tekanan, dan emisi gas buang, serta, inspeksi kondisi fisik komponen *burner*, seperti *nozzle*, *blower*, *fuel pump*, dan sistem control otomatis, untuk mengetahui apakah ada kerusakan atau penyumbatan yang mempengaruhi kerja. Metode wawancara dilakukan dengan cara mewawancarai KKM selaku penanggungjawab keseluruhan *engine room*, masinis 3 yang mempunyai tugas merawat *burner boiler* serta *oiler* yang berperan langsung dalam pemeliharaan harian dan pengoperasian sistem pembakaran *burner boiler*. Metode dokumentasi dilakukan dengan cara menganalisis dokumen dengan bentuk dokumen seperti proses pengoptimalan kinerja *burner boiler*, termasuk kondisi sebelum dan sesudah perawatan serta mencatat data terkait kinerja *burner boiler*, konsumsi bahan bakar, dan parameter pembakaran di atas kapal MV. Tanto Abadi.

Metode analisis data yang digunakan penulis adalah deskriptif kualitatif dalam analisis data. Data yang sudah dikumpulkan sebagai bahan yang dijadikan acuan dalam pembahasan mengenai rumusan masalah yang akan dibahas guna mendapatkan solusi tentunya perlu dilakukan analisa terhadap bahan atau informasi yang diterima, dengan demikian menganalisa data perlu dibutuhkan suatu teknik agar data menjadi lebih akurat dan aktual sebagai bentuk efektifitas suatu informasi yang krusial dalam penentuan solusi yang akan dibahas menjadikan hasil final dari penelitian ini bisa dipertanggung jawabkan. Adapaun analisis data pada penelitian ini menggunakan metode *Miles and Hubberman* yaitu dengan reduksi data, penyajian data, dan Kesimpulan.

Pengumpulan data primer melalui observasi, wawancara dan dokumentasi yang dilakukan secara langsung di Lokasi penelitian yaitu kapal MV Tanto Abadi terkait proses pengoprasian, perawatan dan perbaikan *burner boiler*. Reduksi data dimulai dengan menuliskan ulang hasil wawancara dan observasi ke dalam bentuk narasi yang lebih jelas. Kemudian, data tersebut dibaca kembali dan dicocokkan dengan teori sistem pembakaran dan efisiensi *boiler* untuk mengetahui apakah ada kendala atau potensi perbaikan. Hasil reduksi ini akan menjadi dasar dalam mengembangkan solusi guna mengoptimalkan kinerja sistem pembakaran, sehingga proses produksi *steam* di atas kapal MV. Tanto Abadi bisa berjalan lebih efisien dan stabil.

Data hasil wawancara, observasi dan dokumentasi yang telah direduksi dan diringkas akan disajikan secara sistematis serta disusun dalam bentuk tabel performa *burner*, diagram alur sistem pembakaran, dan foto dokumentasi sistem *boiler* agar lebih mudah dipahami selanjutnya dapat disimpulkan solusi dan permasalahan yang nantinya akan berdampak baik pada kinerja sistem pembakaran pada *burner boiler* kapal MV. Tanto Abadi.

## HASIL PENELITIAN

### Hasil Observasi

Sering terjadinya kegagalan penyalaan api disebabkan banyak faktor, namun penyebab utama hal tersebut dapat terjadi adalah terdapat permasalahan pada sistem pengapian *burner*. Berikut merupakan gambar *nozzle burner boiler* ketika mengalami masalah dan belum dibersihkan.



Gambar. 5 Nozzle Burner Boiler Sebelum Dibersihkan

Perawatan *nozzle* bahan bakar pada *burner boiler* yang tidak sesuai PMS (*Planning Maintenance System*) akan mengakibatkan proses pembakaran awal pada *boiler* tidak maksimal. Hal yang menyebabkan *nozzle* bahan bakar pada *burner boiler* tidak bekerja dengan baik akibat kurangnya perawatan dan kurangnya *sparepart* diatas kapal, oleh karena itu perawatan sangatlah penting untuk dilakukan, dan jika sudah dilakukan perawatan tetapi *nozzle* bahan bakar pada *burner boiler*nya tetap tidak bekerja dengan maksimal sebaiknya dilakukan pergantian *nozzle burner* dengan yang baru, dan ini akan membuat proses pembakaran awal *boiler* berjalan dengan baik dan lancar. *Nozzle* yang tidak bekerja secara optimal akan mempengaruhi tekanan bahan bakar yang diperlukan, hal ini dapat mengakibatkan pembakaran pada *burner* tidak optimal, Pada saat kondisi *Nozzle boiler* normal tekanan bahan bakar yang dihasilkann seharusnya berkisar 20-30 Kg/cm<sup>2</sup> dengan tekanan uap yang dihasilkan 7-10 Kg/cm<sup>2</sup>. Berikut data tabel operasional *Burner Boiler* pada KM. Tanto Abadi.

Tabel. 1 Tekanan F.o dan Uap Boiler Sebelum Diperbaiki

Tanggal	Lokasi	Tekanan F.O Inlet pressure	Tekanan Uap Boiler	Keterangan
10/12/2023	MV.Tanto abadi	13 Kg/cm <sup>2</sup>	4 Kg/cm <sup>2</sup>	Tidak Normal
17/02/2024	MV.Tanto abadi	15 Kg/cm <sup>2</sup>	5 Kg/cm <sup>2</sup>	Tidak Normal
03/04/2024	MV.Tanto abadi	15 Kg/cm <sup>2</sup>	5 Kg/cm <sup>2</sup>	Tidak Normal
29/04/2024	MV.Tanto abadi	12 Kg/cm <sup>2</sup>	3 Kg/cm <sup>2</sup>	Tidak Normal
19/06/2024	MV.Tanto abadi	13 Kg/cm <sup>2</sup>	4 Kg/cm <sup>2</sup>	Tidak Normal

Berdasarkan tabel 1 dapat disimpulkan bahwa tekanan f.o dan uap *boiler* tidak sesuai dari yang seharusnya dan mengalami penurunan. Dengan demikian Masinis 4 menemukan permasalahan yaitu kotornya *nozzle burner*, tidak simetrisnya *electrode* pada *boiler* dan rusaknya packing pada *burner boiler*, hal tersebut diakibatkan dari gagalnya *shoot blow*. Setelah mengetahui permasalahan pada *boiler* tersebut, maka dilakukan pembersihan pada *nozzle*, mengganti *packing burner* yang rusak dengan yang baru, mengatur kembali jarak *electrode* pada *burner* sesuai dengan buku petunjuk *manual book*.

Tabel. 2 Tekanan F.O dan Uap Boiler Setelah Diperbaiki

Tanggal	Lokasi	Tekanan F.O Inlet pressure	Tekanan Uap Boiler	Keterangan
11/12/2023	MV.Tanto Abadi	19 Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>	Normal
18/02/2024	MV.Tanto Abadi	19 Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>	Normal
04/04/2024	MV.Tanto Abadi	19Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>	Normal
30/04/2024	MV.Tanto Abadi	20 Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>	Normal
20/06/2024	MV.Tanto Abadi	20 Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>	Normal

Setelah dilakukan perawatan dan perbaikan pada sistem pembakaran *burner boiler*, khususnya pada komponen *nozzle*, elektroda *ignition*, serta penggantian *packing burner*, performa sistem pembakaran menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dari data tekanan bahan bakar (*Fuel Oil/F.O*) dan tekanan uap (*steam*) yang tercatat pada Tabel 2 di atas. Selain masalah pada *nozzle burner*, terjadinya kegagalan penyalaan api disebabkan pada saat pengoperasian awal untuk menghasilkan api *burner* gagal untuk menghasilkan api, lalu dilakukan pemeriksaan pada sistem pengapian pada *burner* baik itu pada sensor-sensor, *switching system*, *gauge* (pengukur), juga kontrol sistem tidak terdapat masalah dan dapat bekerja secara baik, ternyata terdapat pada elektroda pembakar terdapat banyak residu- residu dari kotoran-kotoran yang terdapat pada bahan bakar.



Gambar. 6 *Electrode Burner Boiler*

Maka dilakukan perawatan pada saat itu juga dengan membersihkan permukaan elektroda tersebut, setelah itu kembali dioperasikan namun tetap saja api tidak dapat tercipta maka dilakukan pengecekan kembali, dengan melakukan pengukuran pada jarak elektroda- elektroda pembakar, ternyata ditemukan jarak pada elektroda- elektroda pembakar tidak sesuai dengan yang dianjurkan oleh pabrik pembuat mesin. Kurangnya perhatian dalam pemasangan batang elektroda ini merupakan penyebabnya, selain itu baut pengikat yang kurang kencang dapat mengubah posisi batang elektroda tersebut. Langkah awal yang diambil oleh masinis IV pada saat terjadi masalah adalah melakukan pemeriksaan dan pembersihan kotoran yang menempel pada kawat elektroda igniter serta mengadakan penyetelan ulang antara jarak kedua ujung elektroda dan jarak antara mulut *nozzle* dengan ujung elektroda. Pada saat pemeriksaan terhadap jarak kedua katup elektroda pilot *burner* memperoleh data sebagai berikut.

Tabel. 3 Jarak *Electrode Pilot Burner*

Keterangan	Jarak <i>Manual Book</i>	Jarak yang diperoleh	Hasil
Sebelum perbaikan	6-7 mm	4-5 mm	Tidak Normal
Sesudah perbaikan	6-7 mm	7 mm	Normal

Berdasarkan tabel pada mesin telah diperbaiki maka dapat disimpulkan bahwa mesin dapat bekerja dengan baik dan menghasilkan uap bertekanan, sehingga mencapai tekanan yang ditentukan

#### Hasil Wawancara

Dalam rangka menggali permasalahan teknis terkait kegagalan pembakaran awal pada sistem *burner boiler* di kapal, peneliti telah melakukan wawancara dengan tiga narasumber utama yang memiliki peran operasional langsung, yaitu Kepala Kamar Mesin (KKM), Masinis III, dan Oiler. Wawancara ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran mendalam mengenai

penyebab umum, dampak, serta tindakan preventif dan korektif yang dilakukan awak kapal terhadap kegagalan tersebut.

#### **Perspektif Kepala Kamar Mesin (KKM):**

- Menurut KKM (Hendri Dwi Cahyono), kegagalan awal pada sistem burner umumnya disebabkan oleh tiga komponen utama: nozzle yang tersumbat, sistem ignition yang lemah, dan blower yang tidak bekerja optimal. Ketidakstabilan tekanan bahan bakar serta suplai udara awal yang tidak memadai turut memperburuk kondisi. Selain itu, kualitas bahan bakar menjadi faktor penting, karena keberadaan air atau kotoran dapat menghambat proses pembakaran. Dampak dari kegagalan ini meliputi penundaan produksi uap, pemborosan bahan bakar, hingga shutdown otomatis oleh sistem. Frekuensi kejadian rata-rata adalah 1–2 kali per bulan, khususnya jika perawatan tidak dilakukan secara disiplin. Untuk mengatasi hal ini, pemeriksaan rutin terhadap nozzle, blower, dan tekanan bahan bakar dilakukan, serta disertai dengan pelatihan teknis berkala bagi kru dan kadet.

#### **Perspektif Masinis III:**

- Masinis III (Afit Syahputra) menekankan bahwa kegagalan pembakaran kerap terjadi akibat nozzle yang kotor, elektroda ignition yang aus, serta adanya air lock dalam jalur bahan bakar. Ia juga menyatakan bahwa bahan bakar berkualitas rendah menghambat proses atomisasi, yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan nyala api awal. Ketiga komponen utama—nozzle, ignition, dan blower—harus berada dalam kondisi prima agar sistem berfungsi optimal. Ketika terjadi kegagalan, alarm sistem aktif, proses pengulangan start dilakukan, dan waktu produksi uap terbuang sia-sia. Tindakan awal yang diambil adalah pemeriksaan menyeluruh dan restart manual, serta pelaporan ke KKM jika ditemukan anomali. Pelatihan teknis dan briefing mingguan dilakukan secara rutin dengan melibatkan kadet untuk meningkatkan pemahaman operasional.

#### **Perspektif Oiler:**

- Oiler (Tedy Eko) memberikan pandangan serupa, menyebutkan bahwa kegagalan awal umumnya disebabkan oleh nozzle yang kotor, ignition yang gagal memantik, atau blower yang tidak menyala. Ia menekankan pentingnya memastikan filter bahan bakar dalam kondisi bersih sebelum proses start. Menurutnya, gangguan pada salah satu dari tiga komponen utama dapat menghambat nyala burner secara keseluruhan, mengakibatkan gangguan pada sistem uap dan pemanas. Kejadian ini biasanya terjadi 1–2 kali per bulan, terutama setelah pelayaran panjang atau penggunaan bahan bakar berkualitas buruk. Tindakan korektif yang dilakukan meliputi pembersihan nozzle, pengecekan ignition, dan pelaporan ke Masinis III. Oiler juga aktif dalam kegiatan perawatan mingguan serta pencatatan kondisi ke dalam logbook, sekaligus terlibat dalam proses pembelajaran bersama kadet di ruang mesin.

Gambar. 7 Hasil wawancara

Adanya kesamaan pola temuan dari ketiga narasumber terkait faktor penyebab kegagalan awal pembakaran burner, serta pendekatan teknis yang dilakukan untuk pencegahan dan penanganannya. Hal ini memperkuat validitas data lapangan dan memberikan dasar yang kuat untuk analisis lebih lanjut dalam konteks manajemen operasi sistem boiler di kapal.

#### **Analisis Data**

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pembakaran awal pada burner boiler kapal MV. Tanto Abadi, serta mengevaluasi efektivitas tindakan perawatan terhadap peningkatan kinerja sistem. Proses analisis data dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan.

Reduksi data dilakukan dengan cara menyederhanakan dan memilah data yang paling relevan terhadap rumusan masalah. Berdasarkan hasil observasi langsung, dokumentasi teknis, dan wawancara dengan personel mesin kapal, diperoleh temuan utama bahwa penyebab kegagalan pembakaran awal diidentifikasi berasal dari lima faktor utama: kondisi nozzle yang kotor atau tidak terawat, kelemahan pada sistem ignition (termasuk ketidaktepatan posisi electrode), suplai udara yang kurang optimal akibat blower yang tidak bekerja maksimal, tekanan bahan bakar yang tidak stabil, serta kualitas bahan bakar yang tercampur air atau kontaminan lain.

Dampak operasional dari kegagalan pembakaran meliputi: tertundanya proses produksi steam, meningkatnya konsumsi bahan bakar, aktifnya alarm sistem hingga shutdown otomatis, serta menurunnya efisiensi sistem secara keseluruhan. Tindakan perbaikan yang telah diimplementasikan mencakup pembersihan komponen nozzle dan electrode, penyetelan ulang jarak electrode sesuai spesifikasi pabrikan (manual book), penggantian packing burner, serta monitoring tekanan bahan bakar dan tekanan uap secara rutin. Hasil wawancara menunjukkan bahwa seluruh personel teknik menyadari pentingnya kondisi nozzle, ignition, dan blower dalam menjaga keandalan sistem. Perawatan Preventive Maintenance System (PMS) secara berkala serta briefing teknis telah dijalankan, namun kegagalan tetap terjadi secara insidental (1–2 kali per bulan) terutama akibat variasi teknis dan kualitas bahan bakar.

Data hasil observasi dan wawancara ditampilkan dalam bentuk narasi, tabel, dan dokumentasi visual untuk memperkuat analisis. Beberapa data kunci antara tabel performa tekanan sistem sebelum dan

sesudah perbaikan menunjukkan adanya peningkatan signifikan: tekanan bahan bakar (FO) meningkat dari 12–15 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 19–20 kg/cm<sup>2</sup>, dan tekanan uap stabil pada angka 20 kg/cm<sup>2</sup>.

Pengukuran ulang jarak electrode, dari semula hanya 4–5 mm (tidak sesuai standar), disetel ulang menjadi 7 mm (standar ideal: 6–7 mm), sehingga meningkatkan efisiensi percikan dan keberhasilan pembakaran. Hasil wawancara mengkonfirmasi adanya kolaborasi aktif antar kru mesin, serta keterlibatan kadet dalam kegiatan pembelajaran praktis dan perawatan teknis, yang berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman sistem. Gambar dokumentasi teknis menunjukkan kondisi aktual dari komponen sebelum dan sesudah dilakukan tindakan perawatan, memperkuat validitas observasi.

Berdasarkan keseluruhan data yang telah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa kegagalan pembakaran awal pada burner boiler di kapal MV. Tanto Abadi disebabkan oleh akumulasi faktor teknis dan operasional, khususnya pada aspek pemeliharaan komponen utama (nozzle, ignition, blower), serta kualitas bahan bakar yang tidak stabil.

Namun, setelah dilakukan tindakan perawatan dan penyesuaian sistem sesuai dengan panduan teknis dan standar operasional, performa sistem menunjukkan perbaikan signifikan. Tekanan bahan bakar dan tekanan uap kembali ke batas optimal, dan proses produksi uap berjalan stabil. Selain itu, keterlibatan aktif kru dan pelatihan bagi kadet menjadi faktor pendukung penting dalam menjaga keberlanjutan performa sistem di masa mendatang.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi teknis dan wawancara mendalam dengan KKM, Masinis III, serta *Oiler*, ditemukan bahwa penyebab utama terjadinya kegagalan awal pembakaran pada *burner boiler* di kapal MV. Tanto Abadi disebabkan oleh beberapa faktor teknis. Faktor pertama adalah kondisi *nozzle burner* yang kotor atau tersumbat, akibat dari kurangnya perawatan dan akumulasi residu bahan bakar. *Nozzle* yang tidak bersih akan menyebabkan pengabutan bahan bakar tidak sempurna, sehingga pembakaran tidak terjadi dengan optimal. Hal ini diperkuat dari data observasi bahwa sebelum dilakukan perawatan, tekanan bahan bakar hanya mencapai 12–15 Kg/cm<sup>2</sup>, dan tekanan uap hanya 3–5 Kg/cm<sup>2</sup>, yang tidak sesuai standar operasi normal (20 Kg/cm<sup>2</sup> untuk FO dan 10 Kg/cm<sup>2</sup> untuk steam).

Faktor kedua adalah *ignition system* yang lemah, seperti elektroda yang aus atau jarak antara ujung elektroda tidak sesuai standar. Berdasarkan pemeriksaan lapangan, ditemukan bahwa jarak elektroda saat sebelum diperbaiki hanya 4–5 mm, sedangkan standar dari pabrikan adalah 6–7 mm. Jarak ini mempengaruhi kekuatan percikan api dan sering kali menjadi penyebab *burner* gagal menyala pada saat *start-up*.

Faktor ketiga adalah ketidakstabilan tekanan bahan bakar serta blower yang tidak bekerja maksimal dalam menyuplai udara pembakaran. Ketiga komponen *nozzle*, *ignition*, dan blower memiliki hubungan langsung dalam membentuk kondisi ideal bagi proses pembakaran awal. Jika salah satu dari sistem ini mengalami gangguan, maka pembakaran awal akan gagal. Kualitas bahan bakar juga menjadi salah satu penyebab penting. Dari hasil wawancara, seluruh narasumber menyatakan bahwa bahan bakar yang tercemar air atau kotoran akan mengganggu proses atomisasi (pengabutan) dan menyebabkan kegagalan nyala api.

Kegagalan pembakaran tidak hanya menghambat produksi *steam*, tetapi juga berdampak langsung terhadap kinerja keseluruhan sistem mesin dan operasional kapal. Berdasarkan wawancara dengan KKM dan Masinis III, dampak utama dari kegagalan pembakaran adalah tertundanya pembentukan *steam*, yang sangat dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem pemanas, pompa uap, dan keperluan domestik lainnya di atas kapal. Kegagalan ini juga menyebabkan pemborosan bahan bakar, karena sistem harus melakukan restart berulang-ulang untuk mendapatkan nyala api yang stabil. Hal ini memperbesar konsumsi bahan bakar yang tidak efisien. Selain itu, alarm sistem otomatis akan aktif, dan sistem *burner* akan mengalami *auto shutdown* sebagai mekanisme keselamatan. Hal ini tentu dapat mengganggu kelancaran operasional kapal, terlebih saat kapal berada dalam kondisi pelayaran aktif dan memerlukan pasokan uap yang stabil. Dari sisi *maintenance*, kegagalan yang terus-menerus terjadi akan meningkatkan beban kerja perwira dan teknisi mesin, serta mempercepat kerusakan komponen karena

beban kerja tidak proporsional

Solusi untuk mengatasi masalah pembakaran pada *burner boiler*, kru mesin telah menerapkan beberapa langkah teknis yang terbukti meningkatkan kinerja sistem. Salah satu langkah utama adalah pembersihan rutin dan penggantian *nozzle burner*. Data menunjukkan bahwa setelah dilakukan perbaikan pada *nozzle*, tekanan bahan bakar meningkat ke angka normal yaitu 19–20 Kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan *steam* menjadi stabil di 10 Kg/cm<sup>2</sup>. Langkah selanjutnya adalah penyetelan ulang elektroda *ignition* berdasarkan standar *manual book* yaitu pada jarak 6–7 mm. Setelah disetel ulang, nyala api menjadi lebih stabil, dan proses pembakaran dapat berlangsung tanpa gangguan. Kegiatan perawatan rutin (PMS) juga dilaksanakan secara berkala, termasuk pembersihan *blower*, pengecekan saringan bahan bakar, serta penggantian komponen jika ditemukan aus atau rusak.

Selain tindakan teknis, pelatihan dan briefing kru menjadi bagian penting dalam proses pencegahan kegagalan. KKM dan Masinis III menyampaikan bahwa briefing teknis dilakukan setiap awal boarding serta saat *overhaul*, yang juga melibatkan kadet untuk memahami sistem pembakaran dengan lebih baik. Dengan perawatan yang tepat, penyesuaian sistem, serta peningkatan kompetensi teknis kru, maka kinerja *burner boiler* dapat berjalan optimal dan mendukung produksi *steam* yang efisien, stabil, dan berkelanjutan di atas kapal MV. Tanto Abadi.

## PENUTUP

Berdasarkan hasil observasi teknis dan wawancara mendalam dengan KKM, Masinis III, serta *Oiler*, ditemukan bahwa penyebab utama terjadinya kegagalan awal pembakaran pada *burner boiler* di kapal MV. Tanto Abadi disebabkan oleh beberapa faktor teknis, yaitu kondisi *nozzle burner* yang kotor atau tersumbat akibat kurangnya perawatan dan penumpukan residu bahan bakar, *ignition system* yang lemah seperti elektroda yang aus atau jarak elektroda yang tidak sesuai standar pabrikan, ketidakstabilan tekanan bahan bakar serta *blower* yang tidak bekerja maksimal dalam menyuplai udara pembakaran, serta kualitas bahan bakar yang buruk yang mengandung air atau kotoran sehingga mengganggu proses pengkabutan bahan bakar dan membuat api tidak bisa menyala.

Kegagalan pembakaran tidak hanya menghambat produksi *steam*, tetapi juga berdampak langsung terhadap kinerja keseluruhan sistem mesin dan operasional kapal. Pembentukan *steam* yang tertunda membuat gangguan pada sistem pemanas, pompa uap, dan keperluan domestik di kapal, pemborosan bahan bakar akibat proses *restart* yang berulang-ulang, aktifnya alarm sistem otomatis yang dapat menyebabkan *auto shutdown* sebagai bentuk perlindungan sistem, serta meningkatnya beban kerja teknisi mesin dan percepatan kerusakan komponen akibat pembebanan yang tidak proporsional.

Untuk mengatasi masalah pembakaran pada *burner boiler*, kru mesin telah menerapkan beberapa langkah teknis seperti pembersihan rutin dan penggantian *nozzle burner* yang terbukti meningkatkan tekanan bahan bakar menjadi 19–20 Kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan uap menjadi stabil di 10 Kg/cm<sup>2</sup>, penyetelan ulang elektroda *ignition* berdasarkan standar *manual book* yaitu 6–7 mm agar nyala api menjadi lebih stabil, serta pelaksanaan perawatan rutin (PMS) yang mencakup pembersihan *blower*, pengecekan saringan bahan bakar, dan penggantian komponen jika diperlukan, ditambah dengan pelatihan dan *briefing* teknis kepada kru dan kadet yang dilakukan secara berkala guna memastikan semua personel memahami sistem pembakaran dan mampu menjaga kinerja *burner boiler* agar tetap optimal dalam menunjang produksi *steam* yang efisien, stabil, dan berkelanjutan.

## REFERENSI

- Afirio, M. (2023). *Boiler system optimization*. Jakarta: Techno Engineering Press.
- Iriyadi, I., Setiawan, B., & Sutarti, S. (2017). Pelatihan Analisis Data Penelitian (Primer Dan Sekunder) Bagi Mahasiswa Kesatuan. *Jurnal Abdimas*, 1(1), 1-4.
- Maulana, A. (2023). Optimalisasi perawatan ketel uap terhadap pembakaran di MV. Tanto Sukses. *Jalan Gunung Anyar Boulevard*, 9(4), 250–256.

- Mangkunegara, A. A. A. P. (2021). *Manajemen sumber daya manusia perusahaan*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2023). *Perry's chemical engineers' handbook*. McGraw-Hill Education.
- Rafly, N. (2023). *Optimalisasi kinerja burner guna menunjang kelancaran pengoperasian ketel bantu di MV. Manalagi Dasa* (Doctoral dissertation, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang).
- Robbi, S. D., Mahendra, R. W. I., Triyono, A., Surabaya, P. P., & Surabaya, P. P. (2024). Analisis gagalnya pembakaran pada boiler di kapal MT Gas Kalimantan, 4.
- Saidur, R., Mekhilef, S., & Masjuki, H. H. (2023). Energy efficiency in boilers: A comprehensive review. *Elsevier*.
- Sarwono, J. (2012). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Septiani, Y., Aribbe, E., & Diansyah, R. (2020). Analisis Kualitas Layanan Sistem Informasi Akademik Universitas Abdurrab Terhadap Kepuasan Pengguna Menggunakan Metode Sevqual (Studi Kasus: Mahasiswa Universitas Abdurrab Pekanbaru). *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, 3(1), 131-143.
- Setiawan, A. (2022). *Teknologi sistem pembakaran untuk efisiensi energi*. Jakarta: Penerbit Teknik Energi.
- Shofa Dai Robbi, R. W. (2024). Analisis gagalnya pembakaran pada boiler di kapal MT Gas Kalimantan. *Journal of Social Science Research*, 4, 6331-6346.
- Smith, J., Brown, T., & Lee, H. (2022). *Boiler dynamics and control*. Springer International Publishing.
- Sugiyono. (2016). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: PT. Alfabet.
- Suhail, R. A. (2023). *Marine boiler technology and operation*. Surabaya: Maritime Innovation Journal.
- Suhail, R. A. (2023). *Optimalisasi kinerja sistem pembakaran pada burner boiler untuk menunjang produksi steam di atas kapal MV. Aquabeauty*.
- Sutrisno, (2022). *Manajemen sumber daya manusia*. Jakarta: Kencana.
- Wijaya, R. (2021). *Prinsip dasar sistem pembakaran pada mesin dan peralatan industri*. Bandung: Pustaka Teknik Nusantara.