

Upaya Menjaga Kestabilan Tegangan Elektroda dalam Menghasilkan Bunga Api terhadap Kelangsungan Proses Pembakaran Boiler di Kapal MV. Mubasyir

Ahmad Abdul Rozak¹, Ali Khamdilah^{2*}, M Aji Luhur Pambudi³

^{1,2} Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Bumi Akpelni

³ Program Studi Transportasi Laut, Politeknik Bumi Akpelni

*e-mail korespondensi: alikhmdilah@akpelni.ac.id

Abstract

The ignition system in a boiler plays a crucial role in ensuring the continuous combustion process. To generate an optimal spark, electrode voltage stability is required. This study aims to identify the factors affecting electrode voltage stability on the MV. Mubasyir ship through observation, interviews, and technical analysis. The findings reveal that ignition disturbances are caused by voltage fluctuations, insulator damage, and inadequate maintenance. Recommended improvements include routine maintenance, the use of high-temperature-resistant insulators, and crew training. The implementation of these strategies is expected to enhance combustion efficiency and boiler system reliability.

Keywords: Boiler Combustion, Electrode, Ignition System, Spark, Voltage.

Abstrak

Sistem pengapian dalam boiler memiliki peran krusial dalam memastikan proses pembakaran berlangsung secara berkelanjutan. Untuk menghasilkan percikan bunga api yang optimal, diperlukan kestabilan tegangan elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan tegangan elektroda pada kapal MV. Mubasyir melalui metode observasi, wawancara, dan analisis teknis. Hasil penelitian mengungkap bahwa gangguan pengapian disebabkan oleh fluktuasi tegangan, kerusakan isolator, serta kurangnya perawatan. Upaya perbaikan yang disarankan mencakup pemeliharaan rutin, penggunaan isolator berbahan tahan suhu tinggi, serta pelatihan kru kapal. Implementasi strategi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pembakaran serta keandalan sistem boiler.

Kata Kunci: Bunga Api, Elektroda, Pembakaran Boiler, Sistem Pengapian, Tegangan.

PENDAHULUAN

Boiler merupakan pesawat bantu yang berfungsi memproduksi uap melalui proses pembakaran berkelanjutan (Tarsudin, 2019). Proses awal pembakaran membutuhkan percikan bunga api yang dihasilkan oleh sistem pengapian, di mana elektroda menjadi komponen utama yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara (Stone, 1999). Pada boiler kapal MV. *Mubasyir*, ditemukan masalah ketidakstabilan tegangan pada elektroda yang berdampak pada menurunnya konsistensi percikan api, sehingga pembakaran tidak berlangsung optimal. Kondisi ini menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan risiko kegagalan pembakaran yang berpotensi merugikan secara operasional. Ketergantungan elektroda pada suplai daya yang stabil menjadi faktor krusial, karena kestabilan tegangan menentukan kualitas percikan bunga api yang dihasilkan (Kumar, 2019). Selain itu, masalah isolator yang tidak memenuhi standar juga dapat memicu kebocoran arus dan menurunkan kualitas pembakaran (Heywood, 1988; Harris, 2015). Dengan demikian, permasalahan utama

penelitian ini berfokus pada bagaimana kestabilan tegangan elektroda dapat dijaga agar proses pembakaran pada boiler berlangsung efisien dan aman.

Sistem pengapian pada boiler terdiri dari berbagai komponen seperti power supply, transformator, kabel tegangan tinggi, dan elektroda (Ganapathy, 2017; Baukal, 2001). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa transformator berperan penting dalam meningkatkan tegangan agar percikan api dapat terbentuk secara optimal (Steinmetz, 2009; Hughes, 2005). Selain itu, kabel tegangan tinggi harus mampu mengalirkan tegangan ke elektroda tanpa mengalami kebocoran (Ushakov & Mytnikov, 2023; Gollin, 2014). Penelitian mengenai elektroda juga menyoroti bahwa efektivitas pembentukan percikan api sangat dipengaruhi oleh tegangan, kualitas isolator, dan jarak percikan (Jones & Goodwin, 2017; Zhou & Tan, 2016). Standar isolator mensyaratkan kekuatan dielektrik tinggi, ketahanan terhadap suhu ekstrem, serta resistansi listrik minimal agar mampu menjaga kestabilan sistem pengapian (Tewari, 2016; Peterson et al., 2019; Bain & Harrington, 2020; Smith & Lee, 2020; Kumar & Singh, 2020; Harris, 2015). Namun, penelitian yang secara khusus menganalisis kaitan antara kestabilan tegangan elektroda, standar isolator, dan suplai daya dalam konteks boiler kapal—terutama berdasarkan data aktual di MV. *Mubasyir*—masih sangat terbatas, sehingga celah penelitian ini menjadi novelty penting.

Literatur menunjukkan bahwa pembakaran hanya dapat terjadi jika bahan bakar, panas, dan oksigen terpenuhi sebagaimana konsep segitiga api (Syarief et al., 2020; Wardhana, 2017). Untuk mendukung proses tersebut, elektroda harus mampu menghasilkan percikan api dengan intensitas yang memadai, yang sangat dipengaruhi oleh kestabilan tegangan (Herman, 2018). Ketidakstabilan tegangan dapat disebabkan oleh suplai daya yang tidak stabil (Kumar, 2019), isolator yang tidak memenuhi standar (Davis & Hall, 2018; Harris, 2015), atau kondisi elektroda yang terkontaminasi (Wang et al., 2017). Material elektroda dan isolator juga berpengaruh terhadap kinerja pembakaran (Hart, 2019). Berdasarkan kajian tersebut, hipotesis penelitian ini adalah bahwa ketidakstabilan tegangan elektroda menyebabkan percikan bunga api tidak konsisten sehingga proses pembakaran boiler menjadi tidak sempurna, menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan risiko kegagalan pembakaran. Sebaliknya, jika tegangan elektroda stabil dan isolator memenuhi syarat kekuatan dielektrik serta ketahanan suhu tinggi, maka efektivitas pembakaran dapat meningkat secara signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor teknis yang memengaruhi kestabilan tegangan elektroda pada sistem pengapian boiler kapal MV. *Mubasyir*, dengan fokus pada hubungan antara suplai daya, kondisi elektroda, dan standar isolator. Secara khusus, penelitian ini bermaksud: (1) mengkaji prinsip kerja elektroda dalam menghasilkan percikan bunga api berdasarkan konsep dasar pengapian (Jones & Goodwin, 2017); (2) mengukur dan membandingkan tegangan suplai dengan standar yang disarankan untuk sistem ignition boiler (Peterson et al., 2019; Jones, 2017); serta (3) mengevaluasi apakah isolator yang digunakan memenuhi standar kekuatan dielektrik, ketahanan suhu, dan resistansi minimal (Tewari, 2016; Bain & Harrington, 2020; Smith & Lee, 2020). Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pembakaran pada boiler, serta memberikan kontribusi ilmiah mengenai hubungan tegangan elektroda dan kualitas pembakaran pada sistem boiler kapal.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, yaitu metode yang bertujuan menggambarkan, menganalisis, dan menafsirkan fenomena secara mendalam sebagaimana dijelaskan oleh Sutopo & Arif (2010) bahwa penelitian kualitatif berfungsi untuk mendeskripsikan fenomena, peristiwa, aktivitas sosial, sikap, keyakinan, persepsi, dan pemikiran individu maupun kelompok. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh pemahaman

mendalam mengenai stabilitas tegangan elektroda dan mekanisme pembentukan bunga api pada boiler kapal MV. *Mubasyir*.

Metode ini memungkinkan peneliti menganalisis hubungan antara suplai daya, kondisi elektroda, kualitas isolator, serta praktik operasional yang mempengaruhi pembakaran boiler. Data dianalisis secara deskriptif guna mengidentifikasi pola, kelemahan, dan faktor teknis yang mendasari ketidakstabilan tegangan elektroda. Pendekatan ini sangat relevan karena fokus penelitian berada pada proses teknis yang hanya bisa dipahami melalui interpretasi langsung di lapangan.

Dalam penelitian kualitatif, subjek penelitian ditentukan berdasarkan kebutuhan data. Adapun Subjek utama penelitian ini adalah:

1. Sistem boiler kapal MV. *Mubasyir* yang terdiri dari burner, elektroda ignitor, sistem suplai daya, dan komponen pendukung lainnya.
2. Crew kapal, terutama Masinis 3, sebagai informan kunci karena bertanggung jawab terhadap perawatan dan pengoperasian mesin serta boiler.
3. Operator kamar mesin yang terlibat dalam monitoring tegangan elektroda dan pembakaran.

Penelitian tidak memakai konsep populasi–sampel secara statistik, melainkan *purposive sampling*, yaitu memilih informan yang memahami isu teknis stabilitas tegangan elektroda dan pembakaran boiler.

Penelitian dilakukan di kapal MV. *Mubasyir* milik PT. Gurita Lintas Samudera, selama 12 bulan saat peneliti melaksanakan praktik layar (prala). Kehadiran peneliti di lapangan bersifat langsung (participant observer), karena peneliti terlibat dalam aktivitas operasional kamar mesin dan dapat menyaksikan proses pembakaran boiler secara nyata.

Berikut data teknis kapal sebagai dasar pemahaman alat dan objek penelitian:

Tabel 1. Komponen pada objek penelitian

Komponen	Keterangan
Perusahaan	PT. Gurita Lintas Samudera
Nama kapal	MV. <i>Mubasyir</i>
IMO Number	94939397
Bendera	Indonesia
Tipe	Bulk Carrier
DWT	58.081 ton
Mesin Induk	MITSUI MAN B&W 6S50MC-C
Boiler	OSAKA BOILER
Tipe	Vertical Composite Type (OVS2-110/90-24)

Penelitian kualitatif teknik ini membutuhkan informasi alat dan material yang terlibat dalam sistem pembakaran, antara lain:

1. Sistem Elektroda Ignition
 - a. Terminal elektroda
 - b. Inti elektroda (logam campuran: tembaga, besi, nikel)
 - c. Isolator keramik berketahanan tinggi
 - d. Ribs & gasket
2. Sistem Power Supply
 - a. Kabel tegangan tinggi (High Voltage Cable) dengan kemampuan hantaran stabil (Ushakov & Mytnikov, 2023; Gollin, 2014)

- b. Transformator step-up dan step-down (Steinmetz, 2009; Hughes, 2005)
 - c. Ignition transformer untuk menaikkan tegangan percikan
3. Material Isolator
Mengacu pada standar internasional (IEC 60664 & IEC 60885):
- a. Keramik alumina & silika
 - b. Kekuatan dielektrik ≥ 20 kV/mm (Peterson et al., 2019)
 - c. Ketahanan suhu 800–1200 °C (Bain & Harrington, 2020; Smith & Lee, 2020)
- Spesifikasi alat dan bahan ini menggambarkan standar komponen yang mempengaruhi kestabilan tegangan elektroda.

Penelitian menggunakan dua jenis sumber data:

1. Data Primer
Diperoleh melalui:
 - a. Observasi langsung sistem boiler
 - b. Wawancara dengan masinis 3 dan teknisi boiler
 - c. Dokumentasi kegiatan operasional kamar mesin
2. Data Sekunder
Diperoleh dari:
 - a. Jurnal ilmiah tentang sistem pengapian elektroda
 - b. Buku referensi pembakaran dan boiler
 - c. Laporan teknis
 - d. Literatur mengenai suplai daya, isolator, dan pembakaran

Sumber data ini dipilih untuk menegaskan temuan lapangan serta memperkuat analisis teknis penelitian.

Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi
Mengacu pada Sugiyono (2021), observasi dilakukan untuk mengamati fenomena secara langsung. Peneliti melakukan observasi pada:
 - a. proses pembentukan bunga api elektroda
 - b. kestabilan tegangan selama boiler beroperasi
 - c. kondisi komponen elektroda dan isolatorObservasi dilakukan secara partisipatif karena peneliti berada langsung di kamar mesin.
2. Wawancara
Mengacu pada Sugiyono (2017), wawancara dilakukan secara terstruktur kepada:
 - a. Masinis 3
 - b. Teknisi boiler
 - c. Petugas kamar mesinPertanyaan fokus pada suplai daya, hambatan sistem ignition, kondisi elektroda, dan prosedur teknis boiler.
3. Dokumentasi
Dokumentasi meliputi:
 - a. pencatatan kondisi tegangan
 - b. foto komponen elektroda
 - c. log book boiler
 - d. manual boiler dan ignition system

Teknis Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan pendekatan induktif menggunakan teknik pengkodean (coding) sebagaimana dijelaskan oleh Moleong (2014) dan Gibbs (2007). Tahapan analisis meliputi:

1. Reduksi Data
Menyeleksi informasi relevan dari observasi, wawancara, dan dokumen.
2. Pengkodean Data
Memberi label pada informasi terkait tema seperti:
 - a. kestabilan tegangan
 - b. isolator
 - c. sistem suplai daya
 - d. performa elektroda
 - e. pembakaran boiler
3. Kategorisasi
Mengelompokkan hasil coding menjadi tema-tema utama.
4. Penarikan Kesimpulan
Menyusun pola hubungan antara tegangan elektroda, isolator, dan kualitas pembakaran.
Pendekatan ini memungkinkan peneliti menemukan pola teknis yang berpengaruh terhadap stabilitas pengapian boiler.

PEMBAHASAN

Penyajian Data dan Temuan Awal

Hasil observasi terhadap proses pembakaran boiler kapal MV. *Mubasyir* menunjukkan adanya fluktuasi tegangan pada elektroda yang berdampak pada ketidakstabilan percikan bunga api. Ketidakstabilan ini mengganggu kontinuitas pembakaran serta dapat menurunkan efisiensi pembangkitan uap. Stabilitas tegangan pada elektroda berada pada posisi yang sangat strategis dalam menjaga kelangsungan pembakaran, karena tegangan tinggi berfungsi menciptakan percikan yang diperlukan untuk menyalakan campuran bahan bakar dan udara. Ketika tegangan berfluktuasi, percikan yang dihasilkan menjadi tidak konsisten sehingga sistem boiler membutuhkan waktu lebih lama untuk menyala, dan kondisi tersebut berpotensi menghambat proses operasional lainnya. Dari hasil pemeriksaan awal, ditemukan bahwa salah satu penyebab utama berasal dari kerusakan pada isolator elektroda yang mengalami keretakan, sehingga terjadi kebocoran arus listrik. Kondisi ini memperburuk kestabilan tegangan dan memengaruhi kinerja elektroda dalam menghasilkan percikan bunga api yang kuat dan stabil. Keretakan ini umumnya disebabkan tidak optimalnya perawatan, misalnya isolator terbentur benda tumpul. Ketika isolator retak, arus listrik yang seharusnya fokus pada ujung elektroda mengalami hambatan dan berpindah ke area lain sehingga menurunkan efektivitas proses pengapian.

Hasil Pengukuran Tegangan, Frekuensi, Kebocoran Arus, dan Resistansi

Pengukuran dilakukan terhadap dua elektroda menggunakan multimeter digital untuk menilai tegangan, frekuensi percikan, kebocoran arus, dan resistansi isolator. Elektroda pertama menunjukkan nilai tegangan antara 11,8–12,1 kV, frekuensi percikan 20–21 Hz, kebocoran arus 0,01–0,02 mA, dan resistansi isolator 50–52 MΩ. Semua nilai tersebut berada dalam kategori normal, menandakan elektroda pertama bekerja dengan baik. Sebaliknya, elektroda kedua yang mengalami keretakan menunjukkan tegangan rendah (9,2–10,0 kV), frekuensi percikan lemah (14–16 Hz), kebocoran arus tinggi (0,18–0,30 mA), serta resistansi sangat rendah (15–21 MΩ). Nilai-nilai tersebut menegaskan bahwa keretakan isolator memberikan dampak signifikan terhadap performa elektroda. Tegangan yang rendah tidak cukup menghasilkan percikan bunga api yang konsisten, sehingga pembakaran sering mengalami kegagalan memulai (misfire). Kebocoran arus menyebabkan energi tidak mencapai ujung elektroda secara optimal, sementara resistansi rendah mengindikasikan isolator kehilangan kemampuan dielektriknya. Secara keseluruhan, hasil pengukuran memperjelas bahwa performa elektroda sangat dipengaruhi oleh kondisi isolator.

Mekanisme Kerja Elektroda dalam Proses Pembakaran

Elektroda bekerja dengan memanfaatkan loncatan listrik bertegangan tinggi yang dihasilkan dari ignition transformer, umumnya berkisar 10.000–15.000 volt. Tegangan tinggi ini menciptakan medan listrik yang memecah molekul udara, menghasilkan jalur konduktif bagi elektron untuk meloncat dan menghasilkan percikan bunga api. Percikan tersebut memiliki energi panas yang cukup untuk menyalakan bahan bakar di ruang pembakaran. Proses ini berlangsung berulang-ulang dalam hitungan milidetik setiap kali boiler membutuhkan pembakaran baru. Mekanisme kerja elektroda sangat dipengaruhi oleh tiga faktor utama: kestabilan tegangan, kebersihan elektroda, dan jarak celah antara elektroda dan grounding. Jarak ideal berada pada kisaran 2–4 mm untuk menghasilkan percikan yang optimal. Apabila jarak terlalu kecil, risiko hubungan arus pendek meningkat. Jika terlalu besar, tegangan tidak mampu menghasilkan percikan yang cukup kuat. Lingkungan ruang bakar yang ekstrem seperti suhu tinggi, tekanan, dan residu karbon turut memengaruhi efektivitas elektroda. Penumpukan karbon sering menyelimuti permukaan elektroda dan menghalangi proses pembentukan percikan. Oleh karena itu, mekanisme kerja elektroda harus didukung dengan perawatan rutin untuk memastikan percikan bunga api selalu optimal.

Sistem Power Supply pada Elektroda Boiler

Sistem power supply yang mendukung elektroda terdiri dari beberapa komponen seperti generator kapal, transformator, panel kontrol daya, breaker pengaman, regulator tegangan, hingga kabel distribusi. Sumber daya listrik utama berasal dari generator atau suplai eksternal ketika kapal berada di pelabuhan. Transformator berfungsi menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan elektroda, biasanya melalui mekanisme step-down atau step-up tergantung sistem. Panel kontrol daya mengatur distribusi listrik, memonitor kestabilan tegangan, dan dilengkapi perangkat pengaman seperti fuse dan relay. Regulator tegangan merupakan komponen penting yang menjaga suplai tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban listrik pada kapal. Ketika regulator mengalami gangguan, tegangan menjadi tidak stabil sehingga elektroda tidak dapat menghasilkan percikan secara konsisten. Kabel distribusi yang digunakan harus tahan panas, tahan korosi, dan memiliki kapasitas hantaran yang baik agar tidak terjadi penurunan tegangan. Seluruh rangkaian power supply ini merupakan satu kesatuan yang menentukan apakah elektroda dapat bekerja secara stabil. Ketidakstabilan power supply berkontribusi langsung terhadap fluktuasi tegangan elektroda yang berdampak pada pembakaran boiler.

Kondisi dan Standar Isolator Elektroda

Isolator berfungsi menjaga agar arus listrik tidak bocor dan memastikan energi dapat terfokus pada elektroda. Isolator umumnya terbuat dari keramik tahan panas, namun dari hasil observasi ditemukan keretakan pada beberapa isolator. Keretakan ini menyebabkan arus listrik bocor dan tegangan yang mencapai ujung elektroda menjadi tidak stabil. Akibatnya, percikan bunga api melemah dan sering kali tidak terbentuk di lokasi yang seharusnya, menyebabkan kegagalan pembakaran. Selain retak, perubahan warna yang ditemukan pada isolator menunjukkan bahwa material tersebut telah terpapar suhu tinggi melebihi batas kerja idealnya. Lingkungan ruang bakar yang lembap dan penuh residu kimia menambah risiko kerusakan isolator. Standar teknis yang ideal bagi isolator meliputi kemampuan menahan suhu 1000–1500°C, tegangan 10–15 kV, resistivitas dielektrik tinggi, serta ketahanan terhadap thermal shock. Ketidaksesuaian isolator yang ditemukan pada kapal MV. *Mubasyir* menunjukkan perlunya perbaikan prosedur perawatan dan peningkatan kualitas komponen isolator agar sistem boiler bekerja lebih stabil dan aman.

Analisis Stabilitas Tegangan dan Hubungannya dengan Pembakaran

Fluktuasi tegangan elektroda memiliki dampak langsung terhadap kontinuitas pembakaran. Ketika isolator retak, tegangan turun di bawah standar, dan percikan bunga api menjadi tidak stabil. Kondisi ini menyebabkan pembakaran tidak sempurna, memperpanjang waktu penyalaan boiler, dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Selain itu, bahan bakar yang tidak terbakar sempurna meninggalkan residu karbon yang memperburuk performa elektroda dan ruang pembakaran. Akumulasi residu menghambat pembentukan percikan dan menimbulkan gangguan lanjutan seperti tekanan boiler tidak stabil atau emisi gas buang meningkat. Dampak jangka panjang dari fluktuasi tegangan mencakup percepatan keausan komponen elektroda, kerusakan kabel penghantar, dan gangguan pada panel kontrol daya. Jika tidak ditangani, kondisi ini dapat menyebabkan kegagalan sistem pengapian pada saat-saat kritis. Dengan demikian, kestabilan tegangan bukan hanya menjadi faktor teknis, tetapi juga faktor keselamatan operasional kapal.

Analisis Sistem Power Supply dan Dampaknya

Gangguan suplai daya, seperti penurunan tegangan dari generator atau kabel penghantar yang aus, menyebabkan tegangan tidak mencapai nilai ideal untuk pengapian. Kru kapal melaporkan bahwa apabila tegangan suplai turun hingga kurang dari 220 V pada panel kontrol, elektroda mulai menunjukkan ketidakkonsistenan percikan. Distorsi arus dan perubahan frekuensi listrik juga memengaruhi kestabilan percikan bunga api. Breaker dan fuse memainkan peran penting dalam menjaga sistem tetap aman, namun jika terlalu sering terjadi trip atau lepas, kondisi tersebut mencerminkan masalah pada suplai daya utama. Sistem pemantauan daya modern dapat membantu mengidentifikasi gangguan lebih awal melalui alarm peringatan dini. Dengan analisis menyeluruh, ditemukan bahwa kestabilan suplai daya merupakan faktor penentu apakah sistem boiler dapat mempertahankan pembakaran yang kuat dan efisien.

Analisis Standar Material Isolator dan Kinerjanya

Material isolator keramik harus memenuhi standar internasional seperti ISO 1927 dan IEC 60672, terutama terkait kekuatan dielektrik, ketahanan suhu, dan ketahanan terhadap kontaminasi kimia. Namun pada MV. *Mubasyir*, kondisi isolator yang menghitam menunjukkan adanya degradasi material akibat paparan panas berlebihan. Selain itu, retakan yang ditemukan menunjukkan kelemahan dalam prosedur perawatan, di mana isolator terbentur benda tumpul ketika dilakukan pemeliharaan. Kerusakan ini mengindikasikan perlunya peningkatan kompetensi kru, penguatan SOP pemeliharaan, dan penggunaan material isolator yang memiliki toleransi lebih tinggi terhadap kondisi ekstrem ruang bakar. Evaluasi menyimpulkan bahwa tidak hanya kualitas isolator yang harus ditingkatkan, tetapi juga cara penanganannya.

Metode Pencegahan: Pemeliharaan Rutin dan Penanganan

Pencegahan kerusakan elektroda dapat dilakukan melalui pemeriksaan rutin, pembersihan komponen, dan penggantian bagian yang rusak. Pemeriksaan harus mencakup kondisi fisik elektroda, sambungan kabel, resistansi isolator, dan kualitas percikan bunga api. Pembersihan elektroda dan burner membantu mengurangi residu karbon yang dapat menghambat percikan. Burner yang bersih juga meningkatkan kualitas pencampuran udara–bahan bakar sehingga pembakaran lebih sempurna. Jadwal pemeliharaan terencana harus dibuat dalam interval harian, mingguan, dan bulanan. Pemeliharaan yang disiplin mampu mengurangi kerusakan mendadak dan meningkatkan usia pakai komponen boiler. Penggantian komponen yang aus seperti elektroda, isolator, kabel tegangan tinggi, dan regulator tegangan merupakan bagian

penting dari metode penanganan. Dengan penanganan yang tepat, kestabilan tegangan elektroda dapat dipertahankan sehingga sistem pembakaran boiler berjalan aman dan efisien.

Optimasi Sistem Pengapian untuk Efisiensi Maksimal

Optimasi dapat dilakukan melalui pengaturan jarak elektroda, penyetelan burner, penggunaan sistem ignition otomatis, serta penerapan teknologi monitoring digital. Jarak elektroda harus dijaga pada posisi ideal agar percikan bunga api konsisten. Burner harus disetel secara tepat agar distribusi bahan bakar merata. Teknologi seperti Automatic Ignition System (AIS) dan Burner Management System (BMS) mampu meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi risiko misfire. Dengan optimasi menyeluruh, boiler dapat bekerja lebih efisien, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan memperpanjang masa pakai elektroda serta isolator. Implementasi optimasi ini memberikan keuntungan jangka panjang terhadap efisiensi energi, keandalan pembakaran, dan pengurangan biaya perawatan kapal.

SIMPULAN

Elektroda pada sistem *boiler* memiliki peran penting dalam menghasilkan percikan api yang dibutuhkan untuk memulai dan menjaga pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Tegangan listrik tinggi diberikan pada elektroda untuk menciptakan percikan api yang cukup kuat agar dapat membakar bahan bakar tersebut. Agar elektroda berfungsi dengan optimal, tegangan yang diberikan harus tetap stabil. Perubahan tegangan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan percikan api yang lemah atau bahkan tidak ada, yang dapat mengganggu proses pembakaran. Beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan tegangan antara lain kualitas elektroda seperti kondisi isolator, jarak kerenggangan elektroda, penumpukan karbon dan suplai daya. Elektroda yang sudah aus atau isolator yang rusak bisa menyebabkan arus bocor, yang mengarah pada ketidakstabilan tegangan. Ketidakstabilan ini dapat menurunkan efisiensi pembakaran, meningkatkan penggunaan bahan bakar, serta meningkatkan emisi polutan. Oleh karena itu, pemeliharaan yang rutin dan pemantauan tegangan secara teratur sangat diperlukan untuk memastikan kestabilan dan kinerja elektroda dalam sistem *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G. (2004). Basics of testing flame detectors. *PLANT ENGINEERING*.
- Baukal, C. E. (2001). *The John Zink Combustion Handbook*.
- Cotton, H. (2008). *Electrical Engineering Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Darmawan, S. (2020). *Teknik Listrik dan Sistem Distribusi Daya*. Jakarta: Gramedia.
- Davis, D. C., & Hall, A. R. (2018). *Boiler Operation and Maintenance*. New York: McGraw-Hill.
- Fadhilla, A. (2024). Mengenal *Boiler* Lebih Jauh Beserta Fungsi, Prinsip Kerja, dan Jenisnya. *Megah Anugrah Energi*.
- Ganapathy, V. (2017). *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators: Design, Applications, and Calculations*.
- Gollin, W. (2014). *Inductive Ignition System*. In: Reif, K. (eds) *Fundamentals of Automotive and Engine Technology*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Gupta, J. B. (2015). *A Course in Power Systems*. New Delhi: S. K. Kataria & Sons.
- Halomoan, Ravento Viko. (2020). *Pengujian Ketahanan Isolasi pada Sistem Boiler*. Repository UNJ. Diakses dari repository.unj.ac.id.
- Hariyanto, A. (2017). *Sistem Pembakaran Efisien: Pemilihan Bahan Bakar dan Kontrol Pembakaran*. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press.
- Harris, J. (2010). *Boiler Combustion and Ignition Systems*. New York: Wiley.
- Harris, J. (2015). *Industrial Boiler Design: Guidelines and Practices*. New York: CRC Press.
- Hart, P. (2019). *Insulator Standards and Material Selection for High-Voltage Electrodes*.

- IEEE Transactions on Power Systems, 29(5), 789-799.
- Herman, J. (2018). *Optimizing Spark Gap for Efficient Combustion in Marine Boilers*. International Journal of Marine Engineering, 45(3), 167-178.
- Himanshu Shekhar, S. J. K. & P. S. R. (2012). *Multi Infrared (IR) Flame Detector for Tangential Fired Boiler* (Y. C. Vinu V Das (ed.)).
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer*. McGraw-Hill.
- Hughes, E. (2005). *Electrical Technology*. London: Pearson Education.
- Jaya, D. (2022). *Analisis Kestabilan Tegangan pada Sistem Ignition Boiler*. Jurnal Energi, 12(1), 32-40.
- Jones, R., & Goodwin, L. (2017). *High-Voltage Electrode Performance in Boiler Ignition Systems*. Journal of Thermal Engineering, 15(6), 421-431
- Kumar, A., & Singh, R. (2015). *Ignition Systems for Industrial Boilers: A Technical Overview*. Journal of Combustion Systems, 12(3), 56-63.
- Kumar, P. (2019). *Electrical Systems for Boilers*. Wiley.
- Kumar, S., & Patel, K. (2018). *Ignition Systems for Industrial Boilers*. London: Technical Engineering Books.
- Kumar, S., & Singh, P. (2020). *Impact of Corrosion on Electrode Functionality in Combustion Systems*. Corrosion Science Review, 12(2), 98-115.
- Kuo, K. K. (2005). *Principles of Combustion*. Wiley.
- Kurniawan, B. (2020). *Studi Tentang Sistem Power Plan pada Boiler Kapal*. Jurnal Teknik Kelautan, 15(3), 67-74.
- Latif, A. (2023). *Analisis Efisiensi Bahan Bakar Boiler Untuk Pemanasan Sitem Uap Pada Industri Perikanan di PT. Dua Putra Utama Makmur Tbk*. Science And Engineering National Seminar, 8(8), 224–234.
- Moleong, L. J. (2014). *Metodologi Penelitian Kualitatif (Edisi Revisi)*. Remaja Rosdakarya.
- Muzaki, I., & Mursadin, A. (2019). *ANALISIS EFISIENSI BOILER DENGAN METODE INPUT– OUTPUT DI PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk. UNIT BANJARMASIN*. Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika, 4(1), 37–46.
- Pasaribu, N. T. (2014). Ciricle Archive. *Ciricle Archive*, 1–10.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Peterson, R. L., Smith, J. A., & Wang, T. (2019). “Dielectric Strength of Insulating Materials Used in Boiler Electrodes.” *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(3), 1392-1405.
- Prajogo, R., & Putra, D. (2018). *Sistem Pembakaran Boiler dan Aplikasinya di Industri*. Jakarta: Penerbit Teknik Indonesia.
- Rahardja, I. B., Abinanda, E., & Siregar, A. L. (2022). *Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam*. Jurnal Citra Widya Edukasi, 14(1), 39–54.
- Reed, T. B. (2005). *Fundamentals of Combustion Systems*. Springer
- Ristante, A. (2018). *Komponen Sistem Power Supply pada Ignition Boiler*. Jakarta: Penerbit Teknik.
- Sarifuddin, Wisnu Handoko, & Wida Yuliati. (2017). *Kurang Optimalnya Pembakaran Pada Auxiliary Boiler Yang Menghambat Proses Bongkar Muatan Di Mt. Enduro*. Dinamika Bahari, 8(1), 1930–1944.
- Sharma, R., & Mishra, A. (2020). *Electrode Systems and High-Voltage Applications*. IEEE Press.
- Siregar, M. A. (2017). *Analisa Pembakaran Pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan 30 Ton / Jam Tekanan 20 Bar Dengan Bahan Bakar Cangkang Dan Fiber*. 49.
- Slamet. (2019). No Title. *Linked In, mesin boiler dan water tube*.

- Smith, D. (2015). *Electrical Performance Parameters of Ignition Electrodes*. Proceedings of the International Conference on Power Systems, 18(1), 223-234.
- Steinmetz, C. P. (2009). *Steinmetz, C. P. (1917). Theory and Calculation of Electric Circuits. New York: McGraw-Hill. 5.*
- Stuart, P., & Mark, T. (2018). *Role of Electrodes in Ignition Systems of Marine Boilers*. Marine Engineering Journal, 45(4), 78-85.
- Suardi, A., Chairat, N., Muhammad, F., Impak, T. B., & Tekuk, B. (2017). *Analisi efisiensi boiler dengan metode heat loss. 4.*
- Supriyanto, B. (2020). *Dasar-Dasar Teknologi Pembakaran pada Sistem Boiler*.
- Susanto, A. (2017). *Pengaruh Tegangan Suplai terhadap Efisiensi Pembakaran pada Boiler*. Jurnal Energi, 11(4), 40-48.
- Sutrisno, A. (2018). *Sistem Pembakaran dan Efisiensi Bahan Bakar*. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press.
- Syarief, A., Setiambodo, Y. B., Ramadhan, M. N., & Sabitah, A. (2020). *Analisis Kebutuhan Udara Pembakaran Untuk Mengoptimalkan Proses Pembakaran Boiler Pt. Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Asam Asam Unit 3 & Unit 4. Info-Teknik, 21(1), 85.*
- Tarsudin. (2019). *ISSN: 2528-3820 Website: https://jurnal.unma.ac.id/index.php/ST ANALISIS EFISIENSI BOILER FIVES CHAIL BABCOCK BR 2-39-62 KAPASITAS 55 TON / JAM TEKANAN KERJA26 BAR Seminar Teknologi Majalengka 4 . 0 Fakultas Teknik Universitas Majalengka , 23 Agustus 20. 117–121.*
- Taylor, S. (2018). *Boiler System Optimization: Design and Maintenance Strategies*. London: Elsevier.
- Tewari, R. (2016). *Power Plant Engineering*. New Delhi: Oxford University Press.
- Theraja, B. L., & Theraja, A. K. (2005). *A Textbook of Electrical Technology*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.
- Turns, S. R. (2012). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw-Hill.
- Vasily Ya. Ushakov, Alexey V. Mytnikov, I. U. R. (2023). *High-voltage equipment of power systems : design, principles of operation, testing, monitoring and diagnostics*.
- Wang, Y., Li, H., & Zhang, W. (2017). *Flame Detection Using Dual-Purpose Electrodes in Combustion Systems*. Journal of Power and Energy, 45(8), 491-503.
- Wardhana, B. (2017). *Dasar-dasar Pembakaran dan Pengendalian Api*. Jakarta: Penerbit Teknik.
- Zhang, M., Qinggang, L., Xiaoguo, J., & Yunkai, S. (2013). *Study and Design of Platen Superheater of 300 MW CFB Boiler..*
- Zhou, X., Chen, G., & Tan, W. (2016). *Understanding Spark Generation in Boiler Ignition Systems*. Combustion Science and Technology, 21(3), 123-136