

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH KINERJA *BURNER* TERHADAP
PRODUKSI UAP PADA BOILER MV. MAERSK NORESUND**



ALVIN BAYU SETYAWAN
NIT. 22.36.306.3.004

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH KINERJA *BURNER* TERHADAP
PRODUKSI UAP PADA BOILER MV. MAERSK NORESUND**



ALVIN BAYU SETYAWAN
NIT. 22.36.306.3.004

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ALVIN BAYU SETYAWAN

NIT : 22 36 306 3 004

Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul :

"PENGARUH KINERJA *BURNER* TERHADAP PRODUKSI UAP PADA BOILER MV. MAERSK NORESUND"

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 24.24.2026



Alvin

ALVIN BAYU SETYAWAN
NIT. 22.36.306.3.004

ABSTRAK

ALVIN BAYU SETYAWAN, 2026, “Pengaruh Kinerja Burner Terhadap Produksi Uap Pada Boiler MV. Maersk Noresund”. Dibimbing oleh bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. dan ibu Dr. Indah Ayu Johanda Putri, S.E., M.Ak.

Dalam industri pelayaran, boiler adalah komponen vital yang mendukung berbagai fungsi operasional kapal, terutama untuk sistem propulsi berbasis uap dan keperluan pemanasan. Kinerja boiler sangat tergantung pada efisiensi burner, yang bertugas membakar bahan bakar untuk menghasilkan uap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kinerja burner dalam meningkatkan produksi uap pada boiler. Boiler merupakan komponen vital dalam berbagai industri untuk menghasilkan uap yang digunakan dalam proses produksi. Kinerja burner yang optimal sangat penting untuk memastikan efisiensi energi dan pengurangan emisi. Metodologi penelitian melibatkan pengukuran langsung performa burner dengan berbagai parameter operasional seperti konsumsi bahan bakar, suhu nyala, dan laju aliran udara. Data dikumpulkan melalui pengujian eksperimental dan dianalisis menggunakan metode statistik untuk menentukan hubungan antara variabel yang diukur dan produksi uap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi kinerja burner dapat meningkatkan efisiensi boiler hingga 15%, dengan penurunan signifikan pada konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Studi ini menyimpulkan bahwa perbaikan kinerja burner tidak hanya meningkatkan produksi uap tetapi juga memberikan dampak positif terhadap efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan. Rekomendasi diberikan untuk implementasi strategi optimasi burner di industri guna mencapai kinerja boiler yang lebih baik dan berkelanjutan.

Kata Kunci : Kinerja ketel uap, produksi uap, optimalisasi ketel uap, pengaturan udara, nosel

ABSTRACT

ALVIN BAYU SETYAWAN, 2026, *"The Effect of Burner Performance on Steam Production in Boilers MV. Maersk Noresund"*. Guided by Mr. Dirhamsyah, S.E., M.Pd. and Mrs. Dr. Indah Ayu Johanda Putri, S.E., M.Ak.

In the shipping industry, boilers are a vital component that supports a wide range of ship operational functions, especially for steam-based propulsion systems and heating purposes. The performance of a boiler is highly dependent on the efficiency of the burner, which is in charge of burning fuel to produce steam. *Research* This study aims to analyze the effectiveness of burner performance in increasing steam production in boilers. Steam production in boilers. Boilers are vital components in various industries to produce steam used in the production process. Performance optimal burner performance is critical to ensure energy efficiency and emission reduction. The research methodology involves direct measurement of burner performance with various operational parameters such as fuel consumption, flame temperature, and air flow rate. Data was collected through testing experimental testing and analyzed using statistical methods to determine the relationship between the measured variables and steam production. The results of the study show that burner performance optimization can increase boiler efficiency by up to 15%, with significant reductions in fuel consumption and flue gas emissions. The study concludes that improved burner performance not only improves steam production but also has a positive impact on operational efficiency and environmental sustainability. Recommendations are provided for implementation of burner optimization strategies in industry to achieve better and more sustainable boiler performance. Performance in industry to achieve better and sustainable boiler performance.

Keywords : *Burner performance, steam production, boiler optimization, air control, nozzle*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang dengan memberikan ridhonya, dengan kesempatan ini peneliti dapat menyelesaikan tugas proposal karya ilmiah terapan dengan judul

**” PENGARUH KINERJA BURNER TERHADAP
PRODUKSI UAP PADA BOILER MV. MAERSK NORESUND”**

Salah satu syarat bagi Taruna untuk menyelesaikan studi di program Diploma IV adalah menyusun proposal karya ilmiah terapan. Proposal ini berfungsi sebagai pembekalan bagi Taruna dalam menjalani Praktek Laut di atas kapal.

Dalam kesempatan yang telah diberikan ini, saya menyampaikan terima kasih kepada pihak–pihak yang sudah terlibat dalam penyelesaian proposal penelitian ini, dengan hormat:

1. Bapak MOEJIONO, M.T, M.Mar.E selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya
2. Bapak ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd selaku Ketua Prodi TRPK Politeknik Pelayaran Surabaya
3. Bapak DIRHAMSYAH,S.E., M.Pd. selaku Dosen pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan dukungan, motivasi, serta bimbingan dalam menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan
4. Ibu Dr. INDAH AYU JOHANDA PUTRI,S.E., M.Ak. selaku Dosen pembimbing II yang selalu memberikan arahan, bimbingan, dan semangat dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan
5. Bapak dan Ibu Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan ilmu selama menjalani pendidikan di Politeknik Pelayaran Surabaya
6. Kedua orang tua saya Bapak Gatot Bagus S dan Ibu Sri Rahayu Sulistianingsih yang telah mendukung penuh berupa moril maupun material serta do’a dalam penyelesaian proposal karya ilmiah terapan ini.
7. Seluruh Taruna/i Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan semangat dalam penyelesaian proposal ini

Demikian, saya berharap proposal ini dapat memberikan manfaat dan pembelajaran untuk pembaca serta dapat membantu untuk kemajuan pelayaran di Indonesia.

SURABAYA, 2026

ALVIN BAYU SETYAWAN
NIT. 22.36.306.3.004

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Penelitian	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Review Penelitian Sebelumnya.....	8
B. Landasan Teori	10
1. Pengertian <i>Burner</i>	10

2. Meningkatkan.....	13
3. Produksi Uap.....	14
4. Boiler.....	15
C. Kerangka Pikir Penelitian	20
D. Hipotesis.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	22
A. Jenis Penelitian.....	22
B. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
C. Definisi Operasional Variabel	24
D. Sumber Data.....	25
E. Teknik Pengumpulan Data	26
F. Teknik Analisis Data	26
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	30
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	30
B. Hasil Penelitian	33
1. Deskripsi Variabel Penelitian	33
2. Hasil Uji Hipotesis	34
3. Analisis Data	47
C. Pembahasan.....	48
BAB V PENUTUP	52
A. Simpulan	52
B. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54

LAMPIRAN.....	56
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya	8
Tabel 4. 1 Data uji statistik.....	34
Tabel 4. 2 Hasil Uji Normalitas.....	36
Tabel 4. 3 Hasil Uji Multikolinearitas.....	38
Tabel 4. 4 Hasil Uji t (Parsial).....	41
Tabel 4. 5 Hasil Uji F (Stimulan).....	42
Tabel 4. 6 Hasil Koefisien Determinasi	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Burner.....	11
Gambar 2. 2 Boiler.....	15
Gambar 2. 3 Boiler Fire Tube	16
Gambar 2. 4 Boiler Water Tube	17
Gambar 2. 5 Kerangka Pikir Penelitian.....	20
Gambar 4. 1 MV. Maersk Noresund	30
Gambar 4. 2 Ship's Particulars MV. Maersk Noresund.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

sLampiran 1 Hasil Uji Normalitas	56
Lampiran 2 Hasil Uji Multikolinearitas	56
Lampiran 3 Hasil Uji Heteroskedasitisitas.....	56
Lampiran 4 Hasil Uji t (Parsial).....	56
Lampiran 5 Hasil Uji F (Stimulan)	57
Lampiran 6 Hasil Koefisien Determinasi.....	57
Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Dalam industri pelayaran, keberadaan *boiler* memiliki peranan yang penting dalam mendukung fungsi operasional kapal, termasuk untuk kapal yang menggunakan sistem propulsi berbasis uap atau untuk keperluan lain seperti pemanasan dan pengoperasian peralatan. Kinerja boiler yang optimal sangat bergantung pada efisiensi *burner*, yaitu perangkat yang menghasilkan panas dengan membakar bahan bakar untuk menghasilkan uap. Efisiensi *burner* ini sangat menentukan kinerja operasional kapal secara keseluruhan.

Di sektor maritim, boiler merupakan komponen krusial yang berfungsi mengonversi energi kimia melalui mekanisme pembakaran menjadi energi termal. Energi tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan uap air (steam) dengan tingkat tekanan yang telah ditentukan. Di atas kapal, uap yang bersumber dari penguapan air tawar ini memegang peranan vital dalam berbagai sistem penunjang, mulai dari pemanasan Marine Fuel Oil (MFO) dan muatan pada kapal tanker, hingga pemeliharaan suhu ruangan serta kebutuhan pembersihan tangki (tank cleaning).

Dalam kategori permesinan bantu di kapal, terdapat berbagai unit selain mesin utama yang bertugas mendukung kelancaran operasional serta aspek keselamatan pelayaran. Salah satu komponen krusial tersebut adalah boiler. Instrumen ini berfungsi sebagai ketel penghasil uap panas dengan tingkat tekanan yang melampaui satu atmosfer. Energi uap yang diproduksi tersebut

kemudian didistribusikan untuk memfasilitasi berbagai sistem teknis yang diperlukan dalam pengoperasian kapal secara keseluruhan.

Boiler pada kapal menghadapi tantangan operasional yang khas, termasuk variabilitas kualitas bahan bakar dan kondisi operasi yang dinamis, serta kepatuhan terhadap regulasi emisi yang ketat. Jika *burner* tidak beroperasi secara optimal, dapat terjadi pemborosan bahan bakar, penurunan output uap, serta peningkatan emisi yang berbahaya. Dengan demikian, meningkatkan efektivitas kinerja *burner* adalah kunci untuk tidak hanya meningkatkan produksi uap, tetapi juga untuk mendukung operasi kapal yang lebih efisien dan berdampak lingkungan yang lebih rendah.

Karena alasan tersebut, sangat penting untuk melaksanakan penelitian tentang efektivitas kinerja *burner* dalam boiler kapal. Penelitian ini diharapkan bisa mengeksplorasi dan mengoptimalkan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pembakaran seperti pemilihan bahan bakar, teknologi pembakaran, pengaturan operasional, dan pemeliharaan yang teratur. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengembangkan strategi yang efektif untuk meningkatkan kinerja *burner*, yang pada fungsinya akan memperbaiki produksi uap dan meningkatkan efisiensi operasional kapal.

Kelancaran operasional kapal sangat dipengaruhi oleh kinerja boiler yang bekerja secara optimal. Masalah seperti pengabutan bahan bakar yang tidak sempurna pada ketel uap bantu sering kali menjadi kendala utama. Kondisi ini biasanya dipicu oleh rendahnya intensitas pengawasan serta kelalaian dalam pemeliharaan rutin oleh kru mesin. Selain itu, akumulasi jam kerja mesin (running hours) yang telah melampaui batas standar turut memperburuk

efisiensi ketel, sehingga volume uap yang diproduksi tidak mampu memenuhi kebutuhan sistem di kapal.

Guna menjamin efisiensi burner dan kualitas nyala api yang ideal, prosedur pemeriksaan sistem bahan bakar wajib dilakukan sebelum inisiasi pembakaran. Langkah preventif ini harus mengacu pada Planned Maintenance System (PMS) yang berlaku di atas kapal. Fokus utamanya adalah meminimalisir risiko kegagalan pengapian pada auxiliary boiler yang kerap dipicu oleh atomisasi bahan bakar yang tidak sempurna. Ruang lingkup inspeksi teknis ini mencakup komponen-komponen vital seperti kondisi nozzle, fungsionalitas elektroda, serta integritas sistem pembakaran secara menyeluruh.

Pada armada yang tidak dilengkapi dengan pemanas elektrik (electric heater), seluruh kebutuhan energi uap sepenuhnya bergantung pada kinerja boiler. Oleh karena itu, konsistensi produksi steam menjadi faktor penentu kelancaran operasional pelayaran. Gangguan pada suplai uap dapat menyebabkan hambatan serius hingga penghentian fungsi pada berbagai permesinan yang membutuhkan pemanasan. Dalam pengoperasiannya, efektivitas boiler sangat dipengaruhi oleh mekanisme pembakaran, yaitu proses oksidasi bahan bakar secara cepat yang menghasilkan energi panas secara simultan.

Kesempurnaan proses pembakaran sangat bergantung pada suplai oksigen yang memadai untuk mengoksidasi elemen karbon, hidrogen, dan sulfur di dalam ruang bakar (furnace). Namun, efektivitas operasional main burner sering kali terhambat oleh berbagai faktor teknis, mulai dari malfungsi sistem kelistrikan, kegagalan sistem pengaman, hingga kendala pada suplai air pengisi.

Salah satu masalah spesifik yang kerap muncul adalah penyumbatan pada nozzle, yang mengakibatkan atomisasi bahan bakar menjadi tidak optimal. Dampak sistemik dari kondisi ini adalah penurunan produksi uap, yang memaksa kapal beralih menggunakan High Speed Diesel (HSD) karena ketidakmampuan sistem memanaskan Heavy Fuel Oil (HFO).

Kegagalan performa boiler tidak hanya menjadi kendala teknis, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi dan operasional bagi berbagai pihak. Pihak perusahaan harus menanggung lonjakan biaya operasional akibat penggunaan bahan bakar HSD yang lebih mahal, sementara kru kapal terbebani dengan jam kerja tambahan untuk mengatasi malfungsi sistem. Selain itu, keterlambatan distribusi muatan akibat gangguan ini juga merugikan penyewa kapal (charterer). Menyadari krusialnya peran ketel uap dalam navigasi, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam mengenai pemeliharaan mesin auxiliary boiler. Penelitian ini akan menitikberatkan pada mekanisme perawatan komponen nozzle, mengingat perannya yang vital dalam menjamin kualitas pengabutan bahan bakar selama proses pembakaran.

Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi yang dapat diterapkan dalam industri maritim, khususnya dalam memenuhi standar efisiensi energi dan regulasi emisi yang semakin ketat. Relevansi penelitian ini sangat tinggi mengingat adanya dorongan global menuju operasi pelayaran yang lebih hijau dan berkelanjutan. Sehubungan dengan permasalahan ini serta berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul sebagai berikut **“PENGARUH KINERJA *BURNER* TERHADAP PRODUKSI UAP PADA BOILER MV. MAERSK**

NORESUND”

B. Rumusan Masalah

Keberhasilan sebuah penelitian dalam mencapai targetnya sangat bergantung pada ketajaman perumusan masalah di awal proses. Hal ini penting untuk memastikan bahwa setiap jawaban yang ditemukan memiliki akurasi yang tinggi. Berdasarkan identifikasi masalah pada latar belakang di atas, maka fokus permasalahan dalam studi ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Faktor yang mempengaruhi kinerja *burner* pada *boiler* di MV. Maersk Noresund?
2. Bagaimana mengatasi faktor penghambat kinerja *burner* terhadap produksi uap pada *boiler* di MV. Maersk Noresund ?

C. Batasan Masalah

Perlu adanya penetapan batasan masalah agar pembahasan dalam penelitian tidak menyimpang ke topik lain di luar fokus kajian. dikarenakan luasnya permasalahan. Penelitian ini difokuskan pada kinerja *burner* pada *boiler* agar dapat bekerja secara optimal yang dilakukan pada saat praktek diatas kapal selama 12 bulan.

D. Tujuan Penelitian

Keberadaan tujuan yang definitif merupakan aspek fundamental dalam setiap kajian ilmiah guna menjamin kemanfaatan hasil penelitian. Sasaran ini dirancang secara terintegrasi dengan poin-poin yang telah dipaparkan dalam

latar belakang dan rumusan masalah. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui factor apa saja yang menjadi pengaruh dalam kinerja *burner* pada *boiler*
2. Untuk mengetahui cara mengatasi faktor penghambat kinerja *burner* terhadap produksi uap pada *boiler*.

E. Manfaat Penelitian

Kajian mendalam terhadap mekanisme burner secara inheren akan memberikan solusi konkret atas berbagai kendala operasional pada unit boiler. Melalui studi ini, diharapkan lahir sebuah pemecahan masalah yang komprehensif. Output penelitian ini diproyeksikan sebagai referensi teknis bagi perwira mesin serta sumber literasi bagi pembaca yang menghadapi problematika serupa. Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini dimaksudkan menjadi panduan strategis dalam mengoptimalkan performa burner demi menjamin stabilitas produksi uap pada ketel. Secara spesifik, pengembangan KIT ini juga membawa manfaat praktis sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

KIT ini dirancang sebagai media untuk memperluas cakrawala pengetahuan teknis terkait mekanisme kerja burner, baik bagi taruna yang sedang mempersiapkan diri untuk praktik laut maupun bagi perwira sebagai referensi operasional. Fokus utamanya adalah memberikan pemahaman mendalam mengenai interaksi antara unit burner dan boiler, termasuk analisis komprehensif terhadap faktor penyebab dan konsekuensi dari

gangguan teknis yang muncul. Dengan pemahaman ini, diharapkan efisiensi produksi uap di atas kapal dapat dioptimalkan secara berkelanjutan.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi Personel Mesin (Engine Crew): Studi ini diharapkan dapat menjadi rujukan praktis dan kontribusi informatif bagi para perwira mesin dalam mengoptimalkan prosedur pemeliharaan teknis guna menjaga stabilitas performa boiler di atas kapal.
- b. Bagi Peserta Didik: Hasil penelitian ini diproyeksikan sebagai referensi edukatif yang bermanfaat untuk memperluas cakrawala pengetahuan serta meningkatkan standar kualitas akademik siswa dalam memahami sistem permesinan kapal.
- c. Bagi perusahaan pelayaran, penulis berharap hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi manajemen dalam menyusun kebijakan perawatan permesinan yang lebih efektif, serta dijadikan acuan dalam menangani permasalahan serupa yang terjadi pada armada perusahaan.
- d. Bagi Lembaga Pendidikan (Khusus Politeknik Pelayaran Surabaya): Penelitian ini diharapkan mampu memperkaya khazanah literasi di lingkungan kampus, membantu para taruna maupun perwira siswa dalam proses belajar, serta mencetak lulusan yang lebih kompeten melalui penyediaan sumber bacaan yang relevan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini, penulis melakukan studi literatur melalui berbagai jurnal dan buku dari penelitian terdahulu yang relevan sebagai bahan referensi dalam penyusunan penelitian. Berdasarkan hasil studi literatur tersebut, penulis memilih beberapa judul karya ilmiah yang masih berkaitan dengan topik penelitian untuk dijadikan bahan perbandingan, yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 2. 1 *Review Penelitian Sebelumnya*
Sumber : Diolah Peneliti

No	Penulis	Judul	Tahun	Hasil
1.	(Prasetyo, 2019)	Analisis Gagalnya Pembakaran Pada <i>Main Burner Auxiliary Boiler</i> yang Menyebabkan Terganggunya Proses Produksi <i>Steam</i> Di MT. Tirtasari	2019	1. Identifikasi akar masalah: Berdasarkan analisis menggunakan metode Fishbone dan Fault Tree Analysis (FTA), diketahui bahwa penyebab utama kegagalan pembakaran pada boiler meliputi terjadinya penyumbatan pada atomizer, ketidaksesuaian jarak antara elektroda dan nozzle pilot burner dengan standar yang tercantum dalam manual book, serta rendahnya tekanan pada discharge burning pump. 2. Analisis Dampak Teknis: Konsekuensi dari faktor-faktor tersebut sangat signifikan; atomizer yang terkontaminasi kotoran menghambat proses atomisasi bahan bakar, sementara pengaturan elektroda yang tidak presisi mengganggu stabilitas percikan api (spark). Selain itu, penurunan tekanan pada pompa pembakaran mengakibatkan suplai bahan bakar ke main burner tidak mencapai tekanan optimal yang dibutuhkan. 3. Tindakan Korektif dan Preventif: Sebagai langkah mitigasi di MT.

No	Penulis	Judul	Tahun	Hasil
				TIRTASARI, dilakukan pembersihan rutin pada unit atomizer guna menjamin kelancaran pengabutan. Selain itu, dilakukan kalibrasi ulang jarak elektroda menjadi 3,4 mm dan jarak terhadap nozzle sebesar 10 mm. Terakhir, tekanan operasional bahan bakar menuju main burner dikembalikan ke standar kerja mesin, yakni sebesar 20 kg/cm ² .
2.	(Novelardy, 2023)	Optimalisasi Kinerja Burner Guna Menunjang Kelancaran Pengoperasian Ketel Bantu Di MV. Manalagi Dasa	2023	Faktor-Faktor Penyebab Kegagalan Pembakaran: 1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Fishbone dan kerangka kerja SHEL, kegagalan pembakaran pada boiler dipicu oleh implementasi perawatan yang tidak selaras dengan standar Planned Maintenance System (PMS). Kondisi ini menyebabkan malfungsi pada komponen vital, seperti penyumbatan nozzle main burner akibat akumulasi kerak karbon karena tidak dibersihkan secara rutin minimal dua kali sebulan. Dampaknya, waktu untuk mencapai tekanan 5 Bar meningkat menjadi satu jam. Selain itu, kontaminasi pada filter bahan bakar mengakibatkan penurunan tekanan suplai menuju nozzle, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi tidak sempurna. Faktor eksternal seperti cuaca buruk yang menyebabkan back pressure dari cerobong melampaui kapasitas blower, ketidakseimbangan kinerja katup solenoid, serta keterbatasan kompetensi kru dalam mengikuti instruksi manual book menjadi penyebab akumulatif lainnya. 2. Langkah Mitigasi dan Perbaikan: Guna mengatasi kendala tersebut pada MV. Manalagi Dasa, langkah strategis yang diterapkan adalah penguatan disiplin perawatan sesuai prosedur PMS dan pedoman manual book. Hal ini mencakup pembersihan rutin nozzle burner secara terjadwal (dua kali sebulan) dan pemeliharaan filter bahan bakar

No	Penulis	Judul	Tahun	Hasil
				secara periodik untuk menjamin tekanan atomisasi yang stabil. Selain itu, diperlukan sanitasi pada katup solenoid, pengaturan volume udara pembakaran yang adaptif terhadap kondisi cuaca, serta pemasangan poster prosedur operasional standar (SOP) di area boiler untuk meminimalisir kesalahan prosedur oleh awak kapal.

Hasil penelitian sebelumnya membahas tentang analisis gagalnya pembakaran pada *main burner auxiliary boiler* yang menghasilkan apabila ada kerusakan pada salah satu komponen pada *main burner* akan terjadi terganggunya proses produksi *steam* dikarenakan *burner* (alat pembakar) tidak bekerja secara optimal. Penelitian yang lain tentang optimalisasi perawatan burner untuk meningkatkan produksi uap pada *boiler*, hasilnya adalah untuk mendapatkan performa *burner* yang maksimal pada *boiler* maka harus melewati perawatan secara berkala agar *burner* dapat bekerja secara normal dan efektif dalam melakukan pembakaran pada pengoprasian *auxiliary boiler*. Perbedaan dari kedua penelitian dengan penelitian yang dibuat penulis adalah pemfokusan pada masalah yang berbeda, pada kedua penelitian lebih fokus terhadap kegagalan start pada burner, sedangkan pada penelitian yang dibuat penulis adalah tentang pengaruh kinerja *burner* terhadap produksi uap pada *boiler*.

B. Landasan Teori

1. Pengertian *Burner*

Burner merupakan instrumen kritikal yang dirancang untuk menginisiasi proses pembakaran guna memanaskan air di dalam water drum

atau ruang pemanas ketel uap. Selain sebagai sumber panas, perangkat ini berperan sebagai nosel pengatomisasi yang menyemprotkan berbagai jenis bahan bakar cair, mulai dari solar hingga residu, ke dalam ruang bakar secara terkendali.



Gambar 2. 1 *Burner*

Sumber : <https://www.indiamart.com/>

Adapun komponen-komponen yang ada di dalam burner :

a. *Automizer*

Automizer merupakan komponen yang sangat penting dalam proses pembakaran karena berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dalam bentuk kabut atau *spray*.

b. *Nozzle Pipe*

Nozzle Pipe merupakan komponen pada sistem burner yang bertugas menyalurkan bahan bakar menuju ruang pembakaran. Struktur internal pipa ini dilengkapi dengan saluran khusus yang berperan ganda: sebagai pengatur volume aliran bahan bakar yang masuk serta sebagai jalur sirkulasi untuk mengembalikan kelebihan bahan bakar ke tangki penyimpanan.

c. Elektroda

Instrumen ini berperan dalam menghasilkan loncatan energi listrik atau percikan api pada kedua titik ujungnya sebagai pemicu awal pembakaran di dalam furnace. Mekanisme pemantikan ini sangat krusial

agar bahan bakar yang telah dikabutkan dapat tereduksi secara termal dan memulai proses pembakaran.

d. *Strainer* Bahan Bakar

Strainer bahan bakar memegang peranan vital dalam menjaga integritas sistem dengan menyaring berbagai kontaminan dari aliran bahan bakar. Melalui proses filtrasi ini, bahan bakar yang disalurkan menuju pompa dan atomizer dipastikan berada dalam kondisi murni (bersih), sehingga potensi kerusakan mekanis pada komponen pompa dapat diminimalisir secara efektif.

e. *Solenoid Valve*

Katup solenoid merupakan perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk mengatur aliran bahan bakar menuju main burner. Melalui mekanisme kontrol elektrik, alat ini bekerja dengan cara membuka atau menghentikan pasokan minyak secara otomatis untuk memastikan distribusi bahan bakar berjalan sesuai dengan kebutuhan operasional sistem pembakaran.

f. Pompa Bahan Bakar

Unit penyalur bahan bakar pada sistem boiler ini menggunakan pompa roda gigi (gear pump). Pompa tersebut terhubung dengan motor penggerak melalui sistem kopling dan beroperasi pada putaran sekitar 3.600 rpm untuk menyalurkan bahan bakar secara stabil menuju *main burner*.

g. *Flame Eye*

Flame Eye merupakan instrumen deteksi yang berfungsi

mengirimkan sinyal elektronik ke sistem kontrol pembakaran melalui pemantauan visual keberadaan api. Dengan memanfaatkan teknologi lensa fotosensitif, perangkat ini secara presisi mengidentifikasi radiasi cahaya dari api pada pilot burner sebagai indikator keamanan selama proses pembakaran berlangsung.

h. *FD Fan*

Forced Draft(FD) Fan merupakan perangkat mekanis yang berfungsi untuk memasok udara bertekanan ke dalam ruang pembakaran. Alat ini bekerja dengan cara menghisap udara dari luar melalui blower yang digerakkan oleh motor listrik, sehingga kebutuhan oksigen selama proses pembakaran di dalam boiler dapat terpenuhi secara optimal.

2. Meningkatkan

Menurut Peter Drucker, meningkatkan diartikan sebagai upaya berkelanjutan untuk menjadikan sesuatu lebih baik dan lebih efektif. Konsep tersebut menekankan adanya evaluasi secara terus-menerus terhadap kinerja maupun proses kerja dengan tujuan memperoleh hasil yang lebih optimal.

Berdasarkan tinjauan literatur di atas, penulis menyimpulkan bahwa upaya peningkatan merupakan sebuah proses sistematis untuk mentransformasi suatu kondisi menjadi lebih optimal dibandingkan sebelumnya. Keberhasilan dalam mencapai target peningkatan tersebut sangat bergantung pada sinergi antara perencanaan yang matang dan

eksekusi yang presisi. Kedua elemen tersebut harus berkesinambungan dan selaras dengan visi serta tujuan strategis yang telah ditetapkan sejak awal.

3. Produksi Uap

Fahmi (2014) mengemukakan bahwa produksi merupakan unit krusial dalam struktur organisasi bisnis yang memegang peranan strategis dalam menentukan arah organisasi, khususnya dalam proses penciptaan produk serta pengendalian fluktuasi kinerja. Dalam konteks operasional kapal, produk yang dihasilkan sering kali berupa uap (steam). Secara teknis, uap air didefinisikan sebagai fase gas yang terbentuk dari proses pendidihan air akibat adanya paparan energi panas (Murni, 2011). Sumber energi termal ini dapat bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil, energi listrik, residu proses kimia, maupun tenaga nuklir. Namun, penting untuk dicatat bahwa penguapan yang terjadi pada tekanan atmosfer normal tanpa peningkatan tekanan mutlak tidak akan menghasilkan energi potensial, sehingga uap tersebut tidak dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi penggerak.

Berdasarkan tinjauan teoritis di atas, penulis menyimpulkan bahwa produksi uap adalah proses transformasi fase air menjadi gas melalui metode pendidihan yang memanfaatkan energi termal dari berbagai sumber, termasuk pembakaran bahan bakar, energi listrik, maupun limbah panas kimia. Secara teknis, fenomena ini dapat dipicu dengan meregulasi tekanan di atas permukaan zat cair. Namun, perlu digarisbawahi bahwa uap yang dihasilkan tanpa akumulasi tekanan tertentu tidak memiliki energi potensial

yang memadai, sehingga belum dapat dimanfaatkan secara mekanis sebagai sumber penggerak dalam sistem permesinan.

4. Boiler

Menurut Handoyo (2014), boiler merupakan hasil pengembangan dari berbagai percobaan pada bejana berisi air yang dipanaskan untuk menghasilkan uap jenuh bertekanan tinggi. Uap tersebut dimanfaatkan sebagai media penggerak pada mesin uap yang mengubah energi panas menjadi energi kinetik, kemudian dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran. Pada prinsipnya, boiler bekerja sebagai alat konversi energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas melalui proses perpindahan kalor secara terkontrol.



Gambar 2. 2 Boiler

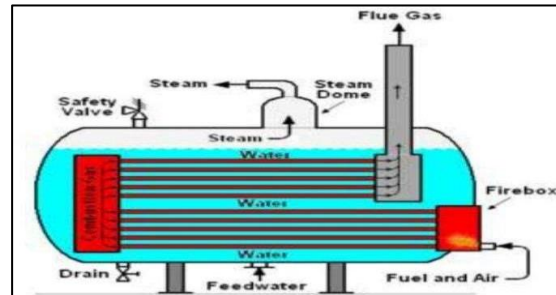
Sumber : <https://www.google.com/>

Boiler diklasifikasikan menjadi:

a. *Boiler* Pipa Api (*fire tube boiler*)

Pada boiler jenis ini, gas hasil pembakaran mengalir di dalam pipa (tube), sedangkan bagian lainnya yang disebut shell berisi air yang akan dipanaskan hingga menjadi uap. Pipa-pipa tersebut secara langsung didinginkan oleh air yang mengelilinginya. Jumlah pass pada boiler ditentukan berdasarkan banyaknya lintasan horizontal aliran gas pembakaran di antara furnace dan pipa api, di mana aliran gas pada

furnace dihitung sebagai pass pertama. Jenis boiler ini banyak digunakan pada industri pengolahan berskala kecil hingga menengah.



Gambar 2. 3 *Boiler Fire Tube*

Sumber : <https://www.google.com/>

1) Keuntungan *Boiler* Pipa Api

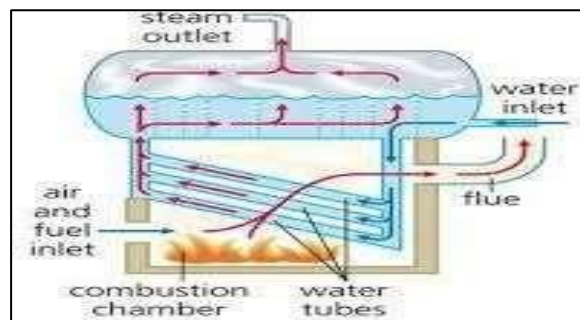
Keunggulan utama dari boiler pipa api terletak pada desain konstruksinya yang sangat kokoh, sehingga memiliki usia pakai yang panjang dan daya tahan tinggi terhadap kerusakan. Dari aspek ekonomi, unit ini menawarkan efisiensi biaya karena beban pemeliharannya yang relatif rendah. Selain itu, sistem operasional dan prosedur perawatannya sangat sederhana, ditambah dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam merespons fluktuasi beban selama pengoperasian berlangsung.

2) Kerugian *Boiler* Pipa Api

Terlepas dari keunggulannya, boiler pipa api memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas output yang relatif kecil serta efisiensi termal yang kurang optimal. Selain itu, perangkat ini memerlukan durasi yang signifikan untuk mencapai tekanan kerja maksimum, sehingga proses pembangkitan uap bertekanan dinilai kurang responsif dibandingkan dengan teknologi boiler lainnya.

b. *Boiler Pipa Air (water tube boiler)*

Water tube boiler umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan uap dalam kapasitas besar. Secara operasional, prinsip kerja jenis ini merupakan antitesis dari sistem pipa api, di mana gas hasil pembakaran dari furnace dialirkan mengelilingi rangkaian pipa yang berisi air. Proses perpindahan panas ini memicu perubahan fase air di dalam pipa hingga menjadi uap bertekanan.



Gambar 2. 4 *Boiler Water Tube*

Sumber : <https://www.google.com/>

1) Keuntungan *Boiler Pipa Air*

Keunggulan utama boiler pipa air terletak pada kemampuannya menghasilkan uap dalam jumlah besar dalam waktu yang relatif singkat serta memiliki efisiensi penggunaan bahan bakar yang tinggi. Sistem ini mampu menghasilkan uap dengan temperatur mencapai 500°C dan tekanan operasional yang jauh melampaui kemampuan boiler pipa api. Selain itu, unit ini memiliki keunggulan dalam hal kecepatan pemanasan awal (start-up time) serta prosedur pemeliharaan yang dinilai lebih praktis dan sistematis.

2) Kerugian *Boiler Pipa Air*

Kelemahan operasional dari *water tube boiler* terletak pada

ketergantungan yang tinggi terhadap kualitas air pengisi yang harus murni, serta kebutuhan pemantauan parameter tekanan dan suhu secara intensif. Unit ini juga menuntut pemasangan isolasi yang tebal guna mereduksi rugi-rugi radiasi panas, serta mengharuskan ketel dalam kondisi kosong sepenuhnya saat dilakukan tindakan perbaikan. Meskipun memiliki karakteristik yang berbeda, kedua varian boiler ini pada hakikatnya mengadopsi prinsip kerja yang identik; pembeda utamanya hanyalah media yang bersirkulasi di dalam pipa, yakni gas hasil pembakaran atau air.

Demi memastikan operasional boiler berlangsung secara optimal, seluruh appendase wajib mendapatkan pemeliharaan berkala yang presisi sesuai dengan standar prosedur yang berlaku. Secara definitif, appendase merupakan rangkaian instrumen pelengkap yang dirancang khusus untuk memproteksi dan menjamin aspek keselamatan unit boiler selama masa pengoperasian. Adapun komponen-komponen yang termasuk dalam kategori peralatan pengaman tersebut adalah sebagai berikut:

a) Appendase yang berhubungan dengan ruangan uap

(1) Katup Keamanan

Fungsi utama katup pengaman (safety valve) adalah sebagai alat pelepas tekanan yang berfungsi membuang kelebihan uap dari dalam boiler. Mekanisme ini bertujuan menjaga tekanan di dalam boiler tetap berada pada batas aman serta mencegah tekanan melebihi standar operasional

yang telah ditentukan sesuai ketentuan teknis.

(2) Manometer

Instrumen ini berfungsi untuk memberikan indikasi tekanan uap di dalam boiler secara akurat dan transparan. Implementasi manometer sangat krusial guna menjamin aspek keamanan operasional, di mana jenis manometer Bourdon merupakan tipe yang paling umum diaplikasikan dalam sistem permesinan boiler.

b) Appendase yang berhubungan dengan ruangan air

(1) Gelas Penduga

Gelas penduga merupakan instrumen kontrol penting yang berfungsi mendukung sistem keselamatan operasional boiler. Perangkat ini diinstalasi pada bagian atas drum untuk memberikan visualisasi secara langsung mengenai level atau ketinggian air di dalam drum, sehingga pemantauan ketersediaan air dapat dilakukan secara akurat.

(2) Katup Pengisian Air *Boiler*

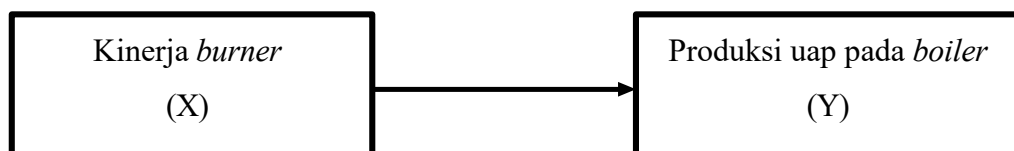
Katup pengisian air boiler berfungsi sebagai instrumen regulasi untuk mengontrol volume air umpan yang disuplai ke dalam sistem boiler. Selain sebagai pengatur debit, katup ini juga berperan sebagai katup searah (non-return valve) yang mencegah aliran balik air menuju saluran pengisian apabila terjadi kegagalan fungsi atau gangguan pada operasional pompa pengisi.

(3) Kran Spui

Kran spui berfungsi sebagai saluran pembuangan untuk mengeluarkan air dari dalam sistem boiler secara terkontrol. Komponen yang terletak di bagian bawah boiler berfungsi khusus untuk mengevakuasi endapan sedimen atau kotoran yang terakumulasi di dasar unit. Sementara itu, kran spui pada bagian atas berperan dalam meregulasi volume air atau membuang kotoran yang terapung pada permukaan drum bagian atas guna menjaga kualitas air umpan.

C. Kerangka Pikir Penelitian

Dengan menganalisis pengaruh kinerja burner terhadap produksi uap pada boiler, kerangka berpikir ini akan membahas dampak kinerja burner pada boiler agar dapat bekerja secara optimal. Selain itu, penulis akan menyelidiki factor apa saja yang menyebabkan kinerja burner terhadap produksi uap pada boiler menjadi terhambat. Hal ini dituliskan dalam kerangka pikir penelitian seperti dibawah ini dimana peneliti menggunakan variabel independent dan variabel dependen.



Gambar 2. 5 Kerangka Pikir Penelitian

Sumber : Diolah Peneliti

Keterangan :

X : Variabel Independent / Bebas —————> Kinerja *Burner*

Y : Variabel Dependen / Terikat —————> Produksi uap pada *boiler*

D. Hipotesis

Dalam metode penelitian kuantitatif, diperlukan adanya hipotesis penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan antara sebab dan akibat dalam penelitian. Adapun hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H_0 : Terdapat faktor yang menyebabkan kinerja *burner* dalam produksi uap yang dihasilkan oleh *boiler*.

H_1 : Tidak terdapat faktor yang menyebabkan kinerja *burner* dalam produksi uap yang dihasilkan oleh *boiler*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini, pendekatan yang diterapkan adalah kuantitatif dengan model asosiatif. Pemilihan metode kuantitatif didasarkan pada kebutuhan untuk menganalisis data berupa angka dari hasil pengukuran variabel, yang memungkinkan pemrosesan melalui teknik statistik guna menghasilkan temuan yang objektif, akurat, dan dapat diverifikasi secara ilmiah. Sejalan dengan pendapat Sugiyono (2020), metode kuantitatif diartikan sebagai prosedur penelitian yang bersumber pada data numerik serta pemanfaatan analisis statistik sebagai instrumen untuk menguji hipotesis yang diajukan.

Studi ini menerapkan pendekatan asosiatif dengan tujuan untuk menganalisis hubungan serta dampak dari performa burner sebagai variabel independen—yang mencakup parameter suhu burner, tekanan operasional boiler, dan efisiensi konsumsi bahan bakar—terhadap laju produksi uap sebagai variabel dependen. Penggunaan pendekatan ini dimaksudkan untuk memetakan besaran kontribusi atau pengaruh yang diberikan oleh variabel bebas dalam memicu perubahan pada variabel terikat, selaras dengan teori yang dikemukakan oleh Creswell (2021).

Proses pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan teknik statistik inferensial melalui analisis regresi linear berganda. Metode ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh masing-masing variabel independen terhadap

variabel dependen, baik secara parsial maupun simultan, serta menyusun model matematis yang menggambarkan hubungan antarvariabel penelitian. Dalam penelitian kuantitatif, analisis regresi dipandang sebagai metode yang efektif untuk menguji dan membuktikan hubungan sebab-akibat antarvariabel yang diteliti.

Penerapan metode dan pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan representasi hasil penelitian yang komprehensif serta sistematis. Temuan yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi instrumen valid bagi manajemen dalam merumuskan kebijakan strategis guna meningkatkan performa burner, yang pada akhirnya akan berdampak langsung pada optimalisasi luaran uap pada unit boiler.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Waktu Penelitian

Proses pengumpulan data dan observasi penelitian ini dilakukan secara simultan dengan kegiatan Praktik Kerja Laut (PRALA) yang dijalani penulis di atas kapal selama kurun waktu 12 bulan. Pelaksanaan penelitian di lapangan bertujuan agar penulis dapat melakukan pengujian serta eksperimen secara komprehensif terhadap rumusan masalah yang telah ditetapkan. Melalui pendekatan ini, penulis diharapkan mampu merumuskan konklusi yang valid dan solutif atas seluruh permasalahan yang dibahas dalam Karya Ilmiah Terapan ini.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di MV. MAERSK NORESUND pada saat

peneliti melaksanakan Praktek Laut (PRALA) sebagai syarat untuk kelulusan dari Politeknik Pelayaran Surabaya.

C. Definisi Operasional Variabel

Menurut Sugiyono (2015), variabel merupakan atribut, karakteristik, atau nilai dari suatu objek maupun aktivitas yang memiliki ciri tertentu dan ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga dapat diperoleh suatu kesimpulan. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan terdiri atas dua jenis. Adapun definisi operasional dari masing-masing variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Variabel X

Penelitian ini mengklasifikasikan variabel ke dalam dua kategori utama, yakni variabel independen (bebas) dan variabel dependen (terikat). Sektor kinerja burner diposisikan sebagai variabel bebas yang mencakup tiga parameter utama: temperatur burner (X_1), tekanan operasional boiler (X_2), serta laju konsumsi bahan bakar (X_3). Temperatur burner merepresentasikan intensitas panas hasil pembakaran, sementara tekanan boiler mengukur akumulasi tekanan uap pada sistem, dan konsumsi bahan bakar mencerminkan kuantitas bahan bakar yang dihabiskan per unit waktu. Ketiga indikator ini diintegrasikan karena fungsinya yang krusial dalam mengevaluasi efektivitas termal di dalam sistem boiler.

2. Variabel Y

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah produksi uap (Y), yaitu jumlah uap yang dihasilkan oleh boiler dalam satuan ton per jam. Produksi

uap dijadikan sebagai indikator utama dalam menilai kinerja boiler karena menunjukkan hasil akhir dari proses pembakaran yang dipengaruhi oleh kondisi operasional burner. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat melalui analisis statistik.

D. Sumber Data

1. Sumber Data

Merujuk pada pemikiran Arikunto S. (2002), sumber data diartikan sebagai subjek penelitian, baik berupa objek, fenomena, maupun individu, tempat di mana peneliti melakukan observasi, wawancara, atau pemantauan secara mendalam. Dalam studi ini, data yang dikumpulkan diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian melalui kegiatan observasi maupun pengukuran di lapangan. Data tersebut meliputi parameter operasional boiler, seperti suhu burner, tekanan boiler, konsumsi bahan bakar, serta produksi uap yang dicatat selama proses operasional berlangsung. Penggunaan data primer bertujuan untuk memperoleh informasi yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

b. Data Sekunder

Selain data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber terdokumentasi sebelumnya.

Cakupan data sekunder ini meliputi dokumen teknis seperti log sheet operasional boiler, laporan performa unit, serta referensi literatur yang mencakup buku teks dan jurnal ilmiah yang relevan. Keberadaan data ini berfungsi sebagai kerangka teoretis sekaligus instrumen pendukung dalam memperkuat validitas analisis penelitian.

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Dalam observasi ini, peneliti melakukan pengamatan langsung di kapal dengan memperhatikan hal hal yang dibutuhkan dalam menunjang data dalam penelitian. Mulai dari pengamatan pada kinerja burner, hingga faktor penghambat kinerja burner terhadap produksi uap pada boiler.

2. Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan dengan menghimpun data dari berbagai dokumen terkait operasional boiler, seperti log sheet, laporan harian, dan catatan konsumsi bahan bakar. Informasi yang diperoleh mencakup suhu burner, tekanan boiler, produksi uap, serta penggunaan bahan bakar, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan analisis karena merepresentasikan kondisi operasional yang sebenarnya.

F. Teknik Analisis Data

Metodologi pengolahan data dalam penelitian ini menerapkan analisis statistik kuantitatif yang dioperasikan melalui perangkat lunak IBM SPSS Statistics. Pemanfaatan aplikasi ini dimaksudkan untuk menjamin efisiensi

analisis secara sistematis, objektif, dan presisi, guna menghasilkan temuan yang memiliki validitas ilmiah tinggi. Prosedur analisis dimulai dengan penerapan statistik deskriptif untuk memetakan profil data—mencakup nilai rerata (mean), serta nilai ekstrem maksimum dan minimum—yang kemudian diikuti dengan uji normalitas guna memverifikasi distribusi data dalam model penelitian.

Tahap selanjutnya adalah melakukan uji asumsi klasik yang meliputi pengujian multikolinearitas dan heteroskedastisitas untuk memastikan bahwa data telah memenuhi syarat analisis. Metode statistik utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis regresi linear berganda, yang bertujuan untuk mengetahui tingkat signifikansi serta besarnya pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen secara menyeluruh.

Verifikasi hipotesis dalam penelitian ini dilakukan melalui uji t untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel secara parsial, serta uji F untuk menganalisis pengaruh variabel secara simultan. Selain itu, analisis koefisien determinasi digunakan untuk mengukur sejauh mana variabel independen mampu menjelaskan variasi pada variabel dependen. Adapun sistematika pengujian statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data dalam penelitian ini memiliki distribusi yang normal. Pemenuhan asumsi normalitas menjadi syarat penting dalam penggunaan analisis statistik parametrik, termasuk analisis regresi linear berganda yang diterapkan dalam penelitian ini.

2. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan linear yang kuat antarvariabel independen dalam model regresi. Model penelitian yang baik seharusnya tidak menunjukkan korelasi yang tinggi antarvariabel bebas agar hasil estimasi yang diperoleh tidak mengalami bias.

3. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan varians residual dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya dalam model regresi. Model penelitian yang baik adalah model yang bersifat homoskedastisitas, yaitu tidak menunjukkan adanya gejala heteroskedastisitas.

4. Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dua atau lebih variabel independen terhadap satu variabel dependen. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk menyusun persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antarvariabel secara menyeluruh dalam penelitian.

5. Uji t (Parsial)

Uji t digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel independen secara parsial terhadap variabel dependen. Melalui pengujian ini, dapat diketahui apakah setiap variabel memiliki pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap hasil penelitian.

6. Uji F (Simultan)

Uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh seluruh variabel independen secara simultan terhadap variabel dependen dalam model regresi. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah variabel-variabel bebas secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel yang diteliti.

7. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi digunakan untuk mengukur sejauh mana variabel independen mampu menjelaskan variasi yang terjadi pada variabel dependen. Hasil pengujian ini menunjukkan besarnya proporsi perubahan variabel terikat yang dapat diterangkan oleh model penelitian yang digunakan.