



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**OPTIMALISASI KINERJA DAN PEMELIHARAAN MESIN
BOILER *WATER TUBE* MENGGUNAKAN METODE
OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS DAN
INPUT-OUTPUT PADA PABRIK MINYAK
KELAPA SAWIT
(Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Pada Program Studi Teknik Industri*

Oleh:

ARI SEPTAWAN DELLA
12050210528



UIN SUSKA RIAU

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2026**



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN JURUSAN

**OPTIMALISASI KINERJA DAN PEMELIHARAAN MESIN BOILER
WATER TUBE MENGGUNAKAN METODE *OVERALL EQUIPMENT
EFFECTIVENESS* DAN *INPUT-OUTPUT* PADA PABRIK
MINYAK KELAPA SAWIT
(Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

ARI SEPTAWAN DELLA
12050210528

Telah Diperiksa dan Disetujui, Sebagai Tugas Akhir
pada Tanggal, 13 Januari 2026

Pembimbing I

Muhammad Ihsan Hamdy, ST., MT
NIP. 19860730 202321 1 019

Pembimbing II

Rika, S.Si., M.Sc., Ph.D Eng
NIP. 19790422 202521 2 005

Mengetahui.

Ketua Jurusan Teknik Industri
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Dr. Muhammad Isnaini Hadiyul Umam, S.T., MT
NIP. 19911230 201903 1 013



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMALISASI KINERJA DAN PEMELIHARAAN MESIN BOILER
WATER TUBE MENGGUNAKAN METODE *OVERALL EQUIPMENT
EFFECTIVENESS* DAN *INPUT-OUTPUT* PADA PABRIK
MINYAK KELAPA SAWIT
(Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

ARI SEPTAWAN DELLA
12050210528

Telah Diperiksa di Depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada Tanggal 13 Januari 2026

Pekanbaru, 13 Januari 2026
Mengesahkan,

Dekan

Ketua Program Studi

Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M.Sc
NIP. 19770103 200710 2 001

Dr. Muhammad Isnaini Nadiyah Umam, S.T., MT
NIP. 19911230 201903 1 013

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Anwardi, ST., MT
Sekretaris I : Muhammad Ihsan Hamdy, ST., MT
Sekretaris II : Rika, S.Si., M.Sc., Ph.D Eng
Anggota I : Nofirza, ST., M.Sc
Anggota II : Harpito, ST., MT



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum, dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan atas izin penulis dan harus dilakukan mengikut kaedah dan kebiasaan ilmiah serta menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh tugas akhir ini harus memperoleh izin tertulis dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan dapat meminjamkan tugas akhir ini untuk anggotanya dengan mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam pada form peminjaman.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran : 1
Nomor : -
Tanggal : 19/01/2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ari Septawan Della
NIM : 12050210528
Tempat/ Tanggal Lahir : Pematang, 20 September 2002
Fakultas : Sains dan Teknologi
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Optimalisasi Kinerja dan Pemeliharaan Mesin Boiler *Water Tube* menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* dan *Input-Output* pada Pabrik Minyak Kelapa Sawit (Studi Kasus : PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian dan pemikiran saya sendiri.
2. Semua kutipan sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu skripsi saya ini, saya nyatakan bebas plagiat.
4. Apabila dikemudian hari ditemukan plagiat pada skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.
5. Dengan demikian surat ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 19 Januari 2026

Yang membuat Pernyataan,



[Signature]

Ari Septawan Della

NIM. 12050210528



LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan algoritma syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan kepada:

Orang tua tercinta, yang selalu menjadi supply chain energi positif, support system tanpa downtime, dan sumber doa yang selalu just in time. Terima kasih sudah menjadi pondasi kokoh dalam semua process improvement hidup saya, yang selalu berhasil mempercepat siklus kehidupan saya dari concept ke final version.

Dosen pembimbing, project manager terbaik yang selalu memberikan feedback tepat sasaran, meskipun kadang membuat saya mengalami mental crash dan debugging berjam-jam. Terima kasih atas bimbingannya yang selalu menghasilkan output terbaik, meski kadang harus melewati error rate tinggi.

Diri saya sendiri, operator tahan banting dengan workload tinggi, tanpa menyerah meskipun jadwal sering meleset dan system (semangat) sering mengalami overload. Terima kasih sudah terus berusaha meski iteration saya sering berulang karena faulty decision.

Teman-teman tercinta, yang selalu memberikan support dan semangat, serta hadir dengan solusi kreatif di setiap bottleneck. Terima kasih sudah menjadi bagian dari tim dalam project ini, dengan tawa dan candaan yang berhasil mengurangi cost stres dan reduce downtime di setiap sesi life debugging.

Senior-senior yang penuh inspirasi, yang telah menjadi role model dalam perjalanan akademik dan kehidupan saya. Terima kasih atas ilmu, saran, dan teladan yang telah diberikan, yang tidak hanya mengajarkan tentang teori, tapi juga tentang bagaimana menjadi resource yang efficient dan cost-effective dalam hidup.

Adik-adik yang selalu semangat, yang selalu memberikan push notification semangat dan energi positif. Terima kasih sudah mengingatkan saya untuk terus optimize waktu, berbagi ilmu, dan menjadi continuous improvement dalam hidup ini.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

**OPTIMALISASI KINERJA DAN PEMELIHARAAN MESIN BOILER
WATER TUBE MENGGUNAKAN METODE *OVERALL EQUIPMENT
EFFECTIVENESS* DAN *INPUT-OUTPUT* PADA PABRIK
MINYAK KELAPA SAWIT
(Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)**

ARI SEPTAWAN DELLA
12050210528

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas KM. 18 No. 15 Pekanbaru

ABSTRAK

Mesin boiler water tube merupakan peralatan utama dalam pabrik minyak kelapa sawit yang berfungsi menyediakan uap untuk mendukung proses produksi secara berkelanjutan. Permasalahan dalam kajian ini adalah terjadinya penurunan dan *fluktuasi* kinerja mesin boiler *water tube*. Penurunan kinerja boiler dapat meningkatkan konsumsi energi dan risiko kegagalan komponen. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan faktor-faktor penyebab penurunan kinerja dan memberikan usulan perbaikan untuk meminimalisir kinerja mesin. Penelitian ini dilakukan di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 pada periode 1-30 Oktober 2025. Metode yang digunakan ialah *overall equipment effectiveness* (OEE) dan metode *input-output*. Hasil analisis menyebutkan bahwa analisis OEE yang digunakan untuk menilai efektivitas operasional mesin memiliki rata-rata sebesar 56,72%, sedangkan analisis *input-output* yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi memiliki rata-rata sebesar 82,40%. Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja boiler mengalami fluktuasi dengan penurunan efisiensi hingga 70,16% serta penurunan nilai OEE yang dipengaruhi oleh *downtime* dan gangguan operasional. Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan penerapan pemeliharaan preventif dan pemantauan kinerja secara berkelanjutan guna meningkatkan keandalan dan kinerja mesin boiler.

Kata Kunci : Efektivitas Mesin, Efisiensi Mesin, Boiler Pipa Air, Metode Langsung, Metode OEE



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

OPTIMIZATION OF MACHINE PERFORMANCE AND MAINTENANCE WATER TUBE BOILERS USING METHOD OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS AND INPUT-OUTPUT IN AN OIL FACTORY PALM

(Case Study: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)

ARI SEPTAWAN DELLA
12050210528

*Department of Industrial Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas KM. 18 No. 15 Pekanbaru*

ABSTRACT

The water tube boiler machine is the main equipment in a palm oil mill that functions to provide steam to support the continuous production process. The problem in this study is the decline and fluctuation in the performance of the water tube boiler machine. The decline in boiler performance can increase energy consumption and the risk of component failure. This study aims to identify the factors causing the decline in performance and provide improvements to minimize machine performance. This research was conducted at the Sei Rokan POM of PTPN IV Regional 3 in the period 1-30 October 2025. The methods used were overall equipment effectiveness (OEE) and input-output methods. The results of the analysis stated that the OEE analysis used to assess the operational effectiveness of the machine had an average of 56.72%, while the input-output analysis used to evaluate energy efficiency had an average of 82.40%. The results of the analysis showed that boiler performance fluctuated with a decrease in efficiency of up to 70.16% and a decrease in the OEE value influenced by downtime and operational disruptions. Based on these results, it is recommended to implement preventive maintenance and continuous performance monitoring to improve the reliability and performance of the boiler machine.

Keywords : *Direct Method, Machine Effectiveness, Machine Efficiency, Overall Equipment Effectiveness Method, Water Tube Boiler*



KATA PENGANTAR



Puji syukur senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimalisasi Kinerja dan Pemeliharaan Mesin Boiler *Water Tube* menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* dan *Input-Output* pada Pabrik Minyak Kelapa Sawit (Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)”** dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat dalam mempersiapkan Laporan Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Dalam penyusunannya, banyak bantuan yang diperoleh dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti, MS., SE., M.Si., Ak., CA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Ibu Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M.Sc, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Muhammad Isnaini Hadiyul Umam, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Nazaruddin, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Suherman, S.T., M.T, selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Dr. Muhammad Isnaini Hadiyul Umam, S.T., M.T, selaku Pembimbing Akademik (PA) yang selalu memberikan arahan dan nasihat sejak awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Bapak Muhammad Ihsan Hamdy, ST., MT selaku dosen pembimbing I dan Ibu Rika, S.Si., M.Sc., Ph.D Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, motivasi, dan pikiran, serta kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing penyelesaian proposal ini.
8. Dosen-dosen Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
9. Teristimewa untuk kedua orang tua penulis, Abah tercinta Denasri dan Omak tercantik di dunia yakni Almh. Rodia, untuk beliau berdualah skripsi ini saya persembahkan. Terimakasih atas segala kasih sayang yang diberikan sehingga saya bisa meraih mimpi dan cita-cita. Beliau yang tiada hentinya memberikan semangat dan dukungan moril maupun material serta doa kepada saya, untuk itu saya mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada beliau dan semoga Omak diatas sana bisa bangga atas perjuangan ini, skripsi ini ari persembahkan untuk omak Ari bayar tuntas utang Ari ke Omak dengan Gelar Sarjana Teknik ini.
10. Saudara kandung penulis, Kakak dan Abang yang saya cintai, yakni Kakak Lesna Arianti, Abang Sandro Afrizon, dan Abang Depi Safitra terimakasih selalu percaya pada adek bungsumu ini dan selalu memberikan dukungan, semangat serta doa. Keluarga besar Abah dan keluarga besar Almh. Omak yang telah mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Kepada Rica Ardiani yang kerap kupanggil Ica, terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang engkau berikan kepadaku dan aku minta maaf jika selalu merepotkanmu.
12. Kepada sahabat tercinta dan seperjuangan, yakni Farhan, Fahri Nasution, Ghifari Joe, dan Theo, terimakasih atas bantuan motivasi yang selalu kalian berikan kepadaku.
13. Rekan-rekan seperjuangan, Mahasiswa Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu, atas motivasi serta dukungan yang diberikan sehingga proposal ini dapat diselesaikan dengan baik.

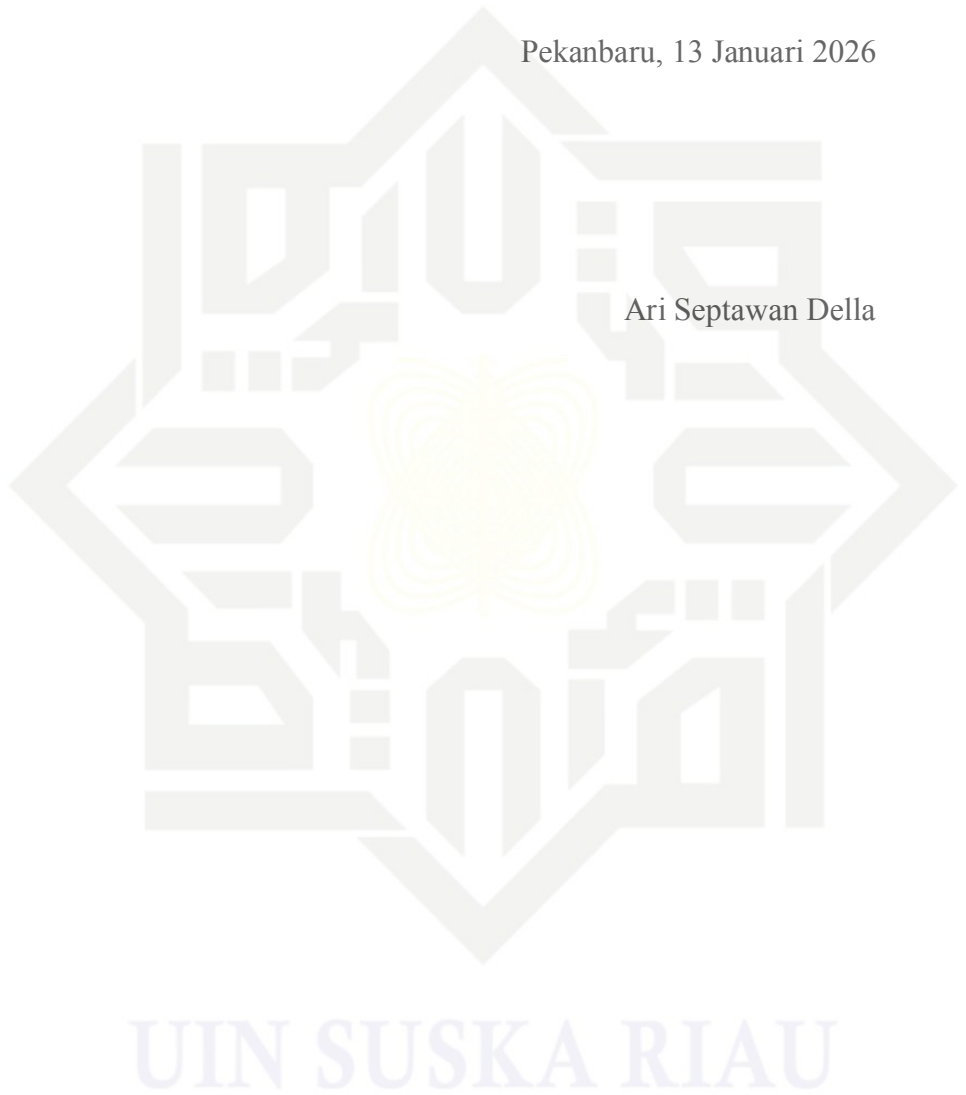
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan keikhlasan semua pihak yang telah terlibat dalam kajian ini dengan pahala yang berlimpah. Penyusunan proposal ini telah dilakukan dengan usaha maksimal, namun tetap disadari adanya keterbatasan baik dari segi penyajian maupun penulisan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari berbagai pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang.

Pekanbaru, 13 Januari 2026

Ari Septawan Della



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN JURUSAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian.....	9
1.4 Manfaat Penelitian.....	9
1.5 Batasan Masalah.....	10
1.6 Posisi Penelitian	11
1.7 Sistematika Penulisan.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 Boiler.....	15
2.1.1 Fungsi Boiler	15
2.1.2 Klasifikasi Boiler.....	16
2.1.3 Komponen Boiler	19
2.1.4 Pengoperasian Boiler	22



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.1.5	Faktor Penurunan Kinerja Boiler	24
2.1.6	Perbandingan Mesin Boiler Lama dan Mesin Boiler Baru	25
2.2	Pemeliharaan Boiler	26
2.2.1	Tujuan Pemeliharaan	26
2.2.2	Fungsi Pemeliharaan	26
2.2.3	Jenis Pemeliharaan	27
2.2.4	Sistem Pemeliharaan Boiler	28
2.3	Teori Termodinamika dan <i>Enthalpy</i>	29
2.3.1	Pengertian Termodinamika	29
2.3.2	Pengertian <i>Enthalpy</i>	30
2.3.3	Formula Perhitungan <i>Enthalpy</i>	30
2.3.4	Peran <i>Enthalpy</i> dalam Efisiensi Boiler	31
2.4	Metode OEE	32
2.4.1	<i>Availability</i>	33
2.4.2	<i>Performance Efficiency</i>	34
2.4.3	<i>Quality Rate</i>	35
2.5	Metode <i>Input-Output</i>	35
2.5.1	Rumus Metode <i>Input-Output</i>	36
2.5.2	Tahapan Metode <i>Input-Output</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		38
3.1	Studi Pendahuluan	39
3.2	Studi Literatur	39
3.3	Identifikasi Masalah	39
3.4	Rumusan Masalah	39
3.5	Tujuan Penelitian	39
3.6	Pengumpulan Data	40
3.7	Pengolahan Data	40
3.8	Analisa	42
3.9	Kesimpulan dan Saran	42



BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	43
4.1 Pengumpulan Data	43
4.1.1 Profil Perusahaan.....	43
4.1.2 Data Spesifikasi Mesin Boiler	45
4.2 Pengumpulan Perhitungan Data.....	46
4.2.1 Data <i>Availability Rate</i>	46
4.2.2 Data <i>Performance Efficiency</i>	47
4.2.3 Data <i>Quality Rate</i>	48
4.2.4 Data <i>Logshift</i> Mesin Boiler	49
4.3 Pengolahan Data	50
4.3.1 Perhitungan Efektivitas Kinerja Mesin Boiler	50
4.3.1.1 Perhitungan <i>Availability Rate</i>	50
4.3.1.2 Perhitungan <i>Performance Efficiency</i>	51
4.3.1.3 Perhitungan <i>Quality Rate</i>	53
4.3.1.4 Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	54
4.3.2 Perhitungan Efisiensi Kinerja Mesin Boiler.....	55
4.3.2.1 Tabel <i>Enthalpy</i> Uap dan <i>Enthalpy</i> Air	55
4.3.2.2 Perhitungan Efisiensi Boiler Metode <i>Input-Output</i>	57
4.3.3 Identifikasi Kerusakan <i>Equipment</i> Pada Mesin Boiler.....	60
4.3.3.1 Data <i>Maintanace</i> Mesin Boiler	60
4.3.4 Perbandingan Hasil Perhitungan Metode OEE dan <i>Input-Output</i> Periode 4 Bulan	62
BAB V ANALISA.....	67
5.1 Analisa Efektivitas Kinerja Mesin Boiler	67
5.1.1 Analisa Perhitungan <i>Availability Rate</i>	67
5.1.2 Analisa Perhitungan <i>Performance Efficiency</i>	69
5.1.3 Analisa Perhitungan <i>Quality Rate</i>	73
5.1.4 Analisa Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	77
5.2 Analisa Efisiensi Kinerja Mesin Boiler	80
5.3 Analisa Perhitungan OEE Periode 4 Bulan.....	84
5.4 Analisa Diagram <i>Fishbone</i>	89

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5.4.1	Analisa Diagram <i>Fishbone</i> Metode OEE	90
5.4.2	Analisa Diagram <i>Fishbone</i> Metode <i>Input-Output</i>	94
5.5	Usulan Perbaikan	97
5.5.1	Usulan Perbaikan Efektivitas Kinerja Mesin Boiler.....	97
5.5.2	Usulan Perbaikan Efisiensi Kinerja Mesin Boiler	99
5.6	Analisa Pengaruh Umur Mesin Terhadap Kinerja Mesin Boiler	100
5.6.1	Analisa Pengaruh Umur Mesin Terhadap <i>Availability</i>	101
5.6.2	Analisa Pengaruh Umur Mesin Terhadap <i>Performance Efficiency</i>	102
5.6.3	Analisa Pengaruh Umur Mesin Terhadap <i>Quality Rate</i>	103
5.6.4	Analisa Pengaruh Umur Mesin Terhadap Efisiensi Mesin Boiler	103
5.6.5	Pengaruh Umur Mesin Terhadap Peningkatan Kinerja Boiler	104
5.7	Analisa Hubungan Metode OEE dan Metode <i>Input – Ouput</i> Terhadap Peningkatan Kinerja Mesin Boiler	104
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		106
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....		107
LAMPIRAN.....		114

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Ketel Pipa Api	16
2.2 Ketel Pipa Air.....	17
2.3 Komponen Utama Boiler	19
2.4 Tahap Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE).....	32
3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	38
4.1 Logo Perusahaan	44
4.2 Struktur Organisasi.....	44
4.3 <i>Water Tube</i> Boiler	45
4.4 <i>Enthalpy</i> Uap.....	56
4.5 <i>Enthalpy</i> Air	56
4.6 Diagram <i>Fishbone</i> Hubungan Metode OEE dan <i>Input-Output</i>	66
5.1 Grafik Hasil Persentase Nilai <i>Availability Rate</i>	68
5.2 Grafik Hasil Persentase Nilai <i>Performance Efficiency</i>	70
5.3 Grafik Hasil Persentase Nilai <i>Quality Rate</i>	73
5.4 Grafik Hubungan 3 Variabel.....	75
5.5 Grafik Hubungan Persentase Nilai OEE	78
5.6 Grafik Efisiensi Boiler	82
5.7 Grafik Perbandingan Rata-Rata Efektivitas Boiler Periode 4 Bulan	84
5.8 Grafik Perbandingan Rata-Rata Efektivitas Boiler Periode Sep-Okt	88
5.9 Diagram <i>Fishbone</i> Metode OEE	91
5.10 Diagram <i>Fishbone</i> Metode <i>Input-Output</i>	95

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 Data Harian Mesin Boiler Periode 21 April – 21 Mei 2025	4
1.2 Kerusakan <i>Equipment</i> Mesin Boiler Periode 21 April – 21 Mei 2025	6
1.3 Posisi Penelitian	11
2.1 Kelebihan dan Kekurangan Ketel Pipa Api	17
2.2 Kelebihan dan Kekurangan Ketel Pipa Air	18
4.1 Pengumpulan Data <i>Availability Rate</i> Mesin Boiler	46
4.2 Pengumpulan Data <i>Performance Efficiency</i> Mesin Boiler	47
4.3 Pengumpulan Data <i>Quality Rate</i> Mesin Boiler	48
4.4 Pengumpulan Data <i>Logshift</i> Mesin Boiler	49
4.5 Hasil Perhitungan <i>Availability Rate</i>	51
4.6 Hasil Perhitungan <i>Performance Efficiency</i>	52
4.7 Hasil Perhitungan <i>Quality Rate</i>	53
4.8 Hasil Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	55
4.9 Hasil Perhitungan <i>Enthalpy</i> Uap dan <i>Enthalpy</i> Air	57
4.10 Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler	59
4.11 Kerusakan <i>Equipment</i> Mesin Boiler	61
4.12 Hasil Perhitungan OEE Pada Boiler Periode 4 Bulan	62



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Menghitung Nilai <i>Enthalpy</i>	30
2.2 Menghitung Nilai OEE	32
2.3 Menghitung Nilai Ketersediaan (<i>Availability</i>)	33
2.4 Menghitung Nilai <i>Loading Time</i>	33
2.5 Menghitung Nilai <i>Operation Time</i>	34
2.6 Menghitung Nilai <i>Downtime</i>	34
2.7 Menghitung Nilai Efisiensi Kinerja (<i>Performance Efficiency</i>).....	35
2.8 Menghitung Nilai Tingkat Kualitas (<i>Quality Rate</i>)	35
2.9 Menghitung Nilai <i>Effisiensi</i> Boiler ($n\beta$)	36
2.10 Menghitung Nilai <i>Effisiensi</i> Boiler melalui Pendekatan Termal ($n\beta$) ...	37



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Hasil Perhitungan <i>Availability Rate</i> Periode Juli 2025	115
2 Hasil Perhitungan <i>Availability Rate</i> Periode Agustus 2025	116
3 Hasil Perhitungan <i>Availability Rate</i> Periode September 2025	118
4 Hasil Perhitungan <i>Performance Efficiency</i> Periode Juli 2025	120
5 Hasil Perhitungan <i>Performance Efficiency</i> Periode Agustus 2025	121
6 Hasil Perhitungan <i>Performance Efficiency</i> Periode September 2025	122
7 Hasil Perhitungan <i>Quality Rate</i> Periode Juli 2025	123
8 Hasil Perhitungan <i>Quality Rate</i> Periode Agustus 2025	124
9 Hasil Perhitungan <i>Quality Rate</i> Periode September 2025	125
10 Hasil Perhitungan OEE Periode Juli 2025	126
11 Hasil Perhitungan OEE Periode Agustus 2025	127
12 Hasil Perhitungan OEE Periode September 2025	128
13 Dokumentasi	129



Hak Cipta Diilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Boiler merupakan komponen kritis dalam sistem produksi uap, yang berfungsi mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas untuk menghasilkan uap bertekanan. Uap tersebut digunakan sebagai sumber energi penggerak dan proses pemanasan di berbagai sektor industri. Peran vital ini menjadikan boiler sebagai peralatan utama yang harus dikelola secara efektif, karena gangguan pada boiler akan berdampak langsung terhadap kelancaran produksi, biaya operasional, serta keselamatan kerja.

Di semua sektor industri, khususnya di industri manufaktur, kelancaran proses produksi merupakan salah satu tuntutan utama untuk mencapai target perusahaan. Mesin dan peralatan produksi menjadi elemen krusial yang mendukung keberlangsungan operasional sebuah perusahaan manufaktur. Untuk dapat bersaing di dunia industri, perusahaan harus mampu meningkatkan efektivitas mesin-mesin yang mereka miliki agar target produksi dapat tercapai. Efektivitas tersebut sangat penting dalam proses produksi dari suatu produk, di mana sebuah mesin dapat dianggap efektif jika mampu menghasilkan output tepat waktu. Semakin baik kinerja mesin, semakin besar peluang perusahaan untuk mencapai target produksi yang telah ditetapkan, yang pada akhirnya akan menguntungkan perusahaan itu sendiri.

Menurut Sudrajat (2011) pemeliharaan (*maintenance*) apat didefinisikan sebagai kegiatan yang sangat penting dalam mendukung proses produksi. Tujuannya adalah untuk menjaga dan mempertahankan kualitas fasilitas agar dapat berfungsi dengan baik dan siap digunakan. Kegiatan ini esensial dalam menjaga serta memelihara peralatan dan mesin, sehingga dapat beroperasi dengan optimal dan sesuai dengan kondisi aslinya. Selain itu, pemeliharaan yang rutin juga berkontribusi pada peningkatan performa mesin dan efektivitasnya. Oleh karena itu, evaluasi dan pemeliharaan yang intensif perlu dilakukan secara berkala untuk me-



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

mastikan mesin dapat digunakan secara maksimal.

Mesin boiler merupakan peralatan utama dalam produksi uap pada pengolahan minyak kelapa sawit di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin dan manajemen perawatan yang sistematis menjadi prasyarat untuk menjaga kontinuitas produksi dan mencegah kerugian akibat penghentian operasi. Gangguan operasional boiler berpotensi menimbulkan *downtime* yang signifikan, memengaruhi capaian produksi, biaya operasional, serta aspek keselamatan kerja dan lingkungan (Rusdi, 2022).

Efektivitas dan efisiensi boiler tidak hanya ditentukan oleh desain tetapi juga oleh kondisi operasional seperti kualitas air umpan (*feed water*), pembentukan skala/kerak, korosi, dan degradasi material seiring usia mesin. Faktor-faktor ini meningkatkan frekuensi perbaikan dan mengurangi ketersediaan peralatan apabila tidak ditangani secara proaktif. Oleh karena itu, pemantauan parameter kualitas air dan tindakan kontrol kerak serta korosi merupakan aspek teknis yang kritikal (Putra, 2023).

Boiler *water tube* banyak digunakan pada pabrik minyak kelapa sawit karena kemampuannya untuk operasi beban besar dan kontinuitas 24 jam. Penggunaan cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar membutuhkan pengelolaan kualitas bahan bakar, strategi pengendalian abu, dan penyesuaian pembakaran untuk mempertahankan efisiensi uap dan mencegah masalah *slagging* (endapan uap) atau *fouling* (penumpukan material). Faktor-faktor tersebut menentukan arah pencapaian performa boiler, apakah tetap optimal atau mengalami penurunan dalam jangka panjang.

Jika boiler di pabrik kelapa sawit rusak, hampir semua bagian produksi akan ikut terdampak. Uap dari boiler dibutuhkan untuk merebus buah sawit, memanaskan digester dan press agar minyak mudah keluar, menjaga suhu pada proses pemurnian minyak, serta mengeringkan inti sawit. Tanpa uap, perebusan berhenti, minyak sulit dipisahkan, dan kualitas hasil menurun. Selain itu, listrik pabrik juga bisa padam karena turbin uap tidak berfungsi. Akibatnya, seluruh proses produksi terhenti dan pabrik mengalami kerugian karena penurunan hasil dan peningkatan biaya perbaikan.

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Kendala yang dihadapi berupa tantangan dalam menjaga kualitas bahan bakar, pengendalian abu, serta pencegahan *slagging* dan *fouling* yang dapat memengaruhi efisiensi boiler. Dengan mempertimbangkan pentingnya keberlanjutan operasional mesin boiler, pengukuran kinerja mesin boiler menjadi fokus utama dalam kajian ini. Permasalahan yang sering terjadi menunjukkan perlunya analisis menyeluruh terhadap kinerja dan manajemen risiko untuk memastikan mesin boiler tetap optimal (Fadli, 2020).

Aspek keselamatan dan kepatuhan terhadap regulasi merupakan pilar pengelolaan boiler. Implementasi peraturan nasional seperti Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 (Keselamatan Kerja) serta penerapan standar teknis yang relevan (SNI/BSN dan pedoman teknis ASME/SNI terkait boiler) menjadi dasar untuk prosedur operasional, inspeksi berkala, dan program pelatihan keselamatan pekerja. Kepatuhan ini mengurangi risiko kecelakaan dan kerugian operasional.

Pengukuran kinerja boiler melalui metode seperti *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), lengkap dengan analisis input-output dan identifikasi *losses*, memberi kerangka kuantitatif untuk mengevaluasi ketersediaan (*availability*), performa (*performance*), dan kualitas (*quality*) sistem. Kombinasi OEE dan analisis aliran input-output memudahkan pemetaan penyebab hilangnya produktivitas serta prioritas tindakan perbaikan berbasis data (Fitriadi, 2020).

PT. Perkebunan Nusantara IV Regional III Kebun Sei-Rokan didirikan pada tahun 1979, berlokasi di Desa Pagaran Tapah Darussalam Kec. Pagaran Tapah Darussalam Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. PT. Perkebunan Nusantara IV Regional III yang bergerak dibidang agrobisnis khususnya perkebunan kelapa sawit.

PT. Perkebunan Nusantara IV Regional III Kebun Sei-Rokan memiliki luas areal 10.281 Ha yang terbagi 12 afdeling. Kegiatan penanaman tanaman kelapa sawit dimulai sejak tahun 1970. Produksi pertama kali pada tahun 1972, kemudian mendirikan pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) dan mulai beroperasi pada tahun 2002. Hasil produksi kebun merupakan kelapa sawit dalam bentuk tandan atau yang lebih dikenal dengan Tandan Buah Segar (TBS). kelapa sawit dalam bentuk TBS seterusnya diproses untuk menghasilkan minyak kelapa sawit dan inti sawit.

Pendekatan studi kasus yang menerapkan OEE dan analisis *input-output* sangat relevan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penurunan kinerja pada boiler spesifik pabrik tersebut. Temuan studi semacam ini dapat mengarahkan rekomendasi pemeliharaan preventif, optimasi pembakaran biomassa, dan perbaikan manajemen operasional (Diniaty, 2017).

Data operasional harian yang dicatat pada log shift stasiun boiler PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 meliputi parameter utama seperti tekanan uap (*steam pressure*), suhu air umpan (*feed water temperature*), suhu uap keluaran uap (*outlet steam temperature*), serta laju aliran uap (*steam flow*). Parameter-parameter ini dianalisis untuk menilai efisiensi kinerja boiler dan dijadikan dasar penyusunan strategi perawatan maupun optimasi sesuai kebutuhan operasional pabrik. Rekap data untuk periode 1 – 31 Oktober 2025 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Harian Mesin Boiler Periode 1 – 31 Oktober 2025

Hari	Steam Pressure (Max 45 Bar)	Steam Temperature Max 257(c°)	Steam Flow (Ton/jam)	Feed Water Temperature (100-105c°)	Konsumsi Bahan Bakar (Ton/hari)
1	22	220	27	100	86
2	20	215	25	102	83
3	18	217	27	103	82
4	20	218	29	100	80
5	19	220	30	101	77
6	19	200	27	102	77
7	18	210	24	105	76
8	21	212	27	103	80
9	21	210	30	104	86
10	20	216	28	103	92
11	22	222	27	104	92
12	24	218	25	100	80
13	25	205	24	104	84
14	27	210	23	101	80
15	24	228	25	102	79
16	22	236	24	103	88
17	30	230	29	102	90
18	32	233	29	104	96
19	30	229	32	101	98
20	25	230	27	103	92

Tabel 1.1 Data Harian Mesin Boiler Periode 1 – 31 Oktober 2025 (Lanjutan)

Hari	Steam Pressure (Max 45 Bar)	Steam Temperature Max 257(c°)	Steam Flow (Ton/jam)	Feed Water Temperature (100-105c°)	Konsumsi Bahan Bakar (Ton/hari)
21	28	225	26	103	100
22	27	222	27	105	86
23	28	230	23	104	88
24	21	225	26	103	87
25	24	222	25	101	83
26	25	224	29	105	94
27	25	230	24	100	90
28	27	228	25	101	95
29	32	232	28	104	97
30	30	232	28	104	90

(Sumber: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3, 2025)

Hasil analisis menunjukkan adanya fluktuasi signifikan pada tekanan uap, berkisar 18–32 bar, Sementara itu, suhu air umpan relatif stabil di kisaran 80–85°C, meskipun sesekali berfluktuasi, yang dapat memengaruhi efektivitas pemanasan.

Selain itu, laju aliran uap dan konsumsi bahan bakar memperlihatkan variasi cukup besar, yaitu 77–100 ton per hari, dipengaruhi oleh beban kerja dan tingkat efisiensi pembakaran. Ketidakstabilan ini mencerminkan perlunya pengendalian operasional yang lebih baik. Oleh sebab itu, metode *overall equipment effectiveness* (OEE) digunakan untuk mengidentifikasi faktor penyebab inefisiensi dan merumuskan strategi peningkatan kinerja mesin secara berkelanjutan.

Data kerusakan selama periode yang sama menunjukkan beragam masalah, mulai dari kebocoran pipa hingga kerusakan komponen pendukung lainnya. Informasi ini memberikan gambaran mengenai jenis kerusakan dan frekuensinya yang berdampak langsung pada efektivitas operasional pabrik. Temuan tersebut menekankan pentingnya program pemeliharaan yang lebih terstruktur serta penerapan manajemen risiko agar boiler dapat beroperasi secara andal.

Langkah perbaikan dilakukan untuk menjaga kinerja boiler tetap optimal sehingga proses produksi pabrik kelapa sawit tidak terganggu. Data kerusakan peralatan boiler selama periode 1 -30 Oktober 2025 ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 1.2 Kerusakan *Equipment* Mesin Boiler Periode 1 – 30 Oktober 2025

No	Jenis Kerusakan	Frekuensi
1	Pipa boiler bocor	4 kali
2	<i>Conveyor</i> bahan bakar	1 kali
3	<i>Blower fuel fan</i> getar	3 kali
4	Blok <i>bearing shift ID fan</i> rusak	2 kali
5	Kran <i>blow down</i> rusak	3 kali
6	<i>Bearing as fuel fan</i> pecah	3 kali
7	<i>Conveyor</i> distribusi tersumbat	2 kali
8	Corong bahan bakar boiler tersumbat	2 kali

(Sumber: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3, 2025)

Berdasarkan Tabel 1.2, kerusakan yang paling sering terjadi adalah kebocoran pipa boiler, yang berdampak pada penurunan efisiensi, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta terganggunya jadwal produksi. Jika tidak ditangani, kondisi ini juga berpotensi merusak komponen lain. Untuk itu, kajian ini mengkombinasikan metode OEE dan analisis input–output sebagai pendekatan evaluasi untuk memberikan rekomendasi pemeliharaan dan optimasi kinerja boiler di pabrik minyak kelapa sawit.

Metode *overall equipment effectiveness (OEE)* adalah suatu alat ukur kuantitatif yang menilai efektivitas operasional peralatan melalui tiga komponen pokok: *availability, performance, dan quality*, dan termasuk identifikasi kerugian–kerugian besar operasional (*six big losses*) seperti *downtime*, kecepatan berkurang, dan cacat produk. Dalam mesin boiler *water tube*, penerapan OEE memungkinkan analisis sistematis terhadap aspek-aspek operasional yang mempengaruhi efisiensi dan keandalan mesin, misalnya gangguan operasional, kecepatan produksi, dan mutu uap yang dihasilkan. Dengan mengukur OEE secara periodik, kajian ini dapat memberikan gambaran objektif mengenai aspek yang memerlukan pemeliharaan atau intervensi, serta mendukung strategi pemeliharaan yang pro-aktif agar produktivitas boiler *water tube* meningkat dan kerusakan tak terduga dapat

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

diminimalkan (Gusniar, 2021).

Metode *input-output* pada analisis kinerja boiler adalah pendekatan kuantitatif yang membandingkan energi atau massa keluaran (aliran uap, entalpi uap) dengan energi masukan (konsumsi bahan bakar) untuk menghitung efisiensi operasional dalam boiler *water tube*, metode ini memungkinkan identifikasi kontribusi parameter operasional, seperti tekanan uap, suhu air umpan, aliran uap, dan laju konsumsi bahan bakar terhadap penurunan efisiensi serta menjadi dasar rekomendasi teknis dan pemeliharaan untuk mengoptimalkan produksi uap dan menurunkan kehilangan energi (Habibuddin, 2024).

Kerusakan atau penurunan kinerja mesin boiler dapat mengganggu keandalan operasi, sehingga diperlukan evaluasi yang mampu menggambarkan kondisi mesin secara menyeluruh. Metode *overall equipment effectiveness* (OEE) digunakan untuk menilai efektivitas operasional boiler, sedangkan pendekatan *input-output* mengevaluasi efisiensi pemanfaatan energi melalui perbandingan antara energi yang digunakan dan output uap yang dihasilkan. Keterkaitan kedua metode tersebut memungkinkan identifikasi dini terhadap penurunan kinerja dan peningkatan risiko kegagalan komponen boiler sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Kajian ini bertujuan untuk merumuskan rekomendasi perbaikan serta langkah-langkah strategis yang dapat diterapkan dalam rangka mengurangi potensi kerusakan, meningkatkan keandalan mesin, dan mendukung kontinuitas proses produksi. Melalui evaluasi yang terstruktur, diharapkan area-area kritis yang membutuhkan perhatian dapat teridentifikasi dengan jelas sehingga kinerja boiler dapat ditingkatkan, proses produksi lebih efisien, dan kapasitas uap yang dihasilkan mampu mendukung kebutuhan operasional pabrik kelapa sawit secara optimal (Afrieldo Josua, 2021).

Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerja mesin boiler tipe *water tube* melalui penerapan metode OEE dan *input-output*. Metode OEE digunakan untuk menilai aspek ketersediaan, kinerja, dan kualitas operasional mesin, sedangkan pendekatan *input-output* dimanfaatkan untuk menganalisis pengaruh parameter operasional, meliputi tekanan uap, suhu air umpan, aliran uap,

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dan konsumsi bahan bakar, terhadap efisiensi boiler. Kombinasi kedua metode tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif (menyeluruh) mengenai kondisi aktual kinerja mesin boiler (Prasetyo, 2024).

Selanjutnya, untuk memperkuat analisis digunakan metode *input-output* yang berfokus pada pengukuran pengaruh parameter operasional seperti tekanan uap, suhu air umpan, aliran uap, dan konsumsi bahan bakar terhadap kinerja mesin boiler. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang kontribusi faktor-faktor tersebut terhadap efisiensi boiler dan menyediakan dasar rekomendasi operasional agar efisiensi dapat mencapai optimal.

Beberapa hasil temuan pada mesin boiler diantaranya, temuan oleh Nuh Fitriyan (2022) dan Auliya Fahira (2023) sama-sama menganalisis nilai OEE berdasarkan faktor *availability*, *performance*, dan *quality*. Hasil temuan Fitriyan menemukan nilai rata-rata OEE sebesar 42,59%, sedangkan Fahira memperoleh 74,61%.

Berbeda dengan temuan yang dilakukan, Rahmat Hafis Ghifari (2025) meneliti efisiensi kinerja boiler di PT Wilmar Nabati Indonesia menggunakan metode *input-output* dan FMEA. Temuannya menunjukkan penurunan signifikan dalam efisiensi, bahkan beberapa hari berada di bawah ambang batas kritis 76,22%.

Sementara itu, Ari Syahwal (2022) menitikberatkan pada pengukuran kinerja boiler dengan metode berbasis komputasi untuk memperbaiki ketidakakuratan pengukuran sebelumnya. Temuan oleh Mohammad Haikal (2023) menganalisis pengaruh uap pada boiler pipa api dengan metode simulasi tiga jam dan menghasilkan rata-rata tekanan uap sebesar 11,8 kg/cm².

Temuan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, kajian yang menggunakan metode OEE hanya berfokus pada identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi mesin boiler, seperti *breakdown time losses* dan *reduced speed losses*. Namun, analisis tersebut terbatas pada periode yang singkat dan kurang memberikan pemahaman yang mendalam tentang kondisi operasional mesin boiler secara menyeluruh. Temuan ini berbeda dengan temuan sebelumnya, kajian ini menggabungkan metode OEE dan *input-output* untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif (menyeluruh). Dengan menggunakan kedua metode ini dapat

digunakan sebagai salah satu metode untuk mengoptimalkan kinerja dan pemeliharaan mesin boiler.

Berdasarkan penjelasan di atas, judul kajian yang diangkat adalah “Optimalisasi Kinerja dan Pemeliharaan Mesin Boiler *Water Tube* menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* dan *Input-Output* pada Pabrik Minyak Kelapa Sawit (Studi Kasus: PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3)”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka yang menjadi pokok permasalahan yang diangkat adalah "Bagaimana cara mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penurunan kinerja mesin boiler dan upaya mengoptimalkan kinerja mesin tersebut melalui analisis menggunakan metode *overall equipment effectiveness* (OEE) dan *input-output* di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penurunan kinerja mesin boiler *water tube* di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3.
2. Memberikan usulan untuk meminimalisir kinerja mesin boiler *water tube* melalui analisis menggunakan metode *overall equipment effectiveness* (OEE) dan *input-output* di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
Dapat menambah wawasan pengetahuan dan keterampilan peneliti dalam menganalisis efisiensi kinerja mesin boiler *water tube* menggunakan metode *overall equipment effectiveness* (OEE) dan *input-output*. Peneliti juga dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja mesin boiler dan bagaimana meningkatkan efisiensinya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Bagi Perusahaan

Dapat memberikan rekomendasi yang berguna bagi PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 untuk meningkatkan efisiensi kinerja mesin boiler *water tube*. Dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja mesin, perusahaan dapat mengurangi risiko kegagalan mesin dan menurunkan biaya operasional, serta memastikan kelancaran proses produksi.

3. Bagi Akademisi

Sebagai referensi bagi akademisi dan peneliti lainnya yang ingin mengembangkan kajian lebih lanjut mengenai optimasi kinerja mesin industri, khususnya dalam pengoperasian mesin boiler. Hasil kajian ini juga dapat dijadikan dasar untuk penerapan metode OEE dan input-output dalam konteks industri lainnya.

1.5

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 dengan unit mesin yang diteliti yaitu mesin boiler *water tube*.
2. Penelitian dilaksanakan dengan menganalisis data operasional mesin boiler pada pabrik pengolahan minyak kelapa sawit periode 1 – 31 Oktober 2025, dengan menghitung efisiensi kinerja mesin boiler menggunakan metode *overall equipment effectiveness* (OEE) dan *input-output*.
3. Data yang digunakan dalam kajian ini mencakup parameter operasional mesin boiler seperti tekanan uap, suhu air umpan, aliran uap, dan konsumsi bahan bakar yang berasal dari cangkang dan serabut kelapa sawit.
4. Nilai kalor pembakaran rendah *low heating value* (LHV) yang digunakan dalam kajian ini berdasarkan bahan bakar cangkang sawit, biogas, dan *fibre* yang digunakan di mesin boiler adalah 18.700 kJ/kg.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Metode analisis yang digunakan untuk menghitung efisiensi kinerja mesin boiler menggunakan data operasional secara langsung dan pendekatan analisis untuk mengidentifikasi hubungan antara *input* operasional dan output (produksi uap) dalam sistem boiler.
- Kajian ini hanya berfokus pada pengukuran efisiensi mesin boiler *water tube* dan tidak membahas mesin boiler jenis lain.

Posisi Penelitian

Posisi penelitian dalam penelitian ini merujuk pada kedudukan penelitian, berikut adalah posisi penelitian:

Tabel 1.3 Posisi Penelitian

No	Judul dan Penulis	Permasalahan	Metode	Hasil
1	Nuh Fitriyan., dkk (2022) Nilai <i>Overall Equipment Effectiveness</i> Pada Boiler <i>Babcock SFB 40</i> di PT. X	Kinerja mesin boiler <i>babcock SFB 40</i> dapat dikatakan di bawah standar terutama dalam aspek <i>performance</i> .	<i>Overall equipment effectiveness</i> (OEE) dan <i>six big losses</i> .	Hasil kajian ini menunjukkan nilai rata-rata OEE sebesar 42,59%.
2	Ari Syahwal, dkk (2022) Analisa Kinerja Boiler Type N-750 Takuma Menggunakan Metode Berbasis Komputasi	Kinerja boiler yang tidak terukur secara akurat selama ini.	Metode berbasis komputasi.	Dari hasil analisa yang sudah dilakukan di dapatkan bahwa kinerja boiler tertinggi sebesar 93,9%,sedangkan untuk kinerja boiler terendah sebesar 84,7%.
3	Auliya Maya Fahira (2023) Analisis Nilai Efektivitas <i>Unit High Pressure Boiler</i> Kapasitas 50 Ton/Jam Pada <i>Section Power Plant</i> Dengan Metode OEE di PT. Socimas, Kim I Medan	Rendahnya nilai OEE disebabkan oleh faktor-faktor seperti kerugian ekonomi dan rendahnya daya saing.	<i>Overall equipment effectiveness</i> (OEE).	Hasil penilain ini menunjukkan nilai rata-rata OEE sebesar 74,61%.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 1.3 Posisi Penelitian (Lanjutan)

No	Judul dan Penulis	Permasalahan	Metode	Hasil
4	Mohammad Haikal Abdurraziq (2023) Analisis Pengaruh Uap Boiler Pipa Api Kapasitas 6 Ton Pada Proses Produksi V-Belt di PT. XYZ	Perkembangan dunia industri saat ini mengalami kemajuan dari segi teknologi. Berbagai produk olahan industri membutuhkan komponen uap yang diperoleh dari boiler.	Metode yang digunakan yaitu melakukan simulasi boiler selama 3 jam.	Boiler berjenis pipa api berkapasitas 6 ton menghasilkan tekanan uap rata-rata sebesar 11,8 kg/cm ² .
5	Rahmat Haris Ghifari (2025) <i>Performance Efficiency Analysis Of Water Tube Boiler Machine Using Input Output Method And Fmea</i>	Penurunan efisiensi kinerja mesin boiler yang disebabkan oleh pengaturan operasional dan pemahaman mesin boiler yang kurang.	Metode <i>input-output</i> dan FMEA.	Melakukan perbaikan efisiensi terhadap operasional kinerja mesin boiler.
6	Ari septawan della (2024) Optimalisasi Kinerja Dan Pemeliharaan Mesin Boiler <i>Water Tube</i> Menggunakan Metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i> Dan <i>Input Output</i> Pada Pabrik Minyak Kelapa Sawit	Kerusakan mesin boiler yang berulang dan mengganggu proses produksi serta menurunkan kinerja mesin boiler di pabrik pengolahan minyak kelapa sawit.	<i>Overall equipment effectiveness</i> (OEE).	Pengintegrasian metode <i>input-output</i> dan <i>overall equipment effectiveness</i> (OEE) untuk mengembangkan strategi pemeliharaan yang lebih efektif pada mesin boiler di pabrik pengolahan minyak kelapa sawit.

(Sumber: Olahan Peneliti, 2025)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah, posisi penelitian dan sistematika penulisan laporan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian sebagai pendukung dan landasan yang digunakan dalam serangkaian proses penelitian seperti literatur dan perhitungan dengan metode yang digunakan. Bab ini juga berisi tentang pengertian boiler serta spesifikasi dan rumus efisiensi perhitungan boiler.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tahapan dalam proses penelitian, dimulai dari awal hingga akhir, mulai dari pengumpulan data yang berkaitan dengan proses penelitian. Data yang diperoleh kemudian akan digunakan dalam proses pengolahan data hingga akhir, yang direpresentasikan dalam bentuk *Flow Chart*.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini berisikan data yang telah dikumpulkan dan diolah mengenai mesin boiler serta efisiensi kinerja boiler. Data yang diperoleh tersebut kemudian akan digunakan pada tahap pengolahan data hingga mencapai tujuan akhir penelitian.

BAB V ANALISA

Pada bab ini memuat analisis hasil pengolahan data yang telah dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi kinerja mesin boiler serta analisa kegagalan operasional boiler di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3.



BAB VI PENUTUP

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian. Serta saran dari penulis untuk referensi penelitian selanjutnya sekaligus saran yang ditujukan untuk perbaikan operasional mesin boiler pada perusahaan.



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2.1

Boiler

Boiler atau ketel uap adalah mesin yang dirancang untuk memanaskan air atau cairan lain dengan tujuan menghasilkan uap (*steam*) yang kemudian digunakan dalam berbagai proses industri. Pemanasan ini dilakukan dengan membakar bahan bakar sehingga energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi termal, menghasilkan uap sebagai medium transfer energi. Uap yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dalam penggerak mesin, pemanasan, dan proses produksi lainnya, salah satunya dalam pabrik pengolahan minyak kelapa sawit (Syahwal, 2022).

Dalam industri pengolahan kelapa sawit, boiler memainkan peran integral sebagai sumber uap panas yang menjadi dasar bagi berbagai proses produksi. Uap tersebut digunakan untuk menggerakkan pompa, pengeringan, sterilisasi, dan proses manufaktur lainnya yang memerlukan panas dan tekanan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai karakteristik teknis boiler, seperti jenis, kapasitas, dan tekanan operasi, penting untuk mendukung produktivitas dan efisiensi operasional di sektor ini (Dhani, 2021).

Dalam bidang industri, pemilihan jenis boiler yang tepat menjadi hal penting untuk memenuhi kebutuhan spesifik, baik dari segi kapasitas maupun tekanan yang dibutuhkan dalam proses produksi (Shahab, 2023).

2.1.1 Fungsi Boiler

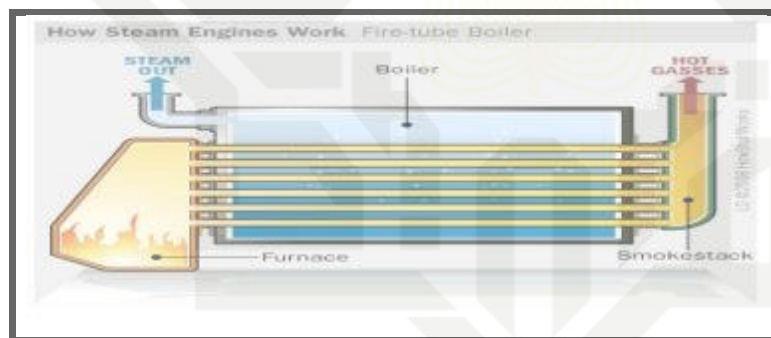
Fungsi dari boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik. Adanya pengaruh pengotoran baik yang ditimbulkan dari bahan bakar maupun air umpan sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler (Djafar, 2025).

2.1.2 Klasifikasi Boiler

Berbagai bentuk boiler telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk boiler sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk uap seperti apa yang akan dihasilkan (Amy Nur, 2024). Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai:

1. Ketel Pipa Api

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfernya ke air ketel melalui bidang pemanas (*heatingsurface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalor) kepada air ketel. Api atau gas asap mengalir dalam pipa sedangkan air atau uap diluar pipa Drum berfungsi untuk tempat air dan uap, disamping itu drum juga sebagai tempat bidang pemanas. Bidang pemanas terletak di dalam drum, sehingga luas bidang pemanas yang dapat dibuat terbatas. Bentuk dari ketel pipa api dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Ketel Pipa Api
(Sumber : Amy Nur,2024)

Ketel pipa api juga memiliki kelebihan dan kekurangan pada mesin boilernya sendiri. Kelebihan dan kekurangan ketel pipa api dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

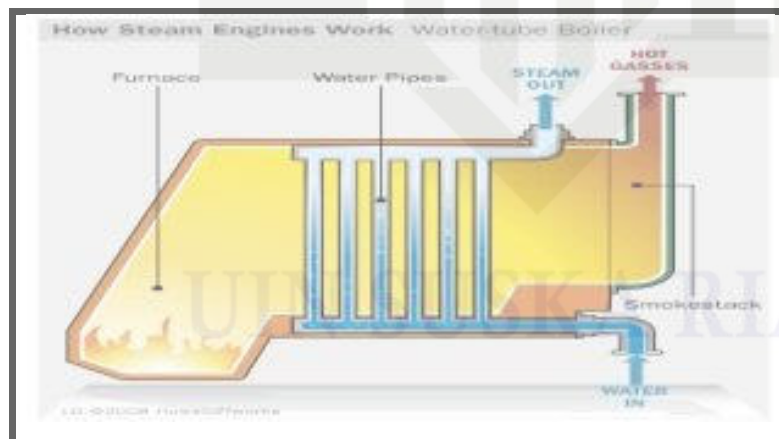
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Ketel Pipa Api

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP ketel uap	Nilai efisiensinya rendah, karena banyak energi kalor yang terbangun langsung menuju <i>stack</i> .
2	Bentuknya lebih <i>compact</i> dan portabel	Tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya
3	Investasi ketel uap pipa api murah	Kapasitas steam relatif kecil jika dibandingkan <i>water tube boiler</i>
4	Proses pemasangan mudah dan cepat	Tekanan operasi <i>steam</i> terbatas untuk tekanan rendah (18 bar)

2 Ketel Pipa Air

Tipe ketel uap air memiliki karakteristik yaitu menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi. Cara kerja ketel pipa air berupa proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui *economizer*, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap *secondary superheater* dan *primary superheater* baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut. Ketel pipa air dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Ketel Pipa Air
(Sumber : Amy Nur, 2024)

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Ketel pipa air juga memiliki kelebihan dan kekurangan pada mesin boilernya sendiri. Kelebihan dan kekurangan ketel pipa api dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Ketel Pipa Air

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Kapasitas steam besar sampai 450 t/h	Proses konstruksi lebih detail
2	Tekanan operasi mencapai 100 bar dan efisiensi relatif lebih tinggi dari <i>fire tube</i> boiler	Investasi awal relatif mahal
3	Tungku mudah dijangkau untuk dilakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan	Penanganan air yang masuk kedalam boiler perlu dijaga, karena lebih sensitif.

Boiler yang digunakan yaitu boiler Takuma N-900 R dengan kapasitas 60 ton per jam merupakan salah satu jenis ketel uap tipe *water tube* yang dirancang untuk aplikasi industri berskala besar, termasuk pabrik kelapa sawit. Boiler ini memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi karena mampu menggunakan berbagai jenis bahan bakar seperti fibre, cangkang sawit, dan biomassa lainnya. Selain itu, sistem pengendalian otomatis serta fitur keselamatan modern yang terpasang pada unit ini memastikan operasi boiler berjalan dengan aman, stabil, dan efisien.

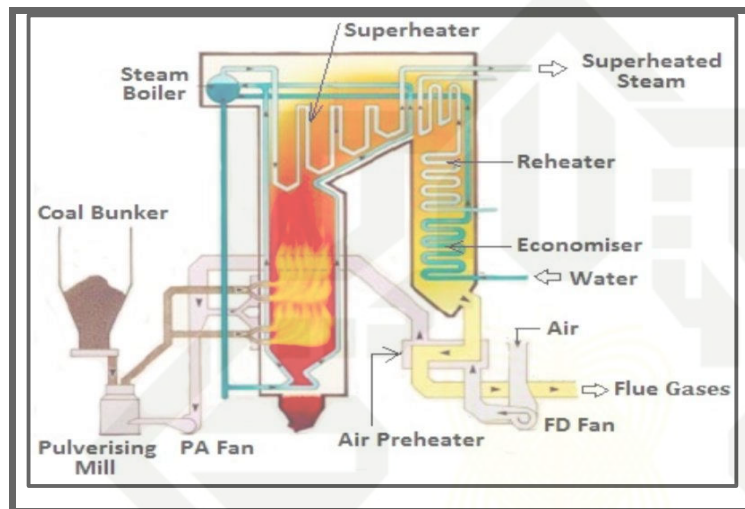
Boiler Takuma N-900 R yang digunakan di PTPN IV Regional III Kebun Sei Rokan diproduksi pada tahun 1984 di Jepang melalui lisensi PT Super Andalas Steel – Indonesia. Ketel uap ini memiliki kapasitas desain sebesar 60 ton uap per jam dengan design *pressure* 45 bar. Berdasarkan dokumen teknis dan data operasional, boiler ini juga memiliki batasan spesifikasi kerja yang digunakan sebagai acuan dalam proses operasi harian. Adapun spesifikasi lengkap dari ketel uap tersebut sebagai berikut:

Jenis ketel	: Ketel Pipa Air (<i>Water Tube boiler</i>)
Model	: Takuma N-900 R
Tahun Pembuatan	: 1984
Negara Pembuat	: Jepang (Lisensi PT. Super Andalas Steel – Indonesia)
Kapasitas Produksi Uap	: 60 ton/jam

<i>Design Pressure</i>	: 45 bar
<i>Steam Temperature</i>	: 200 - 257°C
<i>Feed Water Temperature</i>	: 100 - 105°C
Konsumsi Bahan Bakar	: Max 100 ton/hari

2.1.3 Komponen Boiler

Menurut Dhani (2021) ada beberapa komponen utama pada boiler yang ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Komponen Utama Boiler
(Sumber: Amy Nur, 2024)

1. Drum ketel berperan sebagai “*steam separators*” dan “*purificators*” dan juga memiliki peran sebagai pencampur air agar homogen. Komponen ini termasuk komponen yang perlu diperiksa ketika melakukan perawatan boiler.
2. *Superheater* adalah perangkat yang digunakan untuk memanaskan uap jenuh yang terpisah di dalam drum uap. Dalam beberapa bagian uap tersebut hanya dipanaskan sedikit di atas titik saturasi dimana dalam bagian yang lain mungkin dipanaskan sampai temperatur yang signifikan untuk penambahan penyimpanan energi. Bagian *superheater* ini normalnya diletakkan dalam aliran gas yang lebih panas, di depan *evaporator*.
3. *Economizer* digunakan untuk pemanasan awal *feedwater* sebelum uap dipindahkan melalui *superheater* atau *steam outlet* dan air keluar melalui *blowdown*. Pada umumnya *economizer* diletakkan di dalam gas yang lebih

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dingin pada bagian hilir (*down stream*) *evaporator*. Jika ingin melakukan perawatan boiler, periksalah *economizer* ini.

4. *Evaporator* merupakan bagian yang berfungsi menaikkan temperatur air mencapai titik didih. Pada *evaporator* terjadi peristiwa perubahan fase dari cair menjadi uap. Jika ingin melakukan perawatan boiler, periksalah bagian *evaporator* ini karena bagian *evaporator* merupakan alat bantu penting bagi boiler dan merupakan alat bantu pembuatan uap yang efektif.

Sama seperti pompa, kompresor dan peralatan pabrik lainnya yang tersusun dari berbagai komponen sehingga alat tersebut dapat beroperasi dan menjalankan perannya. Menurut Jhony Donal (2019) ada 2 tambahan untuk komponen yang terdapat pada boiler, antara lain sebagai berikut :

1. *Furnace* disebut juga sebagai tungku pengapian. Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran.
2. *Air heater* merupakan komponen alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus atau meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air *heater* memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) yaitu 38°C. Namun, setelah melalui air *heater*, suhunya udara tersebut akan meningkat menjadi 230°C sehingga sudah dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.
3. Manometer adalah alat untuk menunjukkan dan mengetahui tekanan uap sambungan yang berada dalam sebuah ketel dengan jelas dan tepat, dengan adanya manometer ini pengoperasian boiler akan lebih aman.
4. Pengatur pembuangan gas bekas, asap dari ruang pembakaran dihisap oleh *blower* IDF (*induced draft fan*) melalui *dust collector* selanjutnya akan dibuang melalui cerobong asap. Damper pengatur gas asap diatur terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum IDF dinyalakan, karena semakin besar damper dibuka

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

maka akan semakin besar isapan yang akan terjadi dari dalam tungku.

5. *Safety valve* merupakan alat yang berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. *Safety valve* ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 5 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 2,5 kg per cm kuadrat.

6. *Sight glass* merupakan gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.

7. Pembuangan air ketel merupakan komponen boiler yang berfungsi untuk membuang air dalam drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan *blowdown valve* yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.

8. *Burner* adalah suatu alat untuk mencampur bahan bakar dengan udara dan sebagai *nozzle* untuk mendorong campuran bahan bakar tersebut ke dalam *furnace boiler*, di sisi lain ada udara tambahan yang disebut *secondary* air yang *disupply* untuk memenuhi kebutuhan pembakaran. *Secondary* air dalam debit tertentu tersebut bertemu dengan bahan bakar pada burner. Keduanya bercampur dan terdorong menuju ke tengah-tengah furnace untuk dibakar.

2.1.4 Pengoperasian Boiler

Pengoperasian mesin boiler merupakan proses termal yang melibatkan perpindahan panas dari ruang bakar ke pipa berisi air hingga menghasilkan uap. Efisiensinya dipengaruhi oleh desain teknis, kualitas bahan bakar, dan kemampuan permukaan perpindahan panas dalam menyerap energi. Tidak seluruh energi pembakaran dapat dikonversi menjadi uap karena sebagian hilang melalui gas buang, radiasi, maupun konveksi yang tidak sempurna. Oleh sebab itu, efisiensi optimum hanya dapat dicapai melalui pengelolaan nilai kalor bahan bakar, peningkatan efektivitas perpindahan panas, serta upaya meminimalkan kerugian panas selama proses pembakaran. (Muslih Nasution, 2022).

Pengoperasian boiler merupakan rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur tertentu secara aman dan efisien. Boiler berfungsi mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas yang kemudian digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap. Proses pengoperasian boiler harus mengikuti prosedur standar agar kinerja sistem tetap optimal. Kesalahan dalam pengoperasian dapat menyebabkan penurunan efisiensi, kerusakan peralatan, bahkan potensi bahaya keselamatan. Oleh karena itu, pengoperasian boiler memerlukan pengendalian yang ketat dan berkelanjutan.

Tahap awal pengoperasian boiler dimulai dengan persiapan sistem, yang meliputi pemeriksaan kondisi peralatan dan kelengkapan pendukung. Pemeriksaan dilakukan pada sistem air umpan, bahan bakar, katup pengaman, serta instrumen pengukur tekanan dan temperatur. Selain itu, kondisi ruang bakar dan pipa boiler harus dipastikan dalam keadaan bersih dan bebas dari gangguan. Tahap persiapan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan operasi saat boiler dijalankan. Dengan persiapan yang baik, proses *start-up* dapat dilakukan dengan aman.

Proses *start-up* boiler dilakukan dengan menaikkan temperatur dan tekanan secara bertahap sesuai prosedur operasional. Pembakaran bahan bakar harus dikontrol agar berlangsung stabil dan efisien, sehingga panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal. Selama proses ini, operator wajib memantau parameter utama seperti tekanan uap, temperatur air, dan level air dalam drum boiler. Pengendalian yang tidak tepat pada tahap ini dapat menyebabkan

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ketidakstabilan sistem. Oleh karena itu, pengawasan operator menjadi faktor penting dalam keberhasilan *start-up* boiler.

Pada kondisi operasi normal, boiler dioperasikan untuk menghasilkan uap sesuai kebutuhan proses produksi. Pengaturan rasio udara dan bahan bakar harus dijaga agar pembakaran berlangsung sempurna dan efisiensi energi tetap tinggi. Selain itu, kualitas air umpan harus dikontrol untuk mencegah pembentukan kerak dan korosi pada pipa boiler. Pemantauan parameter operasi secara kontinu diperlukan untuk menjaga kestabilan tekanan dan temperatur uap. Dengan pengoperasian yang stabil, umur pakai boiler dapat diperpanjang dan biaya operasional dapat ditekan.

Tahap penghentian atau *shutdown* boiler dilakukan secara bertahap untuk menghindari kerusakan akibat perubahan temperatur dan tekanan yang mendadak. Pengurangan beban dilakukan dengan menurunkan suplai bahan bakar dan menghentikan proses pembakaran secara perlahan. Setelah boiler berhenti beroperasi, dilakukan pemeriksaan kondisi peralatan untuk mendeteksi kemungkinan kerusakan. Prosedur *shutdown* yang benar berperan penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan sistem. Dengan penerapan pengoperasian boiler yang sesuai prosedur, kinerja dan efisiensi boiler dapat dipertahankan secara berkelanjutan.

Prinsip kerja boiler pada dasarnya adalah mengubah energi panas hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi panas pada uap air. Boiler banyak digunakan dalam industri maupun sebagai sistem pemanas. Proses ini berlangsung ketika air di dalam boiler menyerap energi panas dari hasil pembakaran sehingga mengalami perubahan fase menjadi uap. Perbedaan temperatur menghasilkan variasi berat jenis, di mana air dengan temperatur tinggi memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan dengan air yang lebih dingin. Perbedaan berat jenis tersebut memicu sirkulasi alami, yakni air panas bergerak naik sementara air dingin turun ke bagian bawah boiler (Kurniawan, 2022).

2.1.5 Faktor Penurunan Kinerja Boiler

Beberapa kategori faktor yang dapat menyebabkan penurunan kinerja boiler (Priyanto, 2022), yaitu:

1. Kondisi Pengoperasian

a) Kuantitas air pengisian yang kurang

Boiler dapat menurun apabila jumlah air pengisian tidak mencukupi standar operasional. Kekurangan air ini mengurangi kapasitas pembentukan uap sehingga efisiensi termal berkurang.

b) Dampak ketidakstabilan level air

Ketidakstabilan level air dalam boiler berpotensi menyebabkan gangguan pada proses perpindahan panas. Hal ini bukan hanya menurunkan efisiensi, tetapi juga meningkatkan risiko kerusakan pada komponen boiler.

2. Kualitas Bahan Bakar

a) Penggunaan bahan bakar berkualitas rendah

Bahan bakar dengan nilai kalor rendah atau kandungan pengotor yang tinggi menyebabkan proses pembakaran kurang efisien. Akibatnya, energi panas yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar standar.

b) Variasi karakteristik bahan bakar

Perubahan atau ketidakkonsistenan kualitas bahan bakar dapat mengganggu kestabilan proses pembakaran. Hal ini berdampak pada fluktuasi suhu dan tekanan uap, yang pada akhirnya menurunkan kinerja boiler.

3. Korosi Pada Pipa Boiler

a) Kerusakan akibat proses korosi

Terjadinya korosi pada pipa boiler mengurangi luas area efektif perpindahan panas. Kondisi ini menyebabkan panas dari hasil pembakaran tidak terserap optimal oleh air sehingga efisiensi menurun

b) Konsekuensi keberlanjutan korosi

Apabila korosi tidak segera ditangani, laju kerusakan material pipa akan semakin meningkat. Hal ini bukan hanya mengurangi efisiensi, tetapi juga

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dapat memicu kebocoran dan gangguan operasional serius.

4. Pengaturan Udara Pembakaran

- a) Ketidakseimbangan suplai udara

Jumlah udara yang tidak sesuai dengan kebutuhan pembakaran mengakibatkan proses pembakaran tidak sempurna. Kondisi ini memunculkan sisa bahan bakar yang tidak terbakar, meningkatkan kerugian panas, serta menurunkan efisiensi.

- b) Optimalisasi rasio udara dan bahan bakar

Upaya peningkatan efisiensi dilakukan dengan mengendalikan rasio udara terhadap bahan bakar secara tepat. Pengaturan udara yang optimal akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

2.1.6 Perbandingan Mesin Boiler Lama dan Mesin Boiler Baru

Mesin boiler lama atau konvensional umumnya menggunakan teknologi tipe *firetube* dan *watertube* dengan memanfaatkan bahan bakar tradisional, seperti serat dan cangkang kelapa sawit atau gas. Sementara itu, boiler modern telah mengadopsi teknologi bertekanan tinggi dengan tingkat efisiensi yang lebih optimal serta menggunakan bahan bakar ramah lingkungan, misalnya biomassa (Parwitasari, 2022).

Efisiensi boiler berbahan bakar residu dengan metode langsung tercatat sebesar 77,63%, telah memenuhi standar minimal operasional PPSDM MIGAS yaitu 75%. Sebagai perbandingan, boiler lama masih mampu menghasilkan efisiensi sebesar 76,22%, yang menunjukkan kemampuan mesin konvensional dalam mengonversi energi bahan bakar menjadi panas secara efektif (Winarto, 2023). Walaupun perbedaan efisiensi antara boiler baru dan lama hanya sekitar 1,41%, penggunaan teknologi modern tetap memberikan keuntungan yang signifikan berupa penghematan bahan bakar, penurunan biaya operasional, peningkatan umur teknis mesin, kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, serta kontribusi positif terhadap citra perusahaan secara keseluruhan.



2.2

Pemeliharaan Boiler

Pemeliharaan boiler adalah serangkaian kegiatan teknis yang dilakukan untuk menjaga, mengembalikan, dan meningkatkan kondisi operasional ketel uap agar dapat berfungsi sesuai spesifikasi keselamatan, efisiensi, dan kontinuitas produksi. Kegiatan ini mencakup inspeksi rutin, pelumasan, pembersihan, pemeriksaan kualitas air umpan, penggantian komponen aus, serta perencanaan *overhaul* berkala untuk mencegah kegagalan yang dapat mengganggu operasi pabrik. Penekanan pemeliharaan pada boiler umumnya meliputi aspek keselamatan (*pressure vessel*), kualitas uap, dan efisiensi termal (Santosa, 2022).

2.2.1 Tujuan Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan boiler antara lain sebagai berikut:

1. Menjamin keandalan dan ketersediaan boiler agar pasokan uap memenuhi kebutuhan proses produksi.
2. Menjaga keamanan operasi dengan mencegah kejadian overpressure, korosi, atau kebocoran yang membahayakan personel dan fasilitas.
3. Mempertahankan atau meningkatkan efisiensi termal boiler melalui pembersihan permukaan pemanas, pengendalian kualitas bahan bakar, dan perawatan burner.
4. Meminimalkan biaya operasional jangka panjang dengan melakukan tindakan preventif yang lebih murah dibandingkan perbaikan besar akibat kerusakan mendadak.

2.2.2 Fungsi Pemeliharaan

Menurut Nazaruddin (2024) fungsi pemeliharaan boiler meliputi:

1. Fungsi Pencegahan
Mengidentifikasi dan menangani penyebab kegagalan sebelum terjadi seperti pembersihan kerak, kontrol kualitas air.
2. Fungsi Korektif
Memperbaiki komponen yang rusak agar boiler kembali ke kondisi operasi normal (repairs dan overhaul).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Fungsi Perbaikan Kinerja
Meningkatkan performa boiler seperti tuning burner, optimasi rasio udara bahan bakar sehingga efisiensi meningkat.
4. Fungsi Dokumentasi dan Pengendalian
Mencatat pekerjaan, interval, dan suku cadang untuk perencanaan *spare part* dan analisis keandalan.

2.2.3 Jenis Pemeliharaan

Dalam praktik industri, jenis pemeliharaan yang umum diterapkan pada boiler (Marimin, 2022) antara lain:

1. *Breakdown Corrective Maintenance*

Perbaikan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan. Biasanya mahal dan menyebabkan *downtime* yang tidak terencana. Oleh karenanya sering dihindari pada peralatan kritis seperti boiler.

2. *Preventive Maintenance (PM)*

Perawatan terjadwal berdasarkan interval waktu atau penggunaan (harian, mingguan, bulanan, enam bulanan, tahunan). PM bertujuan mencegah kegagalan mendadak dan mempertahankan kondisi operasional.

3. *Predictive atau Condition-Based Maintenance (CBM)*

Perawatan berdasarkan kondisi aktual komponen yang dipantau misalnya getaran, temperatur, analisis kualitas air, *thickness measurement*). Teknik ini memanfaatkan pengukuran untuk menentukan kapan intervensi diperlukan sehingga mengoptimalkan interval perawatan dan meminimalkan penggantian komponen yang belum habis masa pakai.

4. *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dan *Risk Based Maintenance*

Pendekatan yang memprioritaskan komponen kritis berdasarkan akibat kegagalan dan probabilitasnya, sering dipakai pada PLTU dan instalasi kritis untuk merencanakan PM/CBM yang lebih efektif.

5. *Total Productive Maintenance (TPM)*

Mengintegrasikan peran operator (*autonomous maintenance*) dan tim pemeliharaan untuk meningkatkan kepemilikan pemeliharaan, mengurangi *minor stoppages*, dan meningkatkan OEE mesin boiler.

2.2.4 Sistem Pemeliharaan Boiler

Menurut Salsabila Gina Nursyfa (2024) sistem pemeliharaan yang efektif umumnya mengintegrasikan unsur teknis, manajerial, dan digital sebagai berikut :

1. Perencanaan dan Penjadwalan (*Planning and Scheduling*)

Meliputi pembuatan program *preventive maintenance* (PM), penetapan jadwal *shut down* terencana untuk *overhaul*, serta penjadwalan sumber daya seperti teknisi dan suku cadang. Perencanaan yang terstruktur terbukti meningkatkan ketersediaan unit boiler.

2. *Standard Operating Procedure* (SOP) dan Dokumentasi

Berupa penyusunan SOP tertulis untuk aktivitas perawatan dan prosedur keselamatan (*permit to work* pada peralatan bertekanan), serta pencatatan riwayat pemeliharaan sebagai dasar audit dan analisis. Studi lokal menegaskan pentingnya dokumentasi sebagai fondasi perbaikan berkelanjutan.

3. *Computerized Maintenance Management System* (CMMS)

Penerapan CMMS mendukung penjadwalan otomatis, pelacakan ketersediaan suku cadang, analisis indikator kinerja pemeliharaan *mean time between failure* (MTBF) dan *mean time to repair* (MTTR), serta pembuatan laporan. Literatur industri merekomendasikan penggunaan CMMS terutama pada fasilitas berskala menengah ke atas.

4. Pengendalian Kualitas Air Umpan dan *Chemical Treatment*

Meliputi program *water treatment* melalui *blowdown* dan *dosing* untuk mencegah pembentukan skala serta korosi. Kualitas air memiliki pengaruh langsung terhadap efisiensi termal dan umur pakai komponen boiler. Temuan praktis menunjukkan bahwa pengendalian kualitas air mampu menurunkan insiden kerusakan serta meningkatkan efisiensi.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. *Overhaul dan Major Maintenance*

Kegiatan ini mencakup pemeriksaan ketebalan pipa, perbaikan ruang bakar, penggantian komponen kritis, dan pengujian tekanan. Bukti empiris menunjukkan bahwa pelaksanaan *overhaul* berkala meningkatkan performa operasi pasca-pemeliharaan.

6. *Continuous Improvement (CI)*

Dilaksanakan melalui program *total productive maintenance* (TPM), atau *reliability centered maintenance* (RCM) untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah, mengurangi *minor stoppages*, serta mengoptimalkan manajemen suku cadang. Implementasi CI terbukti mampu menurunkan biaya operasi jangka panjang.

2.3 Teori Termodinamika dan *Enthalpy*

Pada sub-bab ini, akan membahas termodinamika sebagai dasar pemahaman proses yang terjadi dalam boiler, terutama tentang *enthalpy*, yang digunakan untuk menghitung energi yang terkandung dalam air dan uap yang dihasilkan oleh boiler. Dengan memahami teori termodinamika, dapat menghitung seberapa efisien boiler dalam mengubah energi dari bahan bakar menjadi energi uap.

2.3.1 Pengertian Termodinamika

Termodinamika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang energi, perubahan energi, dan cara energi berpindah dalam suatu sistem. Salah satu prinsip utama dalam termodinamika adalah hukum pertama termodinamika, yang menyatakan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat berubah bentuk. Dalam boiler, energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas yang digunakan untuk memanaskan air, yang kemudian mengubahnya menjadi uap. Proses ini mematuhi hukum pertama termodinamika, karena total energi dalam sistem tetap terjaga, meskipun energi tersebut berubah bentuk, misalnya energi panas dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan air dalam boiler sehingga berubah menjadi uap.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dalam temuan yang dilakukan oleh Rasworo (2022) mengenai efisiensi boiler di PLTU PT. X Unit 2, prinsip termodinamika pertama diterapkan untuk menganalisis konversi energi yang terjadi di boiler. Rasworo mencatat bahwa perubahan yang terjadi dalam sistem boiler terkait dengan perubahan energi panas yang diterima oleh air umpan dan energi yang dihasilkan dalam bentuk uap.

2.3.2 Pengertian *Enthalpy*

Enthalpy (H) adalah salah satu parameter penting dalam termodinamika yang menggambarkan total energi dalam suatu sistem, yang mencakup energi internal (energi yang terkandung dalam molekul atau atom) dan energi yang dibawa oleh fluida akibat perubahan suhu dan tekanan. Dalam sistem boiler, enthalpy digunakan untuk menghitung energi yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap.

Dalam proses boiler, perubahan enthalpy antara air umpan dan uap yang dihasilkan menggambarkan jumlah energi yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap. Energi ini diperlukan karena perubahan fase yang terjadi dalam boiler memerlukan energi laten penguapan (latent heat of vaporization) yang besar. Oleh karena itu, perubahan enthalpy digunakan untuk menganalisis seberapa efisien energi yang dihasilkan oleh bahan bakar dapat digunakan dalam menghasilkan uap.

Temuan yang dilakukan oleh Jihan Syalsabila (2023) dalam studi mereka tentang efisiensi thermal boiler menunjukkan bahwa *enthalpy* berperan besar dalam menentukan performa boiler. Perbedaan *enthalpy* antara air umpan dan uap menggambarkan jumlah energi yang diperlukan dalam proses pemanasan dan penguapan. Jika nilai *enthalpy* uap lebih besar dibandingkan dengan air umpan, maka semakin banyak energi yang diperlukan, dan semakin besar kemungkinan kerugian energi dalam proses tersebut.

2.3.3 Formula Perhitungan *Enthalpy*

Secara matematis, enthalpy dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$H = h_f - h_v \quad \dots(2.1)$$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Keterangan :

H : *Enthalpy* (kJ/kg)

h_f : *Enthalpy* Air (kJ/kg)

h_g : *Enthalpy* Uap (kJ/kg)

Pada sistem boiler, *enthalpy* air umpan dihitung pada temperatur dan tekanan tertentu, dan perubahan *enthalpy* antara air umpan dan uap digunakan untuk menghitung seberapa banyak energi yang digunakan untuk menghasilkan uap. Semakin besar perbedaan *enthalpy* antara air umpan dan uap, semakin banyak energi yang digunakan untuk menghasilkan uap, yang berarti efisiensi boiler menjadi lebih tinggi.

Metode perhitungan menggunakan *enthalpy* untuk menghitung efisiensi boiler didasarkan pada perbedaan antara *enthalpy* uap dan *enthalpy* air umpan. Perhitungan ini penting untuk mengukur seberapa banyak energi dari bahan bakar yang berhasil digunakan dalam mengubah air menjadi uap. Semakin besar perbedaan *enthalpy*, semakin efisien boiler dalam mengkonversi energi dari bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap (Syalsabila, 2023).

2.3.4 Peran *Enthalpy* dalam Efisiensi Boiler

Penghitungan *enthalpy* sangat penting dalam menentukan efisiensi boiler, karena *enthalpy* menggambarkan jumlah energi yang digunakan dalam proses perubahan air menjadi uap. Dalam sistem boiler, energi yang digunakan untuk menghasilkan uap dihitung berdasarkan perubahan *enthalpy* antara air umpan dan uap yang dihasilkan. Namun, dalam praktiknya, efisiensi boiler tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan *enthalpy* saja, melainkan juga oleh faktor-faktor lain seperti kerugian energi melalui gas buang yang terlalu panas, kerugian radiasi, dan ketidakstabilan pembakaran.

Penurunan efisiensi terjadi apabila ada kehilangan energi, misalnya melalui gas buang yang terlalu panas atau pembakaran yang tidak sempurna. Menurut temuan yang dilakukan oleh Sahda (2022) dalam kajiannya di PLTSA Bantargebang, mencatat bahwa efisiensi boiler dapat menurun apabila kerugian energi terjadi pada gas buang atau karena kelembaban bahan bakar yang tidak terkompresi dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perhitungan

enthalpy sangat penting, kondisi operasional boiler harus dioptimalkan untuk menjaga efisiensi yang lebih tinggi.

2.4 Metode OEE

Overall equipment effectiveness (OEE) merupakan indikator yang menunjukkan tingkat efektivitas suatu mesin atau peralatan. Pengukuran OEE dilakukan dengan mengevaluasi tiga komponen utama, yaitu ketersediaan (*availability*) mesin atau peralatan, efisiensi kinerja proses, dan tingkat kualitas produk yang dihasilkan (Widyantoro,2020). Penerapan *total productive maintenance* (TPM) di suatu perusahaan nilai OEE ideal harus mencapai kondisi tertentu yang mencerminkan kinerja optimal dari mesin atau peralatan tersebut (Andrianto, 2022).

1. *Availability* > 90%
2. *Performance Efficiency* > 95%
3. *Quality Rate* > 99%

Sehingga kondisi ideal pencapaian OEE adalah > 85%

Adapun rumus OEE adalah sebagai berikut :

$$OEE (\%) = Availability (\%) \times Performance rate (\%) \times Quality rate (\%) \dots (2.2)$$

Berikut adalah tahap perhitungan nilai OEE yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.

Peralatan Produksi	Six Big Loss	Perhitungan OEE
Loading Time		
Operating Time	1 Breakdown Loss 2 Setup & Adjustment Loss	Availability = $\frac{\text{Loading Time}}{\text{Downtime Losses}} \times 100\%$
Net Operating Time	3 Chokotei Loss 4 Cycle Time Loss	Performance rate = $\frac{\text{Teoritical cycle time} \times \text{Process amount}}{\text{Operating Time}} \times 100\%$
Valuable Operating Time	5 Defect Loss 6 Startup Loss	Quality Rate = $\frac{\text{Process amount} - \text{Defect amount}}{\text{Processes amount}} \times 100\%$
OEE = Availability x Performance Rate x Quality Rate		

Gambar 2.4 Tahap Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)
(Sumber : Ahuja dan Khamba, 2008)



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Setelah dilakukan pengukuran OEE pada boiler, diketahui bahwa komponen *availability* berada jauh di bawah target efisiensi perusahaan. Untuk mengidentifikasi akar penyebabnya secara sistematis, digunakan diagram *fishbone*. Metode ini memfasilitasi identifikasi penyebab potensial dalam kategori manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan (Darsin, 2023).

2.4.1 Availability

Availability merupakan ketersediaan waktu mesin secara aktual untuk beroperasi. Nilai persentase *availability* merupakan perbandingan antara *actual operating time* dan *planned working time*. Perhitungan dari persentase *availability* membutuhkan nilai dari *working time*, *planned downtime*, dan *downtime* (Prasetya, 2022).

Availability dalam *overall equipment effectiveness* (OEE) dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu *equipment failure* dan *set-up and adjustment*. *Equipment failure* terjadi ketika mesin mengalami kerusakan teknis, baik berupa kegagalan mekanis maupun elektrik, yang menyebabkan terhentinya proses produksi. Sementara itu, *set-up and adjustment* mencakup waktu henti yang diperlukan untuk melakukan pengaturan mesin, seperti pergantian alat, penyesuaian parameter produksi, atau adaptasi terhadap produk baru. Kedua faktor tersebut termasuk dalam kategori *availability losses* pada perhitungan OEE karena secara langsung mengurangi waktu operasi efektif mesin yang seharusnya tersedia untuk proses produksi. (Dwiyanti, 2023). Nilai *availability* dengan rumus sebagai berikut :

$$Availability = \frac{Operation\ time}{Loading\ time} \times 100\ \% = \frac{Loading\ time - Downtime}{Loading\ time} \times 100\% \quad \dots (2.3)$$

Berikut adalah keterangan dari istilah-istilah yang terdapat didalam rumus diatas :

1. *Loading time* adalah waktu yang tersedia (*availability*) per hari atau per bulan dikurangi dengan waktu *downtime* mesin yang direncanakan (*planned downtime*).

$$Loading\ time = Total\ availability - Planned\ downtime \quad \dots (2.4)$$



2. *Planned downtime* adalah jumlah waktu *downtime* mesin untuk pemeliharaan (*scheduled maintenance*) atau kegiatan manajemen lainnya.
3. *Operation time* merupakan hasil pengurangan *loading time* dengan waktu *downtime* mesin (*non-operation time*), dengan kata lain *operation time* adalah waktu operasi tersedia (*availability time*) setelah waktu *downtime* mesin dikeluarkan dari total *availability time* yang direncanakan.

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime} \quad \dots (2.5)$$

4. *Downtime* mesin adalah waktu proses yang seharusnya digunakan mesin akan tetapi karena adanya gangguan pada mesin atau peralatan (*equipment failure*) mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan. *Downtime* meliputi mesin berhenti beroperasi akibat kerusakan mesin, pelaksanaan prosedur *set up and adjustment* dan lain-lainnya.

$$\text{Downtime} = \text{Breakdown time} - \text{set} - \text{up and adjustment} \quad \dots (2.6)$$

2.4.2 Performance Efficiency

Performance Efficiency dalam *overall equipment effectiveness* (OEE) didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu standar operasional mesin (*standard operating time*) untuk menghasilkan sejumlah produk jadi dengan waktu aktual operasional mesin (*actual operating time*). Perhitungan *performance efficiency* memerlukan data *cycle time*, jumlah output aktual, serta waktu operasi aktual mesin.

Dalam hal ini, *ideal cycle time* dipahami sebagai waktu proses yang diharapkan dapat dicapai dalam kondisi optimal tanpa hambatan produksi, atau dapat pula disebut sebagai *loading time* sesuai target produksi. *Performance efficiency* merepresentasikan rasio yang menunjukkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk secara efektif, yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (Prasetya, 2022).

- a. *Ideal cycle time* (Waktu siklus ideal)
- b. *Processed amount* (Jumlah produk yang diproses)
- c. *Operation time* (Waktu operasi mesin)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Nilai *Performance Efficiency* yang tinggi menunjukkan bahwa mesin beroperasi mendekati kecepatan maksimumnya, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan adanya hambatan seperti pengurangan kecepatan atau jeda singkat yang mengganggu alur produksi. *Performance Efficiency* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Performance Efficiency} = \frac{\text{Processed amount} \times \text{Total cycle time}}{\text{Operation time}} \times 100\% \quad \dots(2.7)$$

2.4.3 Quality Rate

Quality Rate atau *rate of quality product* merupakan suatu rasio yang menunjukkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar dan dinyatakan dalam persentase (Prasetya, 2022). *Quality Rate* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Prosesesed amount} - \text{Defect amount}}{\text{Processed amount}} \times 100 \% \quad \dots(2.8)$$

2.5 Metode Input-Output

Metode perhitungan efisiensi mesin boiler dengan pendekatan *input-output* merupakan cara evaluasi analitis yang memetakan hubungan antara energi yang masuk dan energi yang dihasilkan oleh sistem boiler *water tube*. Dalam pendekatan ini, parameter masukan (*input*) meliputi konsumsi bahan bakar, udara pembakaran, dan air umpan, sedangkan parameter keluaran (*output*) mencakup produksi uap bertekanan. Analisis ini memungkinkan perhitungan efisiensi boiler secara akurat serta memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja sistem boiler pada berbagai kondisi operasional, termasuk identifikasi potensi kerugian energi dan optimasi proses pembakaran (Ghifari, 2025).

Metode *input-output* telah menjadi pendekatan penting dalam evaluasi efisiensi boiler di berbagai sektor industri, mulai dari pembangkit listrik berbasis uap hingga proses industri yang memerlukan energi panas untuk operasionalnya. Pendekatan ini diterapkan secara langsung dengan menekankan perbandingan antara energi yang masuk, yang umumnya berasal dari bahan bakar, dengan energi yang dihasilkan dalam bentuk uap bertekanan. Analisis ini tidak hanya

memungkinkan penilaian efisiensi secara kuantitatif, tetapi juga membantu mengidentifikasi komponen atau tahapan operasional yang berpotensi menimbulkan kerugian energi. Dengan demikian, metode *input-output* menyediakan kerangka sistematis bagi operator dan peneliti untuk memahami kinerja boiler secara lebih mendalam dan merumuskan strategi perbaikan yang tepat guna dalam rangka meningkatkan efisiensi operasional (Sahda, 2022).

Selain itu, menurut Dila Aprilia dan Hardjono (2021) metode langsung dalam evaluasi efisiensi boiler memanfaatkan data operasional yang tercatat dalam *logsheet* sebagai dasar perhitungan. Pendekatan ini memberikan kemudahan dan kecepatan dalam memperoleh hasil evaluasi karena tidak memerlukan instrumen laboratorium tambahan atau prosedur analisis yang kompleks. Penggunaan data lapangan memungkinkan pemantauan kinerja boiler secara berkala sehingga operator dapat segera mengidentifikasi dan mengatasi potensi masalah operasional. Dengan demikian, metode langsung ini mendukung peningkatan keandalan sistem boiler dan memberikan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan dalam perawatan preventif maupun korektif, sehingga kinerja boiler tetap optimal dalam berbagai kondisi operasi.

2.5.1 Rumus Metode *Input-Output*

Metode pengujian boiler pada umumnya dikenal sebagai metode langsung atau metode *input-output* yang melibatkan pendekatan evaluasi langsung terhadap keluaran (*steam*) dan panas masuk (*input* bahan bakar) guna menilai efisiensi. Efisiensi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan. Rumus yang digunakan dalam menghitung efisiensi boiler adalah sebagai berikut (Sahda, 2022):

$$Effisiensi\ Boiler\ (n\beta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \dots(2.9)$$

Keterangan :

- Q = Debit uap yang dihasilkan (kg/jam)
- h_g = *Enthalpy* uap (kJ/kg)
- h_f = *Enthalpy* air umpan (kJ/kg)

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- q = Debit bahan bakar yang digunakan (kg/jam)
 GCV = Nilai kalor kotor bahan bakar (kJ/kg)

Secara lebih rinci, jika menggunakan pendekatan termal, efisiensi boiler dapat ditulis sebagai:

$$Effisiensi\ Boiler\ (n\beta) = \frac{(m_s \cdot h_g) - (m_f \cdot h_f)}{m_b \cdot H_b} \times 100\% \quad \dots(2.10)$$

Keterangan :

- m_s = Massa uap yang dihasilkan (kg)
 h_g = *Enthalpy* uap (kJ/kg)
 m_f = Massa air umpan (kg)
 h_f = *Enthalpy* air umpan (kJ/kg)
 m_b = Massa bahan bakar yang digunakan (kg)
 H_b = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

2.5.2 Tahapan Metode *Input-Output*

Menurut Syahwal (2022) pada perhitungan efisiensi mesin boiler dengan metode *input-output* ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan, yaitu:

1. Mengukur entalpi spesifik uap menggunakan *steam tab companion* berdasarkan tekanan dan suhu.
2. Menghitung energi input bahan bakar: kuantitas bahan bakar $\times$ nilai kalor bahan bakar (kJ/kg).
3. Menghitung energi output uap: kuantitas uap $\times$ (entalpi uap – entalpi air umpan).
4. Menentukan efisiensi boiler: persentase energi keluaran terhadap energi masukan.
5. Menganalisis efisiensi dengan membandingkan hasil perhitungan terhadap standar industri atau data historis.
6. Menyusun rekomendasi perbaikan: optimasi pembakaran, perbaikan peralatan, atau peningkatan pemeliharaan.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

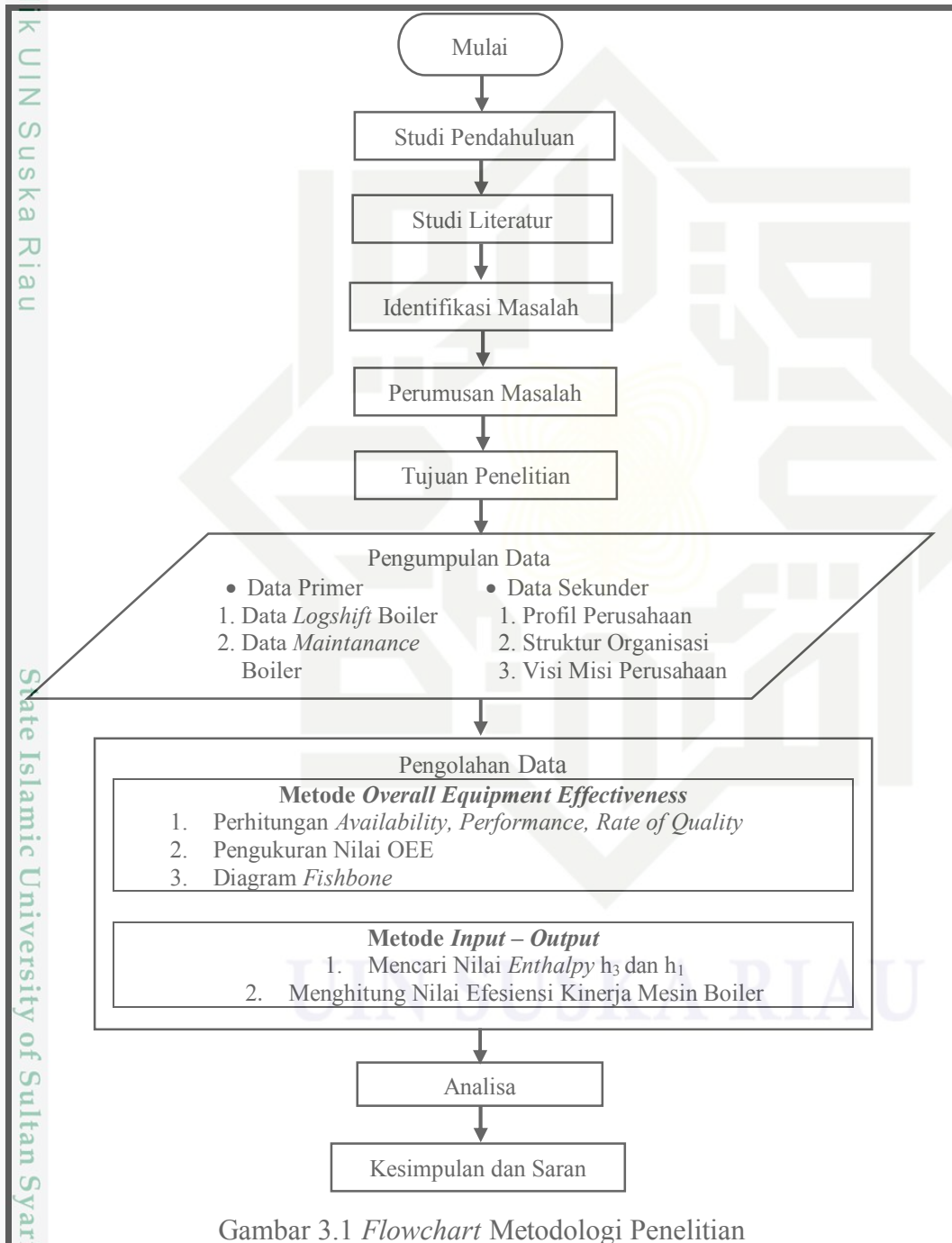
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penelitian ini dilihat pada gambar berikut:

Flowchart Metodologi Penelitian:



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



3.1 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan untuk mengidentifikasi masalah yang ada dengan tujuan memahami permasalahan yang timbul. Tahap ini meliputi langkah-langkah berikut:

1. Observasi

Mengumpulkan data langsung mengenai kerusakan mesin, *downtime*, dan *set-up* mesin untuk mendapatkan gambaran kondisi operasional

2. Wawancara

Melakukan diskusi dengan teknisi yang memahami bagian-bagian atau komponen mesin yang sering mengalami kerusakan, sehingga informasi teknis dapat diperoleh secara mendetail

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan dan mengevaluasi sumber-sumber relevan, seperti buku, artikel, dan laporan, guna memperoleh pemahaman lebih dalam terkait topik kajian (Muzaki, 2019). Hal ini penting untuk memberikan landasan teori yang kuat dalam penelitian ini

3.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah bertujuan untuk mengenali dan memahami permasalahan yang ada sebagai dasar penelitian lebih lanjut.

3.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah menjelaskan permasalahan yang akan diteliti secara jelas agar penelitian memiliki fokus yang tepat dan solusi yang dihasilkan relevan.

3.5 Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan mengembangkan pengetahuan melalui eksplorasi, evaluasi, dan analisis data. Hasil penelitian diharapkan dapat menjawab rumusan masalah dan memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan kinerja mesin.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data mencakup data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari *logshift* dan pemeliharaan mesin boiler, sedangkan data sekunder meliputi profil perusahaan dan spesifikasi mesin boiler (Wicaksana,2023).

3.7 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menganalisis dan memproses data yang diperoleh agar dapat menghasilkan solusi terhadap masalah yang teridentifikasi. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan dua metode utama untuk memperoleh pemahaman menyeluruh tentang kinerja mesin boiler dan efisiensi energi (Muzaki, 2019).

1. Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

a. Pengumpulan Data Kinerja Mesin:

Mengumpulkan data *downtime*, kecepatan produksi, dan tingkat cacat produk.

b. Menghitung OEE

Berdasarkan tiga komponen utama:

1. *Availability* (Ketersediaan)

Mengukur waktu mesin beroperasi dibanding waktu yang tersedia.

2. *Performance Efficiency* (Efisiensi Kinerja)

Mengukur seberapa baik mesin beroperasi pada kecepatan yang diinginkan.

3. *Quality Rate* (Tingkat Kualitas)

Mengukur persentase produk yang memenuhi standar kualitas

c. Identifikasi Penyebab Kerusakan

Menganalisis hasil OEE untuk menemukan penyebab utama inefisiensi, baik mekanis, kelistrikan, maupun operasional.

d. Perencanaan Perbaikan

Menyusun rencana perbaikan, seperti penggantian suku cadang, pelatihan operator, atau penyesuaian jadwal perawatan.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- e. Implementasi Tindakan Perbaikan
Melaksanakan perawatan preventif atau prediktif, meningkatkan prosedur operasional, atau mengganti peralatan rusak.
- f. Pemantauan dan Evaluasi
Memantau kinerja mesin secara berkelanjutan dan mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan menggunakan OEE.

2. Metode *Input* dan *Output*

- a. Identifikasi *Input-Output*
Menentukan semua *input* (bahan bakar, air, listrik) dan *output* (uap, energi) mesin.
- b. Mengukur Efisiensi
Membandingkan input dengan output yang dihasilkan.
- c. Analisis Pemborosan
Mengidentifikasi ketidakefisienan, seperti penggunaan bahan bakar berlebihan atau kebocoran.
- d. Evaluasi Dampak Kerusakan
Menilai pengaruh kerusakan mesin terhadap efisiensi dan *output*.
- e. Perbaikan dan Optimasi
Memperbaiki komponen yang rusak dan mengoptimalkan penggunaan energi.
- f. Pemantauan Berkala
Memantau *input-output* secara rutin untuk memastikan kinerja optimal.

Dengan penerapan metode OEE dan *input-output*, perusahaan dapat secara sistematis mengidentifikasi, menganalisis, dan menangani kerusakan mesin, sehingga meningkatkan efektivitas operasional, efisiensi energi, dan mengurangi pemborosan.



3.8

Analisa

Analisis data yang dilakukan setelah pengumpulan dan pengolahan bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi hasil penelitian serta menemukan kesalahan atau ketidaktepatan dalam proses. Langkah ini memastikan akurasi, keandalan, dan validitas data, sehingga hasil penelitian dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang lebih kuat dan terpercaya.

3.9

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan bagian akhir dari penelitian. Kesimpulan berfungsi untuk memberikan jawaban terhadap tujuan penelitian yang telah ditetapkan di bab pendahuluan, sedangkan saran berisi rekomendasi yang ditujukan bagi penelitian selanjutnya atau implementasi praktis, berdasarkan temuan yang diperoleh

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 dalam periode 1- 30 Oktober 2025 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan kinerja boiler water tube di PKS Sei Rokan PTPN IV Regional 3 terutama disebabkan oleh kerusakan komponen seperti kebocoran pipa, getaran berlebih pada *blower fuel fan*, kerusakan kran *blow down*, serta kerusakan *bearing pada fuel fan*, yang berdampak pada turunnya efisiensi hingga mencapai 70,16%.
2. Analisis OEE dan input-output menunjukkan perlunya perawatan preventif berkala, pelumasan rutin, serta inspeksi komponen kritis untuk meningkatkan ketersediaan dan performa mesin, sehingga penurunan efisiensi boiler dapat diminimalisir.

Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Meningkatkan perawatan preventif dan inspeksi rutin pada komponen kritis boiler *water tube* untuk mencegah penurunan kinerja dan menjaga efisiensi.
2. Memperketat pemantauan parameter operasional serta melakukan pengujian berkala terhadap kualitas bahan bakar agar proses pembakaran dan *output* uap tetap optimal.
3. Menerapkan metode OEE dan analisis *input-output* secara berkesinambungan sebagai alat evaluasi untuk mengidentifikasi sumber kehilangan efisiensi dan meningkatkan keandalan mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurraziq, M. H., Setiawan, R. (2023). Analisis Pengaruh Uap Boiler Pipa Api Kapasitas 6 Ton pada Proses Produksi V-Belt di PT Bando Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 11(2), 134–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jptm.v11i2.62040>
- Anuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008). Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Aldo Roy., Situmorang, Zefanya., Tampubolon, J. (2025). Penerapan Metode Total Productive Maintenance Dan Overall Equipment Effectiveness Pada Mesin Sterilizer di PT . Tri Cahaya Sawit. *SPROCKET: Journal Of Mechanical Engineering*, 7(1), 45–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.36655/sprocket.v7i1.1861>
- Andrianto, D. (2022). Analisis Produktivitas dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) pada Mesin UH-61. *JUSTI: Jurnal Sistem Dan Teknik Industri*, 3(3), 315–324. <https://doi.org/https://doi.org/10.30587/justicb.v3i3.5424>
- Aprilia, D., Hardjono, H. (2021). Penentuan Efisiensi Boiler dengan menggunakan Metode Langsung di PT. X Lumajang. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 421–426. <https://doi.org/https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.237>
- Ariyah, H. (2022). Penerapan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dalam Peningkatan Efisiensi Mesin Batching Plant (Studi Kasus: PT. Lutvindo Wijaya Perkasa). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 1(7), 70–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.55826/tmit.v1i1.10>
- Azhari, M., Patradhiani, R. (2023). Analisis Efektivitas Mesin Creeper Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Industri Karet PT . XYZ Analysis of Creeper Machine Effectiveness Using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) Method in the Rubber Industry. *Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 08(02). <https://doi.org/https://doi.org/10.32502/js.v8i2.6702>
- Darsin, M. (2023). Aplikasi Overall Equipment Effectiveness (OEE) dalam Upaya Mengatasi Tingginya Downtime pada Stasiun Ketel di PG X Jawa Timur. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 13(2), 95–103.
- Dhani, M. R., Santoso, M. Y., Salsabila, G. J. (2021). Penentuan Komponen Kritis Furnace Dan Heat Exchanger Pada Crude Distillation Unit Menggunakan Failure Mode And Effect Analysis. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

165–173.

- Diniaty, D., Susanto, R. (2017). Analisis Total Produktive Maintenance (TPM) pada Stasiun Kernel dengan menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT. Surya Agrolika Reksa. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 3(2), 60–64.
- Djafar, R. (2025). Analisis Termal Pada Boiler PLTU XYZ menggunakan Metode Langsung berdasarkan Data Operasi Harian. *JTPG : Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo*, 10(1), 28–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.30869/jtpg.v10i1.1466>
- Donal, J. (2019). *Perawatan Air Ketel untuk Mencegah Terjadinya Pengikisan pada Elemen- Elemen / Plat, Pipa-Pipa Ketel di MV. Intan Daya 368 PT. Armada Maritim Nusantara.*
- Dwiyanti, P., Lasalewo, T., Rasyid, A. (2023). Penjadwalan Perawatan Nitrogen Air Compressor menggunakan Metode Reliability Availability dan Maintainability (RAM). *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 11(2), 366–380. <https://doi.org/https://doi.org/10.37971/radial.v11i2.418>
- Effendi, Z., Rangkuti, I. U. P., & Nugroho, M. D. (2024). Analisa Pengaruh Laju Massa Uap Rata-Rata Terhadap Kualitas Uap Rata-Rata Pada Pipa BPV (Back Pressure Vessel) ke Sterilizer di Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton / Jam. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 13(01), 148–155. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/trb.v13i1.3369>
- Fadhilla, N., Ekayuliana, A., Nusyirwan, N. (2020). Analisis Pengaruh Terbentuknya Slagging dan Fouling Terhadap Efisiensi Boiler pada Boiler Supercritical. *Jurnal Meka*, 01(01), 9–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.32722/jmt.v1i1.3326>
- Fadli, R., Jufrizel, J. (2020). Analisa Sistem Instrumentasi dan Keandalan Boiler dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Jurnal El Sains : Jurnal Elektro*, 2(2), 17–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.30996/elsains.v2i2.4768>
- Fakhrizi, R. R. Mulyadi, M. (2024). Strategi untuk Meningkatkan Efisiensi Boiler dan Mengurangi Waktu Henti Operasional. *Procedia of Engineering and Life Science*, 7(5), 691–695. <https://doi.org/https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1554>
- Fitriadi, F., Muzakir, M., Suhardi, S. (2020). Integrasi Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk Meningkatkan Efektifitas Mesin Screw Press di PT. Beurata Subur Persada Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Optimalisasi*, 4(2), 97–107.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.35308/jopt.v4i2.1524>
- Fitriyan, N., Muslimin, M. (2022). Nilai Overall Equipment Effectiveness pada Boiler Babcock SFB 40 di PT. X. *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 12(1), 84. <https://doi.org/10.36499/psnst.v12i1.7153>
- Ghifari, R. H., Nazaruddin., Umama Hadiyul, I, M., S. (2025). Performance Efficiency Analysis of Water Tube Boiler Machine Using Input-Output Method and Failure Mode Effect and Analysis. *Jurnal Perangkat Lunak*, 7(1), 32–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.32520/jupel.v7i1.3759>
- Gusniar, I. N., Sandy, R. (2021). Analysis of Boiler Machinery Maintenance Using OEE (Overall Equipment Effectiveness) Method in Tahu Asin Sinar Bandung Factory. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 15(2), 112–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/sintek.15.2.112-117>
- Habibuddin, M., Anshar, M., Firman, F. (2024). Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Direct dan Indirect pada PLTU Jenepono 2×135 MW. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 22(1), 146–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i1.50025002>
- Hastary, S., ahmad Yusuf, A., Awaludin, R. (2021). Optimalisasi Proses Produksi Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (Survey pada PT. Arteria Daya Mulia Kota Cirebon) 1). *Jurnal Bina Bangsa Ekonomika*, 14(1), 119–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.46306/jbbe.v14i1>
- Hidayat, H., Jufriyanto, M., & Rizqi, A. W. (2022). Analisis Efektifitas Kinerja Mesin Cutting Manual Dan Otomatis Menggunakan Metode OEE (Overall Equipment Effectiveness) Di PT . XYZ. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 8(2), 345–354. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24014/jti.v8i2.19765>
- Karlina Luluk, D. (2025). Analysis Efficiency Calculation on Boiler Using Direct (Input- Output) Method in Petrochemical Industry Study. *International Journal Of Health, Engineering And Technology (IJHET)*, 4(4), 700–706.
- Karniawan, M. H., Ayuningtiyas, K. K. (2022). Desain Mini Boiler Pipa Api Jenis Scotch menggunakan Bahan Bakar Batu Bara dengan Pendekatan Kajian Teoritis. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(3), 99–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.32722/jmt.v3i3.5184>
- Lestari, W. P., Wulandari, I. A. S., Sukmono, T., & Jakaria, R. B. (2024). Unlocking Global Efficiency with Enhanced Milling Machines Worldwide : Membuka Efisiensi Global dengan Mesin Penggilingan Ditingkatkan di Seluruh Dunia. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 25(3), 1–14. <https://doi.org/https://10.21070/ijins.v25i3.1157>

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Lubis, Aulia, Fahira, M. (2023). Analisis Nilai Efektivitas Unit High Pressure Boiler Kapasitas 50 Ton/Jam pada Section Power Plant dengan Metode Overall Equipment Effectiveness di PT. Socimas, Kim I Medan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 214–222.
- Marimin, M., Zulna, N. F. (2022). Analisis Interval Pemeliharaan Komponen Kritis Unit Fuel Conveyor dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 12–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.1212>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v4i1.50>
- Nasution, M., Napid, S. (2022). Aplikasi Boiler sebagai Pembangkit Uap dalam Menentukan Efisiensi. In *Buletin Utamateknik* (Vol. 17, Issue 3). Online. <https://doi.org/https://doi.org/10.30743/but.v17i3.5380>
- Nazaruddin. (2024). Perawatan Ketel Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit : Studi Kasus pada PT. Karya Tanah Subur Kec. Wayla Kab. Aceh Barat. *JITU :Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 5(1), 122–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.55616/jitu.v5i1.824>
- Nugroho, I. H., Salahudin, X., & Hilmy, F. (2025). Optimasi Produktivitas Mesin Microfeed melalui Pendekatan Overall Equipment Effectiveness (OEE): Studi Kasus di Industri Manufaktur. *JTMIT: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 4(1), 63–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i1.542>
- Nursyfa, S. G., Yuliyani, I., Muldiani, R. F. (2024). Pengaruh Main Overhaul pada Boiler terhadap Kinerja Menggunakan Metode Direct. *Jurnal Surya Teknika*, 11(1), 357–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.73257325>
- Parwitasari, F. B. (2022). *Analisis Pengaruh Performace Low Temperature Economizer terhadap Efisiensi Boiler 1000 MW dan Biaya Produksi PLTU di Serang*.
- Pohan, A. N. R. (2024). *Analisa Efisiensi pada Water Tube Boiler Type Vickers Hopkins Berbahan Bakar Fiber, Cangkang Sawit, dan Empty Fruit Bunch di PT Multimas Nabati Asahan*.
- Polewangi, Y. D. (2019). Analisis Sistem Perawatan Mesin Boiler pada Industri Kelapa Sawit. *Industrial Engineering Journal*, 8(2), 26–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.53912/iejm.v8i2.402>
- Prasetya, T. Y. (2022). Analisis Six Big Losses pada Mesin Potong Kayu Benzo

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Type A (Studi Kasus UD. Prima Cahaya Abadi Gresik). *JUSTI :Jurnal Sistem Dan Teknik Industri*, 3(2), 283–298. <https://doi.org/https://doi.org/10.30587/justicb.v3i2.4772>

Prasetyo, A. W., Widayat, W., Utomo, M. T. S. (2024). Analisis Efisiensi Eksergi Water Tube Boiler pada Unit Penyediaan Steam di Salah Satu Plant Gas Processing Aceh, Indonesia. *Eksergi*, 21(3), 209–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.31315/e.v21i3.12348>

Priyanto, D., Suhada, R. (2023). Analisis Pengukuran Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Rice Milling Unit (RMU) di PT. FSTJ. *Jurnal PASTI (Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri)*, 17(2), 209–222. <https://doi.org/10.22441/pasti.2023.v17i2.007>

Priyanto, P., Wilastari, S. (2022). Faktor-Faktor Penyebab Menurunnya Kinerja Boiler di PT. Papertech Indonesia. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, 24(1), 60–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.37612/gema-maritim.v24i1.281>

Putra, H. P., Kuswa, F. M., Ghazidin, H., Darmawan, A. (2023). Slagging-Fouling Evaluation of Empty Fruit Bunch and Palm Oil Frond Mixture with Bituminous Ash Coal as co-Firing Fuel. *Bioresource Technology Reports*, 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101489>

Rasib, A. A., Raju, R., Abdullah, R., Hanizam, H., Ramli, M. I., Yunos, R., Mansoor, H. O. (2025). Enhancing Boiler Efficiency: Strategies To Optimize Availability, Performance, And Quality In The Food And Beverage Industry. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 19(1), 17–32.

Rasworo, P. (2022). Analisis Efisiensi Boiler CFB 2x60 MW PLTU PT X unit 2 dengan Metode Direct dan Indirect. *Jurnal Teknik Energi*, 1(2), 1–9.

Rusdi, M. I., Bashkeran, T., Ahmad, Z. (2022). Data Driven Technique for Palm Oil Mills Boiler Water Quality Monitoring in the State of Perak Malaysia. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 18(2), 171–183. <https://doi.org/https://doi.org/10.11113/mjfas.v18n2.2242>

Sahda, N. T., Sentosa, J. M., Andhani, L. (2022). Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Bantargebang. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(1), 39–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.31599/tgptae14>

Santosa, P. S., Astriawati, N., Salim, S., Prasojo, I. A. (2022). Optimalisasi Perawatan Sistem Auxiliary Boiler dalam Menghasilkan Uap Panas. *Dinamika Bahari*, 3(2), 69–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.46484/db.v3i2.312>

Setiawan, B., Al Latif, F., Rimawan, E. (2022). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Analysis : A Case Study in the PVC Compound Industry. *IJIEM* :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management, 3(1), 14–25.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.22441/ijiem.v3i1.12066>
- Shahab, A., Amna, S. (2023). Efficiency Analysis of Fire Tube Boiler Type at Refinery Utility Unit Center for Oil and Gas Human Resources Development (PPSDM MIGAS) CEPU. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(7), 3109–3118.
<https://doi.org/https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i7.5401>
- Shombing, A. J. (2021). Productivity Analysis and Engineering Of Oil Palm Factory Productivity Process On Boiler Work Effectiveness at PTPN III PKS Sei Mangkei. *Journal Basic Science and Technology*, 10(2), 60–66.
<https://iocscience.org/ejournal/index.php/JBST/article/view/1748/1337>
- Suartika, I. M., Yudhyadi, I. G., Suhendi, S., Kurnia, F. (2024). Pengaruh Preventive Maintenance Terhadap Peningkatkan Availability Mesin Tnl 130 A di PT . Morita Tjokro Gearindo Menggunakan Metode Plan Do Check Action (PDCA). *Journal of Industrial Engineering and Innovation*, 01(02), 63–71.
- Sudrajat, A. (2011). *Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: Rafika Aditama.
- Syahwal, A., Saputra, M., Supardi, J. (2022). Analisa Kinerja Boiler Type N-750 Takuma menggunakan Metode Berbasis Komputasi. *JMMUTU: Jurnal Mahasiswa Mesin UTU*, 1(2), 29–38.
- Syalsabila, J., Putri, F., & Hb, I. (2023). Analisa Efisiensi Thermal Boiler Tipe Circulation Fluidized Bed di PLTU 3x10MW. *MACHINERY Jurnal Teknologi Terapan*, 4(3), 159–166.
<https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10122406>
- Tambun, B. (2021). Penentuan Umur Ekonomis Mesin Boiler Pada PKS PT. Leomas Anugrah dengan Metode Biaya Tahunan Rata-Rata. *ISTP: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(1), 8–17.
- Tifani Amalia, Z. D., Wibowo Heri., Wardana Widya, M. (2023). Pendekatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses dalam Mengukur Produktivitas Mesin Sheeter di Pt . X. *Jurnal Imliah Teknik Industri*, 7(1), 37–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.37090/indstrk.v7i1.763>
- Wicaksana, S. P., Rahmatulloh, A., Subandi, R. (2023). Analisis Efisiensi Boiler Fire-Tube pada Produksi STPP di PT. Petrocentral Gresik menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(9), 258–265.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3777>
- Widyantoro, M., Prasmoro, A. V. Muhazir, A. (2020). Analisis Penerapan Total



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Productive Maintenance pada Mesin Mixing Batching dengan Metode Overall Equipment Effectiveness di PT. XYZ. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 2(2), 38–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.37412/jrl.v20i2.54>

Winarto, S., Darmawan, D. (2023). Perbandingan Efisiensi pada Boiler II TWA PPSDM Migas menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023. *Jurnal Pengelolaan Energi Migaszoom*, 5(2), 167–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.37525/mz/2023-2/549>



UIN SUSKA RIAU

LAMPIRAN

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
2. Diarangi mengutip hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
3. Diarangi tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
4. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Availability Rate Periode Juli

No	Tanggal	Available (menit)	Loading (menit)	Setup and Adjustment (menit)	Operation Time (menit)	Downtime (menit)	Breakdown (menit)	Availability (%)
1	01-07-2025	1440	1425	15	1165	260	275	81,75
2	02-07-2025	1440	1420	20	1157	263	283	81,48
3	03-07-2025	1440	1420	20	1140	280	300	80,28
4	04-07-2025	1440	1425	15	1190	235	250	83,51
5	05-07-2025	1440	1420	20	1113	307	327	78,38
6	06-07-2025	1440	1425	15	1183	242	257	83,02
7	07-07-2025	1440	1420	20	1090	330	350	76,76
8	08-07-2025	1440	1420	20	1115	305	325	78,52
9	09-07-2025	1440	1425	15	1197	228	243	84,00
10	10-07-2025	1440	1425	15	1170	255	270	82,11
11	11-07-2025	1440	1420	20	1153	267	287	81,20
12	12-07-2025	1440	1420	20	1130	290	310	79,58
13	13-07-2025	1440	1425	15	1210	215	230	84,91
14	14-07-2025	1440	1420	20	1123	297	317	79,08
15	15-07-2025	1440	1425	15	1175	250	265	82,46
16	16-07-2025	1440	1420	20	1095	325	345	77,11
17	17-07-2025	1440	1425	15	1157	268	283	81,19
18	18-07-2025	1440	1420	20	1143	277	297	80,49
19	19-07-2025	1440	1425	15	1203	222	237	84,42
20	20-07-2025	1440	1420	20	1118	302	322	78,73
21	21-07-2025	1440	1425	15	1173	252	267	82,32
22	22-07-2025	1440	1420	20	1127	293	313	79,37

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

23	23-07-2025	1440	1425	15	1205	220	646	235	235	84,56
24	24-07-2025	1440	1420	20	1090	330		350		76,76
25	25-07-2025	1440	1425	15	1165	260	260	275	275	55,18
26	26-07-2025	1440	1420	20	1107	313		333		77,96
27	27-07-2025	1440	1425	15	1185	240		255		83,16
28	28-07-2025	1440	1420	20	1135	285		305		79,93
29	29-07-2025	1440	1425	15	1200	225		240		84,21
30	30-07-2025	1440	1420	20	1120	300		320		78,87
JUMLAH			42670	530	34534	8136		8666		2427,88
RATA - RATA			1422,333333	17,66666667	1151,133333	271,2		288,8666667		80,93

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Availability Rate Periode Agustus

No	Tanggal	Available Time (menit)	Loading Time (menit)	Setup and Adjustment (menit)	Operation Time (menit)	Downtime (menit)	Breakdown Time (menit)	Availability (%)
1	01-08-2025	1440	1420	20	1120	300	320	78,87
2	02-08-2025	1440	1425	15	1170	255	270	82,11
3	03-08-2025	1440	1425	15	1143	282	297	80,21
4	04-08-2025	1440	1420	20	1090	330	350	76,76
5	05-08-2025	1440	1425	15	1187	238	253	83,30
6	06-08-2025	1440	1420	20	1115	305	325	78,52
7	07-08-2025	1440	1425	15	1175	250	265	82,46
8	08-08-2025	1440	1420	20	1103	317	337	77,68
9	09-08-2025	1440	1425	15	1163	262	277	81,61
10	10-08-2025	1440	1420	20	1083	337	357	76,27

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 3. Hasil Perhitungan Availability Rate Periode September

No	Tanggal	Available (menit)	Loading (menit)	Setup and Adjustment (menit)	Operation Time (menit)	Downtime (menit)	Breakdown (menit)	Availability (%)
1	01-09-2025	1440	1420	20	1070	350	370	75,35
2	02-09-2025	1440	1425	15	1127	298	313	79,09
3	03-09-2025	1440	1420	20	1055	365	385	74,30
4	04-09-2025	1440	1425	15	1167	258	273	81,89
5	05-09-2025	1440	1420	20	1038	382	402	73,10
6	06-09-2025	1440	1425	15	1113	312	327	78,11
7	07-09-2025	1440	1420	20	1065	355	375	75,00
8	08-09-2025	1440	1425	15	1175	250	265	82,46
9	09-09-2025	1440	1420	20	1050	370	390	73,94
10	10-09-2025	1440	1425	15	1120	305	320	78,60
11	11-09-2025	1440	1420	20	1030	390	410	72,54
12	12-09-2025	1440	1425	15	1160	265	280	81,40
13	13-09-2025	1440	1420	20	1070	350	370	75,35
14	14-09-2025	1440	1425	15	1133	292	307	79,51
15	15-09-2025	1440	1420	20	1042	378	398	73,38
16	16-09-2025	1440	1425	15	1170	255	270	82,11
17	17-09-2025	1440	1420	20	1087	333	353	76,55
18	18-09-2025	1440	1425	15	1073	352	367	75,30
19	19-09-2025	1440	1420	20	1018	402	422	71,69
20	20-09-2025	1440	1425	15	1157	268	283	81,19
21	21-09-2025	1440	1420	20	1075	345	365	75,70
22	22-09-2025	1440	1425	15	1123	302	317	78,81



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

23	23-09-2025	1440	1420	20	1028	392	275	290	23,08886583	76,96
24	24-09-2025	1440	1425	15	1150	275	290	290	23,08886583	76,96
25	25-09-2025	1440	1420	20	1060	360	360	380	23,08886583	76,96
26	26-09-2025	1440	1425	15	1110	315	330	330	23,08886583	76,96
27	27-09-2025	1440	1420	20	1035	385	405	405	23,08886583	76,96
28	28-09-2025	1440	1425	15	1163	262	277	277	23,08886583	76,96
29	29-09-2025	1440	1420	20	1077	343	363	363	23,08886583	76,96
30	30-09-2025	1440	1425	15	1105	320	335	335	23,08886583	76,96
		JUMLAH	42675	525	32846	9829	10354	23,08886583		
		RATA-RATA	1422,5	17,5	1094,866667	327,6333333	345,1333333	76,96		

Lampiran 4. Hasil Perhitungan *Performance Efficiency* Periode Juli

Hak Cipta	Tanggal	Operation Time (menit)	Processed Amount (ton)	Total Cycle Time (menit)	Performance Efficiency (%)
1	01-07-2025	1165	441,92	0,016705	63,36
2	02-07-2025	1157	413,55	0,016705	59,70
3	03-07-2025	1140	408,82	0,016705	59,90
4	04-07-2025	1190	473,12	0,016705	66,41
5	05-07-2025	1113	452,1	0,016705	67,85
6	06-07-2025	1183	435,01	0,016705	61,42
7	07-07-2025	1090	298,84	0,016705	45,79
8	08-07-2025	1115	531,16	0,016705	79,57
9	09-07-2025	1197	514,43	0,016705	71,79
10	10-07-2025	1170	588,12	0,016705	83,97
11	11-07-2025	1153	560,14	0,016705	81,15
12	12-07-2025	1130	517,82	0,016705	76,55
13	13-07-2025	1210	438,83	0,016705	60,58
14	14-07-2025	1123	471,12	0,016705	70,08
15	15-07-2025	1175	459,17	0,016705	65,28
16	16-07-2025	1095	443,1	0,016705	67,59
17	17-07-2025	1157	488,82	0,016705	70,57
18	18-07-2025	1143	426,61	0,016705	62,34
19	19-07-2025	1203	549,12	0,016705	76,25
20	20-07-2025	1118	457,72	0,016705	68,39
21	21-07-2025	1173	385,82	0,016705	54,94
22	22-07-2025	1127	355,67	0,016705	52,71
23	23-07-2025	1205	441,88	0,016705	61,25
24	24-07-2025	1090	389,86	0,016705	59,74
25	25-07-2025	1165	459,6	0,016705	65,90
26	26-07-2025	1107	570,26	0,016705	86,05
27	27-07-2025	1185	523,4	0,016705	73,78
28	28-07-2025	1135	498,92	0,016705	73,43
29	29-07-2025	1200	512,56	0,016705	71,35
30	30-07-2025	1120	538,92	0,016705	80,38
JUMLAH		34534	14046,41	0,50115	20,3821
RATA-RATA		1151,133333	468,2136667	0,016705	67,94

1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengacaukan sumber.
2. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 5. Hasil Perhitungan *Performance Efficiency* Periode Agustus

Hak Cipta No	Tanggal	Operation Time (menit)	Processed Amount (ton)	Total Cycle Time (menit)	Performance Efficiency (%)
1	01-08-2025	1120	495,52	0,016705	73,90
2	02-08-2025	1170	463,89	0,016705	66,23
3	03-08-2025	1143	452,87	0,016705	66,18
4	04-08-2025	1090	551,14	0,016705	84,46
5	05-08-2025	1187	429,01	0,016705	60,37
6	06-08-2025	1115	537,14	0,016705	80,47
7	07-08-2025	1175	558,32	0,016705	79,37
8	08-08-2025	1103	485,57	0,016705	73,54
9	09-08-2025	1163	469,12	0,016705	67,38
10	10-08-2025	1083	52,347	0,016705	08,07
11	11-08-2025	1173	492,18	0,016705	70,09
12	12-08-2025	1125	470,03	0,016705	69,79
13	13-08-2025	1193	435,01	0,016705	60,91
14	14-08-2025	1107	498,78	0,016705	75,26
15	15-08-2025	1180	498,34	0,016705	70,54
16	16-08-2025	1093	423,02	0,016705	64,65
17	17-08-2025	1165	567,08	0,016705	81,31
18	18-08-2025	1113	489,03	0,016705	73,39
19	19-08-2025	1195	515,87	0,016705	72,11
20	20-08-2025	1120	534,67	0,016705	79,74
21	21-08-2025	1167	545,98	0,016705	78,15
22	22-08-2025	1085	452,98	0,016705	69,74
23	23-08-2025	1190	347,89	0,016705	48,83
24	24-08-2025	1100	559,9	0,016705	85,02
25	25-08-2025	1155	465,72	0,016705	67,35
26	26-08-2025	1087	567,34	0,016705	87,18
27	27-08-2025	1183	552,1	0,016705	77,96
28	28-08-2025	1110	525,76	0,016705	79,12
29	29-08-2025	1197	418,92	0,016705	58,46
30	30-08-2025	1115	487,34	0,016705	73,01
JUMLAH		34202	14342,867	0,50115	21,0273
RATA-RATA		1140,066667	478,0955667	0,016705	70,09

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 6. Hasil Perhitungan *Performance Efficiency* Periode September

No	Tanggal	Operation Time (menit)	Processed Amount (ton)	Total Cycle Time (menit)	Performance Efficiency (%)
1	01-09-2025	1070	428,84	0,016705	66,95
2	02-09-2025	1127	444,501	0,016705	65,96
3	03-09-2025	1055	471,13	0,016705	74,60
4	04-09-2025	1167	593,15	0,016705	84,91
5	05-09-2025	1038	457,81	0,016705	73,68
6	06-09-2025	1113	469,81	0,016705	70,51
7	07-09-2025	1065	389,02	0,016705	61,02
8	08-09-2025	1175	507,16	0,016705	72,10
9	09-09-2025	1050	492,27	0,016705	78,32
10	10-09-2025	1120	553,17	0,016705	82,51
11	11-09-2025	1030	528,13	0,016705	85,65
12	12-09-2025	1160	466,03	0,016705	67,11
13	13-09-2025	1070	502,21	0,016705	78,41
14	14-09-2025	1133	485,54	0,016705	71,59
15	15-09-2025	1042	469,91	0,016705	75,33
16	16-09-2025	1170	478,8	0,016705	68,36
17	17-09-2025	1087	489,93	0,016705	75,29
18	18-09-2025	1073	451,14	0,016705	70,24
19	19-09-2025	1018	539,93	0,016705	88,60
20	20-09-2025	1157	485,82	0,016705	70,14
21	21-09-2025	1075	539,92	0,016705	83,90
22	22-09-2025	1123	485,52	0,016705	72,22
23	23-09-2025	1028	429,3	0,016705	69,76
24	24-09-2025	1150	46,771	0,016705	67,94
25	25-09-2025	1060	508,72	0,016705	80,17
26	26-09-2025	1110	529,85	0,016705	79,74
27	27-09-2025	1035	527,45	0,016705	85,13
28	28-09-2025	1163	523,56	0,016705	75,20
29	29-09-2025	1077	539,78	0,016705	83,72
30	30-09-2025	1105	519,9	0,016705	78,60
JUMLAH		32846	13955,072	0,50115	21,9653
RATA-RATA		1094,866667	465,1690667	0,016705	75,26

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 7. Hasil Perhitungan *Quality Rate* Periode Juli

No	Tanggal	Processed Amount (ton)	Defect Amount (ton)	Quality Rate (%)
1	01-07-2025	441,92	44	99,90%
2	02-07-2025	413,55	41	99,90%
3	03-07-2025	408,82	40	99,90%
4	04-07-2025	473,12	47	99,90%
5	05-07-2025	452,10	45	99,90%
6	06-07-2025	435,01	43	99,90%
7	07-07-2025	298,84	29	99,90%
8	08-07-2025	531,16	53	99,90%
9	09-07-2025	514,43	51	99,90%
10	10-07-2025	588,12	58	99,90%
11	11-07-2025	560,14	56	99,90%
12	12-07-2025	517,82	51	99,90%
13	13-07-2025	438,83	43	99,90%
14	14-07-2025	471,12	47	99,90%
15	15-07-2025	459,17	45	99,90%
16	16-07-2025	443,10	44	99,90%
17	17-07-2025	488,82	48	99,90%
18	18-07-2025	426,61	42	99,90%
19	19-07-2025	549,12	54	99,90%
20	20-07-2025	457,72	45	99,90%
21	21-07-2025	385,82	38	99,90%
22	22-07-2025	355,67	35	99,90%
23	23-07-2025	441,88	44	99,90%
24	24-07-2025	389,86	38	99,90%
25	25-07-2025	459,60	46	99,90%
26	26-07-2025	570,26	57	99,90%
27	27-07-2025	523,40	52	99,90%
28	28-07-2025	498,92	49	99,90%
29	29-07-2025	512,56	51	99,90%
30	30-07-2025	538,92	54	99,90%
JUMLAH		1404,641	1390	2997,03%
RATA-RATA		468216,667	46,33333333	99,90%

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 8. Hasil Perhitungan *Quality Rate* Periode Agustus

No	Tanggal	Processed Amount (ton)	Defect Amount (ton)	Quality Rate (%)
1	01-08-2025	495,52	49	99,90%
2	02-08-2025	463,89	46	99,90%
3	03-08-2025	452,87	45	99,90%
4	04-08-2025	551,14	55	99,90%
5	05-08-2025	429,01	42	99,90%
6	06-08-2025	537,14	53	99,90%
7	07-08-2025	558,32	55	99,90%
8	08-08-2025	485,57	48	99,90%
9	09-08-2025	469,12	46	99,90%
10	10-08-2025	523,47	52	99,90%
11	11-08-2025	492,18	49	99,90%
12	12-08-2025	470,03	47	99,90%
13	13-08-2025	435,01	43	99,90%
14	14-08-2025	498,78	49	99,90%
15	15-08-2025	498,34	49	99,90%
16	16-08-2025	423,02	42	99,90%
17	17-08-2025	567,08	56	99,90%
18	18-08-2025	489,03	48	99,90%
19	19-08-2025	515,87	51	99,90%
20	20-08-2025	534,67	53	99,90%
21	21-08-2025	545,98	54	99,90%
22	22-08-2025	452,98	45	99,90%
23	23-08-2025	347,89	34	99,90%
24	24-08-2025	559,90	55	99,90%
25	25-08-2025	465,72	46	99,90%
26	26-08-2025	567,34	56	99,90%
27	27-08-2025	552,10	55	99,90%
28	28-08-2025	525,76	52	99,90%
29	29-08-2025	418,92	41	99,90%
30	30-08-2025	487,34	48	99,90%
JUMLAH		1481,399	1464	2997,04%
RATA-RATA		493799,667	48,8	99,90%

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 9. Hasil Perhitungan *Quality Rate* Periode September

No	Tanggal	Processed Amount (ton)	Defect Amount (ton)	Quality Rate (%)
1	01-09-2025	428,84	42	99,90%
2	02-09-2025	445,01	44	99,90%
3	03-09-2025	471,13	48	99,90%
4	04-09-2025	593,15	59	99,90%
5	05-09-2025	457,81	45	99,90%
6	06-09-2025	469,81	46	99,90%
7	07-09-2025	389,02	38	99,90%
8	08-09-2025	507,16	50	99,90%
9	09-09-2025	492,27	49	99,90%
10	10-09-2025	553,17	55	99,90%
11	11-09-2025	528,13	52	99,90%
12	12-09-2025	466,03	46	99,90%
13	13-09-2025	502,21	50	99,90%
14	14-09-2025	485,54	48	99,90%
15	15-09-2025	469,91	46	99,90%
16	16-09-2025	478,80	47	99,90%
17	17-09-2025	489,93	48	99,90%
18	18-09-2025	451,14	45	99,90%
19	19-09-2025	539,93	53	99,90%
20	20-09-2025	485,82	48	99,90%
21	21-09-2025	539,92	53	99,90%
22	22-09-2025	485,52	48	99,90%
23	23-09-2025	429,30	42	99,90%
24	24-09-2025	467,71	46	99,90%
25	25-09-2025	508,72	50	99,90%
26	26-09-2025	529,85	52	99,90%
27	27-09-2025	527,45	52	99,90%
28	28-09-2025	523,56	52	99,90%
29	29-09-2025	539,78	53	99,90%
30	30-09-2025	519,90	51	99,90%
JUMLAH		1477,652	1458	2997,04%
RATA-RATA		49255,6667	48,6	99,90%

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 10. Hasil Perhitungan OEE Periode Juli

Hak Cipta milik UIN Suska Riau	No	Availability (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
	1	81,75	63,36	99,9	51,74
	2	81,48	59,7	99,9	48,59
	3	80,28	59,9	99,9	48,03
	4	83,51	66,41	99,9	55,40
	5	78,38	67,85	99,9	53,12
	6	83,02	61,42	99,9	50,93
	7	76,76	45,79	99,9	35,11
	8	78,52	79,57	99,9	62,41
	9	84	71,79	99,9	60,24
	10	82,11	83,97	99,9	68,87
	11	81,2	81,15	99,9	65,82
	12	79,58	76,55	99,9	60,85
	13	84,91	60,58	99,9	51,38
	14	79,08	70,08	99,9	55,36
	15	82,46	65,28	99,9	53,77
	16	77,11	67,59	99,9	52,06
	17	81,19	70,57	99,9	57,23
	18	80,49	62,34	99,9	50,12
	19	84,42	76,25	99,9	64,30
	20	78,73	68,39	99,9	53,78
	21	82,32	54,94	99,9	45,18
	22	79,37	52,71	99,9	41,79
	23	84,56	61,25	99,9	51,74
	24	76,76	59,74	99,9	45,81
	25	81,75	65,9	99,9	53,81
	26	77,96	86,05	99,9	67,01
	27	83,16	73,78	99,9	61,29
	28	79,93	73,43	99,9	58,63
	29	84,21	71,35	99,9	60,02
	30	78,87	80,38	99,9	63,33
	JUMLAH	2427,87	2038,07	2997	1647,72
	RATA-RATA	80,93	67,94	99,9	54,92

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 11. Hasil Perhitungan OEE Periode Agustus

Hak Cipta milik UIN Suska Riau	No	Availability (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
	1	78,87	73,9	99,9	58,45
	2	82,11	66,23	99,9	54,72
	3	80,21	66,18	99,9	53,95
	4	76,76	84,46	99,9	64,65
	5	83,3	60,37	99,9	50,22
	6	78,52	80,47	99,9	63,59
	7	82,46	79,37	99,9	65,53
	8	77,68	73,54	99,9	57,46
	9	81,61	67,38	99,9	54,29
	10	76,27	8,07	99,9	61,34
	11	82,32	70,09	99,9	57,90
	12	79,23	69,79	99,9	55,22
	13	83,72	60,91	99,9	50,58
	14	77,96	75,26	99,9	58,23
	15	82,81	70,54	99,9	58,60
	16	76,97	64,65	99,9	49,44
	17	81,75	81,31	99,9	66,54
	18	78,38	73,39	99,9	57,59
	19	83,86	72,11	99,9	60,75
	20	78,87	79,74	99,9	62,47
	21	81,89	78,15	99,9	63,38
	22	76,41	69,74	99,9	53,46
	23	83,51	48,83	99,9	40,55
	24	77,46	85,02	99,9	65,36
	25	81,05	67,35	99,9	54,88
	26	76,55	87,18	99,9	66,54
	27	83,02	77,96	99,9	64,70
	28	78,17	79,12	99,9	61,56
	29	84	58,46	99,9	49,94
	30	78,52	73,01	99,9	57,25
	JUMLAH	2404,24	2102,58	2997,00	1682,11
	RATA-RATA	80,14	70,09	99,90	56,20

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 12. Hasil Perhitungan OEE Periode September

Hak Cipta milik UIN Suska Riau	No	Availability (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
	1	75,35	66,95	99,9	50,78
	2	79,09	65,96	99,9	52,96
	3	74,3	74,6	99,9	55,72
	4	81,89	84,91	99,9	69,66
	5	73,1	73,68	99,9	53,20
	6	78,11	70,51	99,9	55,86
	7	75	61,02	99,9	45,35
	8	82,46	72,1	99,9	59,06
	9	73,94	78,32	99,9	57,98
	10	78,6	82,51	99,9	64,07
	11	72,54	85,65	99,9	62,79
	12	81,4	67,11	99,9	54,12
	13	75,35	78,41	99,9	59,53
	14	79,51	71,59	99,9	56,88
	15	73,38	75,33	99,9	55,77
	16	82,11	68,36	99,9	56,66
	17	76,55	75,29	99,9	57,61
	18	75,3	70,24	99,9	52,29
	19	71,69	88,6	99,9	63,23
	20	81,19	70,14	99,9	56,19
	21	75,7	83,9	99,9	63,88
	22	78,81	72,22	99,9	56,65
	23	72,39	69,76	99,9	50,65
	24	80,7	67,94	99,9	54,52
	25	74,65	80,17	99,9	59,58
	26	77,89	79,74	99,9	62,77
	27	72,89	85,13	99,9	61,06
	28	81,61	75,2	99,9	61,49
	29	75,85	83,72	99,9	63,18
	30	77,54	78,6	99,9	60,94
	JUMLAH	2308,89	2257,66	2997	1733,44
	RATA-RATA	76,963	75,25533333	99,9	57,78

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran 13. Dokumentasi

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

