

**LAPORAN
KERJA PRAKTIK**



**ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* PADA
SISTEM BOILER DALAM MENGENDALIKAN EMISI
BERDASARKAN EFISIENSI PENANGKAPAN PADA
PT. DUTA SUGAR INTERNATIONAL**

Disusun Oleh:

JAMUS JIMAT KALIMOSODO

NPM. 3331220008

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

2025



LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN

No : 030/UN.43.3.1/PK.03.08/2025

Kerja Praktik

"ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* PADA SISTEM BOILER DALAM
MENGENDALIKAN EMISI BERDASARKAN EFISIENSI PENANGKAPAN
PADA PT. DUTA SUGAR INTERNATIONAL"

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Jamus Jimat Kallimosodo

3331220008

telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan diseminarkan

pada tanggal, 11 Juni 2025

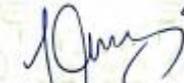
Pembimbing Utama

Anggota Dewan Penguji


Dr. Imron Rosyadi, S.T., M.T.
NIP. 197605042006041001


Dr. Imron Rosyadi, S.T., M.T.
NIP. 197605042006041001

Koordinator Kerja Praktik


Miftahul Jannah, ST., MT
NIP. 199193082020122017

Kerja Praktik ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk melanjutkan Tugas Akhir

Tanggal, 24 Juni 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006



LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN



**LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN
LAPORAN KERJA PRAKTIK**

“ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* PADA SISTEM BOILER
DALAM MENGENDALIKAN EMISI BERDASARKAN EFISIENSI
PENANGKAPAN PADA PT. DUTA SUGAR INTERNATIONAL”

DI AJUKAN UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN MATA KULIAH
KERJA PRAKTIK (MES-622318)
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Disusun Oleh :

Nama : Jamus Jimat Kalimosodo
NPM : 3331220008
Periode : 14 April 2025 – 14 Mei 2025

Pembimbing :

SECTION HEAD UTILITY
PT. DUTA SUGAR INTERNATIONAL

WAHYU EKO BUDIUTOMO

Mengetahui,

UTILITY DEPARTEMENT HEAD
PT. DUTA SUGAR INTERNATIONAL

NOVIAN SUHARYADI

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNTIRTA



LEMBAR PENILAIAN PERUSAHAAN



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN

Jalan Jendral Soedirman Km. 3 Kota Cilegon Provinsi Banten 42435
Telepon (0254) 376712 Ext.130. Laman : www.mesin.ft.untirta.ac.id

PENILAIAN KERJA PRAKTIK LAPANGAN OLEH INSTANSI/PERUSAHAAN

Nama Pembimbing Lapangan : Wahyu eko
Nama Mahasiswa : Jamus Jimat Kalimosodo NPM : 3331220008
Nama Instansi/Perusahaan : PT. Duta Sugar International.
Alamat Instansi/Perusahaan : Argawana,kecamatan.Puloampel, Kabupaten serang, Banten.
Periode Waktu Pelaksanaan KP : 14 April – 14 Mei 2025
Judul Laporan : Analisa Kinerja electrostatic precipitator pada sistem boiler dalam mengendalikan emisi berdasarkan efisiensi penangkapan pada PT. Duta Sugar Internasional.

NO	ASPEK PENILAIAN	NILAI
Kemampuan Teknis/Materi		
1	Pengetahuan tentang pekerjaan	90
2	Kemampuan komunikasi secara ilmiah (cara berbicara dan mengemukakan pendapat)	90
3	Kemampuan Analisa	92
Kemampuan Non Teknis		
4	Disiplin/Tanggung Jawab	89
5	Kehadiran	89
6	Sikap	92
7	Kerjasama	92
8	Potensi Berkembang	90
9	Inisiatif	89
10	Adaptasi	90
Nilai Total		903
Nilai Rata-rata		90.3

Skala Penilaian :
50,00-54,99 = D
55,00-59,99 = C
60,00-64,99 = C+
65,00-69,99 = B-
70,00-74,99 = B
75,00-79,99 = B+
80,00-84,99 = A-
85,00-100,00 = A

Cilegon, 28 Mei 2025
Pembimbing Lapangan

Wahyu Eko Budiutomo
NIP/NIK. 6211013550



KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-nya penulis bisa menyelesaikan kerja praktik ini dengan lancar dan tepat waktu. Tujuan dibuatnya laporan ini adalah untuk memenuhi persyaratan pada mata kuliah kerja praktik. Laporan ini berisikan tentang “analisa kinerja *electrostatic precipitator* pada sistem boiler dalam mengendalikan emisi berdasarkan efisiensi penangkapan pada PT. Duta Sugar Internasional” Sebelumnya saya akan mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik yang sudah membantu dan mengarahkan penulis dalam bidang akademik.
3. Bapak Dr. Imron Rosyadi, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktik penulis yang sudah bersedia membantu dan meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam pembuatan laporan kerja praktik.
4. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M.T selaku Koordinator Kerja Praktik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
5. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Orang tua penulis yang selalu mendoakan dan mendukung selama kerja praktik.
7. PT. Duta Sugar Internasional yang sudah memfasilitasi pelaksanaan kerja praktik.
8. Bapak Wahyu Eko Budiutomo selaku Dosen Pembimbing Lapangan saat kerja praktik yang sudah memberikan saran dan arahan saat kerja praktik.
9. Karyawan PT. Duta Sugar Internasional Departement Utility yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman.
10. Daffa Kharismatullah selaku *partner* penulis saat kerja praktik.
11. Semua pihak yang sudah membantu saat pelaksanaan kerja praktik yang tidak dapat disebutkan satu persatu.



Oleh karenanya penulis mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini. Dalam penyusunan laporan ini penulis menyadari bahwa laporan yang penulis tulis ini masih jauh dari kata sempurna. Demikian semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun agar laporan ini sempurna dan menjadi lebih baik di laporan selanjutnya.

Cilegon, 9 Juni 2025

Jamus Jimat Kalimosodo

3331220008



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN	iii
LEMBAR PENILAIAN KERJA LAPANGAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Kerja Praktik	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Kerja Praktik	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN	5
2.1 Sejarah PT. Duta Sugar Internasional.....	5
2.2 Visi dan Misi PT. Duta Sugar Internasional	5
2.2.1 Visi	5
2.2.2 Misi	6
2.3 Lokasi PT. Duta Sugar Internasional.....	6
2.4 Proses Produksi PT. Duta Sugar Internasional	6
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	8
3.1 Pengertian Boiler.....	8
3.2 Elektrostatic Precipitator	9
3.3 Bagian - Bagian Electrostatic Precipitation.....	10
3.3.1 Transformer rectifle	10
3.3.2 Discharge Electrode	11
3.3.3 Casing	11



3.3.4 Collecting Electrode	12
3.4 Emisi Gas Buang pada Industri	12
3.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi Gas Buang	13
3.5 Standar Emisi dan Regulasi Lingkungan	13
3.5.1 Regulasi Emisi di Indonesia	14
3.5.2 Regulasi Emisi International.....	14
3.6 Komponen Utama Emisi Gas Buang Pada Boiler.....	15
3.7 Metode Perhitungan Beban Emisi Pada Partikulat.....	16
BAB IV ANALISA PERMASALAHAN DAN PEMECAHAN MASALAH .	17
4.1 Metodologi Penelitian	17
4.1.1 Diagram Alir	17
4.1.2 Metode Pengambilan Data.....	18
4.2 Spesifikasi Electrostatic Precipitator pada boiler 3	19
4.3 Data Hasil	20
4.4 Analisa Hasil.....	21
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	23
5.1 Kesimpulan.....	23
5.2 Saran.....	23
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Sistem <i>Electrostatic Precipitator</i>	9
Gambar 3.2 <i>Transformator</i>	10
Gambar 3.3 <i>Discharge Elektrode</i>	11
Gambar 4.1 Diagram alir	17



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Spesifikasi <i>electrostatic precipitator</i>	19
Tabel 4.2 Data yang diperoleh dari lapangan	19



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri yang terus berkembang seiring dengan kemajuan zaman, tidak bisa dipungkiri bahwa pemanfaatan uap masih sangat berkontribusi dalam kegiatan industri, terutama dalam proses produksi gula, PT. Duta Sugar Internasional adalah sebuah perusahaan yang beroperasi dalam sektor industri gula dan pengolahan tebu. Industri gula adalah salah satu sektor yang memiliki posisi vital dalam ekonomi nasional, sebab gula merupakan komoditas pangan penting yang dibutuhkan oleh masyarakat. Proses pembuatan gula terdiri dari beberapa langkah, mulai dari menanam tebu, memetik, mengolah tebu menjadi gula, sampai mengemas dan mendistribusikan produk akhir. Industri gula membutuhkan energi yang signifikan untuk menjalankan proses produksinya, khususnya untuk menggerakkan mesin-mesin yang mengolah tebu dan memproduksi uap yang diperlukan dalam proses produksi. Pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi utama di industri gula dapat memproduksi emisi partikel yang berpotensi merugikan lingkungan dan kesehatan manusia. Emisi partikel dapat mengakibatkan pencemaran udara, yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, seperti masalah pernapasan dan penyakit jantung.

Untuk meminimalkan pengaruh terhadap lingkungan, PT. Duta Sugar Internasional memanfaatkan *Electrostatic Precipitator (ESP)* sebagai metode pengendalian emisi partikel. *Electrostatic Precipitator (ESP)* adalah suatu teknologi yang efisien dalam mengurangi emisi partikel dengan cara mengendapkan partikel-partikel halus yang terdapat dalam gas buang. *Precipitator Electrostatic (ESP)* berfungsi dengan memanfaatkan medan listrik untuk menjatuhkan partikel-partikel kecil dari gas buang, sehingga dapat menurunkan emisi partikel yang dihasilkan. Namun, kinerja *Electrostatic precipitator* harus diawasi dan dinilai secara rutin untuk menjamin bahwa sistem pengendalian emisi partikel berjalan dengan baik.



Analisa kinerja *electrostatic precipitator* pada sistem boiler dalam mengendalikan emisi berdasarkan efisiensi penangkapan pada PT. Duta Sugar International bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *Electrostatic Precipitator* (*ESP*) dan menganalisis sistem pengendalian emisi partikel yang saa digunakan untuk memastikan bahwa sistem tersebut efektif dalam mengurangi dampak lingkungan terhadap masyarakat. Dengan cara ini, perusahaan mampu mengurangi pengaruh terhadap lingkungan dan memperbaiki kualitas tempat kerja. Analisis ini diharapkan dapat mendukung perusahaan dalam meningkatkan kinerja *Electrostatic precipitator* dan menurunkan emisi partikel, sehingga berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam laporan kerja praktik di PT. Duta Sugar Internasional ini sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *Electrostatic Precipitator* (*ESP*) di PT. Duta Sugar Internasional?
2. Bagaimana kinerja *Electrostatic Precipitator* (*ESP*) dalam menangkap *partikulat* hasil pembakaran pada sistem *boiler* berdasarkan data operasional aktual?

1.3 Tujuan Kerja Praktik

Berikut adalah tujuan dilaksanakannya kerja praktik di PT. Duta Sugar Internasional ini sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui kinerja *Electrostatic Precipitator* (*ESP*) di PT Duta Sugar Internasional.
2. Dapat menganalisis jumlah emisi yang tertangkap dan jumlah emisi yang lolos pada *Electrostatic Precipitator* berdasarkan nilai efisiensi yang terdapat pada *electrostatic precipitator* pada boiler 3 di PT. Duta Sugar International.



1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada laporan kerja praktik tentang analisa kinerja *electrostatic precipitator* pada sistem boiler dalam mengendalikan emisi berdasarkan efisiensi penangkapan pada PT. Duta Sugar Internasional kali ini yaitu :

1. Analisis difokuskan hanya pada satu unit *electrostatic precipitator* yang terpasang pada sistem boiler di PT. Duta Sugar Internasional.
2. Parameter emisi yang dikaji terbatas pada *partikulat (PM)* dan tidak mencakup gas-gas emisi lain seperti SO_2 , NO_x , atau CO .

1.5 Manfaat Kerja Praktik

Berikut ini merupakan manfaat yang dapat diperoleh dari kerja praktek kali ini yaitu sebagai berikut:

1. Pada kerja praktik kali ini penulis mendapatkan pembelajaran dan ilmu yang sangat luas, penulis dapat mengetahui dunia kerja pada bidang industrial secara general.
2. Penulis dapat mengetahui cara kerja *boiler* secara kompleks.
3. Penulis mendapatkan dan menambah relasi serta wejangan dan motivasi dari para pekerja yang ada pada perusahaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan sistematika penulisan laporan kerja praktik sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, waktu dan manfaat kerja praktik dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

Pada bab ini membahas sejarah perusahaan, visi dan misi, lokasi kerja praktik dan proses produksi.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA



Pada bab ini membahas mengenai pengertian boiler, *electrostatic precipitator*. Bagian – Bagian *electrostatic precipitator*, emisi gas buang, dan standar regulasi.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai diagram alir, metode pengambilan data, spesifikasi *electrostatic precipitator*, data hasil, dan analisa data

BAB V PENUTUP

Pada bab ini merupakan bagian terakhir dari laporan yang berisikan kesimpulan dan saran yang didapatkan selama melaksanakan kerja praktik di PT. Duta Sugar Internasional



BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

2.1 Sejarah PT. Duta Sugar Internasional

PT. Duta International didirikan di Jakarta pada tanggal 30 September 2005 ini merupakan bagian dari grup Duta Anggada. Grup Duta Anggada memiliki reputasi yang cukup baik dalam Jasa Keuangan, Agrobisnis & Pabrikuring, Properti, Energi, dan Pendidikan Tujuan dari PT. Duta Sugar International terfokus pada sektor industri dan pertanian. PT. Duta Sugar Internasional adalah pabrik gula rafinasi yang merupakan anak perusahaan dari Wilmar Group yang dahulu bernama KPN periode pembangunan pada tahun 2007-2009 dan bergabung dengan Wilmar pada tahun 2011 dan merupakan salah satu pabrik gula terbesar di dunia yang terletak di Kabupaten Serang Banten. PT. Duta Sugar Internasional mengelola kebun kelapa sawit sebanyak 35 unit yang berada di Sumatera dan Kalimantan. PT Duta Sugar Internasional juga memproduksi biodisel terbesar di dunia. Bahan baku pembuatan gula rafinasi (raw sugar) pada PT. Duta Sugar Internasional didapatkan dari impor luar negeri. Sejalan dengan kebijakan pemerintah Indonesia yang ingin menjadi negara produsen gula terutama untuk mencukupi kebutuhan domestik yang semakin meningkat. Pemerintah menghimbau sektor industri agar mampu memperbaiki dan meningkatkan produktifitas pengolahan gula, PT Duta Sugar International didirikan sebagai bentuk partisipasi dari kebijakan tersebut.

2.2 Visi dan Misi PT. Duta Sugar Internasional

Adapun visi dan misi pada PT.Duta Sugar Internasional antara lain sebagai berikut :

2.2.1 Visi

Adapun visi pada PT. Duta Sugar Internasional antara lain sebagai berikut:

“Menjadi Perusahaan yang unggul dalam industry Gula Rafinasi dengan mengedepankan kualitas yang prima dan pelayanan terbaik kepada pelanggan”



2.2.2 Misi

Berikut merupakan misi dari PT. Duta Sugar International yaitu antara lain.

1. Memastikan Pengawasan kualitas yang ketat terhadap produk yang dihasilkan.
2. Memastikan tingkat kepuasan pelanggan terpenuhi terhadap produk yang dihasilkan.
3. Meningkatkan kompetensi dan loyalitas karyawan serta kerja team yang sinergis.
4. Meningkatkan kinerja perusahaan untuk dapat menjadi perusahaan gula rafinasi yang terkemuka.
5. Meningkatkan efisiensi dan menghasilkan produk yang kompetitif di pasar.
6. Menciptakan lingkungan kerja yang sehat, aman, dan nyaman yang mendukung peningkatan produktivitas.

2.3 Lokasi PT. Duta Sugar Internasional

PT. Duta Sugar Internasional berada pada posisi yang sangat strategis terdapat pada Jalan Raya Bojonegara, kecamatan Pulo Ampel, kabupaten serang, Banten yang kedudukannya diantara beberapa industri lainnya.

2.4 Proses Produksi PT. Duta Sugar Internasional

Adapun proses produksi pada PT. Duta Sugar internasional yaitu sebagai berikut :

1. Proses Afinasi :
proses untuk menghilangkan impurity pada permukaan raw sugar, dilakukan dengan cara memasukan raw sugar, dilakukan dengan cara memasukan raw sugar kedalam air panas dengan jumlah tertentu, didapatkan *crystal (afination sugar)* dan *raw liquor*.



2. Proses Karbonasi :

Raw liquor dicampur dengan air kapur dan kekentalan dan suhu tertentu ,kemudian ditambahkan gas CO_2 sampai mencapai Ph ideal.

3. Proses Filtrasi :

proses untuk memisahkan antara cairan (*brown liquor*) dengan endapan (*sweet sludge*). Endapan diproses dalam filter press untuk mendapatkan *sweet water*, sedangkan ampasnya dibuang.

4. Proses Decolorisasi :

proses pengurangan warna dengan memasukan *brown liquor* kedalam *ion exchange* resin. Hasil yang didapatkan berupa *fine liquor*.

5. Proses evaporasi :

proses untuk mengurangi kadar air (pemekatan) dengan memasukan *fine liquor* kedalam *evaporator* sampai kekentalan tertentu. hasilnya berupa *consentrate fine liquor*.

6. Proses Kristalisasi :

Proses untuk Mendapatkan *massecuite* gula (R1,R2) dengan memasukan *consentrate fine liquor* kedalam vaccum pan dengan suhu dan tekanan tertentu.

7. Proses Curing :

Proses untuk memutar *massecuite* dalam mesin centrifugal dengan putaran dan waktu tertentu untuk mendapatkan *crystal* gula.

8. Proses Drying :

proses Pengeringan (untuk kristal gula) dengan menggunakan udara panas.



BAB III TINJAUAN PUSTAKA

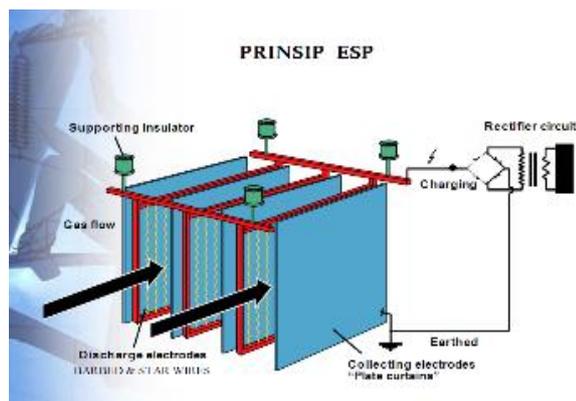
3.1 Pengertian Boiler

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk *mesiu* yang mudah meledak, sehingga sistem boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesin yang mudah meledak, sehingga sistem boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-

temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi (Nasution & Napid, 2022).

3.2 Elektrostatic Precipitator

Electrostatic Precipitator (ESP), juga dikenal sebagai *scrubber kering*, adalah jenis filter yang menggunakan listrik statis untuk menghilangkan debu, abu, dan 11 jelaga dari gas buang boiler sebelum gas dikeluarkan dari *chimney*. Teknologi *Electrostatic Precipitator* ini menggunakan prinsip muatan listrik untuk menangkap abu dari proses pembakaran. *Electrostatic Precipitator* bekerja dengan memberikan muatan negatif pada abu-abu melalui beberapa elektroda yang dikenal sebagai *discharge electrode*. Abu secara alami akan ditarik ke pelat jika dilewatkan lebih jauh ke dalam kolom yang terbuat dari pelat bermuatan lebih positif (*collecting electrode*). Sistem *rapper* khusus menyebabkan pelat jatuh dari sistem *Electrostatic precipitator* setelah abu menumpuk di atasnya. Berikut ini merupakan gambar pada electrostatic precipitator (Pradipta, 2022).



Gambar 3.1 sistem *Electrostatic Precipitator*

(sumber : <https://puballattack /2013/07/electrostaticprecipitator.blogspot.com>)

3.3 Bagian - Bagian Electrostatic Precipitation

Electrostatic Precipitator terdiri dari beberapa komponen seperti *transformer-rectifier*, *discharge electrode*, *collecting plate*, *rappet*, *hopper*, dan *power supply*. Adapun masing-masing fungsinya adalah sebagai berikut:

3.3.1 Transformer rectifle

Transformer adalah perangkat yang mengubah tegangan untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian arus bolak-balik ke rangkaian lainnya. Sebuah gulungan kawat yang melilit inti besi membentuk transformer. Kumputan primer dan kumputan sekunder adalah dua jenis kumputan pada *transformer*. Belitan pada salah satu sisi inti besi merupakan kumputan primer, yang merupakan tempat masuknya arus listrik. Sementara itu, lilitan pada sisi berlawanan dari inti besi adalah lilitan sekunder.



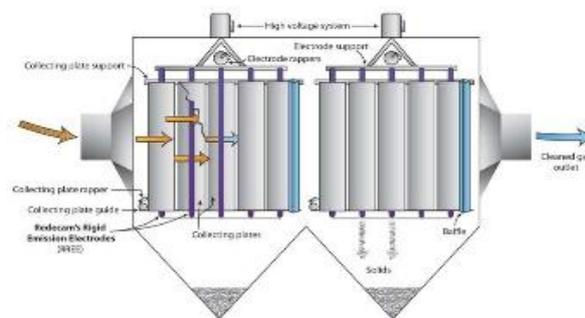
Gambar 3.2 transformator

(sumber : <https://ptmsglobal.com>)

Tugas *transformer* adalah mengubah kapasitas listrik sirkuit. Tegangan adalah variabel utama yang diubah oleh *transformer*. Tegangan dapat dinaikkan menggunakan jenis trafo *step-up* dan juga tegangan dapat diturunkan menggunakan jenis *transformer step-down* (Permata & Lestari, 2020).

3.3.2 Discharge Electrode

Discharge electrode dapat berupa elektroda kaku yang terbuat dari sepotong logam buatan, sekelompok kabel yang disatukan dalam bingkai yang kaku, atau kabel logam berdiameter kecil yang digantung secara vertikal dari *electrostatic precipitator*. Karakteristik arus dan tegangan ditentukan oleh bentuk elektroda. Jika peringkat arus untuk tegangan yang diberikan semakin besar semakin kecil kabelnya atau semakin runcing permukaannya (Pradipta, 2022).



Gambar 3.3 Discharge electrode

(Sumber : <https://ibumitala/2017/09/electrostaticprecipitatorresp.blogspot.com>)

3.3.3 Casing

Casing dari *Electrostatic Precipitator* umumnya terbuat dari baja karbon berjenis *ASTMA-36* atau yang serupa. Selain itu *Casing* ini didesain memiliki ruang untuk pemuaiannya karena pada operasional normalnya *electrostatic precipitator* bekerja pada temperatur yang tinggi. Oleh karena itu pula sisi luar *casing* ini dipasang insulator tahan panas demi keselamatan kerja. *Discharge electrode* dan *collecting Electrode* dipasang menggantung dengan sisi penyangga yang berada pada *casing* bagian atas. Pada sisi samping *casing* terdapat pintu masuk setiap *cell* untuk keperluan perawatan bagian dalam *Electrostatic Precipitator (ESP)* (Permata & Lestari, 2020).

3.3.4 Collecting Electrode

Collecting Electrode adalah sebuah plat elektroda tempat berkumpulnya debu atau partikel-partikel dari gas buangan *boiler* yang bermuatan negatif. Jarak antar *Collecting Electrode* dipasang dengan jarak 300 mm. *Collecting Electrode* dipasang dengan penyangga yang berada diatas dan menggantung pada *casing* bagian atas. Agar mendapat medan listrik yang setara antar *collecting* maka *collecting* dipasang dengan ketelitian yang tinggi (Permata & Lestari, 2020).

3.4 Emisi Gas Buang pada Industri

Emisi gas buang adalah pelepasan senyawa gas hasil dari proses pembakaran bahan bakar fosil atau biomassa ke atmosfer. Dalam konteks industri, khususnya pada sistem *boiler*, emisi gas buang dihasilkan sebagai bagian dari proses konversi energi termal yang terjadi akibat pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pemanasan, penggerak turbin untuk pembangkitan listrik, maupun proses-proses industri lainnya. Secara umum, emisi gas buang dapat dikategorikan sebagai limbah gas yang memiliki potensi untuk mencemari lingkungan udara apabila tidak dikelola atau dikendalikan dengan baik. Emisi ini terdiri atas berbagai komponen, baik yang bersifat *inert* (tidak reaktif) maupun reaktif secara kimia, dan beberapa di antaranya bersifat *toksik*, *korosif*, atau menjadi *prekursor* terbentuknya polutan sekunder di atmosfer. Dalam perspektif pengelolaan lingkungan hidup, emisi gas buang termasuk dalam kategori pencemar udara (air pollutants) yang diatur secara ketat oleh berbagai badan lingkungan baik nasional maupun internasional. (Rao,C.S, 2006).

Di Indonesia, emisi gas buang dari *boiler* diatur melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No.P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019, yang menetapkan baku mutu emisi untuk *boiler* industri berdasarkan jenis bahan bakar dan kapasitas alat. Emisi yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan penurunan kualitas



udara *ambien*, berdampak negatif pada kesehatan masyarakat, serta menimbulkan kerugian ekonomi akibat rusaknya ekosistem. Oleh karena itu, setiap instalasi boiler yang digunakan dalam skala industri diwajibkan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian emisi secara rutin (Rao,C.S, 2006).

3.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi Gas Buang

Besarnya emisi yang dihasilkan oleh *boiler* dalam kegiatan industri dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain:

1) Jenis dan Kualitas Bahan Bakar

Bahan bakar padat seperti batu bara memiliki kandungan sulfur dan abu yang lebih tinggi dibandingkan dengan gas alam, sehingga menghasilkan emisi SO_2 dan *partikulat* dalam jumlah yang lebih besar.

2) Desain dan Efisiensi Boiler

Boiler yang dirancang dengan teknologi efisiensi tinggi akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan emisi yang lebih rendah.

3) Suhu Pembakaran

Suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan pembentukan NO_x , karena suhu tersebut memicu reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara.

4) Sistem Kontrol Emisi

Penggunaan teknologi pengendalian emisi, seperti alat penangkap debu atau sistem *desulfurisasi*, sangat berpengaruh terhadap tingkat polutan yang dilepaskan ke udara (world bank,2010).

3.5 Standar Emisi dan Regulasi Lingkungan

Pengendalian emisi dalam kegiatan industri merupakan aspek penting dalam menjaga kualitas udara dan kesehatan lingkungan. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia dan organisasi internasional telah menetapkan berbagai regulasi dan standar terkait ambang batas emisi gas buang dari industri, termasuk industri gula yang menggunakan peralatan pembakaran seperti *boiler*



dan dilengkapi sistem pengendali seperti *electrostatic precipitator (ESP)* (Lecomte et al., 2017).

3.5.1 Regulasi Emisi di Indonesia

Electrostatic Precipitator merupakan salah satu alat pengendali emisi yang umum digunakan dalam industri gula untuk menangkap partikel debu sebelum dilepaskan ke udara bebas. Dengan efisiensi pengendalian yang dapat mencapai lebih dari 95% untuk partikel berukuran mikron, *Electrostatic precipitator* menjadi alat utama dalam memastikan emisi *partikulat* tetap berada di bawah ambang batas regulasi (Stern, 1980). Di Indonesia, pengelolaan emisi industri diatur dalam beberapa peraturan perundang-undangan, antara lain:

1. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menjadi dasar hukum utama dalam pengelolaan lingkungan, termasuk pencemaran udara.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang mencakup baku mutu lingkungan dan standar emisi.
3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.13/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Baku Mutu Emisi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Gula.

Dalam peraturan tersebut, ditetapkan baku mutu emisi untuk parameter seperti partikulat (debu total), SO_2 , NO_x , dan CO , dengan nilai maksimum sebagai berikut (contoh untuk unit pembangkit berbasis biomassa) (Lecomte et al., 2017).

3.5.2 Regulasi Emisi International

Sebagai perbandingan, berikut beberapa standar emisi yang berlaku secara internasional:

1. *USEPA (United States Environmental Protection Agency)* menetapkan batas emisi partikulat untuk beberapa industri



pembakaran padat pada angka ~ 0.03 lb/MMBtu, atau setara dengan $\sim 50\text{--}70$ mg/Nm³, tergantung jenis bahan bakar dan sistem pembakaran.

2. *WHO (World Health Organization)*, meskipun tidak menetapkan batas emisi industri secara langsung, memberikan panduan kualitas udara ambien, seperti:

Standar internasional ini kerap digunakan sebagai rujukan tambahan dalam upaya meningkatkan kualitas pengendalian pencemaran udara di negara berkembang, atau saat perusahaan mengupayakan sertifikasi sistem manajemen lingkungan seperti *ISO 14001*.

3.6 Komponen Utama Emisi Gas Buang Pada Boiler

Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam *boiler* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- 1) Karbon Dioksida (CO_2)

Gas ini terbentuk sebagai produk utama dari pembakaran sempurna bahan bakar yang mengandung karbon, seperti gas alam, minyak bakar, dan batu bara. Meskipun tidak beracun, karbon dioksida merupakan salah satu gas rumah kaca utama yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim.

- 2) Karbon Monoksida (CO)

Gas beracun ini dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna, biasanya karena kurangnya oksigen selama pembakaran. Paparan karbon monoksida dalam konsentrasi tinggi dapat membahayakan kesehatan manusia karena menghambat pengikatan oksigen dalam darah.

- 3) Oksida Nitrogen (NO_x)

Oksida nitrogen, yang terdiri atas *NO* dan *NO₂*, terbentuk akibat reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara pada suhu tinggi. *NO_x* merupakan penyumbang utama dalam pembentukan hujan asam dan kabut asap fotokimia, serta dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan.

- 4) Sulfur Dioksida (SO_2)



Gas ini dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung unsur sulfur, seperti batu bara dan minyak berat. SO_2 bereaksi dengan uap air di atmosfer untuk membentuk asam sulfat, yang menjadi penyebab utama hujan asam.

5) Partikulat (PM atau *Particulate Matter*)

Partikel ini berupa jelaga, abu, atau debu halus yang dapat terhirup oleh manusia dan menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan, khususnya partikel dengan ukuran lebih kecil dari 2.5 mikron (PM_{2.5}) yang dapat menembus hingga ke paru-paru (Lecomte et al., 2017).

3.7 Metode Perhitungan Beban Emisi Pada Partikulat

Inventarisasi emisi menggunakan acuan manual ABC-EIM. Metode estimasi emisi yang umum digunakan yaitu dengan mengalikan data aktivitas dalam jangka waktu tertentu dengan faktor emisi. Perhitungan emisi yang diperoleh oleh electrostatic precipitator dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$E = A \times EF \times \left(\frac{ER}{100}\right)$$

Sedangkan untuk rumus yang lolos pada electrostatic precipitator dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Di mana,

EM : Beban emisi (ton/tahun)

E : Faktor emisi (kg/Tj)

AR : Data aktivitas/konsumsi bahan bakar (Tj/tahun)

CE : Efisiensi teknologi pengendalian (%)

Faktor emisi yang digunakan mengacu pada ABC-EIM. Menyesuaikan dengan bahan bakar yang digunakan yaitu batu bara dan berdasarkan parameter yang difokuskan (Muthiawaty, G., & Dirgawati, M., 2023)

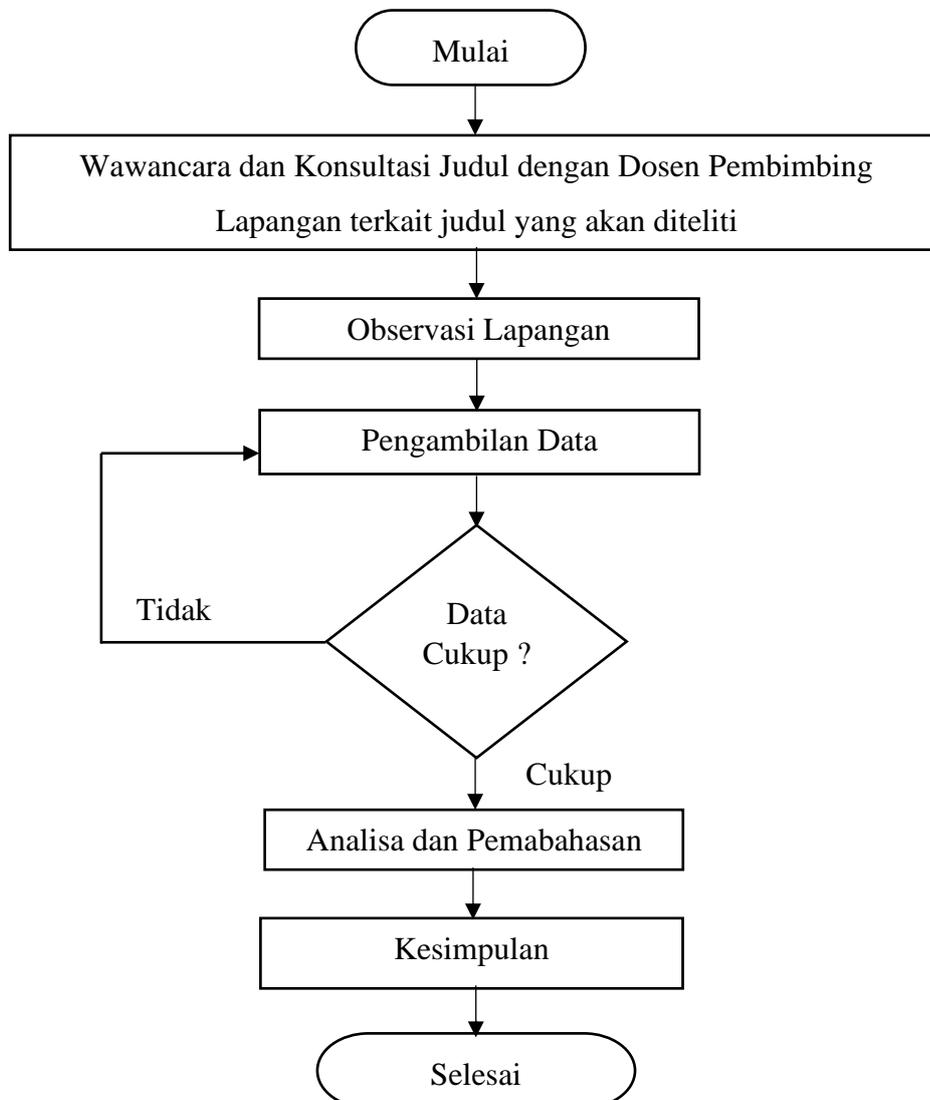
BAB IV ANALISA PERMASALAHAN DAN PEMECAHAN MASALAH

4.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian berfungsi untuk mengetahui alur dari kerja praktik, permasalahan yang ada dan juga cara pemecahan permasalahan tersebut sebagai berikut:

4.1.1 Diagram Alir

Diagram alir tercipta untuk mengetahui alur dari kerja praktik dan pengambilan data di PT. Duta Sugar Internasional. Adapun diagram alir dari kerja praktik kali ini ialah sebagai berikut:



(Gambar 4.1 Diagram alir)

4.1.2 Metode Pengambilan Data

Penulis melakukan kerja praktik pada PT. Duta Sugar Internasional mulai dari tanggal 14 April sampai tanggal 14 Mei 2025. Penulis melakukan beberapa metode untuk menunjang data dari laporan ini. Adapun metode pengambilan data yang penulis lakukan diantaranya sebagai berikut:

- 1 Studi literatur

Metode literatur merupakan metode pokok yang penulis lakukan selama kerja praktik berlangsung, hal ini Penulis lakukan agar pengetahuan mengenai topik yang penulis teliti dapat bertambah. Adapun cara melakukan studi literatur yang penulis laksanakan seperti mencari jurnal terkait, membaca buku terkait, melihat drawing, dan juga menonton video youtube.

- 2 Observasi langsung

Metode observasi langsung adalah metode yang sering penulis laksanakan selama periode kerja praktik berlangsung. Hal ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan wawasan serta dapat membangun ikatan relasi antara Penulis dengan Operator yang lebih berpengalaman. metode ini Penulis laksanakan untuk mengambil data getaran pada eco mode dan mode biasa kemudian Penulis catat data tersebut dan dianalisa.

- 3 Wawancara

Metode wawancara ialah metode yang Penulis laksanakan dengan cara bertanya langsung kepada Operator berpengalaman, contohnya ialah pada saat pengambilan data, Penulis menanyakan cara kerja unit, sehingga Penulis bertambah ilmu, pengalaman serta wawasan yang dapat berguna di kemudian hari.

4.2 Spesifikasi Electrostatic Precipitator pada boiler 3

Adapun spesifikasi desain *electrostatic precipitator* pada boiler 3 pada PT. Duta Sugar Internasional yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi *Electrostatic Precipitator*.

No	Item	unit	value
1	Guaranteed efficiency	%	99.6
2	Proper resistance	%	< 250
3	Proper air leakage rate	Pa	< 3%
4	Capacity	%	96000
5	Flue gas inlet temperature	m ³ /h	160
6	Flue gas flow rate	°C	0.72
7	Ash hoppers for each ESP	m/s	3
8	High material level mater of ash hopper(each ESP)	pieces	1
9	High voltage silicon rectifier	set	3
10	Rated power of each rectifier	KVA	0.3A/72KV

Data Electrostatic Precipitator pada boiler 3

Berikut ini merupakan data yang dihasilkan dari pengambilan datlangsung pada lapangan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.2 data yang diperoleh dari lapangan

No	Item	unit
1	Coal	153 ton/day = (3715,9 cal/kg)
2	Ash content (EF)	3,22 %



3	Sekam	8,45ton/day = (3200 cal/kg)
4	Kalori batu bara dan sekam	3690 cal/kg
5	Daya yang dihasilkan boiler	7 MW/ h
6	Daya yang dipakai PT.DSI	4 MW / h

4.3 Data Hasil

Berikut ini adalah data hasil dari perhitungan yang terdapat pada kerja praktik pada bagian *electrostatic precipitator* boiler 3 di PT. Duta Sugar Internasional sebagai berikut :

Diketahui :

Rumus emisi yang tertangkap pada esp:

$$E = A \times EF \times \left(\frac{ER}{100}\right)$$

Rumus Emisi yang lolos pada esp:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Data diketahui :

A : Aktivitas Pembakaran : 161,45 ton/hari

EF : Emission Factor : 3,22%

ER : Efisiensi spesifikasi ESP : 99,6%

Dijawab :

Emisi yang tertangkap pada esp :

$$E = A \times EF \times \left(\frac{ER}{100}\right)$$

$$E = 161,45 \times 0,0322 \times \left(\frac{99,6}{100}\right)$$

$$E = 161,45 \times 0,0322 \times 0,996$$

$$E = 161,45 \times 0,0320872$$

$$E = 5,185 \text{ ton/ hari} = 5.185 \text{ Kg/hari}$$

$$\frac{5.185}{24} = 216,04 \text{ Kg/jam}$$

Emisi yang lolos pada esp berdasarkan efisiensi:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

$$E = 161,45 \times 0,0322 \times \left(1 - \frac{99,6}{100}\right)$$

$$E = 161,45 \times 0,0322 \times 0,004$$

$$E = 0,02078 \text{ ton/hari} = 20,78 \text{ Kg/hari}$$

$$E = \frac{20,78}{24} = 0,866 \text{ Kg/jam}$$

4.4 Analisa Hasil

Berdasarkan analisis data operasional dan spesifikasi teknis yang telah diperoleh, sistem elektrostatis presipitator yang terpasang pada unit boiler menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengatur emisi partikel dari proses pembakaran. Total penggunaan bahan bakar harian, yang meliputi 153 ton batu bara dan 8,45 ton sekam, menghasilkan total massa bahan bakar sebesar 161,45 ton per hari dengan kandungan abu sebesar 3,22%. Diperkirakan total abu yang terbentuk mencapai 216,04 Kg per jam.

Berdasarkan spesifikasi perangkat dan data yang diperoleh di lapangan, electrostatic precipitator memiliki tingkat efisiensi dalam menangkap partikel sebesar 99,6%. Emisi partikel yang berhasil melewati ke atmosfer berkisar sekitar 0,4% atau setara dengan 0,866 kg per jam. Hasil ini diperoleh melalui perhitungan yang menggunakan efisiensi, yang mencerminkan kemampuan electrostatic precipitator dalam memenuhi standar emisi yang telah ditetapkan, serta perannya dalam menjaga kualitas udara di sekitar area boiler.

Data spesifikasi efisiensi yang tinggi tidak hanya bergantung pada desain perangkat, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional serta karakteristik bahan bakar. Salah satu aspek penting adalah karakteristik fisik dan kimia dari bahan bakar yang dimanfaatkan. Sekam yang dipakai sebagai bahan baku campuran atau tambahan memiliki sifat yang lebih ringan, halus, dan cenderung lebih sulit untuk ditangkap jika dibandingkan dengan abu dari batubara. Komposisi bahan bakar yang berbeda-beda ini memerlukan penyesuaian parameter operasi electrostatic precipitator secara fleksibel agar kinerjanya tetap terjaga secara konsisten



Faktor lain yang juga sangat penting adalah sistem penanganan abu, yaitu ash handling system. Setiap unit elektrostatis precipitator hanya memiliki satu tempat penampungan abu, sehingga diperlukan pengelolaan operasional yang efektif untuk menghindari penumpukan abu yang berlebihan. Akumulasi abu yang tidak segera dihilangkan dapat menyebabkan terjadinya reentrainment, yaitu fenomena di mana partikel abu yang telah mengendap kembali terbawa ke dalam aliran gas buang. Hal ini tidak hanya mengurangi efisiensi elektrostatis precipitator, tetapi juga berpotensi menyebabkan gangguan pada saluran gas buang serta meningkatkan risiko penyumbatan dan penurunan efisiensi pembakaran.

Secara keseluruhan, kinerja sistem electrostatic precipitator yang dijelaskan dalam laporan ini menunjukkan bahwa perangkat tersebut dapat beroperasi dengan baik dalam mengatur emisi partikel. Perlu diperhatikan bahwa keberhasilan tersebut sangat tergantung pada kestabilan kondisi operasional, pemilihan dan pengolahan bahan bakar yang sesuai, serta pelaksanaan prosedur pemeliharaan yang efektif. Jika faktor-faktor tersebut tidak dikelola dengan baik dan secara konsisten, maka kemungkinan peningkatan emisi partikel akan menjadi sangat besar dan dapat mempengaruhi pencemaran lingkungan serta melanggar peraturan lingkungan yang ada.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini terdapat kesimpulan pada laporan kerja praktik pada PT. Duta Sugar internasional sebagai berikut :

1. Penulis dapat memahami cara kerja *electrostatic precipitator* serta mengenali komponen-komponen yang terdapat dalam alat tersebut, seperti *casing*, *hopper*, elektroda penangkap, dan elektroda pelepas. Komponen-komponen tersebut perlu berfungsi secara bersama-sama dalam keadaan yang terbaik untuk meningkatkan efisiensi dan dapat beroperasi dengan lebih efektif dalam menangkap emisi pada elektrostatis precipitator.
2. Penulis telah melakukan analisis terhadap alat *electrostatic precipitator* di boiler 3 pada PT. Duta Sugar Internasional melaporkan hasil analisis yang diperoleh dari alat tersebut terkait penangkapan emisi dan efisiensi yang dicapai. Analisis dilakukan dengan beberapa parameter, termasuk jumlah bahan bakar dan kadar abu, Data yang digunakan untuk analisis diperoleh pada 14 April 2024, bahan bakar yang digunakan terdiri dari 161,45 ton, dengan kadar abu yang dihasilkan sebesar 3,22%, Efisiensi dari *electrostatic precipitator* mencapai 99,6%, Emisi yang terperangkap oleh *electrostatic precipitator* adalah 5,185 ton per hari, sedangkan emisi yang dilepaskan dari alat tersebut adalah 20,78 kg per hari. Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa *electrostatic precipitator* tersebut masih beroperasi dalam kondisi optimal.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan pada PT. Duta Sugar Internasional sebagai berikut :

1. Penulis mengharapkan untuk setiap pekerja dapat mengalisis kinerja serta membuat inovasi baru pada komponen - komponen *boiler* sebelum *shutdown* dilakukan, inovasi yang relevan dapat digunakan ketika *shutdown* untuk memajukan PT. Duta Sugar Internasional.



2. Penulis menyarankan pada alat ukur yang digunakan yang masih menggunakan dialog dapat diubah menggunakan digital agar dapat lebih akurat dan lebih mudah dalam proses pembacaan oleh operator yang bekerja.

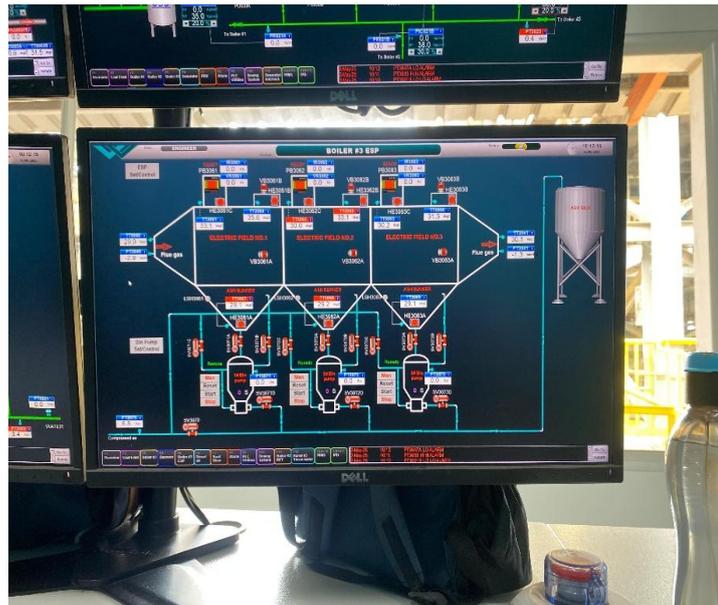


DAFTAR PUSTAKA

- Nasution, M., & Napid, S. (2022). Aplikasi boiler sebagai pembangkit uap dalam menentukan efisiensi. *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 314–319.
- Permata, E., & Lestari, I. (2020). Maintenance preventive pada transformator step-down AV05 dengan kapasitas 150kV di PT. Krakatau Daya Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 3(1), 485–493.
- Pradipta, I. A. (2022). *Analisa kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) berdasarkan besar arus sekunder transformer di PLTU Tanjung Jati B Unit 3* (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Sultan Agung). Universitas Islam Sultan Agung.
- Definisi Emisi Gas Buang Rao, C. S. (2006). *Environmental Pollution Control Engineering*. New Age International Publishers.
- World Bank. (2010). *Laporan pembangunan dunia 2010: Pembangunan dan perubahan iklim* (C. Sungkono, Trans.; K. Wikantika, Ed.). Penerbit Salemba Empat. (Original work published 2009)
- Lecomte, T., Ferrería de la Fuente, J. F., Neuwahl, F., Canova, M., Pinasseau, A., Jankov, I., Brinkmann, T., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2017). *Best Available Techniques (BAT) reference document for large combustion plants: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. Publications Office of the European Union.
- Muthiawaty, G., & Dirgawati, M. (2023). Metode perhitungan beban emisi partikulat pada PLTU batu bara. *Prosiding Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2023*, Institut Teknologi Nasional Bandung.



LAMPIRAN



Flow Diagram ESP pada boiler 3



Area atas *electrostatic precipitator*



Area ESP pada boiler 3



Area inlet ESP pada boiler 2



Area boiler 1