

**ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP)
BERDASARKAN BESAR ARUS SEKUNDER *TRANSFORMER*
DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar S1 Pada
Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



DISUSUN OLEH :

IVAN ADE PRADIPTA

NIM : 30602000067

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022

FINAL PROJECT

**PERFORMANCE ANALYSIS OF ELECTROSTATIC
PRECIPITATOR (ESP) BASED ON SECONDARY CURRENT
TRANSFORMER AT TANJUNG JATI B UNIT 3
COAL-FIRED POWER PLANT**

Proposed to complete the requirement to obtain a Bachelor's Degree (S1)
at Department of Electrical Engineering Faculty of Industrial Technology
Sultan Agung Islamic University



ARRANGED BY :

IVAN ADE PRADIPTA

NIM : 30602000067

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP) BERDASARKAN BESAR ARUS SEKUNDER TRANSFORMER DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3” ini disusun oleh :

Nama : Ivan Ade Pradipta

NIM : 30602000067

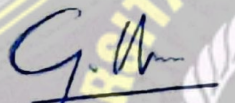
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

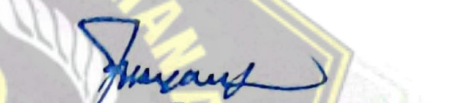
Hari : Selasa

Tanggal : 7 Maret 2023

Pembimbing I


Gunawan, S.T., M.T.
NIDN. 0607117101

Pembimbing II


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN. 0619107301

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Jenny Putri-Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

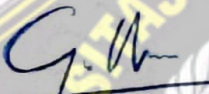
Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP) BERDASARKAN BESAR ARUS SEKUNDER TRANSFORMER DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Selasa

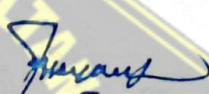
Tanggal : 7 Maret 2023

TIM PENGUJI


Anggota I


Gunawan, S.T., M.T.
NIDN. 0607117101

Anggota II


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN. 0619107301

Ketua Penguji


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.
NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ivan Ade Pradipta
NIM : 30602000067
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang** dengan judul **“ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP) BERDASARKAN BESAR ARUS SEKUNDER TRANSFORMER DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 16 Februari 2023

Yang menyatakan,



Ivan Ade Pradipta

NIM. 30602000067

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ivan Ade Pradipta
NIM : 30602000067
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Alamat Asal : Jl. Rasamala III/389, RT07/RW06, Srandol Wetan,
Banyumanik, Semarang

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul:
“ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP)
BERDASARKAN BESAR ARUS SEKUNDER TRANSFORMER DI PLTU
TANJUNG JATI B UNIT 3”.

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 16 Februari 2023

Yang Menyatakan,



Ivan Ade Pradipta

NIM. 30602000067

PERSEMBAHAN

Pertama,

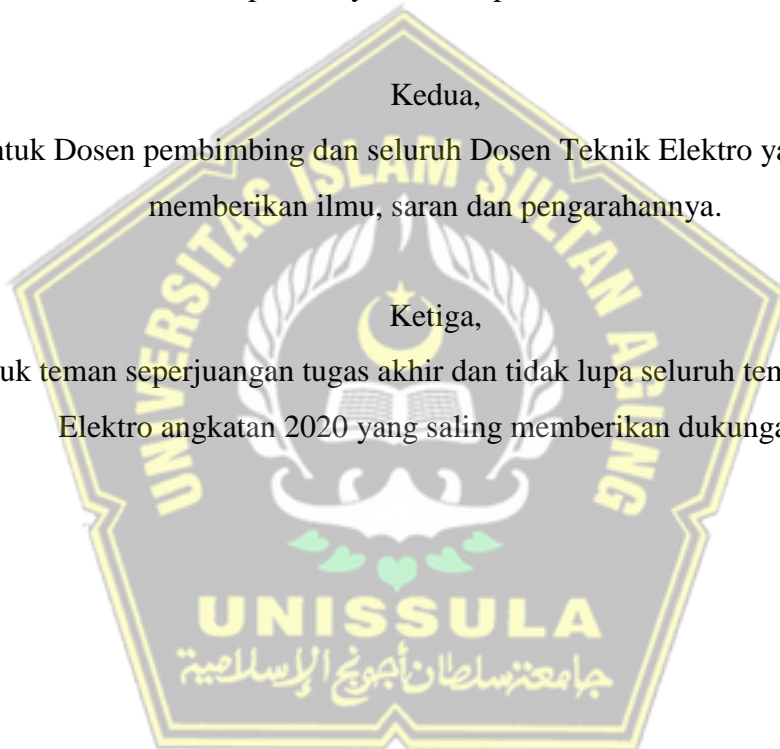
Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai Bapak Ansori (rahimahullah) dan Ibu Siti Solechah yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Dan juga kepada Istri dan Anak saya yang telah menyemangati dan mendoakan saya, merupakan penunjang untuk dapat menyelesaikan perkuliahan.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman seperjuangan tugas akhir dan tidak lupa seluruh teman Teknik Elektro angkatan 2020 yang saling memberikan dukungan.



MOTTO

“Janganlah kamu sembah di samping (menyembah) Allah, Tuhan apapun yang lain. Tidak ada Tuhan (yang berhak disembah) melainkan Dia. Tiap-tiap sesuatu pasti akan binasa, kecuali Allah. Bagi-Nya lah segala penentuan dan hanya kepada-Nya lah kamu dikembalikan.”

(QS. Al Qashash : 88)

“Sesungguhnya amal yang pertama kali dihisab pada seorang hamba adalah sholatnya. Maka jika sholatnya baik, sungguh ia telah beruntung dan berhasil. Jika sholatnya rusak, sungguh ia telah gagal dan rugi.”

(HR. Tirmidzi)

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga.”

(HR. Muslim)

“Jagalah Allah, niscaya Dia akan menjagamu. Jagalah Allah, niscaya kau dapati Dia di hadapanmu. Jika engkau hendak meminta, mintalah kepada Allah. Dan jika engkau hendak memohon pertolongan, mohonlah kepada Allah.”

(HR. Muslim)

“Berprasangkalah baik kepada saudaramu, maka engkau akan mendapati ketenangan dan kebahagiaan dalam hatimu.”

(Dr. Firanda Andirja, M.A.)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Analisa Kinerja *Electrostatic Precipitator* (ESP) Berdasarkan Besar Arus Sekunder Transformer di PLTU Tanjung Jati B Unit 3” dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan do’a dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Gunawan, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan.
4. Bapak Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan.
5. Bapak Munaf Ismail, S.T., M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
6. Seluruh dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Ibu dan Ayah (rahimahullah) tercinta yang telah banyak berkorban demi keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
8. Istri dan Anak tersayang yang telah banyak membantu dan mendoakan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
9. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu diharapkan saran dan kritik untuk membangun kesempurnaan karya ini, semoga karya ini bermanfaat

Semarang, 16 Februari 2023



Penulis



DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
PERSEMBAHAN.....	vii
MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I.....	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Perumusan Masalah.....	3
1. 3 Pembatasan Masalah	3
1. 4 Tujuan.....	4
1. 5 Manfaat.....	4
1. 6 Sistematika Penelitian	4
BAB II.....	6
2. 1 Tinjauan Pustaka	6
2. 2 Landasan Teori	8
2.2.1 Proses Produksi Listrik di PLTU	8
2.2.2 Partikulat.....	10
2.2.3 <i>Electrostatic Precipitator</i> (ESP).....	11
2.2.3.1 Konsep Elektrostatis	11
2.2.3.2 Pengertian ESP	11
2.2.3.3 Komponen ESP	13

2.2.3.4	Prinsip Kerja ESP	18
2.2.3.5	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja ESP	20
2.2.3.6	Perhitungan Kinerja ESP	20
BAB III	.....	24
3.1	Model Penelitian.....	24
3.2	Obyek Penelitian	25
3.3	Alat dan Peralatan Penelitian	25
3.4	Data Penelitian	26
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.6	Tahapan Penelitian	28
BAB IV	.....	29
4.1	Perhitungan.....	29
4.1.1	Luas Efektif <i>Collecting Plate</i>	29
4.1.2	Luas Spesifik <i>Collecting Plate</i>	30
4.1.3	Aspek Rasio	30
4.1.4	Kecepatan Migrasi Partikel.....	31
4.1.5	Kuat Medan Listrik.....	31
4.1.6	Efisiensi ESP.....	32
4.2	Analisa.....	38
BAB V	.....	44
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	.....	46
LAMPIRAN	.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Produksi Listrik di PLTU	8
Gambar 2.2 <i>Flue Gas System</i>	9
Gambar 2.3 <i>Ash Handling System</i>	10
Gambar 2.4 Prinsip Kerja Elektrostatik.....	11
Gambar 2.5 <i>Electrostatic Precipitator</i>	12
Gambar 2.6 Ilustrasi Sistem ESP	12
Gambar 2.7 Tampilan Field ESP	12
Gambar 2.8 Komponen-komponen ESP	13
Gambar 2.9 Aplikasi Transformer	14
Gambar 2.10 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda.....	14
Gambar 2.11 <i>Transformer-Rectifier Unit</i> pada ESP	15
Gambar 2.12 Jenis-jenis <i>Discharge Electrode</i>	15
Gambar 2.13 <i>Collecting Plate</i>	16
Gambar 2.14 <i>Rapping Motor</i>	16
Gambar 2.15 <i>Rapping System</i>	17
Gambar 2.16 <i>Hopper</i>	17
Gambar 2.17 Komponen pada Hopper ESP.....	17
Gambar 2.18 Rangkaian Catu Daya ESP	18
Gambar 2.19 Proses Pemberian Muatan Pada Partikel.....	19
Gambar 2.20 Proses Pengumpulan Partikel	19
Gambar 3.1 Model Penelitian	25
Gambar 3.2 Lokasi PLTU Tanjung Jati B	25
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1 Setting Arus Sekunder Aktual dan Rekomendasi	38
Gambar 4.2 Kuat Medan Listrik Awal dan Akhir.....	39
Gambar 4.3 Efisiensi ESP Awal, Akhir, dan Berdasarkan Desain	40
Gambar 4.4 Proses <i>Rapping</i> pada Monitor DCS ESP.....	41
Gambar 4.5 Daya yang dihasilkan Transformer ESP Awal dan Akhir	41

DAFTAR TABEL

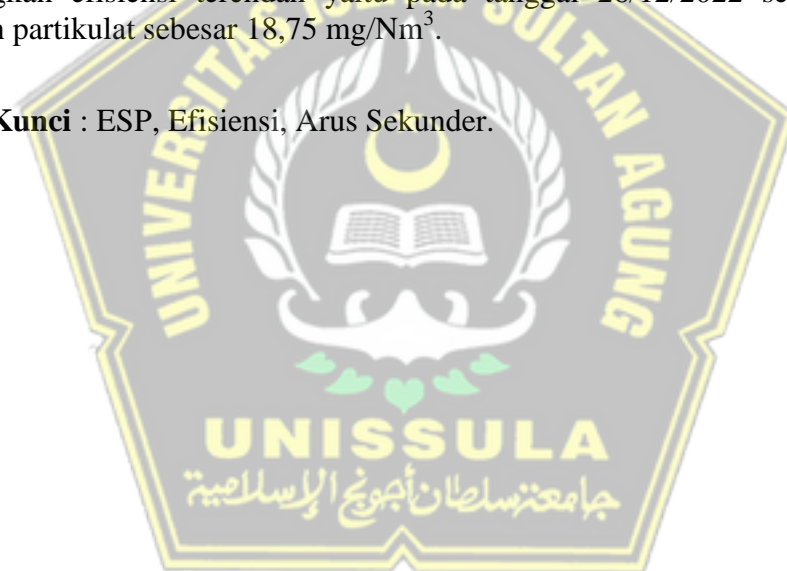
Tabel 3.1 Data Penelitian	26
Tabel 4.1 Parameter Karakteristik ESP PLTU Tanjung Jati B Unit 3	29
Tabel 4.2 Data Aktual Transformer ESP	33
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik, Kecepatan Migrasi Partikel dan Efisiensi ESP Berdasarkan Kondisi Aktual	34
Tabel 4.4 Data Transformer ESP Berdasarkan Setting Arus Sekunder Rekomendasi	36
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik, Kecepatan Migrasi Partikel dan Efisiensi ESP Berdasarkan Setting Arus Sekunder Rekomendasi	37
Tabel 4.6 Hubungan Efisiensi Dengan Emisi	42



ABSTRAK

Udara hasil pembakaran batubara pada PLTU berpotensi menimbulkan pencemaran karena memiliki kandungan partikel benda padat berupa debu, asap, dan bau. Guna menangkap abu terbang hasil pembakaran pada boiler agar udara yang keluar menuju chimney merupakan udara bersih maka diperlukan alat Electrostatic Precipitator (ESP). PLTU Tanjung Jati B Unit 3 adalah salah satu pembangkit yang menerapkan ESP pada unitnya. Metode yang digunakan adalah pengukuran arus sekunder transformer terhadap kuat medan listrik. Tujuan analisa yaitu mencari pengaruh arus sekunder pada transformer untuk mendapatkan nilai efisiensi ESP. Berdasarkan pengukuran dan analisis yang dilakukan didapatkan hubungan antara setting arus sekunder awal sebesar 398,33 mA ketika dinaikkan menjadi 712,50 mA berpengaruh pada kenaikan kuat medan listrik dari 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m. Daya pemakaian transformer dari 16,84 kW atau 404,16 kWh menjadi 34,23 kW atau 851,52 kWh, dan efisiensi ESP dari 72,62% menjadi 90,66%. Performa ESP dengan Efisiensi aktual tertinggi terjadi pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dengan partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³.

Kata Kunci : ESP, Efisiensi, Arus Sekunder.



ABSTRACT

The air from burning coal at the CFPP has the potential to cause pollution because it contains solid particles in the form of dust, smoke and odors. In order to capture fly ash from combustion in the boiler so that the air coming out of the chimney is clean air, an Electrostatic Precipitator (ESP) is needed. Tanjung Jati B Unit 3 CFPP is one of the generators that applies ESP to its unit. The method used is the measurement of the transformer secondary current against the electrical field strength. The purpose of the analysis is to find the effect of secondary current on transformers to get ESP efficiency. Based on the measurements and analysis, it was found that the relationship between the initial secondary current setting of 398.33mA when it was increased to 712.50mA had an effect on the increase in electric field strength from 180,042V/m to 243,406V/m. Transformer usage power from 16.84kW or 404.16kWh to 34.23kW or 851.52kWh, and ESP efficiency from 72.62% to 90.66%. The ESP performance with the highest actual efficiency occurred on 8/12/2022 at 76.38% with particulate matter of 8.84mg/Nm³. Meanwhile, the lowest efficiency was on 12/26/2022 at 68.47% with particulate matter of 18.75mg/Nm³.

Keywords : *ESP, Efficiency, Secondary Current.*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman dan teknologi membuat kebutuhan akan daya listrik meningkat. Tercatat sejak tahun 2015, konsumsi listrik per kapita Indonesia terus meningkat. Peningkatan tertinggi terjadi pada tahun 2017 sebesar 6,8%, sedangkan peningkatan terendah terjadi pada 2020 sebesar 0,4% yaitu ketika pandemi covid-19 melanda Indonesia dan dunia [1]. Setelah pandemi covid-19 mulai mereda, pada tahun 2021 PLN mencatat peningkatan penjualan listrik yang signifikan yaitu naik menjadi 5,78% dibandingkan tahun 2020. Tren konsumsi listrik masyarakat yang membaik di 2021 diperkirakan akan terus berlanjut hingga tahun 2022 dan seterusnya [2]. Dengan kebutuhan listrik yang terus meningkat, PLN menyusun RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) untuk tahun 2021-2030. Produksi tenaga listrik dari batu bara diproyeksikan bertambah sebanyak 69.702 GWh hingga 2030. Rinciannya, produksi listrik batu bara akan ditambah sebanyak 6.716 GWh pada 2022, dan ditambah lagi sebanyak 12.561 GWh pada 2023 [3]. Pada tahun 2019, PLTU menyumbang sekitar 61% dari total sumber listrik di Indonesia. Hal ini diprediksi akan terus meningkat mengingat diproyeksikannya sumber tenaga listrik dari bahan bakar batubara yang merupakan bahan bakar utama dari PLTU [4].

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. PLTU menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO untuk *start up* awal [5]. Mengingat bahan bakar yang digunakan adalah batubara, sisa hasil pembakaran berupa gas asap dibuang ke udara lepas. Hal ini dapat mengakibatkan polusi (pengotoran) udara terhadap lingkungan dengan kadar pencemaran yang tinggi serta dapat membahayakan makhluk hidup di sekitarnya [6]. Batubara yang dibakar pada PLTU memancarkan sejumlah polutan seperti NO_2 dan SO_2 , kontributor utama dalam pembentukan hujan asam

dan polusi partikel halus (PM2.5). Batubara juga memancarkan bahan kimia berbahaya dan mematikan seperti merkuri dan arsen [7].

Gas yang keluar melalui cerobong hasil pembakaran PLTU dapat memicu timbulnya pencemaran udara (polusi udara) karena mengandung benda-benda padat yang berwujud partikel. Partikel tersebut dapat berupa debu, asap dan bau [8]. Hal tersebut memiliki dampak terhadap kesehatan makhluk hidup diantaranya adalah gangguan saluran pernafasan, penyakit jantung, kanker berbagai organ tubuh, gangguan reproduksi dan hipertensi [9]. Pencemaran udara terjadi karena masuknya polutan ke dalam atmosfer. Dampaknya membuat kualitas dan fungsi udara menurun. Standar pencemaran udara dapat ditentukan berdasarkan lima zat pencemar utama yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan partikel debu [10]. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi pencemaran udara di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 yaitu dengan menggunakan *Electrostatic Precipitator* (ESP).

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah alat penangkap abu dari hasil pembakaran *boiler* yang menggunakan prinsip elektrostatis. *Fly ash* yang masuk ke ESP akan diberi muatan negatif oleh *discharge electrode*. Lalu partikel yang bermuatan negatif tersebut akan menempel pada *collecting plate* yang memiliki muatan positif dan akhirnya digetarkan oleh *raper* yang kemudian menuju *fly ash silo*. Sehingga udara yang keluar menuju cerobong asap (*stack*) merupakan udara bersih (*clean gas*) [11]. Pada Unit PLTU, kinerja ESP sangat penting digunakan dalam pengendalian emisi gas buang boiler. Namun pada aplikasinya, kinerja ESP di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 belum sepenuhnya maksimal dikarenakan kurang diketahuinya efisiensi ESP dengan setting arus yang ada saat ini. Hal tersebut karena setting arus sekunder transformer hanya berdasarkan kondisi tegangan DC. Selain itu, karena usia transformer yang cukup tua maka perlu untuk dicari setting arus sekunder yang sesuai untuk pemakaian saat ini.

Pada penelitian ini membahas tentang kinerja ESP yang berkaitan dengan efisiensi ESP berdasarkan setting arus sekunder transformer. Efisiensi merupakan tingkat kinerja puncak yang menggunakan jumlah input paling sedikit untuk mencapai jumlah output tertinggi. Efisiensi membutuhkan pengurangan jumlah

sumber daya yang tidak perlu yang digunakan untuk menghasilkan output tertentu, termasuk waktu dan energi. [12]. Pada penelitian ini, akan ditentukan nilai-nilai yang berpengaruh pada kinerja ESP meliputi kuat medan listrik, luas permukaan pelat pengumpul, luas spesifik pelat pengumpul, aspek rasio, kecepatan migrasi partikel, serta efisiensi pengumpulan partikel [13]. Data-data tersebut kemudian dihitung dan di analisa untuk mencari setting arus sekunder transformer yang sesuai. Perhitungan dilakukan dengan mencoba beberapa variasi arus sehingga ditemukan efisiensi akhir transformer yang optimal. Selain itu juga ditentukan pemakaian daya kWh transformer ESP sehingga didapat perbandingan sebelum dan sesudah setting arus sekunder.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana cara menentukan kinerja ESP berdasarkan emisi gas buang boiler?
2. Bagaimana cara menentukan besar arus sekunder transformer sehingga efisiensi ESP dapat optimal?
3. Bagaimana mengetahui pemakaian daya kWh pada ESP sebelum dan sesudah setting arus sekunder?

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembahasan mengenai kinerja ESP didapat melalui sampel data transformer ESP, spesifikasi ESP, dan sampel data pada CEMS.
2. Pembahasan mengenai perhitungan efisiensi ESP berdasarkan luas efektif *collecting plate*, kecepatan gas buang, kecepatan migrasi partikel, dan kuat medan listrik.
3. Pembahasan mengenai setting arus sekunder pada transformer ESP berdasarkan nilai akhir efisiensi ESP yang didapat untuk dibandingkan dengan nilai efisiensi ESP pada kondisi awal.

4. Setting arus sekunder dilakukan secara maual pada masing-masing transformer ESP dan efisiensi ESP dihitung berdasarkan parameter rata-rata dari seluruh transformer ESP yang berjumlah 16 unit.
5. Perbandingan daya kWh ESP dilakukan dengan membandingkan kWh pemakaian awal transformer dan setelah didapat setting arus sekunder transformer.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memperoleh nilai kinerja (efisiensi) ESP pada kondisi aktual dan setelah setting arus sekunder.
2. Untuk memperoleh nilai arus sekunder transformer yang optimal terhadap efisiensi ESP.
3. Untuk mengetahui hubungan antara arus sekunder ESP dengan kinerja ESP.
4. Untuk memperoleh perbandingan daya kWh ESP awal dengan setelah setting arus sekunder.
5. Untuk mengetahui hubungan antara efisiensi ESP dengan parameter emisi pada CEMS.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi transformer ESP karena didapat setting arus sekunder transformer yang optimal.
2. Mendapatkan nilai pemakaian daya kWh pada ESP.
3. Mengurangi partikulat debu yang keluar pada cerobong asap (*chimney*).
4. Mengurangi polusi udara akibat emisi dan/atau debu.

1.6 Sistematika Penelitian

Saat menulis laporan tugas akhir ini, penulis menggunakan pendekatan sistematis untuk memperjelas pemahaman bahan yang digunakan sebagai objek implementasi proyek akhir. Sistem ini ditulis sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metode penelitian dan penulisan sistematis penelitian yang akan dilakukan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini membahas secara umum tentang pengertian PLTU secara umum, pengertian dan cara kerja ESP, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja ESP serta dasar teori dan prinsip yang melandasi pembuatan Tugas Akhir ini. .

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian yang berisikan proses melakukan pengambilan dan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk penelitian, cara perhitungan kinerja ESP, dan cara menentukan setting arus sekunder pada transformer ESP serta pemakaian daya kWh pada ESP.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini membahas perhitungan kinerja ESP, perhitungan arus sekunder transformer ESP, dan analisa hasil untuk menentukan besar arus sekunder transformer serta perbandingan daya pemakaian kWh.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian Tugas Akhir, serta saran untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Winarno [14] telah melakukan penelitian dengan judul “*Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus Transformator di PT PJB UBJOM PLTU Paiton*” membahas mengenai besarnya efisiensi *Electrostatic Precipitator* (ESP) di PT PJB UBJOM PLTU Paiton saat terjadi gangguan dan kerusakan bervariasi tergantung besarnya arus pada transformator ESP. Semakin besar arus, semakin besar kuat medan magnetnya sehingga semakin besar juga nilai efisiensi ESP. Efisiensi ESP terbaik saat terjadi gangguan dan kerusakan diperoleh pada tgl 07/08/2019 sebesar 98,83% yang mendekati nilai efisiensi ESP sesuai desain yaitu 99,5 %.

Penelitian oleh Ardy Fitrianto [8] dengan judul “*Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Hasil Perubahan Emisi pada Power Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus di PLTU Lestari Banten Energy)*” menunjukkan efisiensi dari hasil kinerja efisiensi *Electrostatic Precipitator* (ESP) berdasarkan desain sebesar 99.99% dan berdasarkan kondisi aktual sebesar 98.71%. Setelah mendapatkan hasil *setting transformer* tegangan, kemudian dilakukan simulasi tegangan dan arus aktual untuk penentuan efisiensi maksimum ESP, yang mana *setting* tegangan masukan 40 kV DC, 60kV DC, dan 70 kV DC didapatkan efisiensi berturut-turut sebesar 81,98%, 98,23%, dan 96,95%.

Penelitian yang dilakukan oleh Luthfi Maslul Muttaqim [15] dengan judul “*Analisa Electrostatic Precipitator (ESP) pada Exhaust Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang Main Engine Kapal Latih BIMASAKTP*” menunjukkan efisiensi dari hasil kinerja ESP dengan penangkapan debu tertinggi dengan Model ESP jarak kawat 60mm dengan tegangan listrik sebesar 17 kV sebesar 97,25%, sedangkan efisiensi penangkapan debu terendah oleh ESP terdapat pada Model ESP dengan jarak kawat 90mm dengan tegangan listrik 15 kV sebesar 31,53%. Semakin besar jarak kawatnya maka semakin kecil

nilai efisiensi penangkapan debu oleh ESP. Sedangkan semakin besar tegangan listriknya, maka semakin besar nilai efisiensi penangkapan debu oleh ESP pada setiap modelnya.

Terjadinya penurunan efisiensi ESP dan kecepatan migrasi partikel pada penelitian oleh Noza Afrian [16] dengan judul "*Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang digunakan Terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp And Paper*", yang mana efisiensi ESP aktual sebesar 95% dan kecepatan migrasi partikel 0,031 m/s sedangkan efisiensi desain 99,52% dan kecepatan migrasi partikel 0,080 m/s. Semakin besar emisi yang masuk ke dalam ESP maka semakin besar tegangannya untuk menangkap emisi tersebut, yang mana tegangan aktual maksimumnya sebesar 70 kV dan emisi maksimum yang masuk 135 mg/Nm³.

Sepfitrah [17] dengan judul "*Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler*" menunjukkan bahwa kecepatan partikel melewati ESP mempengaruhi efisiensi penangkapan gas buang oleh pelat pengumpul. Kecepatan partikel masuk ke ESP dipengaruhi oleh perforasi *screen* pada awal masuknya partikel gas buang di industri *pulp and papper*. Nilai efisiensi ESP secara keseluruhan berdasarkan hitungan menggunakan persamaan Deutsch-Anderson dengan asumsi diameter partikel adalah seragam, didapat efisiensi sebesar 99,68 %.

Jefri Waruwu [18] dengan judul "*Analisis Pengaruh Besar Tegangan DC Terhadap Efisiensi Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Proses Penyaringan Partikulat Rotary Kiln*" menunjukkan bahwa Pada persamaan Deutch-Anderson besar efisiensi rata-rata yang diperoleh adalah 72,72%, dan pada persamaan Regresi Linier Berganada besar efisiensi rata-rata yang diperoleh adalah 60,73%.

Pada penelitian kali ini akan dicari nilai kinerja ESP yang berupa efisiensi berdasarkan setting sekunder pada transformer. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan efisiensi aktual sebelum dan sesudah setting arus sekunder didapat. Kinerja ESP didapat melalui sampel emisi gas buang dari boiler yang menuju dan keluar melalui ESP. Pada penelitian ini juga akan dicari penyebab permasalahan pada beberapa transformer yang bekerja kurang optimal dibanding dengan

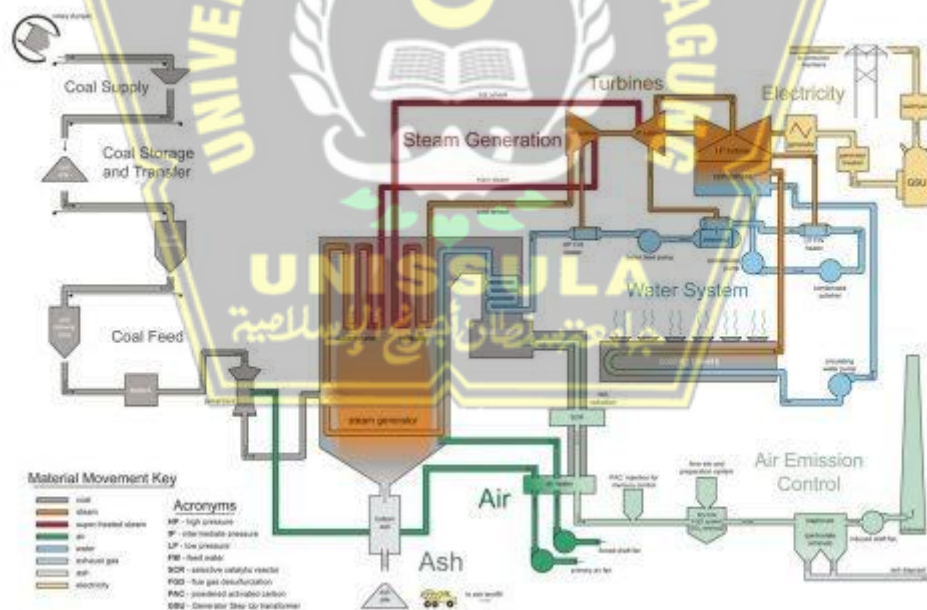
transformer yang lain serta perbandingan pemakaian daya kWh ESP pada saat setting arus yang lama dan baru.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Proses Produksi Listrik di PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap atau yang dikenal dengan PLTU menghasilkan listrik dengan memanfaatkan tenaga uap atau energi uap. Untuk mengubah udara di dalam boiler menjadi uap, PLTU menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya [5].

Pada unit PLTU, turbin digerakkan oleh uap yang dihasilkan boiler pada tekanan dan suhu tertentu untuk menghasilkan tenaga mekanik berupa putaran. Lalu generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi dari terminal *output* generator [19]. Proses produksi listrik pada PLTU dapat dilihat pada Gambar 2.1.

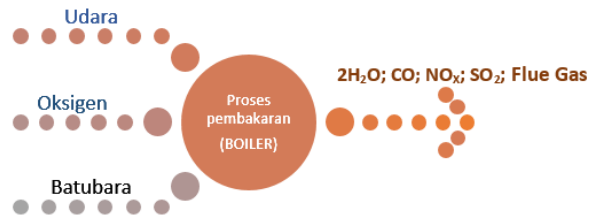


Gambar 2.1 Proses Produksi Listrik di PLTU

1) Flue Gas System

Secara umum, sistem udara dan gas buang (*flue gas system*) adalah sistem yang mengangkut batubara ke boiler menggunakan udara primer, menambahkan oksigen untuk pembakaran, dan menciptakan turbulensi

menggunakan udara sekunder. Sedangkan keluaran proses pembakaran, sistem gas buang, adalah yang memindahkan gas panas dari sisa proses ke elemen pemanas air, uap, dan udara [20]. Pada dasarnya hubungan dari proses kerja antara sistem udara dan gas buang adalah seperti pada skema Gambar 2.2.

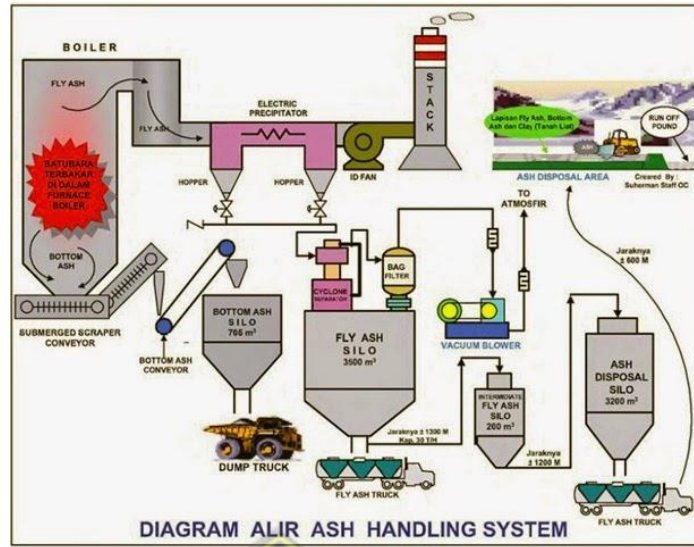


Gambar 2.2 *Flue Gas System*

2) *Ash Handling System*

Salah satu sistem PLTU yaitu sistem penanganan abu (*ash handling system*) merupakan sistem bertugas mengatur abu hasil pembakaran boiler. Ash handling system terdiri atas penanganan abu ringan atau abu terbang (*fly ash system*) dan penanganan abu berat (*bottom ash system*).

Fly ash system meliputi *Electrostatic Precipitator* (ESP), sistem transportasi *fly ash* dari *hopper* ke *fly ash silo* menggunakan *compressor*, *heater* dan *blower* sebagai penjaga temperatur *fly ash* serta proses *loading* dan *unloading fly ash*. Sedangkan *bottom ash system* meliputi *Submerged Scrapper Conveyor* (SSC), *bottom ash conveyor*, *cooling system SSC* serta proses *loading* dan *unloading bottom ash* [14]. Skema proses *ash handling system* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ash Handling System

2.2.2 Partikulat

Partikulat atau juga disebut materi partikulat halus, dan sedimen adalah perkembangan kecil dari materi kuat yang tersuspensi dalam gas atau cairan. Partikulat adalah salah satu jenis pencemaran udara. Partikel udara kurang dari 10 hingga partikel mikrometer dihitung. Satuan untuk partikulat yang digunakan adalah mg/Nm^3 atau miligram / Normal meter kubik. Huruf N sebelum satuan volume mengindikasikan bahwa volume yang dimaksud adalah volume gas pada keadaan normal yakni pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm [21]. Materi partikulat terdiri dari partikel dengan berbagai ukuran, awal dan susunan sintetik. Beberapa istilah digunakan untuk menggambarkan partikel [18], yakni:

- 1) *Dust* (debu): Ukuran debu berkisar antara 1 hingga $10\ \mu\text{m}$. Debu adalah partikel padat kecil yang berasal dari fraksi massa yang lebih besar dan terbentuk selama penghancuran, penggilingan, atau peledakan bahan seperti semen dan batu bara.
- 2) *Fumu* (Uap): Ukuran partikel uap bervariasi dari $0,03$ hingga $0,3\ \mu\text{m}$. Kondensasi uap zat padat dari proses sublimasi atau peleburan logam menghasilkan pembentukan partikel padat yang halus ini, biasanya oksida logam.
- 3) *Mist* (kabut): Diameter mist (kabut) kurang dari $10\ \mu\text{m}$. adalah partikel cair yang terbentuk ketika uap air mengembun dan biasanya tersuspensi di atmosfer atau dekat dengan permukaan tanah.

- 4) *Fog* (kabut): Ketika konsentrasi (*fog*) kabut cukup tinggi untuk mengaburkan penglihatan, maka kabut dapat disebut juga *mist*.
- 5) *Fly ash* (abu terbang): Diameter abu terbang berkisar antara 1 hingga 10^2 μm . Proses pembakaran batubara menghasilkan pembentukan *fly ash*, partikel yang tidak terbakar selama proses pembakaran. Logam dan bahan anorganik merupakan mayoritas dari *fly ash*.
- 6) *Spray* (uap) : Diameter uap dapat berkisar dari 10 hingga 10^3 μm .

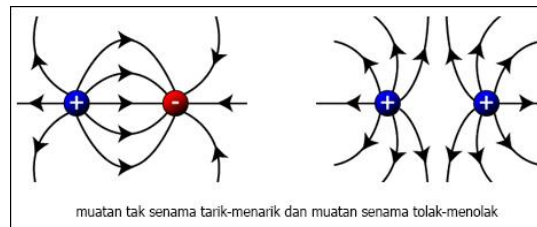
2.2.3 *Electrostatic Precipitator* (ESP)

2.2.3.1 Konsep Elektrostatis [22]

Listrik statis disebabkan oleh benda-benda yang bergesekan satu sama lain. Konsep muatan listrik, medan listrik, fluks listrik, potensial listrik, hukum Gauss, dan hukum Coulomb berfungsi sebagai dasar elektrostatis.

Gagasan paling mendasar dalam elektrostatis adalah adanya muatan listrik. Muatan listrik adalah molekul kunci yang membentuk suatu benda dan tersedia dalam suatu benda di mana pun benda itu ditemukan. Muatan listrik positif dan muatan listrik negatif adalah dua jenis muatan listrik. Simbol muatan listrik adalah "q", dan satuan muatan listrik adalah Coulomb, yaitu "C".

Gaya elektrostatis juga dikenal sebagai gaya Coulomb, tercipta ketika dua muatan listrik didekatkan satu sama lain pada jarak tertentu. "Besarnya gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua benda bermuatan listrik berbanding lurus dengan besarnya muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda" begitulah hukum Coulomb menggambarkan gaya elektrostatis. Prinsip kerja elektrostatis dapat dilihat pada Gambar 2.4

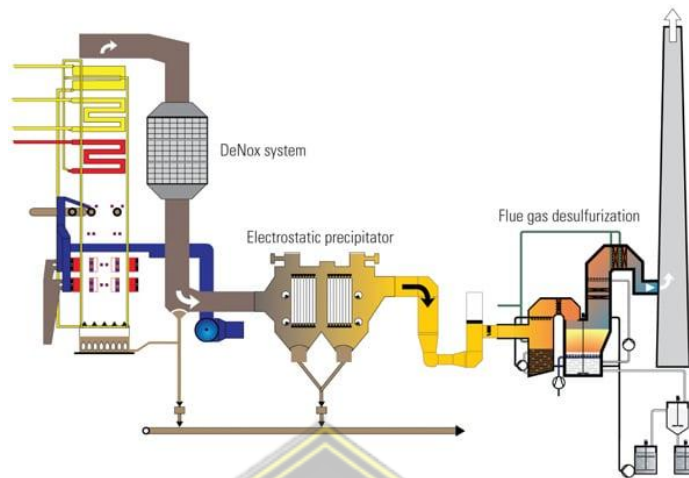


Gambar 2.4 Prinsip Kerja Elektrostatis

2.2.3.2 Pengertian ESP

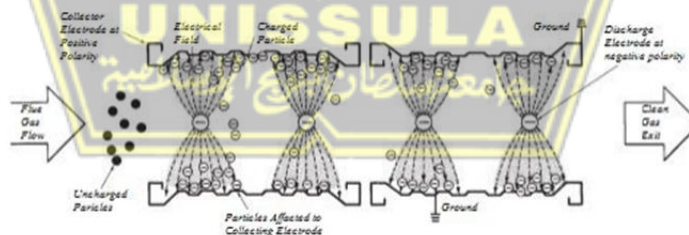
Electrostatic Precipitator (ESP), juga dikenal sebagai scrubber kering, adalah jenis filter yang menggunakan listrik statis untuk menghilangkan debu, abu, dan

jelaga dari gas buang boiler sebelum gas dikeluarkan dari *chimney* [23]. Letak ESP dapat dilihat pada Gambar 2.5.

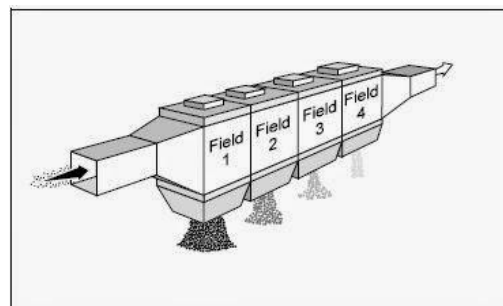


Gambar 2.5 *Electrostatic Precipitator*

Teknologi ESP ini menggunakan prinsip muatan listrik untuk menangkap abu dari proses pembakaran. ESP 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 ESP setelah abu menumpuk di atasnya [24]. Ilustrasi sistem ESP dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan tampilan *field* ESP dapat dilihat pada Gambar 2.7.



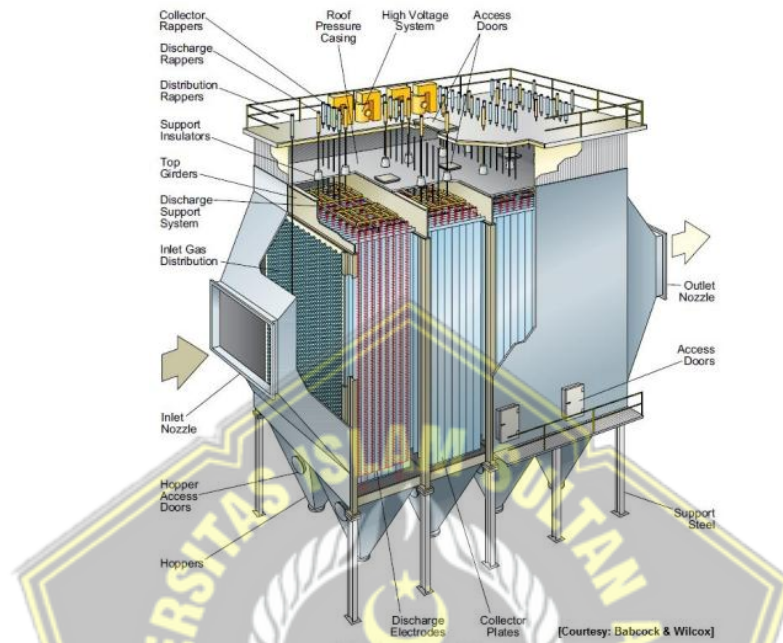
Gambar 2.6 Ilustrasi Sistem ESP



Gambar 2.7 Tampilan *Field* ESP

2.2.3.3 Komponen ESP

ESP terdiri dari beberapa komponen seperti *transformer-rectifier*, *discharge electrode*, *collecting plate*, *rappier*, *hopper*, dan *power supply* [13]. Tata letak komponen-komponen ESP dapat dilihat pada Gambar 2.8.

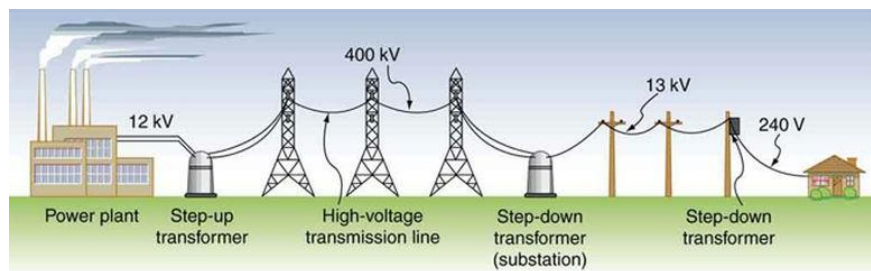


Gambar 2.8 Komponen-komponen ESP

Adapun masing-masing fungsinya adalah sebagai berikut:

1) *Transformer-Rectifier*

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, yang merupakan tempat keluarnya arus listrik [25]. Aplikasi penggunaan transformer dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada Gambar 2.9.



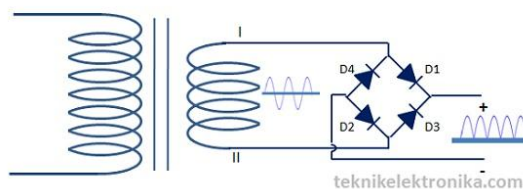
Gambar 2.9 Aplikasi Transformmer

Tugas transformmer adalah mengubah kapasitas listrik sirkuit. Tegangan adalah variabel utama yang diubah oleh transformmer. Tegangan dapat dinaikkan menggunakan jenis trafo *step-up* dan juga tegangan dapat diturunkan menggunakan jenis transformmer *step-down*.

Sedangkan *rectifier* (penyearah) adalah komponen rangkaian catu daya yang mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC. Komponen utama dari penyearah gelombang atau rangkaian penyearah ini biasanya adalah dioda. Hal ini karena dioda hanya mengalirkan arus listrik ke satu arah dan mencegah arus listrik mengalir ke arah yang lain. Ketika arus bolak-balik (AC) diterapkan ke dioda, itu hanya akan mampu melewati setengah dari gelombang sementara memblokir setengah lainnya [26].

Penyearah gelombang penuh dengan empat dioda digunakan dalam rangkaian penyearah transformmer ESP karena kinerjanya yang unggul. *Bridge rectifier* (penyearah jembatan) adalah nama lain untuk penyearah gelombang penuh empat dioda ini. Rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan 4 dioda ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Penyearah Gelombang Penuh – 4 Dioda
(Full Wave Rectifier – 4 Diode)



Gambar 2.10 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda

Transformer-rectifier merupakan komponen utama ESP yang berfungsi sebagai pemberi daya arus listrik bertegangan tinggi pada *collecting plate system*. Transformmer ini merupakan jenis transformmer *step-up* yang

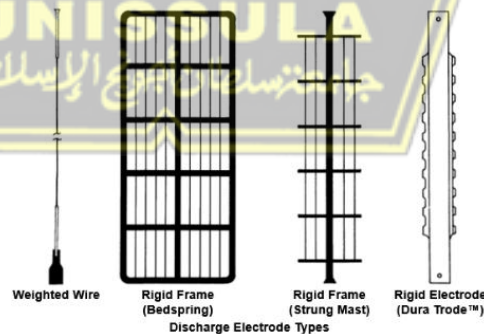
menaikkan tegangan masukan sebesar 380V AC menjadi 20-85 KV DC. Pada PLTU Tanjung Jati B unit 3 terdapat total 16 unit *transformer-rectifier*. Bentuk dari *transformer-rectifier* bisa dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Transformer-Rectifier Unit* pada ESP

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 ESP. Karakteristik arus dan tegangan ditentukan oleh bentuk elektroda. Jika peringkat arus untuk tegangan yang diberikan semakin besar semakin kecil kabelnya atau semakin runcing permukaannya. Bentuk serta macam-macam jenis dari *discharge electrode* bisa dilihat seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Jenis-jenis *Discharge Electrode*

3) *Collecting Plate System*

Collecting plate system (sistem pelat pengumpul) terdiri dari *collecting plate* (pelat pengumpul) / (elektroda pengumpul) dan *discharge electrode* (elektroda pelepasan). Setelah mendapatkan arus tegangan tinggi maka akan timbul medan magnet dan collector plate akan berfungsi sebagai pengumpul

atau penampung abu, karena setelah abu atau ash keluar dari boiler dan masuk ke ESP maka abu akan terurai menjadi partikel-partikel yang akan menempel pada permukaan dinding pelat pengumpul. Bentuk *collecting plate* bisa dilihat seperti pada Gambar 2.13.



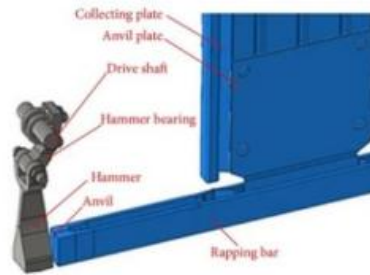
Gambar 2.13 *Collecting Plate*

4) *Rapper*

Rapper atau *rapping system* berfungsi sebagai pemukul atau pembuat getaran yang setelah abu menempel dipermukaan plat pengumpul kemudian ditabuh menggunakan sistem rapping, sehingga abu yang menempel pada dinding *collecting plate* akan jatuh ke dalam *hopper*. Bentuk serta prinsip kerja dari *rapping system* bisa dilihat pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15.



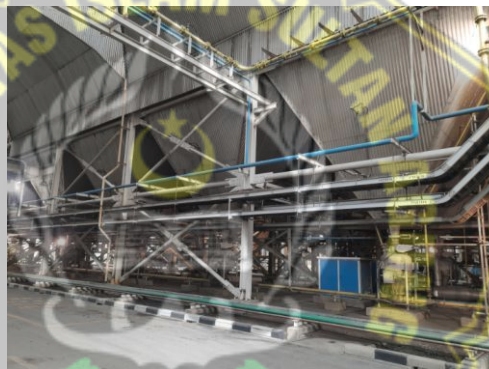
Gambar 2.14 *Rapping Motor*



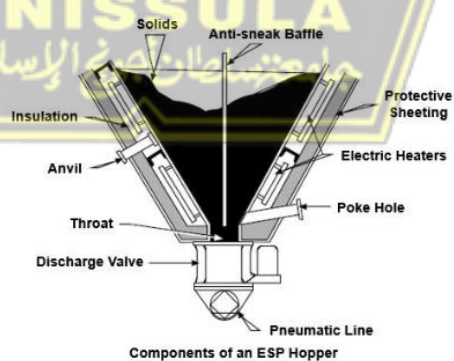
Gambar 2.15 Rapping System

5) Hopper

Hopper berfungsi sebagai penampung abu yang jatuh dari hasil pemukulan oleh *rapping system*. Abu yang tertampung pada *hopper* kemudian akan diteruskan menuju *fly ash silo* melalui *ash handling system*. Bentuk dan komponen pada *hopper* bisa dilihat seperti pada Gambar 2.16 dan Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Hopper

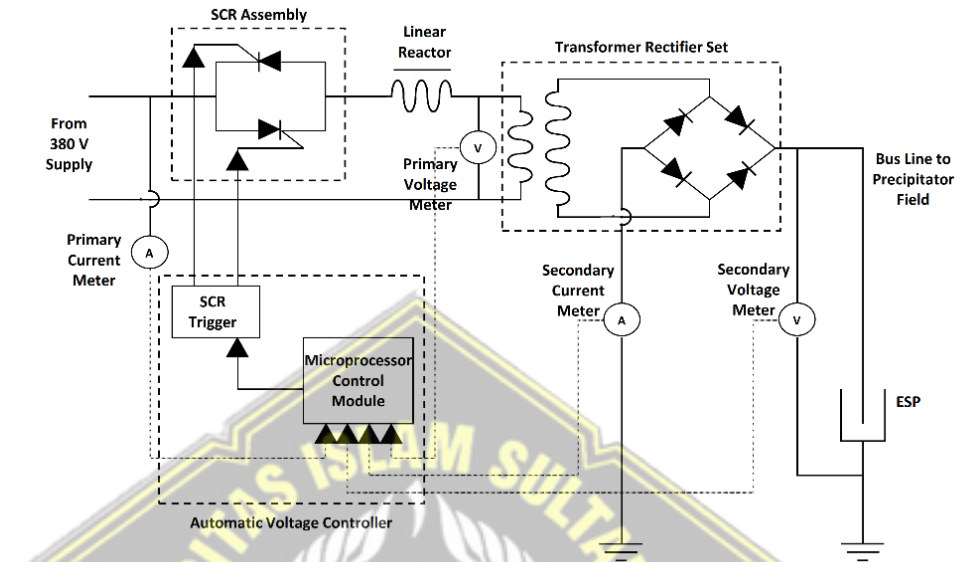


Gambar 2.17 Komponen pada Hopper ESP

6) Power Supply (Catu Daya)

Catu daya ESP menggunakan tegangan DC yang berasal dari tegangan sumber AC (pada PLTU Tanjung Jati B menggunakan tegangan sumber 380 VAC). Tegangan tersebut kemudian melewati SCR sebelum menuju

transformer-rectifier set untuk di *step-up* dan disearahkan menjadi tegangan DC. Terdapat pula AVG (*Automatic Voltage Controller*) untuk mengatur *setting* tegangan DC dan arus sekunder pada *output transformer-rectifier*. Rangkaian catu daya ESP dapat dilihat pada Gambar 2.18.



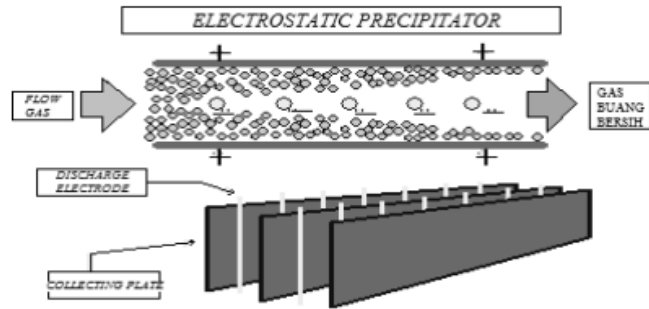
Gambar 2.18 Rangkaian Catu Daya ESP

2.2.3.4 Prinsip Kerja ESP

Adapun prinsip kerja ESP [27] dibagi menjadi 3, yaitu:

a. *Charging of Particles* (Memberi Muatan pada Partikel)

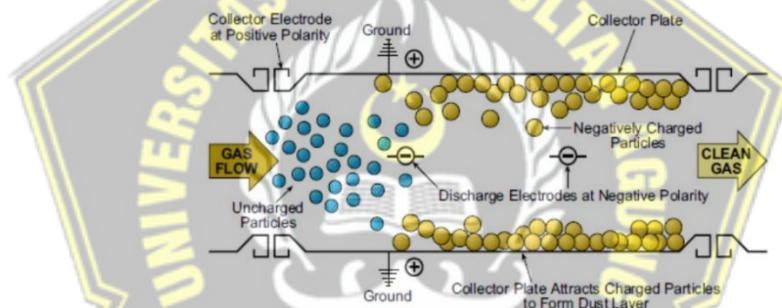
Discharge electrode diberi muatan listrik di dalam ESP. Medan listrik yang sangat dekat dengan *discharge electrode* mengisi partikel abu terbang. Pelepasan korona (*corona discharge*) biasanya berfungsi sebagai indikator medan listrik ini. Sumber ion unipolar yang bergerak menuju *collecting electrode* disediakan oleh *corona discharge*. Muatan ruang unipolar mengisi ruang kosong yang ada antara pelepasan dan elektroda pengumpul. Ruang ini dilintasi oleh partikel *fly ash*, yang akan menyerap ion yang ada dan menjadi bermuatan tinggi sebagai hasilnya. Ilustrasi proses pemberian muatan pada partikel dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Proses Pemberian Muatan Pada Partikel

b. Particle Collecting (Pengumpulan Partikel)

Discharge electrode bermuatan positif akan menarik partikel abu untuk menempel pada pelat pengumpul setelah elektroda pelepasan telah memberikan muatan negatif pada partikel abu terbang sehingga gas (udara) bersih bebas abu yang keluar dari ESP adalah gas buang. Ilustrasi proses pengumpulan partikel dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Proses Pengumpulan Partikel

c. Transporting of Collected Materials (Pengangkutan Material yang Terkumpul)

Setelah beberapa waktu, pengumpulan dan pelepasan elektroda akan dipenuhi oleh partikel. *Rapper* digunakan untuk menyingkirkan partikel-partikel ini. *Rapper* akan menggetarkan kedua elektroda ini saat sedang berjalan, menyebabkan partikel yang menempel padanya jatuh ke dasar presipitator elektrostatis, atau hopper. *Vacuum blower* akan menarik abu ke dalam silo abu dari *hopper*. *Rapper* memukul partikel satu per satu, bergiliran pada waktu yang telah ditentukan.

2.2.3.5 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja ESP

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja ESP [16], diantaranya:

a. Resistifitas Partikel

Resistivitas partikel mengukur resistansi partikel terhadap listrik, dapat digunakan untuk menentukan seberapa cepat partikel bergerak. Resistifitas memiliki dampak yang signifikan terhadap efektivitas ESP. Resistivitas diukur dalam Ωcm .

b. Ukuran Partikel

Partikel debu dengan ukuran lebih besar lebih mungkin terkena ion gas, yang pada gilirannya meningkatkan muatannya. Akibatnya partikel akan bergerak lebih cepat menuju elektroda positif (*collecting plate*). Partikel yang lebih besar dari satu mikrometer termasuk dalam kategori ini.

c. Pengaruh Temperatur

Jika temperatur naik maka kuat medan listrik akan turun dan daya penangkapan debu juga turun sehingga berakibat pada turunnya efisiensi ESP.

d. Pengaruh Spark

Spark biasanya muncul jika lapisan *fly ash* pada permukaan *collecting electrode* terlalu tebal.

2.2.3.6 Perhitungan Kinerja ESP

a. Proses Pembentukan Medan Listrik

Elektroda pelepasan bermuatan negatif dan pelat bermuatan positif adalah dua jenis elektroda. Jarak yang telah ditentukan memisahkan elektroda pelepasan dari pelat pengumpul. Listrik arus searah (DC) dengan muatan negatif dialirkan ke elektroda pelepasan pada tegangan 20 hingga 85 kV DC (sumber daya awal 380 V AC).

b. Perhitungan Kuat Medan Listrik

Kuat medan listrik adalah jumlah gaya listrik yang diperlukan untuk menciptakan medan listrik, atau efek yang disebabkan oleh adanya muatan listrik seperti ion, proton, dan elektron di sekitar partikel listrik.

Kuat medan *precipitator* pada ESP dipengaruhi oleh besarnya kuat medan listrik. Kekuatan medan listrik dan kekuatan medan *precipitator* juga identik. Besarnya tegangan keluaran transformer mempengaruhi kuat medan listrik dan kuat medan *precipitator*. Dalam hal ini dapat kita jelaskan dengan persamaan 2.1 yaitu:

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

Dimana:

E = Kuat medan listrik (V/m)

V = Tegangan *output* transformer (V)

d = Jarak antara *discharge electrode* dengan *collecting plate* (m)

c. Perhitungan Luas Efektif *Collecting Plate*

Perhitungan luas satu permukaan *collecting plate* dirumuskan oleh persamaan:

$$A = p \times l \times 2 \text{ (permukaan)} \quad (2.2)$$

Dimana:

A = Luas *collecting plate* (m²)

p = Panjang pelat (m)

l = Luas pelat (m)

Sedangkan perhitungan banyak *collecting plate* dirumuskan oleh persamaan:

$$\text{Baris} \times \text{Kolom} \times \text{Field} \times \text{Jumlah ESP} \quad (2.3)$$

Sehingga untuk mencari luas efektif *collecting plate* dirumuskan menggunakan persamaan:

$$A = \text{Luas permukaan} \times \text{Jumlah collecting plate} \quad (2.4)$$

d. Perhitungan Luas Spesifik *Collecting Plate*

Perhitungan luas spesifik *collecting plate* dirumuskan oleh persamaan:

$$SCA = \frac{\text{Jumlah luas permukaan collecting plate (m}^2\text{)}}{\text{Kapasitas aliran gas buang } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)} \quad (2.5)$$

e. Perhitungan Aspek Rasio (AR)

Perhitungan nilai aspek rasio dirumuskan oleh persamaan:

$$AR = \frac{\text{Panjang efektif pelat pengumpul (m)}}{\text{Tinggi efektif pelat pengumpul (m)}} \quad (2.6)$$

Untuk mencari panjang efektif pelat pengumpul menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah susunan memanjang} \times \text{Lebar pelat} \times 3 \quad (2.7)$$

f. Kecepatan Migrasi Partikel (ω) [27]

Kecepatan migrasi partikel adalah kecepatan gerak partikel ketika diberi muatan negatif bergerak menuju elektroda plat pengumpul. Variabel yang mempengaruhinya yaitu ukuran partikel, kuat medan listrik dan viskositas gas. Sehingga kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2 K_0 p a a E_c E_p}{3 \mu} \quad (2.8)$$

Dimana:

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

p = Tekanan (1 atm)

a = Jari-jari partikel (m)

E_c = Kuat medan listrik (V/m)

E_p = Kuat medan precipitator (V/m)

(Dapat dianggap bahwa $E_c = E_p = E$)

μ = Viskositas gas

K_0 = Permittivity ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)

Adapun persamaan lain untuk mencari kecepatan migrasi, yaitu:

$$\omega = -\frac{Q}{A} \times \ln(1 - \eta) \quad (2.9)$$

Dimana:

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

Q = Laju aliran gas (m³/s)

A = Luas media penangkap (m²)

η = Efisiensi ESP (%)

g. Efisiensi Pengumpulan Partikel

Efisiensi pengumpulan partikel dari sebuah ESP ini dikenal sebagai persamaan Deutsch-Anderson [27]. Adapun persamaan Deutsch-Anderson sebagai berikut:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{wA}{Q}\right)} \quad (2.10)$$

Dimana:

η = Efisiensi ESP (%)

w = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

A = Luas media penangkapan (m²)

Q = Laju aliran gas (m³/s)

e = Bilangan napier



BAB III METODE PENELITIAN

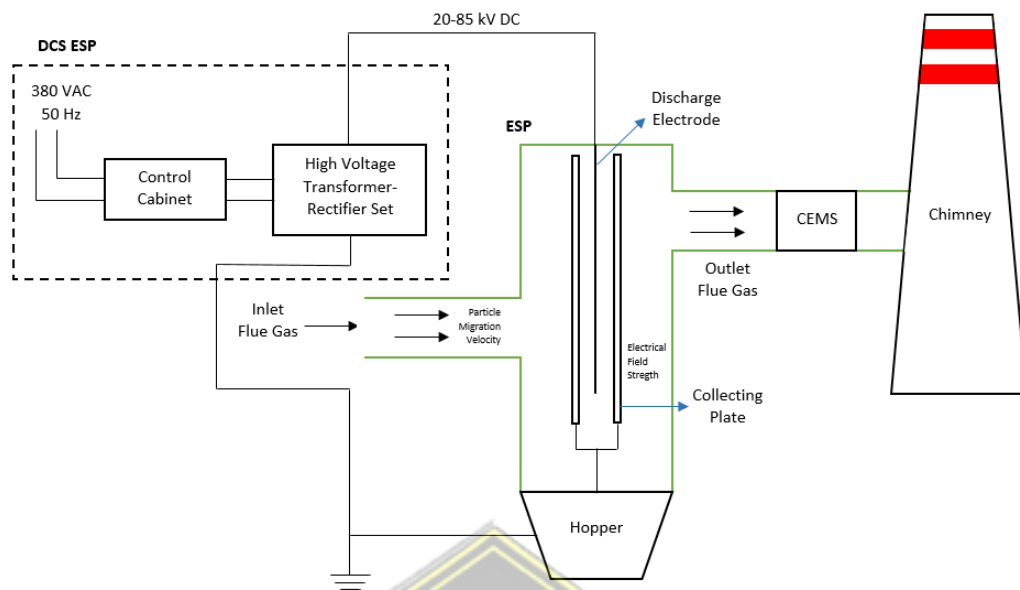
3.1 Model Penelitian

Penelitian diawali dengan menentukan lokasi penelitian, observasi lapangan, kemudian pengumpulan data. Terdapat dua data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data aktual yang didapat dari lokasi penelitian secara langsung, sedangkan data sekunder merupakan pengumpulan data-data dari buku, jurnal, ataupun penelitian yang pernah dilakukan mengenai *Electrostatic Precipitator* (ESP).

Data primer yang akan diolah adalah data transformer DCS ESP (berupa tegangan, arus, dan daya), spesifikasi ESP (berupa dimensi *collecting plate* dan kapasitas gas buang). Data tersebut diolah untuk menentukan kuat medan listrik dan kecepatan migrasi partikel pada ESP yang berguna untuk mencari efisiensi ESP.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode analisa, dimana sumber data primer maupun sekunder diambil kemudian diolah dan dianalisa untuk menentukan kinerja dari ESP yang berupa efisiensi berdasarkan setting arus sekunder.

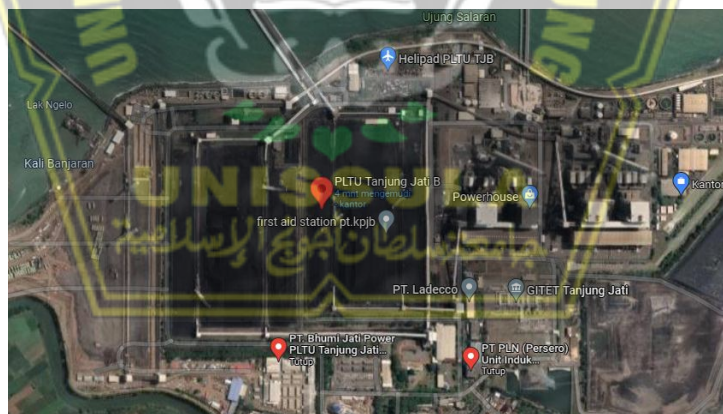
Dapat dilihat pada Gambar 3.1 bahwa *inlet flue gas* menuju ke dalam ESP yang terdapat *discharge electrode* dan *collecting plate*. *Discharge electrode* diberi tegangan oleh transformer yang diatur oleh DCS ESP. Pada penelitian kali ini akan ditentukan setting arus sekunder pada transformer agar efisiensi yang dihasilkan berada diatas 90%. Setelah didapat efisiensi kemudian dilakukan perbandingan terhadap parameter pada CEMS yaitu partikulat dan opasitas untuk dicari hubungan antara keduanya.



Gambar 3.1 Model Penelitian

3.2 Obyek Penelitian

Obyek pada penelitian kali ini adalah ESP pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3. PLTU Tanjung Jati B terletak di Desa Kembang, Kecamatan Tubanan, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah seperti dapat dilihat pada Gambar 3.2 melalui Google Maps.



Gambar 3.2 Lokasi PLTU Tanjung Jati B

3.3 Alat dan Peralatan Penelitian

Alat dan peralatan berfungsi untuk membantu jalannya penelitian agar dapat selesai dengan baik. Ada beberapa alat dan peralatan yang digunakan yaitu:

1. PC/Laptop

PC/laptop digunakan sebagai media pengolah dan perhitungan data serta penyusunan laporan tugas akhir.

2. DCS ESP

DCS (*Distributed Control System*) merupakan unit PC pada ruang kontrol ESP yang digunakan untuk memantau parameter-parameter pada transformer ESP. Pada tugas akhir ini, DCS digunakan untuk mengambil data transformer ESP.

3. CEMS Online

CEMS (*Continous Emission Monitoring System*) merupakan sistem pemantauan emisi berkelanjutan yang digunakan sebagai alat untuk memantau aliran gas buang yang dihasilkan oleh *boiler*. Pada tugas akhir ini mengambil data emisi dari CEMS PLTU Tanjung Jati B secara *online*.

3.4 Data Penelitian

Terdapat dua data pada penelitian kali ini yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh langsung dari lokasi penelitian yaitu PLTU Tanjung Jati B. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber lain seperti jurnal, buku, maupun penelitian yang berhubungan dengan ESP. Data primer yang diperoleh dari lokasi penelitian meliputi:

1. Spesifikasi ESP
2. Parameter transformer ESP : tegangan, arus, dan daya
3. Parameter CEMS : laju aliran gas, partikulat, dan opasitas

Data primer tersebut merupakan data utama dalam melakukan perhitungan untuk mencari nilai efisiensi ESP. Data-data tersebut diambil dalam kurun waktu 30 hari. Untuk lebih jelas mengenai data yang akan diambil dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Penelitian

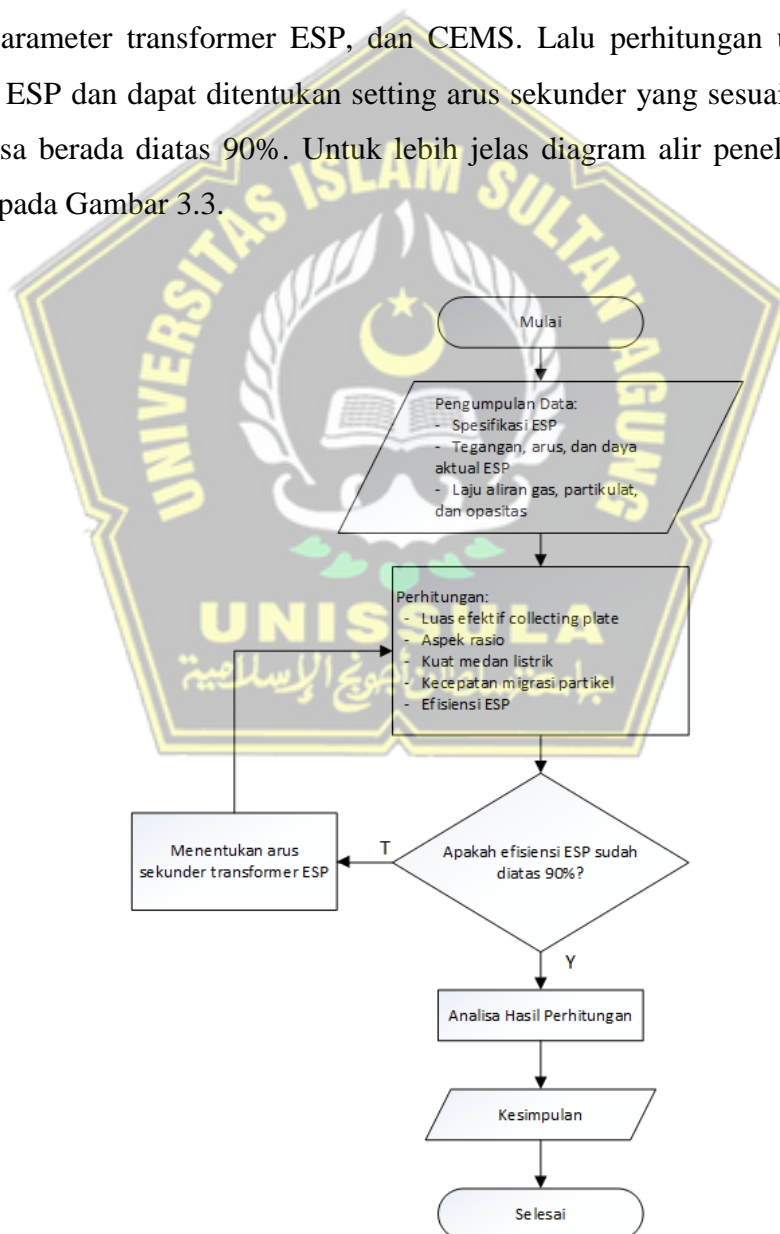
No	Deskripsi	Satuan
1	Nilai arus primer transformer ESP	A
2	Nilai arus sekunder transformer ESP	mA
3	Nilai tegangan primer transformer ESP	V AC
4	Nilai tegangan sekunder transformer ESP	kV DC
5	Daya transformer ESP	kW
6	Panjang <i>collecting plate</i>	m

7	Lebar <i>collecting plate</i>	m
8	Jarak antar <i>collecting plate</i>	m
9	Kapasitas aliran gas buang	m ³ /s
10	Partikulat	mg/Nm ³
11	Opasitas	%

Sumber : PLTU Tanjung Jati B Unit 3

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini menjelaskan tentang tahap-tahap penelitian mulai dari pengambilan data meliputi data-data primer dan sekunder seperti spesifikasi ESP, parameter transformer ESP, dan CEMS. Lalu perhitungan untuk mencari kinerja ESP dan dapat ditentukan setting arus sekunder yang sesuai agar efisiensi ESP bisa berada diatas 90%. Untuk lebih jelas diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.6 Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menentukan lokasi penelitian yang akan diambil datanya, disini ditentukan berada di ESP PLTU Tanjung Jati B Unit 3.
2. Menentukan metode penelitian.
3. Menentukan parameter awal yang akan diambil yaitu: dimensi *collecting plate* ESP, tegangan dan arus transformer ESP, serta laju aliran gas, partikulat, dan opasitas pada CEMS.
4. Melakukan perhitungan luas efektif *collecting plate*, luas spesifik *collecting plate* (*Specific Collecting Area*), dan aspek rasio.
5. Melakukan perhitungan kecepatan migrasi partikel, kuat medan listrik, dan efisiensi ESP berdasarkan desain ESP.
6. Melakukan perhitungan kecepatan migrasi partikel, kuat medan listrik, dan efisiensi ESP berdasarkan data aktual.
7. Menganalisa hasil perhitungan efisiensi ESP, jika kurang dari 90% maka akan diberi setting arus sekunder yang baru agar efisiensi bisa berada diatas 90%.
8. Setelah didapat efisiensi diatas 90%, maka dianalisa dan dibandingkan nilai arus sekunder, kuat medan listrik, efisiensi, serta daya transformer sebelum dan sesudah setting rekomendasi.
9. Menganalisa dan membandingkan hasil perhitungan efisiensi awal dengan parameter pada CEMS.
10. Menarik kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Parameter karakteristik *Electrostatic Precipitator* (ESP) PLTU Tanjung Jati B Unit 3 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Karakteristik ESP PLTU Tanjung Jati B Unit 3

No.	Parameter Name	Unit	Value
1	ESP model	—	2FAA4x45M-2x160-150
2	flow area	m ²	2x480
3	gas volume	m ³ /h	3840448
4	inlet dust volume	g/Nm ³	5.7
5	gas temperature	°C	140
6	collecting plate model	—	480C
7	discharge electrode model	—	RSB wire for field 1 & 2. Spiral wire for field 3 & 4.
8	collecting rapping model	—	rotating heavy hammer side rapping
9	emitting rapping model	—	top mechanical side rapping
10	proper resistance	mbar	2.45
11	proper air leakage rate	%	<3
12	guarantee dedusting efficiency	%	>99.18

Sumber : *Manual Book* ESP PT. KPJB PLTU Tanjung Jati B Unit 3

4.1 Perhitungan

4.1.1 Luas Efektif *Collecting Plate*

Luas efektif *collecting plate* merupakan salah satu indikator dalam menentukan nilai efisiensi ESP. Dibawah dijelaskan luas *collecting plate* yaitu:

Diketahui:

$$\text{Panjang } collecting \text{ plate} = 15,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } collecting \text{ plate} = 4,48 \text{ m}$$

Sehingga dihitung melalui persamaan (2.2) didapat:

$$A = p \times l \times 2 \text{ (permukaan)}$$

$$A = 15,05 \times 4,48 \times 2$$

$$A = 134,85 \text{ m}^2$$

Jadi luas *collecting plate* adalah 134,85 m². Untuk menghitung banyaknya *collecting plate* dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$\begin{aligned} & \text{Baris} \times \text{Kolom} \times \text{Field} \times \text{Jumlah ESP} \\ & = 1 \times 40 \times 4 \times 4 \\ & = 640 \end{aligned}$$

Jadi banyaknya *collecting plate* pada ESP yaitu 640 pelat. Sehingga luas efektif *collecting plate* dapat dihitung melalui persamaan (2.4) yaitu:

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas Permukaan Pelat} \times \text{Jumlah Collecting Plate} \\ A &= 134,85 \times 640 \\ A &= 86.304 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi luas efektif *collecting plate* adalah 86.304 m²

4.1.2 Luas Spesifik *Collecting Plate*

Luas spesifik *collecting plate* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5) yaitu:

Diketahui:

$$\begin{aligned} A &= 86.304 \text{ m}^2 \\ Q &= 3.840.448 \text{ m}^3/\text{h} = 1.066,79 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \text{SCA} &= \frac{\text{Jumlah luas permukaan pelat pengumpul (m}^2\text{)}}{\text{Kapasitas aliran gas buang (m}^3\text{/h)}} \\ \text{SCA} &= \frac{86.304 \text{ (m}^2\text{)}}{1067 \text{ (m}^3\text{/h)}} \\ \text{SCA} &= 80,88 \text{ (m}^2\text{)/(m}^3\text{/h)} \end{aligned}$$

Nilai SCA untuk ESP masih dalam kategori (*range*) desain SCA secara umum yaitu 19 – 95 m²/(m³/h).

4.1.3 Aspek Rasio

Aspek rasio diketahui dari panjang efektif *collecting plate* ESP dibagi dengan tinggi efektif *collecting plate* ESP. Dimana berdasarkan desain didapat:

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif } \textit{collecting plate} &= 8,24 \times 2 \\ &= 16,48 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Lebar efektif collecting plate} = 15,45 \text{ m}$$

Sehingga untuk menghitung nilai aspek rasio ditentukan oleh persamaan (2.6) yaitu sebagai berikut :

$$AR = \frac{\text{Panjang efektif collecting plate (m)}}{\text{Lebar efektif collecting plate (m)}}$$

$$AR = \frac{16,48}{15,45}$$

$$AR = 1,06$$

Dari perhitungan Aspek Rasio-nya adalah 1,06 masih berada dalam *range* desain ESP yaitu 0,5 – 2,0.

4.1.4 Kecepatan Migrasi Partikel

ESP pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3 dirancang untuk efisiensi 99,18%, maka kecepatan migrasi partikelnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10) yaitu :

Diketahui:

$$Q = 1.067 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

Maka:

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta)$$

$$\omega = -\frac{1.067}{86.304} \ln(1 - 0,9918)$$

$$\omega = 0,05938 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan migrasi partikel berdasarkan desain adalah 0,0594 m/s.

4.1.5 Kuat Medan Listrik

Perhitungan kuat medan listrik yang dibutuhkan dengan kecepatan migrasi partikel sebesar 0,0594 m/s dapat menggunakan persamaan (2.9) yaitu :

Diketahui:

$$\omega = 0,0594 \text{ m/s}$$

$$\mu = 1,8 \times 10^{-5}$$

$$K_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$p = 1 \text{ atm}$$

$$a = 1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Maka:

$$E^2 = \frac{3\omega\mu}{2K_0\rho a}$$

$$E^2 = \frac{3 \times 0,0594 \times (1,8 \times 10^{-5})}{2 \times (8,85 \times 10^{-12}) \times (1 \times 10^{-6})}$$

$$E^2 = 181.220.338.983,051$$

$$E = \sqrt{181.220.338.983,051}$$

$$E = 425.700 \text{ V/m}$$

Maka besar tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan kuat medan listrik seperti diatas dapat dihitung dengan persamaan (2.1) yaitu:

Diketahui:

$$E = 425.700 \text{ V/m}$$

$$d = 0,2 \text{ m}$$

Maka:

$$V = E \times d$$

$$V = 425.700 \times 0,2$$

$$V = 85.140 \text{ V}$$

$$V = 85,14 \text{ kV}$$

Jadi kuat besar tegangan yang diperlukan untuk menimbulkan kuat medan listrik agar ESP dapat bekerja maksimal berdasarkan desain adalah 85,14 kV.

4.1.6 Efisiensi ESP

Untuk menghitung efisiensi berdasarkan desain dapat menggunakan persamaan (2.11) yaitu:

Diketahui:

$$e = 2,7183$$

$$\omega = 0,0594 \text{ m/s}$$

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.067 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{Q}\right)}$$

$$\eta = 1 - (2,7183)^{-\left(\frac{0,0594 \times 86.304}{1.067}\right)}$$

$$\eta = 1 - (2,7183)^{-(4,805)}$$

$$\eta = 0,9918$$

$$\eta = 99,18\%$$

Jadi efisiensi ESP PLTU Tanjung Jati B didapat sebesar 99,18% sesuai dengan desain.

Untuk mengetahui hasil efisiensi dan kecepatan migrasi partikel pada kondisi aktual dapat dilihat pada Tabel 4.2 dengan diketahui $e = 2,7183$, $A = 86.304 \text{ m}^2$, $K_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, $a = 10^{-6} \text{ m}$, dan $\mu = 1,8 \times 10^{-5}$.

Tabel 4.2 Data Aktual Transformasi ESP

No	Tanggal	I ₁ (A)	V ₁ (V)	I ₂ (mA)	V ₂ (kV)	Daya (kW)
1	23/11/22	117,56	340,13	375,00	34,56	16,69
2	26/11/22	121,31	338,94	387,50	36,50	16,94
3	28/11/22	120,38	338,19	387,50	37,19	17,25
4	29/11/22	120,69	338,63	390,63	37,38	16,50
5	30/11/22	119,13	340,13	375,00	35,88	15,50
6	01/12/22	121,31	339,63	390,63	36,44	16,06
7	02/12/22	120,06	338,13	387,50	35,69	15,63
8	05/12/22	116,31	339,94	371,88	36,31	15,13
9	06/12/22	123,50	338,88	396,88	36,38	17,00
10	07/12/22	123,19	338,06	393,75	36,56	17,19
11	08/12/22	125,38	338,81	409,38	38,00	17,75
12	09/12/22	126,31	339,06	406,25	36,69	18,25
13	12/12/22	125,06	338,69	403,13	33,31	17,13
14	13/12/22	124,44	339,38	396,88	35,88	16,50
15	14/12/22	119,75	338,56	378,13	36,31	16,56
16	15/12/22	125,06	339,38	409,38	36,81	17,44
17	16/12/22	123,50	339,00	412,50	37,69	18,31
18	17/12/22	122,56	339,63	384,38	36,50	16,06
19	18/12/22	113,81	339,75	368,75	34,69	15,81

20	20/12/22	118,50	339,88	381,25	35,31	16,44
21	21/12/22	122,56	340,25	393,75	36,63	16,69
22	22/12/22	127,56	340,44	415,63	35,94	17,06
23	23/12/22	129,13	339,25	418,75	35,75	17,63
24	24/12/22	120,38	340,13	406,25	34,69	16,88
25	26/12/22	124,13	339,81	403,13	33,94	16,31
26	27/12/22	124,75	339,56	412,50	35,56	16,81
27	28/12/22	124,13	338,81	415,63	36,00	17,06
28	29/12/22	127,56	338,94	421,88	35,88	17,19
29	30/12/22	128,81	339,25	431,25	35,81	17,69
30	31/12/22	126,63	339,88	425,00	36,00	17,75
Rata-rata		122,78	339,30	398,33	36,01	16,84

Sumber : DCS ESP PLTU Tanjung Jati B Unit 3

Tabel 4.2 diatas merupakan data aktual yang diambil dari transformer ESP PLTU Tanjung Jati B Unit 3. Dapat dilihat bahwa arus sekunder (*secondary current*) aktual rata-rata sebesar 339,30 mA menghasilkan tegangan sekunder (*secondary voltage*) sebesar 36,01 kV dan daya sebesar 16,84 kW.

Setelah mengetahui arus sekunder dan tegangan sekunder, maka dicari nilai kuat medan listrik, kecepatan migrasi partikel, serta efisiensi ESP yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik, Kecepatan Migrasi Partikel dan Efisiensi ESP Berdasarkan Kondisi Aktual

No	Tanggal	EP (V/m)	Q (m ³ /s)	ω (m/s)	η (%)
1	23/11/22	172.813	718,94	0,00998	69,84%
2	26/11/22	182.500	715,08	0,01114	73,92%
3	28/11/22	185.938	718,73	0,01156	75,04%
4	29/11/22	186.875	728,34	0,01168	74,93%
5	30/11/22	179.375	699,63	0,01076	73,47%
6	01/12/22	182.188	698,23	0,01110	74,63%
7	02/12/22	178.438	717,33	0,01065	72,22%

8	05/12/22	181.563	706,21	0,01102	73,99%
9	06/12/22	181.875	707,50	0,01106	74,05%
10	07/12/22	182.813	726,48	0,01117	73,48%
11	08/12/22	190.000	721,86	0,01207	76,38%
12	09/12/22	183.438	731,50	0,01125	73,48%
13	12/12/22	166.563	689,10	0,00928	68,70%
14	13/12/22	179.375	732,13	0,01076	71,86%
15	14/12/22	181.563	744,83	0,01102	72,11%
16	15/12/22	184.063	736,58	0,01133	73,48%
17	16/12/22	188.438	747,90	0,01187	74,59%
18	17/12/22	182.500	727,62	0,01114	73,31%
19	18/12/22	173.438	703,96	0,01006	70,86%
20	20/12/22	176.563	714,41	0,01042	71,61%
21	21/12/22	183.125	721,42	0,01121	73,85%
22	22/12/22	179.688	730,48	0,01079	72,07%
23	23/12/22	178.750	736,32	0,01068	71,41%
24	24/12/22	173.438	726,13	0,01006	69,74%
25	26/12/22	169.688	719,76	0,00963	68,47%
26	27/12/22	177.813	724,29	0,01057	71,62%
27	28/12/22	180.000	730,47	0,01083	72,19%
28	29/12/22	179.375	726,36	0,01076	72,14%
29	30/12/22	179.063	734,73	0,01072	71,61%
30	31/12/22	180.000	700,60	0,01083	73,67%
Rata-rata		180.042	721,23	0,01085	72,62%

Pada Tabel 4.3 diatas, didapat rata-rata kuat medan listrik (EP) sebesar 180.042 V/m, kecepatan migrasi partikel (ω) sebesar 0,01085 m/s dan efisiensi (η) sebesar 72,62%. Karena nilai efisiensi yang masih jauh dari desain ESP sebesar 99,18%, maka akan diberi setting arus sekunder yang sesuai agar efisiensi berada diatas 90% atau mendekati maksimal. Hasil setting arus sekunder rekomendasi transformer ESP dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Transformer ESP Berdasarkan Setting Arus Sekunder Rekomendasi

No	Tanggal	I₁ (A)	V₁ (V)	I₂ (mA)	V₂ (kV)	Daya (kW)
1	23/11/22	190,75	339,75	706,25	48,88	33,88
2	26/11/22	192,00	339,63	712,50	48,81	34,06
3	28/11/22	190,38	339,63	703,13	48,75	33,69
4	29/11/22	193,75	339,88	718,75	48,94	34,63
5	30/11/22	190,38	340,38	703,13	47,81	33,69
6	01/12/22	191,63	340,25	709,38	47,81	34,06
7	02/12/22	192,88	340,13	715,63	47,94	34,50
8	05/12/22	191,63	339,88	709,38	48,19	33,81
9	06/12/22	195,63	340,75	728,13	48,31	35,13
10	07/12/22	190,38	339,75	703,13	48,69	33,69
11	08/12/22	193,75	340,19	718,75	48,81	34,63
12	09/12/22	192,00	339,81	712,50	48,63	34,63
13	12/12/22	194,38	339,44	721,88	47,75	34,75
14	13/12/22	193,75	340,63	718,75	49,31	34,38
15	14/12/22	190,75	339,38	706,25	48,81	34,19
16	15/12/22	191,63	339,50	709,38	49,13	33,94
17	16/12/22	189,50	339,88	700,00	49,44	33,56
18	17/12/22	190,13	339,25	703,13	49,06	33,75
19	18/12/22	191,00	339,75	706,25	48,31	33,88
20	20/12/22	191,38	339,38	709,38	48,56	34,13
21	21/12/22	190,13	339,94	706,25	48,69	33,69
22	22/12/22	192,88	340,31	715,63	49,06	34,19
23	23/12/22	192,25	339,69	712,50	49,25	34,13
24	24/12/22	193,88	340,25	721,88	49,00	34,69
25	26/12/22	196,00	339,94	731,25	48,88	35,31
26	27/12/22	193,75	340,06	718,75	48,69	34,38
27	28/12/22	192,63	340,38	715,63	48,94	34,81

28	29/12/22	191,38	339,75	712,50	49,00	34,13
29	30/12/22	192,88	340,69	715,63	48,75	34,44
30	31/12/22	191,63	339,75	709,38	48,25	34,13
Rata-rata		192,17	339,93	712,50	48,68	34,23

Maka berdasarkan Tabel 4.4, hasil perhitungan kuat medan listrik, kecepatan migrasi partikel, dan efisiensi ESP rekomendasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

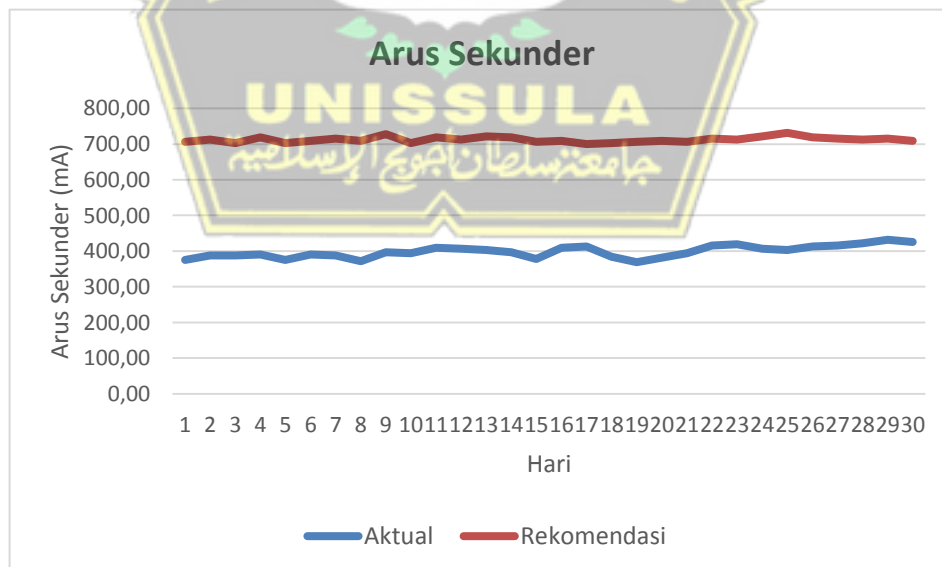
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik, Kecepatan Migrasi Partikel dan Efisiensi ESP Berdasarkan Setting Arus Sekunder Rekomendasi

No	Tanggal	EP (V/m)	Q (m ³ /s)	ω (m/s)	η (%)
1	23/11/22	244.375	718,94	0,01997	90,90%
2	26/11/22	244.063	715,08	0,01992	90,96%
3	28/11/22	243.750	718,73	0,01986	90,79%
4	29/11/22	244.688	728,34	0,02002	90,67%
5	30/11/22	239.063	699,63	0,01911	90,53%
6	01/12/22	239.063	698,23	0,01911	90,57%
7	02/12/22	239.688	717,33	0,01921	90,08%
8	05/12/22	240.938	706,21	0,01941	90,67%
9	06/12/22	241.563	707,50	0,01951	90,74%
10	07/12/22	243.438	726,48	0,01981	90,50%
11	08/12/22	244.063	721,86	0,01992	90,75%
12	09/12/22	243.125	731,50	0,01976	90,29%
13	12/12/22	238.750	689,10	0,01906	90,81%
14	13/12/22	246.563	732,13	0,02033	90,89%
15	14/12/22	244.063	744,83	0,01992	90,05%
16	15/12/22	245.625	736,58	0,02017	90,59%
17	16/12/22	247.188	747,90	0,02043	90,53%
18	17/12/22	245.313	727,62	0,02012	90,80%
19	18/12/22	241.563	703,96	0,01951	90,85%
20	20/12/22	242.813	714,41	0,01971	90,76%

21	21/12/22	243.438	721,42	0,01981	90,65%
22	22/12/22	245.313	730,48	0,02012	90,72%
23	23/12/22	246.250	736,32	0,02027	90,71%
24	24/12/22	245.000	726,13	0,02007	90,79%
25	26/12/22	244.375	719,76	0,01997	90,87%
26	27/12/22	243.438	724,29	0,01981	90,57%
27	28/12/22	244.688	730,47	0,02002	90,61%
28	29/12/22	245.000	726,36	0,02007	90,79%
29	30/12/22	243.750	734,73	0,01986	90,30%
30	31/12/22	241.250	700,60	0,01946	90,90%
Rata-rata		243.406	721,23	0,01981	90,66%

4.2 Analisa

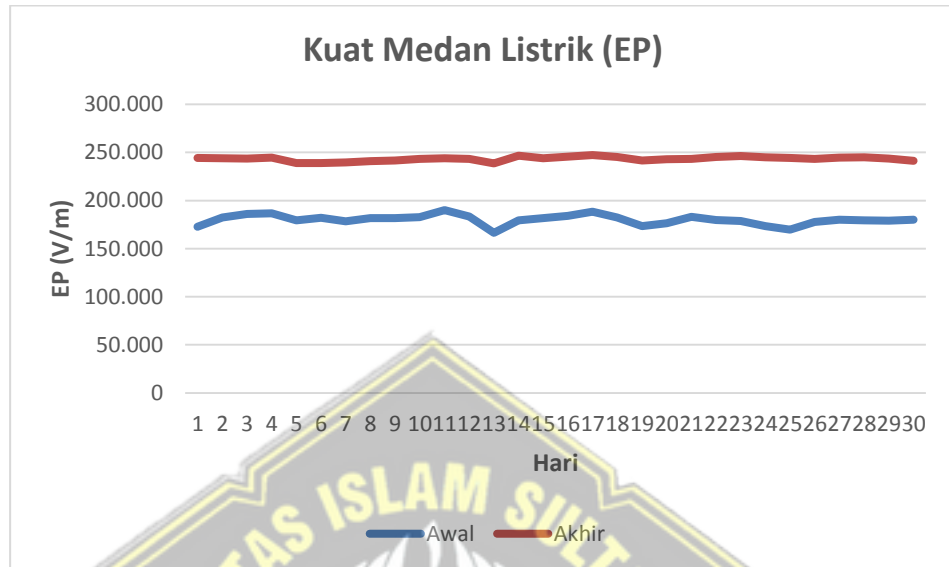
Berdasarkan data pada Tabel 4.3, didapat bahwa efisiensi ESP aktual masih jauh dari desain (99,18%). Maka dari itu diperlukan setting arus sekunder yang baru agar efisiensi ESP berada diatas 90%. Setting arus sekunder awal sebesar 398,33 mA kemudian dinaikkan menjadi 712,50 mA atau naik sebesar 178,87% seperti dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Setting Arus Sekunder Aktual dan Rekomendasi

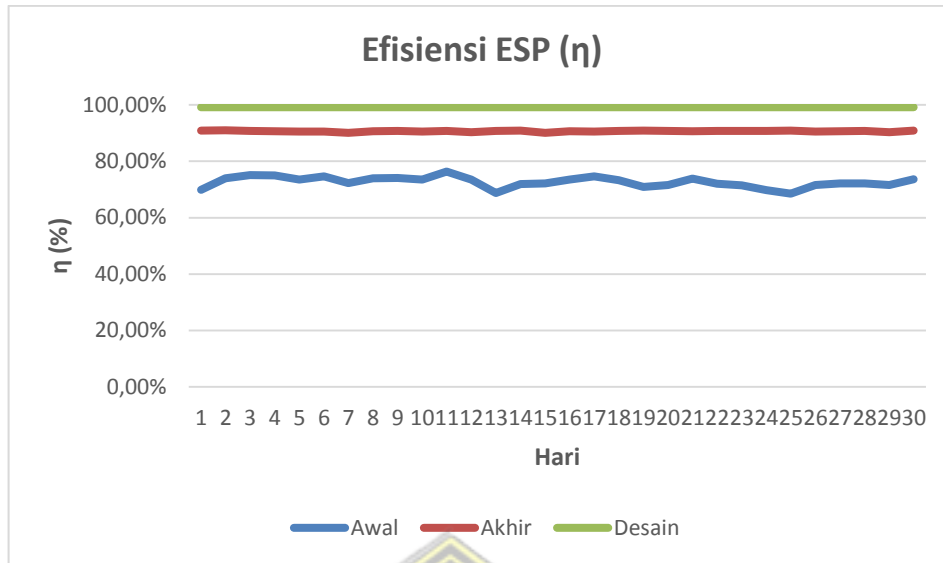
Setting arus sekunder akan mempengaruhi besarnya *secondary voltage* pada transformer yang akan menaikkan kuat medan listrik. Semakin besar kuat medan

listrik maka akan semakin besar pula efisiensinya. Kuat medan listrik awal sebesar 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m atau terjadi kenaikan sebesar 135,19% seperti dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kuat Medan Listrik Awal dan Akhir

Dapat dilihat perbandingan pada Tabel 4.3 dan 4.5, bahwa setting arus sekunder pada transformer ESP mempengaruhi efisiensi ESP tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi setting arus sekunder maka akan mempengaruhi besar *secondary voltage* (V) yang akan menaikkan nilai kuat medan listrik. Kuat medan listrik yang tinggi akan semakin tinggi pula efisiensi ESP. Efisiensi ESP awal sebesar 72,62% berhasil dinaikkan menjadi rata-rata 90,66% seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Efisiensi ESP Awal, Akhir, dan Berdasarkan Desain

Usia transformer yang sudah cukup berumur menjadi salah satu faktor yang menyebabkan efisiensi tidak maksimal sesuai desain yaitu 99,18%. Dengan menaikkan setting arus sekunder, maka efisiensi ESP baru atau rata-rata 90,66% diharapkan dapat mengejar efisiensi ESP berdasarkan desain sehingga transformer ESP masih dapat bekerja dengan optimal.

Faktor lain yang menyebabkan efisiensi kurang maksimal yaitu karena matinya dua transformer ESP. Dua transformer yang trip yaitu B1-2 dan B2-4 (dikarenakan *arching* dan *spark*) semuanya masih dalam tahap perbaikan. Kedua transformer itu memberi pengaruh yang besar terhadap setting arus sekunder rata-rata tiap transformer. Jika kedua transformer tersebut sudah beroperasi dengan normal, maka rata-rata setting arus sekunder transformer ESP yang diperlukan untuk menghasilkan efisiensi 90% akan kurang dari setting arus sekunder rekomendasi yang sekarang (712,50 mA) dan akan mengurangi beban kerja ESP.

Adanya *arching* atau *spark* pada ESP dipengaruhi oleh ketebalan *fly ash* yang menempel pada *collecting plate*. *Fly ash* yang seharusnya di pukul oleh *hammer* atau *rappier* terkadang masih menempel pada *collecting plate* dan menyebabkan percikan arus listrik (*spark*). *Rappier* bekerja pada *sequence* waktu tertentu secara bergantian dan transformer masih dalam keadaan menyala seperti dapat dilihat pada Gambar 4.4. Tanda titik dua pada transformer B1-1 menunjukkan sedang dalam proses *rapping* dan transformer tetap menyala. Maka

dari itu diperlukan perawatan berkala agar *fly ash* yang menempel pada *collecting plate* dapat berkurang.



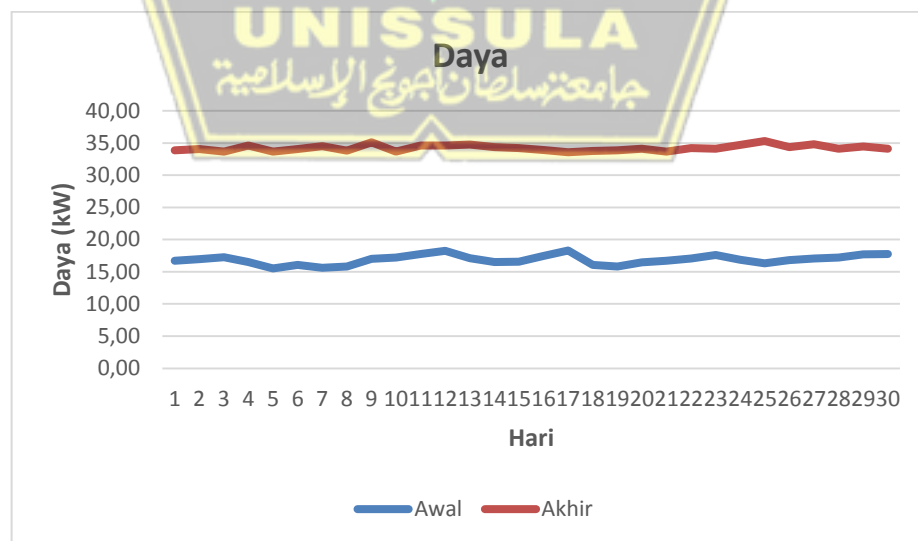
Gambar 4.4 Proses *Rapping* pada Monitor DCS ESP

Daya transformer ESP yang dihasilkan juga berbanding lurus dengan setting arus sekundernya. Dapat dilihat bahwa daya transformer ESP awal sebesar 16,84 kW naik menjadi 34,23 kW. Karena transformer beroperasi selama 24 jam, maka untuk pemakaian kWh adalah:

$$\text{Daya kWh awal} : 16,84 \times 24 = 404,16 \text{ kWh}$$

$$\text{Daya kWh akhir} : 34,23 \times 24 = 851,52 \text{ kWh}$$

Maka semakin tinggi setting arus sekunder maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan oleh transformer ESP seperti dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Daya yang dihasilkan Transformer ESP Awal dan Akhir

Efisiensi ESP juga berhubungan dengan nilai emisi pada gas buang (*flue gas*) yang keluar melalui stack seperti dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hubungan Efisiensi Dengan Emisi

No	Tanggal	Partikulat (mg/Nm ³)	Opasitas (%)	η (%)
1	23/11/22	16,42	6,60%	69,84%
2	26/11/22	10,59	6,38%	73,92%
3	28/11/22	8,28	7,35%	75,04%
4	29/11/22	9,38	7,26%	74,93%
5	30/11/22	9,36	6,49%	73,47%
6	01/12/22	8,89	6,95%	74,63%
7	02/12/22	11,21	7,51%	72,22%
8	05/12/22	9,46	7,59%	73,99%
9	06/12/22	9,50	7,50%	74,05%
10	07/12/22	10,47	7,68%	73,48%
11	08/12/22	8,84	8,94%	76,38%
12	09/12/22	10,20	7,88%	73,48%
13	12/12/22	17,19	7,53%	68,70%
14	13/12/22	14,33	7,58%	71,86%
15	14/12/22	11,22	7,55%	72,11%
16	15/12/22	10,57	7,54%	73,48%
17	16/12/22	9,25	8,33%	74,59%
18	17/12/22	10,38	7,00%	73,31%
19	18/12/22	15,09	7,18%	70,86%
20	20/12/22	14,22	7,06%	71,61%
21	21/12/22	11,82	7,08%	73,85%
22	22/12/22	14,72	7,56%	72,07%
23	23/12/22	15,06	7,19%	71,41%
24	24/12/22	16,44	7,78%	69,74%
25	26/12/22	18,75	7,65%	68,47%
26	27/12/22	14,74	7,79%	71,62%

27	28/12/22	13,64	7,45%	72,19%
28	29/12/22	12,31	7,72%	72,14%
29	30/12/22	12,77	7,52%	71,61%
30	31/12/22	11,93	7,54%	73,67%
Rata-rata		12,23	7,44%	72,62%

Sumber : CEMS PLTU Tanjung Jati B Unit 3

Dari Tabel 4.6 diatas didapatkan bahwa semakin tinggi efisiensi, maka semakin rendah nilai partikulat. Dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan nilai partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi ESP terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dan nilai partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³.

Nilai partikulat yang cenderung tinggi (ditandai dengan angka tercetak tebal) merupakan akibat dari efisiensi ESP yang rendah. Maka dengan menaikkan efisiensi ESP akan mampu mengurangi partikulat atau pencemaran udara akibat debu.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan mengenai Analisa Kinerja *Electrostatic Precipitator* (ESP) Berdasarkan Besar Arus Sekunder Transformer di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 yaitu:

1. Nilai efisiensi *Electrostatic Precipitator* (ESP) di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 bervariasi tergantung besarnya arus pada transformer ESP. Pada kondisi awal nilai efisiensi ESP 72,62% dan setelah di setting pembagian arus sekunder yang baru berubah menjadi 90,66%.
2. Setting arus sekunder pada kondisi awal yaitu 398,33 mA dinaikkan menjadi 712,50 mA atau naik sebesar 178,87% agar nilai efisiensi ESP yang baru bisa berada diatas 90%.
3. Kenaikan setting arus sekunder berpengaruh juga terhadap kenaikan kuat medan listrik yang semula 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m. Naiknya kuat medan listrik menyebabkan kenaikan pula pada efisiensi ESP.
4. Daya transformer juga mengalami kenaikan yang semula 16,84 kW menjadi 34,32 kW. Sedangkan daya kWh awal sebesar 404,16 kWh menjadi 851,52 kWh. Maka semakin tinggi efisiensi ESP semakin tinggi pula daya yang dihasilkan dan biaya kWh yang dikeluarkan.
5. Efisiensi ESP juga berpengaruh terhadap emisi udara dimana semakin tinggi efisiensi ESP maka semakin kecil nilai partikulat. Efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan nilai partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi ESP terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dan nilai partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³.

5.2 Saran

Hasil dari penelitian dapat diusulkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pembahasan mengenai kinerja masih sebatas kinerja ESP saja, diharapkan pada penelitian kedepan untuk membahas kinerja transformer secara spesifik.
2. Setting arus sekunder transformer ESP masih menggunakan metode manual, diharapkan kedepan ada program untuk menentukan setting arus sekunder secara otomatis melalui DCS ESP.
3. Perbaiki transformer ESP yang trip agar dipercepat supaya transformer ESP yang berjumlah 16 unit dapat bekerja semua secara optimal.
4. Diperlukannya program saat proses *rapping/hammering* pada ESP agar sesuai dengan ketebalan debu yang menempel pada *collecting plate* agar lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. A. Dihni, “Konsumsi Listrik Per Kapita Indonesia Capai 1.109 kWh pada Kuartal III 2021,” *Kementerian ESDM*, 2021. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/10/konsumsi-listrik-per-kapita-indonesia-capai-1109-kwh-pada-kuartal-iii-2021> (accessed Mar. 24, 2022).
- [2] F. P. Martha, “Konsumsi Listrik 2021 Meningkatkan Pesat, Melampaui Kapasitas Pra Pandemi,” *Bisnis.com*, 2022. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20220217/44/1501599/konsumsi-listrik-2021-meningkat-pesat-melampaui-kapasitas-pra-pandemi> (accessed Mar. 24, 2022).
- [3] R. Pahlevi, “Listrik Batu Bara Diproyeksikan Bertambah 69.702 GWh hingga 2030,” 2022. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/02/23/listrik-batu-bara-diproyeksikan-bertambah-69702-gwh-hingga-2030> (accessed Mar. 24, 2022).
- [4] O. Endarwati, “61 Persen Sumber Listrik RI Berasal dari Pembangkit Batu Bara,” *IDX Channel*, 2021. <https://www.idxchannel.com/economics/61-persen-sumber-listrik-ri-berasal-dari-pembangkit-batu-bara> (accessed Dec. 27, 2021).
- [5] H. Abbas, “Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di Pltu,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 2, pp. 103–106, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i2.528.
- [6] B. S. Wicaksono, “Emisi PLTU Membahayakan Kesehatan, Apa Saja Zat yang Dihasilkan?,” *Kompas.com*, 2018. <https://pemilu.kompas.com/read/2018/07/19/200900523/emisi-pltu-membahayakan-kesehatan-apa-saja-zat-yang-dihasilkan-> (accessed Dec. 28, 2021).
- [7] K. Thofu, “PLTU: Energi Kotor yang dihasilkan Produksi Listrik Batubara (Hulu dan Hilir),” 2018. <https://www.lbh Bali.or.id/berita/read/121/PLTU:->

ENERGI-KOTOR-YANG-DIHASILKAN-PRODUKSI-LISTRIK-BATUBARA--HULU-DAN-HILIR-.html (accessed Mar. 24, 2022).

- [8] A. Fitrianto, “Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Hasil Perubahan Emisi pada Power Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus di PLTU Lestari Banten Energy),” 2018.
- [9] S. Aryanti, “Dampak Pencemaran Udara (Polusi Udara) terhadap Penyakit Hipertensi,” *Kementerian Kesehatan*, 2019. <http://p2ptm.kemkes.go.id/kegiatan-p2ptm/dki-jakarta/dampak-pencemaran-udara-polusi-udara-terhadap-penyakit-hipertensi> (accessed Dec. 28, 2021).
- [10] A. Welianto, “Pencemaran Lingkungan: Macam, Penyebabnya, dan Dampaknya,” *Kompas.com*, 2020. <https://www.kompas.com/skola/read/2020/02/06/090000969/pencemaran-lingkungan-macam-penyebabnya-dan-dampaknya?page=all> (accessed Dec. 02, 2021).
- [11] Fahrizal, “Kinerja Operasi Electrostatic Precipitator Sebagai Alat Penangkap Debu Boiler Berdasarkan Tegangan Dan Laju Debu,” 2017.
- [12] C. Banton, “Efficiency,” 2020. <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp>.
- [13] K. P. Shah, “Construction , Working , Operation and Maintenance of Electrostatic Precipitators (ESPs),” no. January, pp. 1–91, 2017, [Online]. Available: www.practicalmaintenance.net.
- [14] Winarno, “Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus di PT PJB UBJOM PLTU Paiton,” vol. 14, no. 2, pp. 45–57, 2020.
- [15] L. M. Muttaqim, “Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang Main Engine Kapal Latih BIMASAKTI,” vol. 3, no. 1, 2015.
- [16] N. Afrian, “Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang digunakan terhadap Pulp and Paper,” vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2015.
- [17] Sepfitrah, “Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler,” *J. APTEK*, vol. 7, 2015.

- [18] J. Waruwu, “Analisis Pengaruh Besar Tegangan DC Terhadap Efisiensi Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Proses Penyaringan Partikulat Rotary Kiln (Studi Kasus di PT Toba Pulp Lestari, Tbk),” 2020.
- [19] P. V. Putri, “Desain Steam Power Generation Menggunakan Sistem Longitudinal Water Tube Boiler Untuk Menghasilkan Daya Listrik Kapasitas 1000 Watt,” 2017.
- [20] Feriyanto, “Air and Flue Gas System, Best Practice Experience in Power Plant,” 2015. <https://www.caesarvery.com/2015/06/air-flue-gas-system.html> (accessed Mar. 16, 2022).
- [21] Yesti Nurul Inayah, “Analisis Tingkat Pencemaran Udara Pada Kawasan Terminal Malengkeri Di Kota Makassar,” 2015.
- [22] E. N. Fransiskus Fran, Resti Julia Susanti, “Pemodelan Matematis Untuk Persamaan Beda Potensial Listrik,” *Bimaster Bul. Ilm. Mat. Stat. dan Ter.*, vol. 8, no. 4, pp. 691–698, 2019, doi: 10.26418/bbimst.v8i4.35881.
- [23] R. Amalia and E. Rosmalisa, “Penggunaan Electrostatic Precipitator Untuk Pengolahan Limbah Gas,” 2017.
- [24] S. Rizky, “Rancang Bangun Electrostatic Precipitator Mini Sebagai Penangkap Partikel Asap di Udara,” 2016.
- [25] S. N. Utami, “Transformator: Pengertian, Fungsi, dan Prinsip Kerjanya,” *Kompas.com*, 2022. <https://www.kompas.com/skola/read/2022/02/07/144348069/transformator-pengertian-fungsi-dan-prinsip-kerjanya?page=all> (accessed Mar. 09, 2023).
- [26] D. Kho, “Pengertian Rectifier (Penyearah Gelombang) dan Jenis-jenisnya,” *TeknikElektronika.com*, 2022. <https://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/> (accessed Mar. 09, 2023).
- [27] L. K. Wang, N. C. Pereira, and Y.-T. Hung, *Air Pollution Control Engineering*, vol. 1. New Jersey: Humana Press, 2004.