

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pencemaran udara merupakan salah satu pencemaran yang dikategorikan sebagai pencemaran yang sangat berbahaya dan memberikan dampak yang cukup besar. Hal ini dikarenakan partikel polutan dari pencemaran ini berukuran sangat kecil sehingga tidak disadari oleh masyarakat. Berdasarkan wujud fisiknya, pencemar-pencemar yang terdapat di udara tidak hanya berupa gas atau uap, melainkan dapat juga benda-benda padat sebagai partikel, yaitu berupa debu, asap dan bau. Bertambahnya perindustrian yang muncul saat ini menyebabkan tuntutan akan kebutuhan listrik meningkat. Pada saat ini di Indonesia pembangkit listrik yang paling banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hal ini dikarenakan di Indonesia masih banyak terdapat tambang batubara, minyak bumi dan gas bumi. Namun, yang lebih banyak digunakan adalah batubara, karena jumlahnya masih cukup banyak dibanding dengan minyak bumi dan gas bumi. Batubara adalah mineral organik yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan purba yang mengendap dan selanjutnya berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun, sehingga batubara termasuk dalam kategori bahan bakar fosil. Sehubungan dengan itu maka kelestarian lingkungan sekitarnya harus tetap diperhatikan, karena PLTU dengan bahan bakar batubara dapat menjadi sumber polusi udara apabila sisa pembakaran batubara tidak ditangani dengan baik. Abu sisa pembakaran batubara ini merupakan partikel kecil yang besarnya sebagian besar sekitar $10 \mu\text{m}^2$. Adapun abu hasil pembakaran batubara dalam boiler menghasilkan abu terbang (*Fly ash*) dan abu dasar (*Bottom ash*). Abu terbang disebut *fly ash* adalah material yang tidak bisa terbakar habis dan yang ikut terbawa terbang oleh gas panas. Sedangkan, Abu Dasar (*Bottom ash*) adalah material sisa pembakaran batubara yang tidak terbawa oleh gas panas. Abu terbang hasil pembakaran batubara umumnya dilepaskan

ke atmosfer tanpa adanya pengendalian, sehingga dapat menimbulkan pencemaran udara. Oleh karena itu diperlukan adanya perhatian terhadap lingkungan dan pengendalian pencemaran terhadap abu terbang tersebut sebelum dilepaskan ke alam.

Industri oleokimia merupakan salah satu sektor strategis di Indonesia yang memanfaatkan minyak sawit sebagai bahan baku utama. Dalam proses produksinya, dibutuhkan suplai energi dalam jumlah besar yang sebagian besar dipenuhi oleh pembangkit uap atau boiler. PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri oleokimia dengan kapasitas produksi yang tinggi, sehingga untuk memenuhi energi yang dibutuhkan, perusahaan mengoperasikan boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB) dengan kapasitas 75 ton/jam untuk memenuhi kebutuhan uap proses dan menjalankan turbin uap untuk kebutuhan listrik pabrik. Proses pembakaran di PLTU menghasilkan abu yang mengandung bahan kimia yang berbahaya untuk lingkungan sekitar. Maka untuk itu, sistem pembuangan gas adalah bagian yang sangat penting. Electrostatic precipitator (ESP) adalah alat yang digunakan sebagai alat penangkapan abu (*Ash collection*) di industri yang digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara [1]. Batubara yang proses pembakarannya kurang sempurna pada PLTU menghasilkan gas beracun CO (karbon monoksida), Gas SO_x (sulfur oksida), CO₂ (karbon dioksida), NO_x (nitrogen oksida) merupakan hasil dari pembakaran batu bara yang kurang/tidak sempurna didalam ruang bakar pada boiler serta menghasilkan limbah padat berupa partikulat logam berat SiO₂ (silika) dan debu (bottom ash maupun fly ash) [2]. Electrostatic Precipitator (ESP) yaitu alat pendukung pada PLTU yang berperan untuk menangkap dan menampung abu terbang (Fly Ash) sementara hasil dari pembakaran batubara di ruang bakar boiler yang ikut terbawa Flue Gas/gas buang. Partikel-partikel gas buang sisa hasil pembakaran batubara akan melewati Electrostatic Precipitator untuk ditangkap semaksimal mungkin agar tidak membahayakan dan mencemari lingkungan saat dilepaskan menuju atmosfer [3].

Oleh karena itu, penting dilakukan analisa kinerja Electrostatic Precipitator pada boiler CFB 75 ton/jam di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan untuk mengetahui tingkat efisiensi penangkapan partikel serta kesesuaiannya dengan standar emisi yang berlaku. Berdasarkan latar belakang tersebut penulis melaksanakan penelitian yang berjudul :

**“ANALISA KEMAMPUAN KERJA ELEKTROSTATIC
PRECIPITATOR DALAM MENANGKAP ASH PADA FLUE GAS
HASIL PEMBAKARAN CFB BOILER DI PT. PHPO BELAWAN”**

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan gambaran yang telah diuraikan diatas, maka penulis merumuskan suatu pokok permasalahan yang terkait dengan permasalahan yang ditentukan di lapangan. Adapun rumusan pokok permasalahan adalah :

1. Bagaimana performa ESP berdasarkan parameter operasi aktual pada CFB Boiler PT PHPO Belawan.
2. Bagaimana kecepatan migrasi partikel pada ESP dalam proses penangkapan abu tersebut.
3. Bagaimana efisiensi pengumpulan partikel ESP dalam menangkap ash pada flue gas hasil pembakaran CFB Boiler.

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih mengarahkan pokok pembahasan dalam penyusunan Skripsi ini, maka penulis memberikan batasan cakupan masalah. Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada laporan ini adalah :

1. Pembahasan difokuskan pada ESP unit boiler CFB kapasitas 75 ton/jam di PT. PHPO Belawan.
2. Data yang digunakan merupakan data aktual operasi dan data nameplate pabrikan.
3. Parameter yang dianalisis meliputi: tegangan, arus, kuat medan listrik, kecepatan migrasi partikel, dan efisiensi ESP.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menghitung kecepatan migrasi partikel dan kuat medan listrik pada berbagai variasi tegangan operasi.
2. Menganalisis efisiensi penangkapan partikel pada gas buang hasil pembakaran boiler.
3. Menentukan setting tegangan optimal yang memberikan efisiensi terbaik tanpa mengurangi keandalan sistem.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian di dapat beberapa manfaat

1. Bagi penulis: menambah pengetahuan dan pengalaman praktis mengenai kinerja ESP dalam industri kelapa sawit.
2. Bagi perusahaan: memberikan dasar teknis untuk evaluasi performa dan pemeliharaan ESP agar tetap efisien.
3. Bagi akademisi: menjadi referensi penelitian lanjutan tentang pengendalian emisi dan performa alat penangkap debu berbasis elektrostatik.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran yang jelas dan terarah mengenai tahapan penelitian serta pembahasan yang dilakukan. Adapun sistematika laporan ini terdiri atas beberapa bab, yaitu sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi uraian umum mengenai dasar dilaksanakannya penelitian. Di dalamnya mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian. Bab ini menjelaskan alasan pentingnya penelitian dilakukan serta arah penelitian yang ingin dicapai.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi kajian teori dan referensi yang mendukung penelitian, meliputi pengertian dan prinsip kerja Electrostatic Precipitator (ESP), komponen-komponennya, faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penangkapan partikel, serta penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Dalam bab ini juga dijelaskan landasan teori dan rumus-rumus perhitungan yang digunakan untuk analisis kemampuan kerja ESP.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Di dalamnya meliputi tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan pendukung, variabel penelitian, serta metode pengumpulan data seperti observasi lapangan, pengukuran langsung, dan dokumentasi. Bab ini juga memuat flowchart atau alur penelitian yang menggambarkan langkah-langkah proses analisis.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil pengumpulan data dan perhitungan yang dilakukan berdasarkan data aktual dari PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan. Pembahasan mencakup spesifikasi alat, hasil perhitungan luas efektif *collecting plate*, kuat medan listrik, kecepatan migrasi partikel, serta efisiensi ESP pada berbagai setting tegangan. Pada bagian akhir bab ini ditampilkan grafik perbandingan efisiensi serta analisis penentuan tegangan optimal 55 kV sebagai kondisi operasi terbaik perusahaan.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, serta saran-saran untuk peningkatan kinerja dan pemeliharaan Electrostatic Precipitator (ESP) di masa mendatang. Kesimpulan menegaskan hasil akhir efisiensi ESP dan alasan pemilihan tegangan optimal, sedangkan saran diarahkan untuk perbaikan sistem dan penelitian lanjutan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu dan Relevansi Penelitian

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kinerja dan efisiensi Electrostatic Precipitator (ESP) pada sistem boiler maupun pembangkit listrik menunjukkan bahwa efisiensi alat ini sangat dipengaruhi oleh desain, kondisi operasi, serta karakteristik partikel debu yang ditangkap.

1. Siregar, R. (2019) melakukan penelitian berjudul “*Analisis Efisiensi Electrostatic Precipitator pada PLTU Pangkalan Susu*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penangkapan debu mencapai 98,7% dengan parameter yang berpengaruh utama adalah tegangan listrik dan kecepatan gas buang. Semakin tinggi tegangan, semakin besar gaya elektrostatis yang bekerja sehingga kemampuan penangkapan partikel meningkat.
2. Fitriani, D. (2020) dalam penelitian “*Pengaruh Laju Aliran Gas dan Ukuran Partikel terhadap Kinerja ESP*” menyimpulkan bahwa peningkatan kecepatan aliran gas flue akan menurunkan efisiensi ESP, karena waktu tinggal (*residence time*) partikel dalam medan listrik menjadi lebih singkat. Ukuran partikel yang lebih besar juga cenderung lebih mudah ditangkap dibanding partikel halus (<1 μm).
3. Santoso, B. dan Wibowo, A. (2021) meneliti “*Analisis Kinerja ESP pada Boiler Industri Kelapa Sawit*”. Hasilnya menunjukkan bahwa akumulasi debu pada *collecting plate* dan sistem *rapping* yang kurang optimal dapat menyebabkan penurunan efisiensi penangkapan dari 97% menjadi 90%. Perawatan rutin dan pengaturan *rapping frequency* terbukti meningkatkan performa ESP.
4. Yuliana, M. (2022) dalam studi “*Evaluasi Efisiensi Electrostatic Precipitator pada CFB Boiler Kapasitas 65 Ton/Jam*” menemukan bahwa karakteristik *fly ash* hasil pembakaran bahan bakar biomassa memiliki konduktivitas rendah, sehingga perlu penyesuaian tegangan agar medan

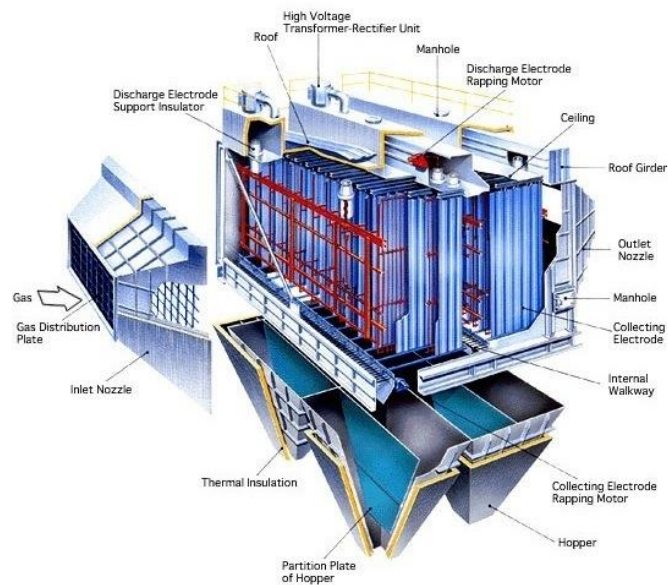
listrik mampu mempolarisasi partikel dengan efektif. Efisiensi rata-rata alat mencapai 96,5%.

Penelitian ini relevan dengan studi-studi terdahulu karena sama-sama menganalisis kemampuan kerja *Electrostatic Precipitator* dalam proses penangkapan partikel debu (*ash*) dari gas buang hasil pembakaran. Namun, penelitian ini memiliki perbedaan dan kontribusi baru, yaitu:

1. Objek penelitian berfokus pada CFB Boiler kapasitas 75 ton/jam di PT Permata Hijau Palm Oleo Belawan, yang menggunakan bahan bakar campuran batu bara dan biomassa.
2. Parameter yang dianalisis meliputi: efisiensi penangkapan partikel, pengaruh suhu dan kecepatan gas buang, serta kondisi aktual tegangan ESP di lapangan.
3. Tujuan penelitian adalah memberikan gambaran nyata mengenai kemampuan kerja ESP dalam kondisi operasi industri kelapa sawit.

2.2 Pengertian Elecrostatic Precipitator

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah peralatan yang berfungsi menangkap abu sisa pembakaran boiler yang menggunakan prinsip elektostatis, partikel abu yang awalnya bermuatan netral akan terionisasi menjadi muatan negatif setelah melewati *discharge electrode* yang memiliki muatan negatif, debu yang bermuatan negatif akan menempel pada plate - plate electrostatic precipitator, dan *flue gas* yang sudah bersih dari debu akan dibuang ke atmosfer melalui chimney, sementara abu sisa pembakaran yang menempel pada plate - plate electrostatic precipitator akan masuk ke transporter dan silo. Dengan menghasilkan medan listrik dalam Electrostatic Precipitator maka partikel abu hasil pembakaran CFB boiler bermuatan listrik dikumpulkan dan dihilangkan. Sehingga gas buang yang akan dibuang keluar tidak mengandung partikel-partikel abu yang dapat mencemari lingkungan.



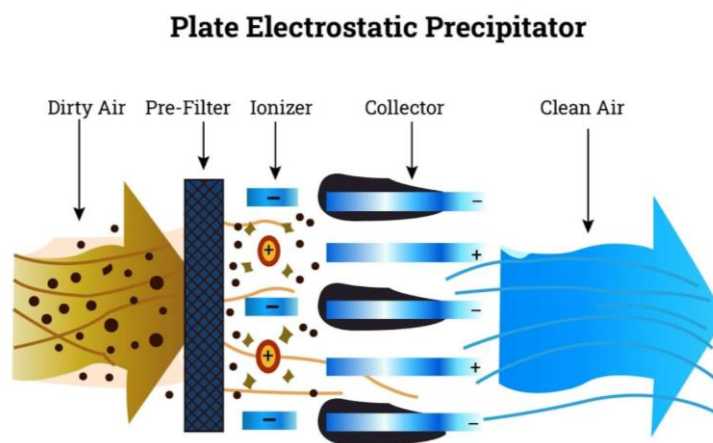
Gambar 2. 1 *Electrostatic Precipitator*

(Sumber : <https://engineeringworlds.com/electrostatic-precipitators/>)

Electrostatic Precipitator (ESP) bertugas sebagai penangkap debu halus yang berada di saluran buang hasil pembakaran batubara. ESP terdiri dari beberapa sirip elektroda positif dan negatif yang diberi sumber tegangan DC maksimal 72 kV DC dengan arusnya 400 mA. Dengan dialiri listrik pada sirip-sirip elektrodanya maka akan terjadi korona yang memberikan muatan negatif pada abu. Secara sederhana dapat dikatakan abu yang memiliki ion negatif akan ditarik dan menempel di plat bermuatan positif. Abu yang menempel pada elektroda-elektroda secara berkala akan dijatuhkan dengan digetarkan oleh vibrator yang terdapat dalam ruang ESP tersebut. Abu yang telah dijatuhkan akan ditampung dalam hopper dan akan di pindahkan ke tempat penampungan yang lebih besar melewati pipa-pipa dengan cara di beri tekanan. Selanjutnya abu akan di tampung di silo Ash bin sebagai tempat pengumpulan sementara sebelum di muat ke dalam truk untuk dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan batu api dan sebagainya. Jadi terjemahan bebas Electrostatic Precipitator adalah alat yang digunakan untuk mengendapkan debu/ partikel padat ada pada gas buang sisa pembakaran batu bara sebelum ke cerobong agar tidak mengotori lingkungan dengan memanfaatkan prinsip elektrostatis.

2.2.1 Prinsip Kerja Electrostatic Precipitator

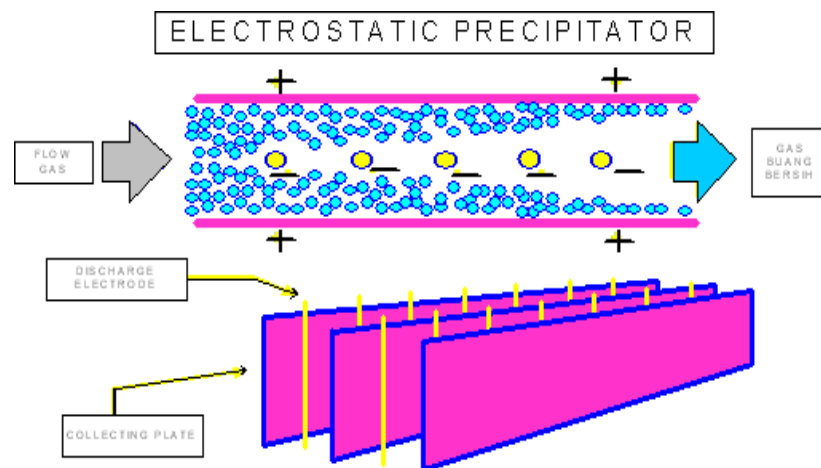
Pada dasarnya Electrostatic Precipitator (ESP) ada 3 sistem utama yang bekerja. Pertama proses ionisasi abu yang terkandung dalam gas buang, selanjutnya proses collection abu yang telah terionisasi dan terakhir proses rapping abu yang menempel pada collecting plate agar jatuh ke area hopper. Proses ionisasi dan collection terdiri dari collecting plate dan emitting wire & RDE (Ripid Discharge Electroda), keduanya mendapat supply power dari trafo step up. Pada dasarnya partikel abu memiliki muatan netral, karena ada suatu sumber daya maka akan tercipta suatu medan listrik di area antara collection plate dan emitting wire. Medan listrik yang kuat akan menyebabkan partikel abu mengalami ionisasi, semakin kuat arus yang diberikan oleh oleh power supply (trafo), maka semakin kuat pula medan magnetnya, sehingga kecepatan migrasi dari partikel abu juga semakin cepat. Partikel abu yang sudah mengalami ionisasi akan memiliki muatan negatif yang selanjutnya akan tertarik ke arah collecting plate. Abu yang sudah menempel akan dijatuhkan oleh getaran yang dihasilkan palu rapper ke arah ESP hopper yang selanjutnya akan ditransfer ke fly ash silo [4]



Gambar 2. 2 *Prinsip Kerja Electrostatic Precipitator (ESP)* (Winarno, 2020)

Di dalam daerah penangkapan yang terdiri dari collecting plate dan discharge electrode (kawat) akan dibangkitkan suatu medan listrik yang cukup besar. Selain itu juga akan menyebabkan molekul molekul udara

dipercepat gerakannya sehingga bertabrakan yang mengakibatkan elektronnya terlepas dari orbitnya dan menjadi electron bebas [5]. Bila tegangan yang dibangkitkan semakin besar maka akan tercipta suatu corona dan electron bebas yang terbentuk semakin banyak. Abu terbang yang melewati medan corona ini akan bertabrakan dengan ion-ion dan electron bebas, sehingga partikel abu yang tidak bermuatan akan menjadi bermuatan. Karena pengaruh medan listrik partikel - partikel tersebut bergerak menuju collecting plate. Partikel abu ini akan jatuh ke bawah karena gravitasi [6]. Sisa abu yang masih menempel pada collecting plate dan discharge electrode akan dibersihkan dengan system penghentakan (rapping). Debu yang menempel pada collecting plate secara periodik dilepas dengan cara pemukulan menggunakan Rapper dengan berat 8.2 kg dan di setting selama 3 detik, sehingga debu tersebut jatuh dan ditampung ke dalam Hopper yang kemudian secara periodik masuk ke ash transferter dan diisi tekanan angin untuk di kirim ke silo ash bin melalui jalur pipa dan di tampung di tangki ash bin untuk kemudian setiap hari di muat ke truk [7].

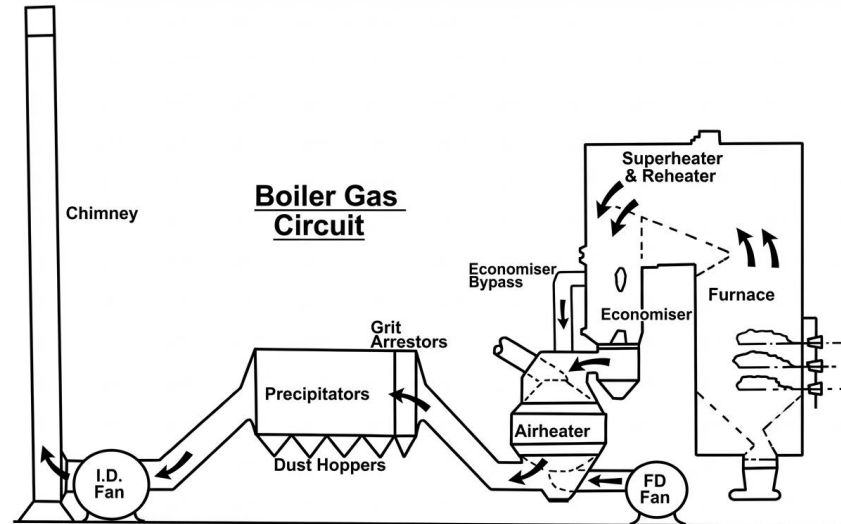


Gambar 2.3 Prinsip Kerja Elctrostatic Precipitator (ESP)

(Sumber : Modul Operator Divisi Ash Handling PLTU Suralaya, 2015)

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu yang efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan electrostatic

precipitator (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan 0,16 % (efektifitas penangkap debu mencapai 99,84%) ukuran debu terkecil yang diperoleh $< 2\mu C$. [8]



Gambar 2. 4 Siklus Gas Buang Boiler

2.2.2 Faktor Penangkapan Ash/Abu di Electrostatic Precipitator (ESP)

Adapun faktor yang sangat mempengaruhi penangkapan debu oleh *collecting plate* pada Electrostatic precipitator (ESP) yaitu :

1. Resistifitas Partikel

Resistifitas partikel adalah suatu ukuran resistansi partikel terhadap listrik, yang merupakan indikator kecepatan migrasi partikel. Resistifitas sangat mempengaruhi efisiensi ESP. Adapun persamaan mencari resistifitas partikel dinyatakan dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$\rho = R \frac{A}{l} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

ρ = Resistifitas ($\Omega.cm$)

R = Tahanan (Ω)

A = luas penampang (cm^2)

l = Panjang penghantar (cm)

Nilai resistifitas bahan atau material secara umum di bumi berada diantara $10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}$ sampai $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$, sedangkan nilai resistivitas partikel fly ash yang tertangkap oleh ESP adalah 10^{-5} hingga $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$.

2. Ukuran Partikel

Semakin besar ukuran partikel debu, semakin besar kemungkinan ionisasi material *fly ash* sehingga semakin besar muatan yang dimilikinya. Dengan demikian kecepatan atau migrasi partikel untuk bergerak ke arah elektroda positif (*collecting plate*) akan semakin cepat.

3. Pengaruh Temperatur

Pengaruh temperature dari *Fly ash* yang terbawa oleh udara Flue gas (gas buang boiler) berpengaruh terhadap laju aliran gas dan efisiensi ESP. Temperature *fly ash* tinggi karena beban unit besar sehingga laju aliran gas kecil dan efisiensi ESP semakin besar, begitu pula sebaliknya.

4. Pengaruh Spark

Spark terjadi ketika ada penebalan tumpukan *fly ash* yang tertangkap oleh *collecting plate* tidak terbang dan terus menempel menjadi kerak dan semakin membesar. Spark dapat kita amati ketika cerobong/chimney mengeluarkan asap tebal coklat pekat secara tiba tiba jika spark tidak segera di perbaiki maka di khawatirkan akan ada ledakan di dalam ESP.

Perhitungan Luas Satu Permukaan Pelat Pengumpul dirumuskan oleh persamaan 2 yaitu :

$$A = P \times L \times 2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

A = Luas efektif *collecting plate* (m)²

P = Panjang pelat (m)

L = Luas pelat (m)

Sedangkan perhitungan banyak pelat pengumpul abu terbang dirumuskan oleh persamaan 3 yaitu :

$$N = \text{Baris} \times \text{Kolom} \times \text{Field} \times \text{jumlah ESP} \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga untuk mencari luas pelat pengumpul dirumuskan menggunakan persamaan 4 yaitu :

$$A = \text{Luas permukaan pelat} \times \text{jumlah pelat} \dots\dots\dots(2.4)$$

5. Kecepatan Migrasi Partikel

Kecepatan migrasi partikel adalah kecepatan gerak dari partikel fly ash ketika diberi muatan negatif oleh emitting wire bergerak menuju collecting plate. Variabel yang mempengaruhinya adalah Laju aliran gas, luas media penangkap dan efisiensi ESP, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan 5 yaitu :

$$\omega = -Q A + \ln(1 - \eta) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

Q = Laju aliran gas ($m^3 s^{-1}$)

A = Luas media penangkap (m^2)

η = Efisiensi ESP

kita juga dapat mencari besarnya kecepatan migrasi partikel dengan rumus yang berbeda seperti persamaan 6 yaitu :

$$\omega = \frac{2 \cdot k_0 \cdot p \cdot E_c \cdot E_p}{3\mu} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

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

p = Tekanan (Pascal)

E_c = Kuat medan listrik (V/m)

E_p = Kuat medan Precipitator (V/m)

μ = Viskositas gas buang (Pascal.s)

6. Kuat medan listrik

Kuat medan listrik merupakan besarnya gaya listrik yang di butuhkan untuk membuat medan listrik yaitu efek yang ditimbulkan dari adanya muatan listrik seperti ion, proton, dan elektron yang berada di sekitar partikel listrik. Dalam ESP, besarnya kuat medan listrik berpengaruh pada kuat medan precipitator. Bisa juga dinyatakan bahwa kuat medan listrik besarnya sama dengan kuat medan precipitator. Besarnya kuat medan listrik dan kuat medan precipitator bergantung kepada besarnya tegangan output yang di hasilkan oleh Transformator. Dalam hal ini dapat kita jelaskan dengan persamaan 7 yaitu :

$$E = \frac{V}{d} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

E = Kuat medan listrik (V/m)

V = Tegangan Output transformator (V)

d = Jarak antara 2 pelat pengumpul (m)

2.2.3 Komponen-Komponen Electrostatic Precipitator

Komponen – komponen electrostatic precipitator meliputi komponen mekanikal dan elektrikal, adapun komponen mekanikal dan fungsinya adalah sebagai berikut

1. Casing dan Manhole ESP

Casing berfungsi sebagai pembatas atau pelindung dari mesin *Electrostatic Precipitator* (ESP) berada pada bagian luar. *Casing* dari ESP umumnya terbuat dari baja karbon berjenis ASTM A-36 atau yang serupa. *Casing* ini didesain untuk kedap udara sehingga gas buang boiler yang berada di dalam ESP tidak dapat bocor keluar. Selain itu casing ESP didesain memiliki ruang untuk pemuaiian karena pada operasional normalnya ESP bekerja pada temperatur cukup tinggi. Oleh karena itu pula sisi luar *casing* ini dipasang insulator dan rockwool atau

busa tahan panas yang gunanya untuk kedap panas dan untuk keamanan dan keselamatan pekerja. Discharge electrode dan collecting electrode didesain menggantung dengan sisi support (penyangga) berada pada sisi casing bagian atas dan pada sisi samping casing terdapat pintu akses (Manhole) masuk untuk keperluan perawatan (maintenance) sisi dalam ESP.



Gambar 2. 5 *Casing ESP*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan.)

2. Collecting Electrode (CE)

Collecting Electrode atau sering disebut *Collecting plate* adalah plat-plat yang terpasang vertikal untuk mengumpulkan partikel-partikel fly ash yang telah terionisasi. *Collecting plate* berbentuk lembaran bergelombang dengan dimensi seperti terlihat pada gambar di bawah. Setelah gas buang melewati inlet, selanjutnya gas buang akan lewat diantara *collecting plate* ini. CE dipasang dengan support yang berada di atas dan menggantung pada casing bagian atas. Untuk mendapatkan medan listrik yang seragam pada CE, serta untuk meminimalisir terjadinya loncatan bunga api electron, maka CE harus dipasang dengan ketelitian yang sangat tinggi.



Gambar 2. 6 *Collecting Electrode (CE)*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Fungsi *Collecting Electrode*

1. Sebagai media pengendapan debu – partikel bermuatan negatif/positif dari gas buang akan menempel pada plat yang bermuatan berlawanan.
2. Menentukan luas area pengendapan (A) – semakin luas *collecting electrode*, semakin tinggi peluang partikel tertangkap.
3. Mempengaruhi efisiensi ESP – luas permukaan, jarak antar-plate, dan kebersihan plat sangat berpengaruh pada efisiensi pemisahan debu.
4. Menyediakan jalur grounding – plat dihubungkan ke ground untuk memastikan medan listrik stabil.

3. Discharge Electrode (DE)

Merupakan komponen pada electrostatic precipitator yang berfungsi untuk memberikan muatan negatif pada gas buang hasil pembakaran boiler agar dapat ditangkap oleh *collecting plate* yang bermuatan positif. *Discharge Electrode* terhubung dengan sumber tegangan DC tinggi hingga berperan menciptakan korona listrik. DE

berfungsi untuk mengisi abu sehingga abu menjadi bermuatan negatif. DE dipasang pada tiap tengah-tengah CE. Untuk mencegah short circuit, pemasangan DE harus dipasang juga insulasi yang memisahkan DE dengan casing dan CE yang bermuatan netral.



Gambar 2. 7 *Discharge Electrode (DE)*

(Sumber : PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Fungsi Utama

1. Menghasilkan corona discharge → pelepasan elektron yang akan menempel pada partikel.
2. Memberi muatan pada partikel debu → agar bisa tertarik ke collecting electrode.
3. Menjaga distribusi medan listrik → sehingga ionisasi merata di seluruh lintasan gas buang.
4. Menentukan efektivitas ionisasi → bentuk dan kondisi discharge electrode memengaruhi efisiensi ESP.

Prinsip Kerja Discharge Electrode

1. Tegangan tinggi DC diberikan ke discharge electrode.
2. Terjadi corona discharge → pelepasan elektron dari ujung kawat atau pin.

3. Elektron bebas bertumbukan dengan molekul gas → terbentuk ion negatif/positif.
4. Ion bermuatan menempel pada partikel debu sehingga partikel menjadi bermuatan.
5. Partikel bermuatan ini kemudian tertarik ke arah collecting electrode.

Faktor yang Mempengaruhi Kinerja DE

1. Tegangan operasi – semakin tinggi tegangan, semakin kuat corona discharge (tapi ada batas, agar tidak terjadi spark/flashover).
2. Bentuk elektroda – ujung runcing lebih efektif menghasilkan ionisasi.
3. Kebersihan elektroda – bila banyak abu menempel, pelepasan elektron terganggu.
4. Posisi & jarak terhadap collecting plate – harus seragam agar medan listrik merata.
5. Stabilitas mekanis – harus kaku agar tidak goyang terkena aliran gas.

4. Hammering Device (HD)

Hammering device merupakan suatu alat yang digunakan untuk menjatuhkan partikel abu yang menempel pada collecting plate. Alat ini berbentuk seperti palu atau pemukul yang akan menggetarkan *collecting plate* agar partikel abu yang menempel dapat jatuh ke hopper.



Gambar 2. 8 *Hammering Device (HD)*

(Sumber : PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Fungsi Hammering Device

1. Membersihkan collecting electrode → abu yang menempel terlalu lama bisa mengeras dan menurunkan efisiensi.
2. Membersihkan discharge electrode → menjaga agar proses ionisasi tidak terganggu oleh lapisan debu.
3. Menjaga stabilitas operasi ESP → memastikan elektroda tetap bersih sehingga medan listrik bekerja optimal.
4. Mencegah penumpukan debu berlebihan → agar tidak terjadi back corona (arus balik yang menurunkan efisiensi).

Jenis Sistem Hammering (Rapping System)

1. Mechanical Rapping
 - a. Menggunakan hammer yang diputar dengan cam atau motor, kemudian jatuh memukul batang.
 - b. Umum dipakai untuk collecting electrode karena membutuhkan tenaga besar.

2. Electromagnetic Rapping
 - a. Menggunakan elektromagnet yang menghasilkan gaya tarik cepat lalu dilepas sehingga terjadi getaran.
 - b. Cocok untuk discharge electrode, karena getaran lebih halus dan tidak merusak kawat.
3. Pneumatic Rapping
 - a. Menggunakan udara bertekanan untuk menghasilkan getaran.
 - b. Biasanya untuk aplikasi khusus, lebih jarang dibanding mekanis/elektromagnetik.

Prinsip Kerja

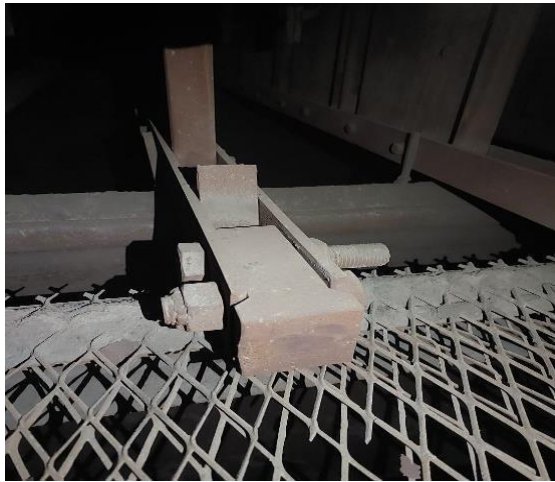
1. Hammer dijatuhkan atau digerakkan secara periodik oleh motor/elektromagnet.
2. Hammer memukul shaft atau anvil yang terhubung ke elektroda.
3. Getaran/pukulan merambat ke collecting plate atau discharge electrode.
4. Lapisan debu yang menempel akan retak dan terlepas.
5. Debu jatuh ke hopper di bagian bawah ESP.

Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Hammering

1. Frekuensi pukulan → terlalu sering dapat merusak elektroda, terlalu jarang menyebabkan penumpukan abu.
2. Kekuatan pukulan → harus cukup untuk melepaskan debu tanpa merusak struktur.
3. Sinkronisasi → rapping pada discharge dan collecting electrode harus diatur bergantian agar tidak menimbulkan lonjakan debu ke aliran gas.
4. Desain hammer → material harus kuat, tahan panas, dan tahan aus.

5. Shock Bar

Shock bar adalah Bagian dari *Collecting Electrode* yang dipukul oleh Hammer sehingga bagian *Collecting Electrode* menjadi bergetar sehingga abu yang menempel pada *Collecting Electrode* jatuh ke hopper. Apabila *collecting Plate* bersih maka proses penangkapan abu di dalam ESP akan lebih baik.



Gambar 2. 9 *Shock Bar*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Fungsi Shock Bar

1. Penerimaan Kejut: *Shock Bar* terhubung langsung dengan anvil (landasan) yang menerima pukulan dari *rappet*. Desainnya dibuat untuk menahan gaya benturan tinggi.
2. Transmisi Energi: Batang ini kemudian secara efisien mentransfer energi kejut (*shock wave*) tersebut ke batang gantung (*Suspension Rod* atau *Rappet Bar*) yang menahan susunan elektroda di dalam ESP.
3. Pembersihan Lapisan Debu: Gelombang kejut yang merambat menyebabkan elektroda bergetar dengan cepat, memecahkan ikatan antara lapisan debu (*filter cake*) dan permukaan logam elektroda, sehingga debu tersebut jatuh ke *hopper* (penampung) di bawah.

Pentingnya Shock Bar bagi Efisiensi ESP

1. Mencegah *Back Corona*: Jika debu menumpuk terlalu tebal pada *Collecting Plate*, dapat terjadi fenomena *Back Corona*, yaitu pelepasan muatan positif yang menetralkan muatan negatif partikel debu yang baru masuk, sehingga menurunkan efisiensi penangkapan ESP. *Shock Bar* memastikan pembersihan rutin untuk menghindari hal ini.
2. Mempertahankan Medan Listrik: Dengan menjaga kebersihan elektroda, *Shock Bar* membantu mempertahankan integritas dan kekuatan medan listrik yang diperlukan agar proses ionisasi (pemberian muatan pada debu) dan penarikan partikel berjalan optimal.

6. Rapper atau Rapping system

Rapper atau Rapping system adalah proses perontokkan abu yang lengket pada elektroda-elektroda Electrostatic Precipitator (ESP). Rapper berfungsi pemukul atau pembuat getaran yang mana setelah abu menempel pada permukaan collecting electrode dengan sebuah sistem mekanis. Rapping system ini terdiri dari sebuah Hammer, Shaft Rapping gear, motor penggerak serta gearbox yang berfungsi mengatur gerakan pemukul agar terjadi secara periodik dan berulang terus menerus.



Gambar 2. 10 *Rapper/Rapping System*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)



Gambar 2. 11 *Motor Penggerak Rapper*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Fungsi Utama Rapping System

1. Membersihkan permukaan collecting electrode (CE)
 - a. Debu yang tertangkap dan menempel di plat pengumpul (collecting plate) harus secara berkala dijatuhkan agar tidak menumpuk.
 - b. Jika tidak dibersihkan, lapisan debu yang tebal akan mengganggu proses pengendapan berikutnya karena medan listrik menjadi tidak efektif.
2. Membersihkan discharge electrode (DE)
 - a. DE yang kotor dapat menyebabkan distribusi medan listrik menjadi tidak merata dan menurunkan kemampuan ionisasi.
 - b. Dengan sistem rapper, debu di sekitar kawat DE dilepaskan sehingga pelepasan elektron tetap optimal.
3. Menjaga efisiensi pengendapan ESP
 - a. Dengan pembersihan berkala, permukaan CE tetap aktif untuk menangkap partikel baru.
 - b. Hal ini meningkatkan efisiensi penangkapan partikel dan mengurangi resistansi lapisan debu.
4. Mencegah re-entrainment (pengangkatan ulang debu)

- a. Jika debu menumpuk terlalu lama, gumpalan besar dapat jatuh tiba-tiba dan kembali terbawa gas ke saluran keluar.
- b. Rapping sistem yang teratur mencegah hal ini dengan menjatuhkan debu secara bertahap dan terkontrol.

Jenis-Jenis Rapping System

1. Mechanical Rapping System
 - a. Menggunakan palu yang digerakkan oleh poros berputar.
 - b. Umum digunakan untuk collecting electrode.
2. Electromagnetic Rapping System
 - a. Menggunakan gaya magnet untuk menghasilkan tumbukan cepat.
 - b. Biasanya digunakan untuk discharge electrode karena memerlukan getaran yang lebih lembut dan cepat.

7. Hopper

Hopper terbuat dari bahan yang sama dengan casing. *Hopper* berbentuk seperti piramida yang terbalik dan terpasang pada sisi bawah Electrostatic Precipitator (ESP). *Hopper* berfungsi sebagai tempat berkumpulnya abu *fly ash* yang dijatuhkan dari *collecting electrode* dan *discharge electrode*. Abu hanya sementara berada di dalam hopper, karena selanjutnya abu akan dipindahkan menggunakan sebuah sistem transport khusus ke tempat penampungan yang lebih besar. Namun, *hopper* ini didesain untuk mampu menyimpan abu sedikit lebih lama apabila terjadi kerusakan pada sistem transport *fly ash* yang ada di bawahnya.

Ketika *discharge electrode* dan *collecting plate* telah dibersihkan oleh *rapping system*, debu yang terperangkap akan jatuh ke *hopper* dan disimpan sementara sebelum selanjutnya akan ditransfer ke tempat pembuangan akhir. Debu-debu ini harus dipindahkan sesegera mungkin agar tidak mengeras dan menumpuk

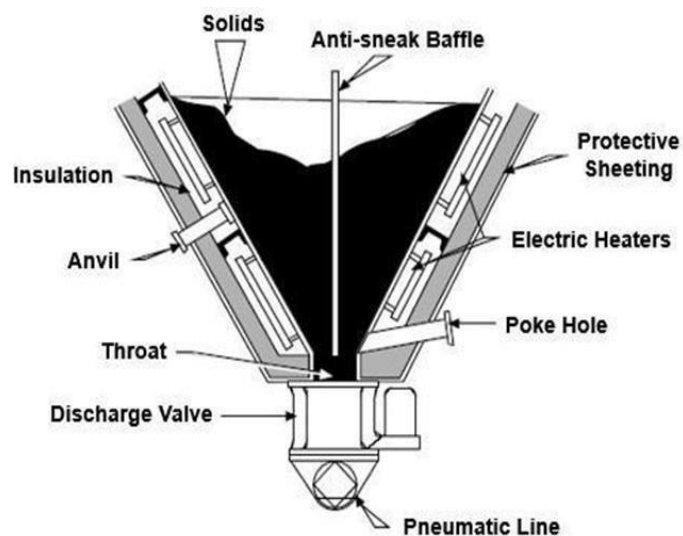
sehingga menyebabkan pemindahannya sulit. *Hopper* dirancang dengan kemiringan 50° sampai 70° untuk memungkinkan perpindahan debu yang mudah dari atas *hopper* ke katup pembuangan.

Dust level detector pada *hopper* dapat membantu memberikan peringatan ketika *hopper* hampir penuh. Komponen pada *hopper* ESP dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 12 *Hopper* ESP

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)



Gambar 2. 13 Komponen *Hopper*

8. Transporter

Transporter berfungsi sebagai alat pemindah abu hasil tangkapan electrostatic Precipitator (ESP) dari ESP *hopper* ke Transfer Pot yang selanjutnya dipindahkan lagi ke ash silo dengan bantuan udara bertekanan dari *compressor*. Terdapat dua buah Transporter yang posisinya tepat di bawah *Hopper*, di setting untuk bekerja secara periodik dan berkala.



Gambar 2. 14 *Transporter ESP*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

9. Cerobong / Chimney

Chimney berfungsi sebagai jalur pembuangan terakhir gas buang (*flue gas*) dari proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar (*Furnace*). Pertama-pertama gas buang akan melewati ESP terlebih dahulu agar partikel-partikel debu dapat diminimalisir sehingga gas yang keluar dari cerobong sudah bersih dan tidak menyebabkan pencemaran udara. Setelah melewati ESP debu akan dihisap oleh Induced Draft Fan (ID Fan) menuju cerobong melalui sebuah ducting yang dilapisi pelat aluminium.



Gambar 2. 15 *Chimney*

(Sumber: PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

Adapun komponen elektrikal dan fungsinya adalah sebagai berikut :

1. **Kontrol Panel**

Kontrol panel Electrostatic Precipitator (ESP) berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur suplai tegangan tinggi DC dari *transformer rectifier*, memonitor parameter operasi seperti tegangan, arus, dan frekuensi percikan listrik, memberikan proteksi terhadap gangguan atau kondisi abnormal melalui sistem alarm dan trip, mengendalikan sistem pembersih elektroda (*rapping system*) agar partikel debu yang menempel dapat dilepaskan secara berkala, serta mengintegrasikan seluruh proses pengendalian dan pemantauan dengan sistem kontrol terpusat (DCS/PLC), sehingga keseluruhan operasi ESP dapat berlangsung stabil, aman, dan optimal dalam menangkap serta mengurangi emisi debu dari gas buang boiler [9]



Gambar 2. 16 *Kontrol Panel*

(Sumber: PT.Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

2. Rectifire

Rectifire berfungsi merubah listrik AC menjadi DC dan menghasilkan arus searah (DC) yang dialirkan pada anoda (kutub positif) dan katoda / pelat pengumpul (kutub negatif). Tegangan input AC sebelum diubah menjadi DC oleh Rectifier adalah 350 V AC. Besar output DC yang sudah disearahkan oleh *Rectifier* adalah 72 kV dan 0,4 A.



Gambar 2. 17 *Rectifire*

(Sumber: PT.Permata Hijau Palm Oleo Belawan)

3. Transformer Rectifier

Transformer Rectifier adalah peralatan utama ESP yang diletakkan dalam suatu tangki dan terendam minyak pendingin trafo, sehingga dinamakan *Transformer Rectifier* yang berfungsi menurunkan voltase AC sebesar 380 V- 220 V menjadi voltase operasi yang dibutuhkan pada ESP sehingga bisa berkerja. Transformator dan *Rectifier* diletakkan dalam satu bagian yang dilengkapi dengan minyak pendingin trafo, sehingga dinamakan *Transformator Rectifier*.



Gambar 2. 18 *Transformer Rectifier*

2.2.4 Proses Penangkapan Abu di ESP

Flue Gas hasil pembakaran boiler masuk menuju ESP melalui Inlet ESP dan disini terdapat kecepatan migrasi dari partikel yang masuk ke dalam ESP. Kecepatan migrasi partikel saat melalui ESP berpengaruh terhadap Efisiensi ESP saat menangkap partikel yang terkandung pada gas buang oleh pelat pengumpul (*collecting plate*) [10]. Terdapat dua jenis elektroda, yaitu *discharge electrode* yang bermuatan negatif dan plat bermuatan positif. *Discharge electrode* diletakkan diantara plat pengumpul (*collecting plate*) pada jarak tertentu. *Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) (sumber listrik awalnya adalah 380 V (AC), kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar 45 – 72 kV dan dirubah menjadi listrik DC oleh rectifier, diambil hanya potensial negatifnya saja. Aliran Flue Gas akan melalui *Discharge Electrode* yang dialiri listrik dari

Trafo Rectifier, sehingga partikel yang terdapat pada Flue Gas akan menjadi bermuatan negatif. *Collecting Plate* bermuatan positif akan menarik partikel - partikel bermuatan negatif, disinilah terjadi tarik menarik antara partikel bermuatan negatif dan positif. Partikel yang telah tertangkap pada *Collecting Plate* karena adanya tarik menarik antara muatan negatif dan positif akan terkumpul kemudian sistem rapping akan menjalankan tugasnya untuk melakukan proses pemukulan (*Hammering*) pada permukaan pemukulan *Collecting Plate* sehingga partikel-partikel yang telah tertangkap berupa Fly Ash akan jatuh dan tertampung di penampung (*Hopper*). Setelah abu di tampung di hopper, kemudian abu hasil tangkapan electrostatic Precipitator (ESP) akan di transfer secara bekal ke ash silo (tempat penampungan abu yang lebih besar) menggunakan ash transporter dengan bantuan udara bertekanan dari *compressor*.

2.2.5 Tipe-Tipe Electrostatic Precipitator

Electrostatic Precipitator (ESP) dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe utama sebagai berikut :

1. Berdasarkan Arah Aliran Gas

Berdasarkan arah aliran gas, ESP terbagi menjadi tipe horizontal flow dan vertical flow. Pada tipe horizontal, gas buang bergerak secara mendatar melewati ruang pengendapan, sehingga memungkinkan penanganan volume gas yang sangat besar. Desain ini banyak digunakan di industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pabrik semen. Sebaliknya, tipe vertical flow memiliki aliran gas dari bawah ke atas atau sebaliknya, dengan desain yang lebih kompak sehingga cocok untuk kapasitas gas yang lebih kecil atau instalasi dengan ruang terbatas, meskipun lebih rentan terhadap re-entrainment partikel [11].

2. Berdasarkan Bentuk Elektroda Pengumpul

Jika ditinjau dari bentuk elektroda pengumpul, terdapat plate type dan tubular type. Plate type menggunakan plat logam datar yang dipasang sejajar sebagai media penangkap debu, dan merupakan desain yang paling umum dipakai pada PLTU dan industri semen karena lebih mudah perawatannya. Sementara itu, tubular type menggunakan tabung silinder sebagai elektroda pengumpul, yang lebih sesuai untuk gas dengan kandungan kelembaban tinggi atau partikel lengket seperti aerosol minyak dan kabut asam.

3. Berdasarkan Metode Pengumpulan Debu

Dari segi metode pengumpulan debu, ESP dibedakan menjadi dry ESP dan wet ESP. Dry ESP bekerja dengan cara melepaskan debu kering dari permukaan elektroda melalui sistem pengetukan (rapping system), sehingga debu jatuh ke hopper. Tipe ini banyak diaplikasikan di PLTU, pabrik baja, semen, serta industri kelapa sawit karena memiliki desain sederhana dan ekonomis. Wet ESP, di sisi lain, menggunakan air atau cairan lain untuk mencuci permukaan elektroda. Sistem ini lebih efektif untuk menangani partikel halus, aerosol, dan partikel lengket, tetapi membutuhkan tambahan sistem pengolahan limbah cair.

2.2.6 Perhitungan Kemampuan Kerja Electrostatic Precipitator

Perhitungan – perhitungan Electrostatic Precipitator meliputi perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan Luas Permukaan Pelat Pengumpul (Collecting plate).

Perhitungan luas permukaan pelat pengumpul (Collecting plate) partikel abu hasil pembakaran CFB Boiler dirumuskan oleh persamaan:

$$A_1 = p \times l \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

A_1 = Luas Satu Collecting Plate (m^2)

P = Panjang Pelat (m)

L = Lebar pelat (m)

Untuk mencari total luas plate pengumpul (*Collecting plate*) partikel abu hasil pembakaran CFB Boiler dirumuskan oleh persamaan

$$A = A_1 \times n \times 2 \text{ sisi Plate} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

A = Luas efektif Collecting Plate (m^2)

n = Jumlah Collecting Plate

Sedangkan untuk menghitung *Specific Collecting Area* (*Collecting plate*) Electrostatic Precipitator (ESP) menggunakan rumus :

$$SCA = \frac{A}{Q} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

A = Luas efektif Collecting Plate (m^2)

Q = Laju aliran gas (m^3/s)

2. Perhitungan Kecepatan Gas Buang Migrasi Partikel Berdasarkan Desain

Kecepatan migrasi partikel adalah kecepatan gerak partikel ketika diberi muatan negatif bergerak menuju elektroda pelat pengumpul. Variabel yang mempengaruhinya yaitu ukuran partikel, kuat medan listrik dan viskositas gas.

Sehingga kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\omega = -\frac{q}{A} \ln(1 - \eta) \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

Q = Laju aliran gas (m^3/s)

A = Luas efektif Collecting Plate (m^2)

η = Efisiensi Electrostatic Precipitator

3. Perhitungan Efisiensi Pengumpulan Partikel *Electrostatic Precipitator*

Efisiensi pengumpulan partikel dari sebuah ESP pertama dikembangkan secara empiris oleh Elvald Anderson ditahun 1919 dan dikembangkan secara teoritis oleh W. Deutsch di tahun 1922. Persamaan ini dikenal sebagai persamaan Deutsch-Anderson. (Ardy Fitrianto, 2018)

Adapun persamaan Deutsch-Anderson sebagai berikut :

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{\omega \cdot A}{Q}\right)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

η = Efisiensi ESP

e = Bilangan natural (2,718)

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

A = Luas efektif Collecting Plate (m^2)

Q = Laju aliran gas (m^3/s)

4. Perhitungan Kuat Medan Listrik Pada *Electrostatic Precipitator*

Adapun persamaan untuk menghitung kuat medan listrik pada electrostatic precipitator pada saat keadaan aktual (pada saat terjadi gangguan sebagai berikut ini :

$$E = \frac{v}{d} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

E = Kuat medan listrik (v/m)

V = Tegangan *output* transformator (v)

d = jarak antara 2 pelat pengumpul (m)

Setelah mendapatkan hasil kuat medan listrik maka besar tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan kuat medan listrik dapat dihitung dengan persamaan

$$V = E \times d \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan persamaan tersebut, dapat diketahui sejauh mana efektivitas ESP dalam menurunkan kandungan partikulat dari aliran gas buang. Semakin tinggi nilai efisiensi aktual yang diperoleh, semakin baik pula kinerja ESP dalam memenuhi standar baku mutu emisi.

5. Perhitungan Kecepatan Migrasi Partikel Berdasarkan Kondisi Aktual

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

$$\omega = \frac{2.k_0.p_a.E_c.E_p}{3\mu} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

ω = Kecepatan migrasi partikel (*m/s*)

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

p_a = Radius Partikel / Partikulat

E_c = Kuat medan listrik (V/m)

E_p = Kuat medan Precipitator (V/m)

μ = Viskositas gas buang ($2,28 \times 10^{-5}$)

2.2.7 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih atau tercemarnya kualitas udara dan bagaimana dampaknya terhadap kesehatan setelah menghirup udara tersebut selama beberapa jam/hari/bulan, dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah :

ISPU	Pencemaran Udara Level	Dampak kesehatan
0 - 50	Baik	tidak memberikan dampak bagi kesehatan manusia atau hewan.
51 - 100	Sedang	tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang peka.
101 - 199	Tidak Sehat	bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang peka atau dapat menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
200 - 299	Sangat Tidak Sehat	kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
300 - 500	Berbahaya	kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi (misalnya iritasi mata, batuk, dahak dan sakit tenggorokan).

Tabel 2. 1 *Indeks Standart Pencemaran Udara*

2.2.8 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Electrostatic Precipitator

Kelebihan dan kekurangan Electrostatic Precipitator dapat dilihat dari table 2.2 :

Kelebihan ESP	Kekurangan ESP
Efisiensi penyisihan partikel sangat tinggi	Capital cost yang tinggi
Mampu menyisihkan partikel berukuran kecil	Hanya menyisihkan partikulat dan tidak dapat menyisihkan pencemar dalam bentuk gas
Dapat menangani debit aliran gas besar dengan kehilangan tekanan rendah	Tidak terlalu fleksibel

Dapat digunakan untuk pengumpulan system kering bagi materi yang bernilai	Hanya dapat digunakan untuk partikel yang memiliki resistivitas electric
Dapat didesain aliran gas dengan temperature cukup tinggi	Ozon dihasilkan dari pemberian muatan negatif terhadap elektroda pada saat ozonisasi gas
Biaya operasional rendah, kecuali untuk efisiensi yang sangat tinggi	butuhkan personel yang memiliki keahlian khusus dalam pemeliharaan ESP

Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kekurangan dalam Penggunaan Electrostatic Precipitator