

UNJUK KERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* TERHADAP PENURUNAN EMISI GAS BUANG PADA RAW MILL PT INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA PLANT-12 TARJUN

Ivan Adhi Prabawa

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jl. Lingkar Selatan, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183 , Indonesia
Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
E-mail: ivanadhi10@gmail.com

ABSTRACT

Electrical Precipitator is one of vital component in the process of gas emissions of raw mill at PT indocement Tunggal Prakarsa, Tbk Tarjun-12 plant. Therefore the efficiency of the EP is very calculated, either in design, the value of the SCA (specific areas), aspect ratio and is based on the equation of Deutch-Anderson. That things are become consideration the profit and lose when going to use EP, because these tools use enough large electrical power, and is able to catching dust particles sized $>1 \mu\text{m}$ and $<500 \mu\text{m}$. The stages in this research is doing the calculation mathematically about SCA desgn (Specific areas) obtained the value of $14.274 \text{ m}^2 / 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, then the value aspect ratio obtained the value of 1.42. Based on the calculation method using Deutch-Anderson, 99.994 % efficiency obtained. This is certainly improve productivity and reduce pollution to the enviroentment.

key Words: *Electrostatic Precipitator, SCA Value, Aspect Ratio, Deutch-Anderson method.*

1. PENDAHULUAN

PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk Plant-12 Tarjun, merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan semen. Pada proses pembuatan semen proses pengolahan bahan baku memiliki peran yang sangat penting karena memengaruhi kualitas dan karakteristik hasil akhir produksi. Pada proses pengolahan bahan baku ini salah satunya adalah *raw mill* yang bertugas menghaluskan dan menyeragamkan bahan baku dimana limbah keluarnya berupa gas yang mengandung partikel debu, yang

harus disaring terlebih dahulu sebelum dibuang ke udara bebas.

Pencemaran udara (*air pullution*) yaitu masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lainnya ke dalam udara bersih oleh kegiatan manusia. Akibat dari pencemaran udara adalah mutu kualitas udara bersih akan menurun. Sangat banyak kegiatan manusia yang dapat menimbulkan pencemaran udara. Pencemar udara (*air pollutant*) yaitu zat yang berada di atmosfer dalam konsentrasi tertentu yang bersifat membahayakan manusia, binatang, tumbuhan atau benda-benda lain. Contoh pencemaran udara antara lain, debu, gas

CO, gas NO₂, gas SO₃, gas HC, gas NH₃ dan masih banyak lagi.

Debu yang dihasilkan dari pembuatan semen sangat banyak dan apabila dibiarkan akan mempengaruhi lingkungan sekitar. Debu yang sulit dikontrol akan menyebabkan berbagai permasalahan salah satu contoh ialah permasalahan dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja. Debu ini mempunyai pengaruh yang cukup besar ketika karyawan bekerja di area pabrik yang mempunyai banyak debu yang berterbangan, maka kondisi tersebut tidak aman bagi kesehatan karyawan apabila tidak dilengkapi dengan APD yang tepat. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat yang dapat mengendalikan emisi debu yang dihasilkan pada proses pembuatan semen. Maka dibuatlah alat penangkap debu salah satunya yaitu *Electrostatic Precipitator* (EP).

EP (*Electrostatic Precipitator*) merupakan alat penangkap debu atau *ash collection* yang memiliki efisiensi tinggi (mencapai di atas 90%) agar penangkapan debu hasil produksi *raw mill* dapat tertangkap secara maksimal dan mampu mengurangi kerugian bahan baku akibat terbang sia-sia sehingga mengurangi polusi yang ditimbulkan oleh pembuatan semen.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian *Electrostatic Precipitator* (EP)

Electrostatic Precipitator adalah alat yang digunakan untuk menangkap partikel-partikel (debu) dengan menggunakan prinsip medan elektrostatis. Berdasarkan asal kata *precipitator* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengendapkan, sedangkan *electrostatic* adalah suatu fenomena atau kejadian yang terjadi berkaitan dengan medan listrik statis atau tidak bergerak terhadap objek bermuatan lainnya. *Electrostatic precipitator* di perlihatkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 *Electrostatic Precipitator*

Electrostatic Precipitator banyak digunakan di berbagai pembangkit tenaga listrik dan juga industri yang nantinya berfungsi sebagai penangkap debu atau *Ash collection* yang berfungsi untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan dari hasil pembakaran maupun hasil penghancuran material bahan baku yang akan digunakan dalam pembuatan produk

salah satunya yaitu pada pabrik semen. Pada pabrik semen, *Electrostatic Precipitator* digunakan sebagai penangkap partikulat hasil penggilingan (*Grinding*) dari proses *Raw Mill* yaitu penggilingan bahan baku batu kapur yang berbentuk bongkahan digiling hingga menjadi seperti bubuk atau tepung sebelum menuju *Suspension Preheater*.

Electrostatic Precipitator merupakan salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan alat ini (EP), diharapkan jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong hanya sekitar 0,16% (efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84 %), seukuran partikel debu terkecil yang diperoleh $<2\mu\text{C}$.

2.2.2 Teori Dasar Electrostatic Precipitator (EP)

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang terjadi akibat pergerakan elektron-elektron yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik hanya dapat mengalir dalam suatu rangkaian tertutup (*close loop circuit*). Arah arus selalu mengalir atau bergerak dari kutub positif ke negatif. Arus elektron lebih kepada perpindahan tiap-tiap elektron yang bergerak atau mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Jadi menurut perjanjian

arah elektron dan arus memiliki teori yang berbeda namun tetap ber-iringan sesuai kegunaan masing-masing. Sifat listrik inilah yang akan menjadi cikal bakal pembuatan *Electrostatic Precipitator (EP)*.

EP secara umum terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Discharge Electrode*, *Collecting plate* dan *Hammering Device*. *Discharge Electrode (DE)* adalah elektroda yang dialiri arus DC tegangan tinggi negatif sehingga menghasilkan medan listrik negatif. *Collecting plate (CE)* adalah elektroda yang di-tanahkan, fungsinya agar mendapatkan potensial yang rendah. *Hammering Device (HD)* adalah alat yang digunakan untuk melepaskan debu / partikel yang menempel pada *Collecting plate*. Karena DE merupakan daerah dengan medan listrik terkuat. Semakin jauh dari DE, maka medan listrik negatif akan semakin lemah.

Electrostatic Precipitator (EP) ditempatkan setelah penggilingan partikel yang akan digunakan sebagai media penangkap partikulat atau debu keluaran dari *Raw Mill* dengan bantuan kipas penghisap. Teknik yang digunakan yaitu dengan menjebak partikulat halus berkecepatan tinggi dengan bantuan listrik bertegangan tinggi. Prinsip yang digunakan yaitu menggunakan teori arah arus elektron, dimana potensial tinggi mengalir menuju potensial rendah. Potensial tinggi

merupakan suatu keadaan daerah yang kaya akan elektron, sedangkan potensial rendah yaitu suatu keadaan yang miskin elektron atau memiliki elektron lebih sedikit.

Teori elektron yaitu kutub negatif mengalir menuju kutub positif atau dapat disebut juga neutron mengalir menuju proton. Sedangkan teori arah arus yaitu kutub positif mengalir menuju kutub negatif seperti halnya suatu baterai yang terhubung dengan sebuah beban sehingga jumlah elektron yang ada di kedua kutub menjadi sama banyak hal itu yang menyebabkan elektron pada baterai habis. Sifat dari teori elektron inilah yang digunakan pada pembuatan *electrostatic precipitator*.

2.2.3 Komponen-komponen Utama Electrostatic Precipitator

Bagian-bagian utama pada EP terdiri dari beberapa bagian yaitu:

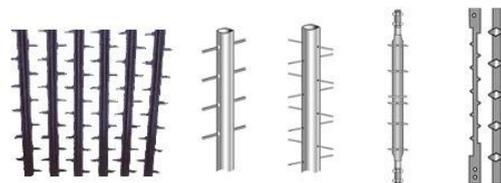
1. Casing atau *Mainhole* EP

Casing dari EP biasanya terbuat dari baja karbon yang berjenis ASTM A-36 atau yang serupa. *Casing* ini didesain kedap udara sehingga gas buang *Raw Mill* yang berada di dalam EP tidak bocor. Selain itu EP akan bekerja pada suhu yang cukup tinggi maka didesain untuk memiliki ruang yang dapat memuai dan berbahan tahan panas demi keandalan saat beroperasi dan keselamatan kerja. Untuk keperluan

maintenance operator bisa menggunakan pintu yang terdapat di samping EP.

2. *Discharge Electrode* (DE)

Discharge Electrode diberi tegangan tinggi DC yang berfungsi menciptakan suatu lucutan plasma pijar (korona). DE nantinya akan memberi suplai tegangan DC negatif pada partikulat. Sehingga partikulat yang melewati DE akan bermuatan tegangan tinggi DC. DE ini ditempatkan di antara *Collecting plate*. Terdapat insulasi yang bermuatan netral di antara *Casing*, DE dan *Collecting plate* yang berfungsi sebagai pengaman hubungan singkat. Jarak pada setiap ujung DE yaitu kurang lebih 10cm. DE diperlihatkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



(a)



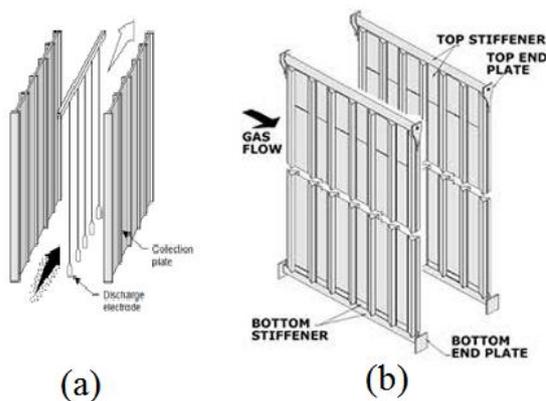
(b)

Gambar 2.2 (a) gambaran discharge electrodes (b) penampakan discharge electrode secara nyata.

<http://www.abrenvirosystems.com/air-polution-controlling-equipment.html>

3. Collecting Plate

Collecting Plate merupakan suatu pelat baja yang dipasang dan disusun sejajar dengan cara digantung pada *casing* bagian atas sebagai tempat atau media pengumpul partikulat yang bermuatan tinggi negatif DC sebelum jatuh ke *Hopper*. Pada tiap *Collecting Plate* memiliki jarak cukup dekat yakni 30 – 40 cm dengan kedua sisi pelat (depan – belakang) yang sama – sama berfungsi untuk menangkap partikulat. *Collecting plate* ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Collecting Plate dan Discharge Electrode (b) Collecting Plate

http://www.thakkargroup.com/collecting_electrodes.html

4. Hopper

Hopper terbuat dari bahan yang sama dengan *casing* yang terletak pada bagian bawah EP. *Hopper* merupakan wadah berbentuk piramid yang terbalik yang berfungsi sebagai media penyimpan partikulat yang dijatuhkan dari *Collecting Plate* dan *Discharge Electrode* akibat

mekanisme *Rapping* menggunakan pemukul (*Hammer*). Partikulat yang jatuh pada *Hopper* sifatnya hanya sementara karena selanjutnya akan dikirim ke tangki penampungan menggunakan sistem *conveyor*.

a. Level switch EP Hopper

Level switch EP hopper berfungsi untuk memberikan sinyal off pada EP apabila *Hopper* penuh. Kegagalan kerja *level switch EP hopper* akan mengakibatkan gangguan internal pada EP. Perbaikan *interval* ini tidak bisa dilaksanakan secara langsung melainkan harus menunggu *shut down* unit.

b. Vibrator

Vibrator untuk menjatuhkan partikulat yang menempel pada dinding *Hopper* sehingga tidak menggantung. Prinsip kerjanya yaitu dengan memberikan getaran pada dinding *Hopper*.

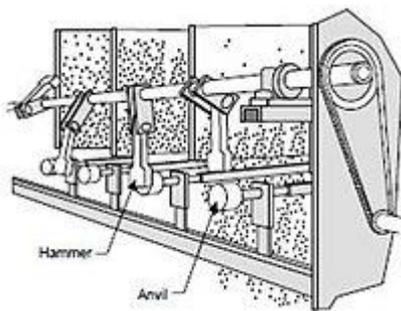
c. Heater EP Hopper

Alat ini berfungsi untuk memanaskan partikulat yang terdapat pada *hopper* agar tidak terjadi kelembaban sehingga tidak terjadi block pada *hopper*.

5. Rapper

Partikulat yang telah terakumulasi pada *discharge electrode* dibuang dengan menggunakan mekanisme *rapping*. Deposit

partikulat biasanya dapat dilepaskan dari elektroda menggunakan impuls mekanik atau getaran yang diaplikasikan pada elektroda. Sistem *rapping* didesain sedemikian rupa sehingga intensitas dan frekuensi *rapping* dapat diatur untuk kondisi operasi yang bervariasi. Setelah setting kondisi operasi didapatkan, maka sistem *rapping* ini harus dapat bekerja secara *continue* dalam jangka waktu yang panjang. Gambar *rapper* dapat dilihat pada gambar 2.4. Terdapat dua jenis *rapper* pada EP antara lain:



Gambar 2.4 Rapper

[https://en.wikipedia.org/wiki/rapper_\(electrostatic_precipitation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/rapper_(electrostatic_precipitation))

a. *Collecting Rapper Motor*

Berfungsi untuk memukul *collecting plate* secara periodik agar partikulat yang menempel pada *collecting* jatuh ke *hopper*.

b. *discharge Rapper Motor*

Berfungsi untuk memukul / *me-rapping* electrode wire secara periodic

agar material yang menempel pada *electrode wire* jatuh ke *hopper*.

6. *Hammering Device* (HD)

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

2.2.4 Teori Dasar Listrik Statis

Listrik statis merupakan proses elektrifikasi terhadap suatu benda sehingga benda tersebut memiliki muatan potensial listrik *electrostatic*. *Electrostatic* adalah suatu kejadian atau fenomena listrik dimana muatan listrik (aliran elektron) akan berpindah dari potensial tinggi (kaya elektron) ke potensial rendah (miskin elektron) tanpa ada bagian yang bergerak. Pada dasarnya daya listrik menurut prinsipnya dibagi atas beberapa bagian antara lain :

1. Medan *electrostatic* yang dapat ditimbulkan oleh sumber daya gesek yang terjadi secara *continue*.
2. Terjadinya sumber daya magnet mampu menimbulkan medan *electromagnetis*.
3. Sumber daya proses kimia yang mampu menimbulkan medan *electrochemical*.

2.2.5 Penghantar dan Isolator

Pada penghantar listrik statis, terdapat dua kelompok sifat bahan antara lain penghantar listrik dan isolator (*dielektrik*). Penghantar adalah bahan yang memiliki sifat mampu menghantarkan muatan bebas dalam jumlah besar, misalnya logam. Dielektrik adalah bahan yang memiliki sifat semua partikel bermuatan di dalamnya terikat kuat pada molekul penyusunannya. Karena adanya medan listrik kedudukan partikel bermuatan dapat berpindah dan bergerak. Dielektrik yang sebenarnya memiliki daya hantar yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan daya hantar pada penghantar yang baik (konduktor).

2.2.6 Hukum Coulomb

Gaya F pada hukum *Coulomb* menyatakan bahwa besar gaya listrik yang diberikan oleh masing-masing benda bermuatan kepada yang lainnya. apabila kedua benda memiliki muatan yang sejenis, maka gaya pada masing-masing muatan akan ber-arah menjauh (tolak-menolak). Sebaliknya jika kedua benda muatannya tidak sejenis maka gaya pada masing-masing benda akan ber-arah menuju benda yang lain (tarik-menarik). Besarnya gaya listrik dapat dihitung dengan persamaan (2.1).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

ϵ_0 = konstanta permitifitas

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{NM^2}$$

r = jarak antara muatan q_1 dan q_2

2.2.7 Tegangan Aplikasi

Merupakan tegangan pada saat penerapan sehingga dapat beroperasi. Besarnya tegangan aplikasi pada *electrostatic precipitator* dapat dihitung dengan persamaan (2.2).

$$V = V_o + E_o \frac{R_o^2 R_1^2}{2R_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.2.8 Perbedaan Potensial

Tegangan kritis korona merupakan tegangan minimal (kritis) yang dibutuhkan untuk membangkitkan lucutan plasma pijar (korona). Besarnya tegangan untuk membangkitkan korona dapat dihitung dengan persamaan (2.3).

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

R_o = jari-jari korona ($R_1 + 0.02 \sqrt{R_1}$)

R_2 = jarak kawat-plat (m)

2.2.9 Arus Listrik

Arus mengalir pada EP merupakan arus *drift*, yaitu arus yang mengalir disebabkan oleh berjalanya partikel bermuatan karena adanya medan listrik.

Besarnya arus listrik yang mengalir pada EP dapat dihitung dengan persamaan (2.4).

Kuat arus:

$$I = 2\mu i \frac{v}{R_2^2 1n \frac{R_2}{R_1}} (V - V_o) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

μi = mobilitas gas ion (m²/ meter-detik)

V = harga rata-rata kecepatan partikel (m/s)

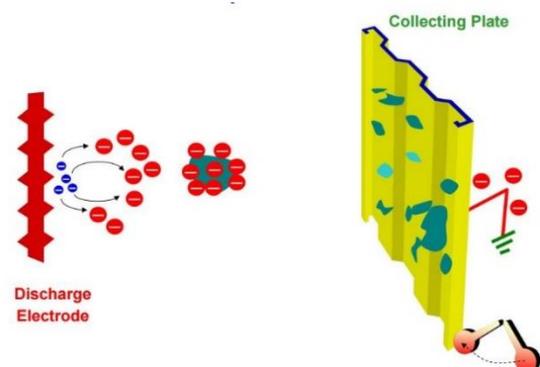
E_o = kuat medan listrik (V/m)

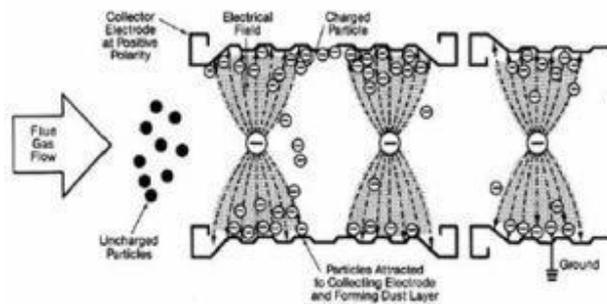
2.2.10 Prinsip Kerja Electrostatic Precipitator

Electrostatic precipitator yang terdapat di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *plant-12* Tarjun bertugas menangkap limbah keluaran dari *raw mill* sebelum di keluarkan menuju udara bebas. Prinsip kerja dari EP yaitu melewati partikel debu (partikulat) sisa dari penggilingan di *Raw mill* PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *plant-12* yang diberi muatan tinggi negatif (-) DC dalam satu medan elektrostatis. Pada sistem yang digunakan yaitu terdapat dua komponen utama yaitu elektroda pelucutan plasma pijar (*discharge electrode* atau *emitting*) yang terbuat dari baja... dan elektroda pengumpul (*collecting plate*) yang berwujud lempengan plat baja.

Discharge electrode / emitting memberikan tegangan tinggi negatif (-) DC yang akan menghasilkan elektron bebas guna untuk memberikan muatan (*charging*) kepada partikel debu (partikulat), sedangkan *collecting plate* berfungsi untuk menarik atau tempat menempelnya partikel yang telah bermuatan negatif (-) DC.

Pada area sekitar *discharge electrode* dan *collecting plate* akan terjadi lucutan plasma pijar (korona) hal ini dikarenakan terdapat tegangan yang tinggi diantara kedua elektroda. Selanjutnya, elektron-elektron akan mengionisasi gas disekitarnya hingga bermuatan negatif. Karena pengaruh medan elektrostatis yang tinggi maka partikulat yang telah terionisasi akan bergerak menuju *collecting plate* atau *emitting electrode*. Proses pemberian muatan pada partikel debu dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.





Gambar 2.5 Proses Pemberian Muatan pada Partikel

Sumber :

<http://planetcopas.blogspot.co.id/2012/08/prinsip-kerja-electrostatic.html>

Selama proses ionisasi partikel akan terus diberi muatan hingga partikel debu memiliki muatan yang cukup untuk tertarik dan menempel pada *collecting plate*. Setelah partikel debu menempel pada *collecting plate* maka selanjutnya akan dinetralkan. Setelah partikulat tadi dinetralkan maka *collecting plate* akan dipukul oleh *rapper* hingga mengakibatkan getaran yang membuat partikulat lepas dan jatuh kebawah menuju *hopper*.

Setelah terkumpul pada *hopper* selanjutnya akan kembali digetarkan dan dihangatkan agar partikulat tidak menempel terlalu lama dan mengendap di dalam bak penampungan sementara atau *hopper* ini karena akan ditransport (dipindahkan) menuju *flyash silo* dengan cara divakum atau dihembuskan. Partikulat yang tidak tertangkap oleh elemen positif dihisap melalui *ID fan* untuk dibuang lewat cerobong asap (*chimney*).

2.2.11 Partikel Debu (partikulat)

Partikel debu (partikulat) adalah nama umum untuk sejumlah partikel padat campuran dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang berukuran kecil atau molekul tunggal dengan rata-rata diameter kurang dari 500 mikrometer. Terdapat partikel debu pada industri semen salah satunya berasal dari proses *raw mill*, yaitu proses penggilingan bahan baku yang pertama dalam industri semen yang dihaluskan hingga berukuran seperti tepung. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi penangkapan debu, antara lain:

1. Ukuran Partikel

Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap muatan yang diberikan kepada partikel itu sendiri, semakin besar ukuran partikel debu, semakin baik proses ionisasinya maka makin besar kemungkinan untuk menerima muatan lebih banyak, sehingga mengakibatkan partikel akan semakin cepat menempel pada *collecting plate*. Hal ini berlaku pada partikel yang berukuran lebih dari 1 mikrometer.

2. Resistifitas Partikel

Resistifitas partikel ialah ukuran resistansi suatu partikel terhadap listrik, dan sebuah indikator kecepatan migrasi partikel tersebut. Resistifitas sangat berperan

penting terhadap kinerja sebuah EP melainkan efisiensi EP tersebut. Resistifitas memiliki satuan Ω cm. Resistifitas partikel dapat dihitung dengan persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{l} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- ρ = resistifitas partikel (Ω cm)
- R = tahanan (Ω)
- A = luas penampang (cm^2)
- l = panjang penghantar (cm)

Nilai sebuah resistifitas bahan secara umum berada pada kisaran 10^{-3} hingga 10^{-4} Ω cm, sedangkan resistifitas sebuah partikel yang baik untuk EP ialah $10^7 - 10^{10}$ Ωcm .

3. Pengaruh Temperatur

Temperatur akan mempengaruhi medan listrik, apabila temperatur naik maka kuat medan listrik akan menurun. Hal ini berakibat pada kinerja EP dalam menangkap partikel debu.

4. Pengaruh Spark (loncatan bunga api)

Spark timbul akibat lapisan debu yang berada pada *collecting plate* terlalu tebal, hal ini disebabkan oleh kinerja *rapping* yang kurang maksimal.

2.2.12 Kecepatan Migrasi Partikel (ω)

Kecepatan migrasi partikel ialah kecepatan gerak partikel ketika mendapat muatan negatif (-) DC menuju *collecting plate*. Kuat medan listrik dan ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap kecepatan migrasi partikel. Kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan (2.6) berikut :

$$\omega = \frac{2 K_0 p a E_c E_p}{3 \mu} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- ω = kecepatan migrasi partikel (m/s)
- a = jari-jari partikel (m)
- P = tekanan (1 atm)
- E_c = kuat medan listrik (v/m)
- E_p = kuat medan precipitator (v/m)
- μ = viskositas gas (pascal.detik)
- K_0 = permittivity ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)
- ($E_c=E_p=E$)

Terdapat pula persamaan lain yang dapat digunakan untuk menghitung kecepatan migrasi partikel sesuai persamaan (2.7) yaitu:

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- ω = kecepatan migrasi partikel (m/s)
- Q = laju aliran gas (m^3/s)
- A = luas medan penampang (m^2)
- H = efisiensi EP

2.2.13 Efisiensi Pengumpulan Partikel

Pada tahun 1919, efisiensi EP pertama dikembangkan oleh Elvald Anderson, lalu pada tahun 1922 dikembangkan secara teoritis oleh W. Deutsch. Persamaan yang dikenal sebagai Deutsch-Anderson dapat dilihat pada persamaan (2.8) berikut:

$$Eff = 1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{Q}\right)} \dots\dots\dots(2.8)$$

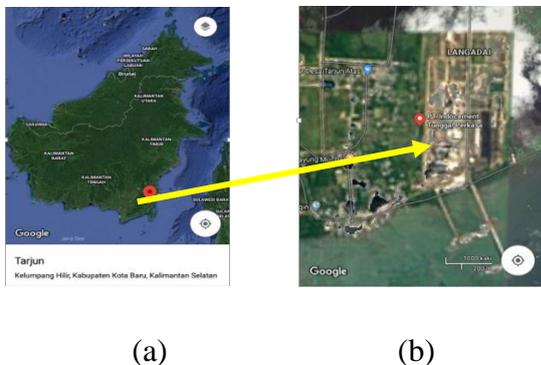
Keterangan :

- ω = kecepatan migrasi partikel
- A = luas media penangkapan
- Q = laju aliran gas
- e = bilangan napier (2,71828)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

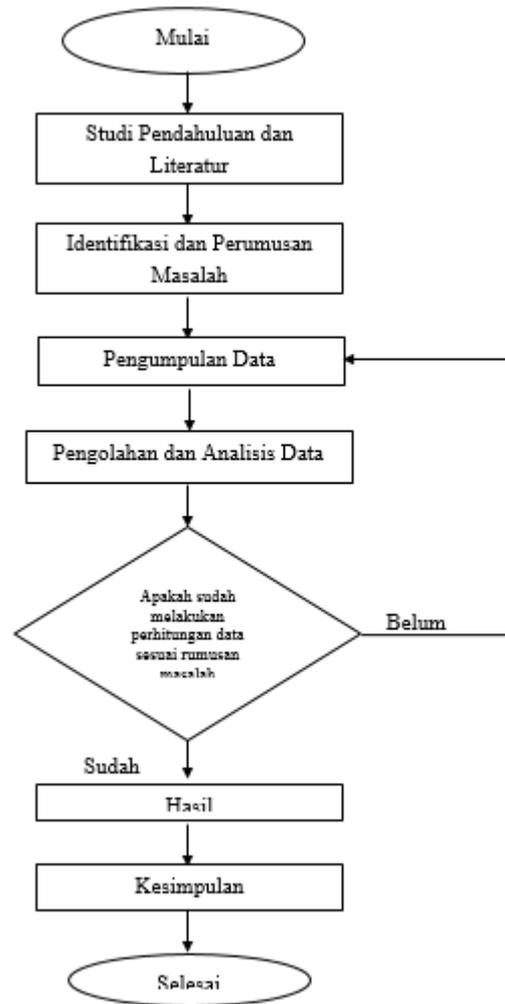
Lokasi penelitian dilaksanakan di PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *plant-12* Tarjun yang terletak di desa Tarjun, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Gambar denah lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar (3.1).



Gambar 3.1 (a) Peta Lokasi Penelitian dan (b) Lokasi Penelitian Dilihat dari Ketinggian 200 m.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir atau langkah-langkah dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada gambar (3.2) sebagai berikut :



Gambar 3.2 flow chart Tahapan penelitian.

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan ialah tahapan awal dalam metodologi penelitian dan penulisan. Pada tahap ini dilakukan studi lapangan pada saat kerja praktek di PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *plant-12* Tarjun. Tujuan dari studi pendahuluan ini untuk mengamati mengenai topik dan mengumpulkan data-data apa saja yang

diperlukan dalam penulisan tugas akhir ini, dan juga studi pustaka yang digunakan sebagai acuan serta wawasan demi terselesaikannya penulisan tugas akhir ini.

2. Studi Literatur

Studi literatur memiliki peranan penting dalam menyelesaikan penelitian karena digunakan sebagai landasan teori berfikir dalam menyelesaikan masalah secara ilmiah. Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari teori-teori mengenai desain, nilai aspek rasio dan metode perhitungan yang ada pada EP.

3. Perumusan Masalah

Tahap selanjutnya ialah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *Plant-12* Tarjun, yang berfokus pada *electrostatic precipitator* pada *raw mill* dan permasalahan yang ada pada EP tersebut yang kemudian akan dicari solusinya dengan pengumpulan dan pengolahan data yang sesuai dengan topik permasalahan yaitu mengenai efisiensi penangkapan partikel debu berdasarkan desain, nilai SCA, aspek rasio dan metode perhitungan *Deutch-Anderson*.

4. Pengambilan Data

Dalam proses pengambilan data Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian dengan cara pengamatan langsung ke lapangan dan pengambilan

data teknis, juga melalui software control yang ada pada ruang *maintenance* EP serta tinjauan pustaka yang dibutuhkan, serta dilakukan tanya jawab langsung dengan pihak-pihak yang terkait di lokasi penelitian.

5. Pengolahan Data

Selanjutnya ialah pengolahan data, semua data yang telah diperoleh diolah dan dihitung sesuai dengan parameter yang telah dipelajari sebelumnya guna menyelesaikan proses analisis data yang terkait.

6. Analisis Data

Data yang telah diolah dan dihitung kemudian dianalisis untuk mengetahui unjuk kerja dari EP, dengan mengamati desain, nilai SCA, aspek rasio nilai efisiensi yang dihasilkan dari kinerja Ep dalam bekerja menangkap debu agar terhindar dari kerugian materil karena bahan baku yang terbuang dan juga kerugian bagi lingkungan kebersihan udara bebas.

7. Hasil

Adapun hasil dari perhitungan dan pengamatan nilai efisiensi dari bentuk desain nilai SCA, aspek rasio dan metode perhitungan *Deutch-Anderson*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembentukan Medan Listrik

Terdapat dua elektroda, yaitu *discharge electrode* yang bermuatan negatif (-) dan pelat pengumpul yang bermuatan positif (+) pada jarak tertentu. *Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan negatif(-), pada level tegangan 78,5 - 100 kV (yang sebelumnya memiliki tegangan awal 400-480 VAC) dirubah menjadi listrik searah (DC) oleh rectifier, yang diambil hanya potensial negatifnya (-) saja. Besar kecilnya tegangan masuk maupun tegangan keluar pada trafo tergantung kebutuhan. Pada pelat pengumpul (*collecting plate*) ditanahkan (*digrounding*) agar bermuatan positif dan memiliki potensial rendah. Selanjutnya , ketika *discharge electrode* diberi arus DC maka medan listrik terbentuk dalam ruang yang berisi sekat-sekat elektroda tersebut dan setiap partikel debu (partikulat) akan tertarik pada pelat pengumpul tersebut. Dengan demikian udara bersih akan terus bergerak menuju cerobong asap.

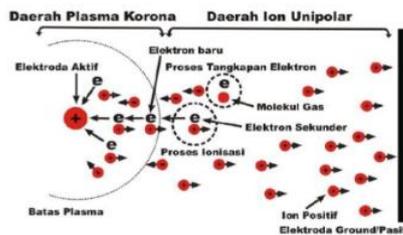
4.2 Tegangan Listrik Korona

Gas buang hasil penggilingan material memiliki sifat netral. Untuk dapat menarik partikel partikel yang terbawa oleh gas buang maka dilakukan proses ionisasi terhadap partikel-partikel tersebut agar bermuatan listrik. Dibutuhkan medan listrik

yang besar untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi terhadap penangkapan partikel debu.

Sistem ionisasi terhadap partikel-partikel pada EP adalah dengan menghasilkan korona (plasma lucutan pijar) melalui tegangan listrik yang diallirkan pada sebuah anoda. Korona merupakan proses pembangkitan arus di dalam fluida netral diantara dua elektroda bertegangan tinggi dengan mengionisasi fluida tersebut, sehingga membentuk plasma disekitar salah satu elektroda dan menggunakan ion yang dihasilkan dalam proses tersebut sebagai pembawa muatan menuju elektroda lainnya.

Lucutan korona dibangkitkan menggunakan pasangan elektroda tak simetris yang akan membangkitkan lucutan di dalam daerah dengan medan listrik tinggi disekitar elektroda yang memiliki bentuk geometri lebih runcing dibanding elektroda lainnya. Elektroda dimana disekitarnya terjadi proses ionisasi disebut elektroda aktif. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektroda, semakin banyak jumlah ion dan elektron yang terbentuk. Proses ionisasi (pelepasan ion) pada partikel debu yang terjadi menyebabkan korona yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Plasma lucutan pijar (korona) pada ruang antar elektroda EP

<https://www.slideshare.net/asepnoema/fluida-plasma>

Discharge electrode (DE) dipasang pada tiap-tiap tengah *collecting plate* dengan jarak 20cm antar *collecting plate* yang digunakan Untuk mencegah *short circuit*. Tiap ujung anoda pemancar korona berjarak 10 cm. Pemasangan DE harus dipasang juga insulasi yang memisahkan DE dengan casing dan *collecting plate* yang bermuatan netral. Jarak antar *collecting plate* pada sebuah EP didesain cukup dekat yakni 30-40 cm dengan kedua sisi pelat (depan-belakang) yang sama-sama berfungsi untuk menangkap debu. *Collecting plate* dibuat dari pelat yang sudah di rancang sedemikian rupa agar memiliki kekuatan dan ketahanan.

Electrostatic precipitator pada *raw mill* ini memiliki 4 chamber yang masing-masing memiliki 4 hopper. Keempat *chamber* ini memiliki nilai tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi yang berbeda-beda berdasarkan besar tegangan *setting* yang di berikan pada *discharge electrode*. Dalam 1 chamber terdapat 40 kolom

elektroda, 1 kolom terhitung 10 elektroda. Tabel tegangan dan arus *setting* dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tegangan dan Arus *Setting* pada EP

Chamber	Tegangan (kV)	Arus (mA)
1	83	708,05
2	78	1505
3	78	2975
4	78	2975

Dari data tegangan dan arus di atas memang sengaja tidak disetting maksimal, *chamber* 1 hanya 49%, *chamber* 2 hanya 43 % namun untuk *chamber* 3 dan 4 menggunakan 85 % arusnya, hal ini dinilai agar debu yang semakin kecil akan mampu tertangkap oleh *collecting plate*.

1. Chamber 1

Pada elektroda pijar korona chamber 1 dialiri listrik dengan tegangan 83 kV/min. DE dan *collecting plate* diberi jarak 200 mm. Dengan data yang diperoleh tersebut dapat dihitung tegangan kritis korona atau tegangan terkecil yang dapat membangkitkan korona, sesuai persamaan (4.1) dan untuk mengetahui besar tegangan

pada saat pengaplikasian dapat dihitung dengan persamaan (4.2).

a. Tegangan kritis korona

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R_o}{R_1} \dots\dots\dots(4.1)$$

Bila :

$$E_o = 83 \text{ kV/min}$$

$$R_1 = 0,20 \text{ m}$$

$$R_o = (R_1 + 0,02\sqrt{R_1}) = 0,20 + 0,02\sqrt{0,20} = 0,208\text{m}$$

Maka:

$$V_o = 83 \times 0,208 \left(\ln \frac{0,208}{0,20} \right)$$

$$V_o = 0,6771 \text{ kV}$$

Tegangan kritis korona dalam 1 chamber adalah:

$$= V_o \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 0,6771 \times 40$$

$$= 27,084 \text{ KV}$$

Jadi tegangan kritis korona dalam satu chamber, chamber ke-1 sebesar 27,084 KV.

b. Tegangan Aplikasi

Tegangan pada saat penerapan atau diaplikasikan berdasarkan persamaan (4.2):

$$V = V_o + E_o \frac{R_o^2 - R_1^2}{R_1} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$V = 0,6771 + 83 \frac{0,208^2 - 0,20^2}{0,20}$$

$$= (0,6771 + 1,35456) \text{ kV}$$

$$= 2,03166 \text{ kV}$$

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

$$= V \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 2,03166 \times 40$$

$$= 81,2664 \text{ KV}$$

Jadi tegangan aplikasi dalam satu chamber, chamber ke-1 sebesar 81,2664 KV.

2. Chamber 2

Pada elektroda pijar korona chamber 2 dialiri listrik dengan tegangan 78 kV/min. DE dan *collecting plate* diberi jarak 200 mm. Dengan data yang diperoleh tersebut dapat dihitung tegangan kritis korona atau tegangan terkecil yang dapat membangkitkan korona, sesuai persamaan (4.3) dan untuk mengetahui besar tegangan pada saat pengaplikasian dapat dihitung dengan persamaan (4.4).

a. Tegangan kritis korona

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R_o}{R_1} \dots\dots\dots(4.3)$$

Bila :

$$E_o = 78 \text{ kV/min}$$

$$R_1 = 0,20 \text{ m}$$

$$R_o = (R_1 + 0,02\sqrt{R_1}) = 0,20 + 0,02\sqrt{0,20} = 0,208\text{m}$$

Maka:

$$V_o = 78 \times 0,208 \left(\ln \frac{0,208}{0,20} \right)$$

$$V_o = 0,6363 \text{ kV}$$

Tegangan kritis korona dalam 1 chamber adalah:

$$= V_o \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 0,6363 \times 40$$

$$= 25,452 \text{ KV}$$

Jadi tegangan kritis korona dalam satu chamber, chamber ke-2 sebesar 25,452 KV.

b. Tegangan Aplikasi

Tegangan pada saat penerapan atau diaplikasikan berdasarkan persamaan (4.4):

$$V = V_o + E_o \frac{R_o^2 - R_1^2}{R_1} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$V = 0,6363 + 78 \frac{0,208^2 - 0,20^2}{0,20}$$

$$= (0,6363 + 1,27296) \text{ kV}$$

$$= 1,90926 \text{ kV}$$

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

$$= V \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 1,90926 \times 40$$

$$= 76,3704 \text{ KV}$$

Jadi tegangan aplikasi dalam satu chamber, chamber ke-1 sebesar 76,3704 KV.

3. Chamber 3 dan 4

Pada elektroda pijar korona chamber 3 dan 4 dialiri listrik dengan tegangan yang sama yaitu 78 kV/min. DE dan *collecting plate* diberi jarak 200 mm. Dengan data yang diperoleh tersebut dapat dihitung tegangan kritis korona atau tegangan terkecil yang dapat membangkitkan korona, sesuai persamaan (4.5) dan untuk mengetahui besar tegangan pada saat pengaplikasian dapat dihitung dengan persamaan (4.6).

a. Tegangan kritis korona

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R_o}{R_1} \dots\dots\dots(4.5)$$

Bila :

$$E_o = 78 \text{ kV/min}$$

$$R_1 = 0,20 \text{ m}$$

$$R_o = (R_1 + 0,02\sqrt{R_1}) = 0,20 + 0,02\sqrt{0,20} = 0,208 \text{ m}$$

Maka:

$$V_o = 78 \times 0,208 \left(\ln \frac{0,208}{0,20} \right)$$

$$V_o = 0,6363 \text{ kV}$$

Tegangan kritis korona dalam 1 chamber adalah:

$$= V_o \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 0,6363 \times 40$$

$$= 25,452 \text{ KV}$$

Jadi tegangan kritis korona dalam satu chamber, chamber ke-3 dan 4 sebesar 25,452 KV.

b. Tegangan Aplikasi

Tegangan pada saat penerapan atau diaplikasikan berdasarkan persamaan (4.6):

$$V = V_o + E_o \frac{R_o^2 - R_1^2}{R_1} \dots\dots\dots(4.6)$$

$$V = 0,6363 + 78 \frac{0,208^2 - 0,20^2}{0,20}$$

$$= (0,6363 + 1,27296) \text{ kV}$$

$$= 1,90926 \text{ kV}$$

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

$$= V \times 40 \text{ kolom}$$

$$= 1,90926 \times 40$$

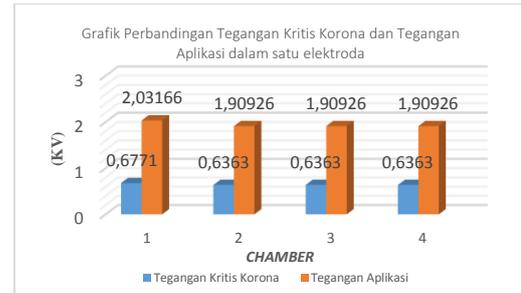
$$= 76,3704 \text{ KV}$$

Jadi tegangan aplikasi dalam satu chamber, chamber ke-1 sebesar 76,3704 KV.

Tabel dan grafik perbandingan tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi pada semua *chamber* dalam satu elektroda dapat dilihat pada tabel (4.2) dan gambar (4.2) dibawah ini.

Tabel 4.2 Tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi dalam satu kolom elektroda setelah dihitung sesuai dengan persamaannya.

Chamber	Tegangan Kritis korona (KV)	Tegangan Aplikasi (KV)
1	0,6771	2,03166
2	0,6363	1,90926
3	0,6363	1,90926
4	0,6363	1,90926
min	0,6363	1,90926
max	0,6771	2,03166
Rata-rata	0,6465	1,93986



Gambar (4.2) Grafik perbandingan tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi pada semua chamber.

Setiap elektroda memiliki tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi. Tegangan kritis korona ini merupakan tegangan minimal yang harus muncul untuk membangkitkan medan listrik hingga muncul korona atau lucutan plasma pijar. Tegangan aplikasi adalah tegangan yang muncul pada saat elektroda beroperasi terjadi ionisasi pada partikel yang masuk ke EP. Pada chamber ke-1 nilai tegangan kritis korona terhitung 0,6771 KV sedangkan tegangan aplikasi terhitung 2,03166 KV, dari kedua tegangan ini terpaut selisih 1,35456 KV, yang artinya ketika partikulat masuk ke EP melewati elektroda negatif dan positif tegangan yang muncul yaitu naik sebanyak 1,35456 KV menjadi 2,03166 KV, tegangan ini terjadi pada satu kolom DE yang tersusun seri, sedangkan dalam satu kolom terdapat 10 elektroda, pada tiap chamber memiliki 40 kolom DE, namun tegangan kritis dan aplikasi ini dihitung berdasarkan jumlah kolom dari tiap chamber karena elektroda pada tiap

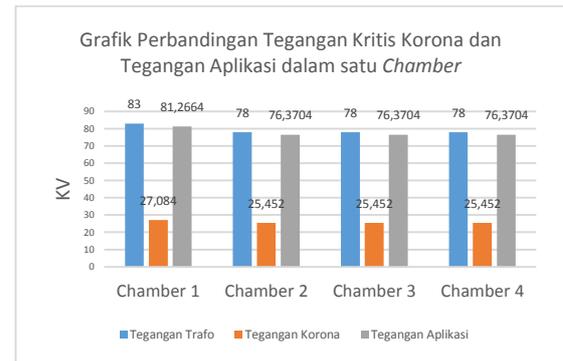
chamber ini tersusun seri pada tiap kolomnya.

Pada chamber 2,3 dan 4 terhitung besar tegangan yang sama hal ini karena tegangan pada chamber tersebut *disetting* berdasarkan *voltage limit dan current limit* yang ada pada *control room EP*. Tegangan pada chamber 2,3 dan 4 memang sama namun jumlah arus pada tiap chamber tersebut berbeda, semakin tinggi urutan chamber semakin tinggi nilai arusnya, karena untuk mengantisipasi partikel debu yang tidak tertangkap pada chamber awal. Untuk melihat besarnya tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi dalam satu chamber (40 kolom) dapat dilihat pada tabel (4.3) beserta grafik pada gambar (4.3) dibawah ini.

Tabel 4.3 Tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi dalam satu chamber (40 kolom) setelah dihitung sesuai dengan persamaannya.

Chamber	Tegangan Kritis Korona (kV)	Tegangan Aplikasi (kV)
1	0,6771	2,03166
2	0,6363	1,90926
3	0,6363	1,90926
4	0,6363	1,90926

min	0,6363	1,90926
max	0,6363	2,03166
Rata-rata	0,6465	1,93986



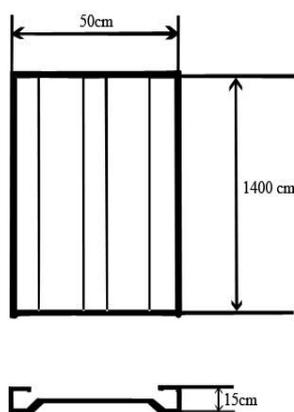
Gambar (4.3) Grafik perbandingan tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi pada semua chamber

Dari grafik (4.3) dapat diamati bahwa tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi meningkat, karena pada grafik ini menunjukkan nilai keseluruhan tegangan pada semua elektroda yang terdapat pada tiap chamber. EP memiliki 4 chamber yang masing masing chamber memiliki 40 kolom elektroda yang tersusun seri sehingga nilai tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi meningkat 40 kali dari perhitungan awal. Sebagai contoh pada chamber ke-1 tegangan kritis korona terhitung 27,084 KV dan tegangan aplikasi terhitung 81,2664 KV. dari tegangan yang di supply oleh trafo yaitu 83 KV menuju EP, tegangan kritis korona terpaut 55,916 KV dan tegangan aplikasi hanya terpaut selisih 1,7336. Hal

ini menunjukkan bahwa EP membutuhkan tegangan sebesar 55,916 KV untuk menimbulkan medan listrik hingga muncul korona. Dan pada saat partikel terionisasi melewati elektroda, tegangan yang timbul yaitu sebesar 81,2664 KV dan terdapat losses sebanyak 1,7336 KV dari tegangan nominal pada trafo. Hal ini wajar dikarenakan jumlah elektroda yang begitu banyak pada tiap chamber memungkinkan untuk terjadinya losses.

4.3 Luas Spesifik Pelat Pengumpul (SCA)

Pelat pengumpul berbentuk lembaran bergelombang (*corugated plate*), dengan dimensi seperti terlihat pada gambar (4.4). Setelah partikulat melewati *screen*, selanjutnya akan lewat diantara pelat pengumpul dan *discharge electrode*. Pada bagian inilah terjadi ionisasi partikulat agar dapat menempel pada pelat pengumpul.



Gambar (4.4) Dimensi collecting pate
Berdasarkan persamaan (4.8), luas spesifik pelat pengumpul (SCA) adalah:

$$SCA = \frac{\text{Jumlah luas permukaan pelat pengumpul}}{\text{kapasitas aliran gas buang } (\frac{m^3}{h})} \dots\dots\dots(4.8)$$

1. Bila pelat dianggap rata maka luas permukaan pelat pengumpul adalah:

$$\begin{aligned} \text{Luas satu permukaan pelat pengumpul} &= p \times l \times 2 \text{ permukaan} \\ &= 1.400\text{cm} \times 50 \text{ cm} \times 2 \\ &= 140.000\text{cm}^2 \\ &= 14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Banyak pelat pengumpul pada EP *raw mill* = baris x kolom x jumlah chamber
⇒ 10 x 40 x 4 = 1.600 pelat

Jadi total luas pelat pengumpul adalah = luas permukaan pelat x jumlah pelat

$$\begin{aligned} \text{Total luas pelat pengumpul (A)} &= 14 \times 1.600 = 22.400 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Mencari nilai kapasitas aliran gas buang (Q) dapat dihitung melalui persamaan (4.9), untuk mencari luas penampang flowrate EP (A) dan velocity udara (v) dapat dihitung melalui persamaan (4.10) dan (4.11).

$$Q = \text{velocity udara (v) x luas penampang flowrate EP(A)} \dots\dots\dots(4,9)$$

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(4.10)$$

$$v = 1096,2 \left(\frac{Pv}{\rho} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(4.11)$$

Diketahui:

- D (flowrate EP) = 4,5 m , r = 2,25 m
- PV = 37,513 mmH₂O = 1,478 inH₂O
- ρ = 0,978 kg / m³ = 0,061 lb/cuft

maka nilai A dan v adalah:

$$\begin{aligned}
 A &= \pi r^2 \\
 &= 3,14 \times 2,25 \\
 &= 15,910714 \text{ m}^2 \\
 v &= 1096,2 \left(\frac{Pv}{\rho} \right)^{0,5} \\
 &= 1096,2 \left(\frac{1,478}{0,0611} \right)^{0,5} \\
 &= 5392,891 \text{ ft/min} \\
 &= 27,396 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai Q adalah :

$$\begin{aligned}
 Q &= v \times A \\
 &= 27,396 \text{ m/s} \times 15,911 \text{ m}^2 \\
 &= 435,88813 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 1.569.197,260 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

kapasitas aliran gas buang rata-rata diketahui (Q) = 1.569.197,260 m³/h maka luas spesifik pelat pengumpul adalah :

$$\begin{aligned}
 SCA &= \frac{22.400 \text{ m}^2}{1.569.197,260 \text{ m}^3/\text{h}} \\
 &= \frac{14,274 \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^3/\text{h}}
 \end{aligned}$$

Nilai SCA dari perhitungan sesuai persamaan untuk EP *raw mill* mendapat nilai 14,274 m² per 1000, hal ini masih dalam kategori (*range*) desain SCA secara umum yaitu 11-45 m² per 1000 m³/h. Terdapat dua nilai SCA yang ditetapkan oleh pabrikasi antara lain berada pada range (11- 20) m² dan (20-25) m² per 1000m³.

Nilai SCA (11-20) m² akan menghasilkan efisiensi sebesar 99,0 – 99,5 %, dan nilai SCA (20-25) m² akan menghasilkan efisiensi EP sebesar >99,5 %. Bila dilihat dari nilai SCA sebesar 14,274 m² per 1000 m³/h, nilai SCA ini masih lebih kecil dari range 20-25m² per 1000 m³/h. Ini berarti efisiensi EP berada di antara 99,0 – 99,5 %.

4.4 Aspek Rasio (AR)

Nilai aspek rasio ditentukan berdasarkan persamaan (4.12) sebagai berikut:

$$AR = \frac{\text{Panjang efektif pelat pengumpul (m)}}{\text{Tinggi efektif pelat pengumpul (m)}} \dots\dots\dots(4.12)$$

Panjang efektif pelat pengumpul tiap chamber = jumlah susunan memanjang x lebar pelat x jumlah chamber

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow 10 \times 0,50 \times 4 &= 20 \text{ m} \\
 \Rightarrow \text{Tinggi efektif pengumpul} &= 14 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga ;

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow AR &= \frac{20 \text{ m}}{14 \text{ m}} \\
 \Rightarrow &= 1,42
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan aspek Rasionya adalah 1,42 masih berada dalam range desain EP. Ketentuan range dari pabrikasi nilai aspek rasio untuk EP adalah antara 0,5 – 2,0, namun untuk menghasilkan tingkat efisiensi pengumpulan yang tinggi (>99%), nilai AR harus lebih besar dari 1,0 (biasanya 1,0 – 1,5) bahkan dapat mencapai 2,0. Karena pada perhitungan aspek rasio didapat angka 1,42 maka hal ini dapat

dikatakan EP pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa *plant*-12 Tarjun memiliki efisiensi kinerja penangkapan debu sebesar >99 %.

4.5 Kecepatan Perpindahan Partikel

Perpindahan partikel dipengaruhi oleh kecepatan aliran gas yang dihisap oleh ID fan dan medan listrik yang timbul dari proses ionisasi partikel. PT Indocement Tunggal Prakarsa *plant*-12 Tarjun merancang sebuah EP dengan efisiensi 99,9946 %. Kecepatan partikel berdasarkan persamaan (4.7) adalah :

$$\omega = - \frac{Q}{A} \ln (1 - \eta) \dots \dots \dots (4.7)$$

dimana :

$$A = 22.400 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.569.197,260 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \omega &= - \frac{Q}{A} \ln (1 - \eta) \\ &= - \frac{1.569.197,260}{22.400} \ln(1-0,999946) \\ &= 688,382 \text{ m/h} \\ &= 0,19 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan perpindahan partikel berdasarkan desain yang mengacu pada flowrate EP adalah 0,19 m/s. pada *raw mill* PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Plant 12 ini pelat pengumpul terpasang secara tersusun dalam kisi-kisi yaitu 40 kolom dan 10 baris. Pada *raw mill* ini memiliki satu EP yang memiliki 4 chamber.

4.6 Efisiensi EP

Efisiensi EP dapat dihitung berdasarkan persamaan (4.13) *Deutch-Anderson*, dengan mengasumsikan bahwa ukuran partikel adalah seragam.

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{Q}\right)} \dots \dots \dots (4.13)$$

dimana :

e = tetapan (2,718)

ω = kecepatan perpindahan partikel (0,19 m/s)

A = Luas permukaan pelat pengumpul efektif (22.400m²)

Q = kapasitas aliran gas (1.569.197,260 m³/h = 435,88813 m³/s)

Maka :

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - 2,718^{-\left(\frac{0,19 \times 22.400}{435,88813}\right)} \\ &= 0,99994 \\ &= 99,994 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan efisiensi EP pada *raw mill* mencapai 99,994 %, perhitungan ini hampir sama dengan perencanaan yang telah dibuat oleh PT Indocement Tunggal Prakarsa *plant*-12 Tarjun dan hanya terdapat selisih 0,0006 %.

4.7 Analisis Perhitungan Aktual Data Partikel Masuk, Tertangkap dan Keluar pada Semua Chamber

PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk *Plant*-12 Tarjun memiliki satu EP yang

memiliki 4 *chamber*. Partikel debu yang masuk didapatkan dari perhitungan dengan rumus (4.14) berikut:

$$\text{Masuk (inlet)} = \text{Material masuk raw mill} + (7\% \times \text{Return Dust}) \dots \dots \dots (4.14)$$

1. Salah satu contoh perhitungan partikel debu masuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Inlet} &= 749,5 + (7\% \times 475,27) \\ &= 749,5 + 33,2689 \\ &= 782,7689 \text{ t/h} \end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan dari material yang masuk pada *raw mill* ditambah dengan 7% dari *return dust*.

2. Salah satu contoh perhitungan efisiensi kinerja EP berdasarkan data aktual, partikel debu yang masuk, tertangkap dan keluar. Besarnya efisiensi EP dapat dihitung sesuai persamaan (4.15).

$$\eta = \left(\frac{\text{Jumlah partikel yang masuk} - \text{jumlah partikel yang keluar}}{\text{jumlah partikel yang masuk}} \right) 100\% \dots (4.15)$$

$$\begin{aligned} \eta &= \left(\frac{782,77 - 0,00147564}{782,77} \right) 100\% \\ &= 99,99981148 \% \end{aligned}$$

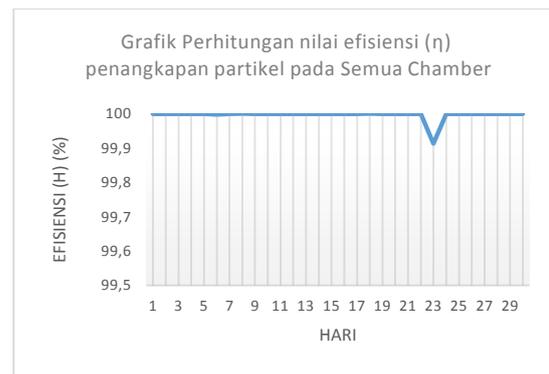
Perhitungan diatas merupakan perhitungan berdasarkan hasil kinerja penangkapan debu oleh EP secara aktual. Tabel perbandingan data aktual partikel debu yang berhasil ditangkap oleh EP dapat dilihat pada tabel (4.4), serta grafik

perbandingan efisiensi kinerja EP selama satu bulan dapat dilihat pada gambar (4.5) dibawah ini.

Tabel 4.4 Tabel Data Aktual EP beserta Efisiensinya

Hari ke-	Partikel debu			
	Masuk (Ton/h)	Tertangkap (Ton/h)	Terlepas (kg/h)	Efisiensi penangkapan (%)
1	782,77	782,622436	0,147564	99,99981148
2	766,18	766,0331812	0,1468091	99,99980839
3	287,43	287,2867812	0,1432188	99,99950173
4	900,6	900,5031107	0,0968893	99,99989242
5	894,35	894,2095232	0,1404768	99,99984293
6	63,51	63,38638626	0,1236137	99,99805363
7	898,44	898,327915	0,112085	99,99987524
8	815	814,9492437	0,0507563	99,99993772
9	789,49	789,365338	0,124662	99,9998421
10	884,36	884,2255287	0,1344713	99,99984795
11	869,49	869,3506628	0,1393372	99,99983975
12	888,2	888,0606055	0,1393945	99,99984306
13	883,26	883,1236558	0,1363442	99,99984564
14	825,79	825,6619603	0,1280397	99,99984495
15	797,93	797,8010664	0,1289336	99,99983841

Lanjutan Tabel 4.4				
Hari ke-	Partikel debu			
	Masuk (Ton/h)	Tertangkap (Ton/h)	Terlepas (kg/h)	Efisiensi penangkapan (%)
16	646,29	646,194468	0,95532	99,99985218
17	778,49	778,3602711	0,1297289	99,99983336
18	0,05	0	0	100
19	824,29	824,2231517	0,0668483	99,9999189
20	806,79	806,6511926	0,1388074	99,99982795
21	809,37	809,2334566	0,1365434	99,9998313
22	824,22	824,0883873	0,1316127	99,99984032
23	1,51	1,37814784	0,1318522	99,91268069
24	863,97	863,8568132	0,1131868	99,99986899
25	876,37	876,2202499	0,1497501	99,99982912
26	919,93	919,8004275	0,1295725	99,99985915
27	304	303,8910645	0,1089355	99,99964166
28	884	883,856508	0,143492	99,99983768
29	843,56	843,440669	0,119331	99,99985854
30	825,07	824,9048798	0,1651202	99,99979987
min	0,05	0	0	99,99127
max	919,93	919,8004	0,1651202	100
Rata-rata	718,4903333	718,3685694	0,121763944	99,99687017



Gambar (4.5) Grafik Perhitungan nilai efisiensi (η) penangkapan partikel pada Semua Chamber.

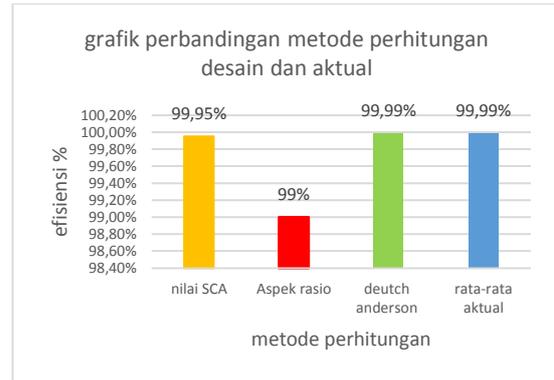
Dari data diatas dapat diamati pada hari ke 18 partikulat yang masuk EP hanya sebesar 0,05 ton / jam, tegangan pada EP baik minimum maupun maksimum tercatat 0 KV hal ini terjadi karena pada hari tersebut sedang terdapat perbaikan pada salah satu EP yang mengakibatkan pabrik harus stop produksi sementara. Pada hari ke 23 terlihat efisiensi kinerja EP menurun pada angka 99,91 % hal ini dikarenakan EP sedang dalam keadaan kurang baik dan terlihat partikulat yang masuk ke EP hanya 1,5 ton artinya jika partikulat yang masuk terlalu kecil, dorongan fan kipas terlalu besar sehingga kecepatannya partikel terlalu cepat hal ini yang mengakibatkan penangkapan partikulat kurang maksimal. Dari grafik aktual EP diatas Secara keseluruhan efisiensi kinerja EP mampu bekerja lebih dari 99,9 % hal ini berarti EP dalam kondisi baik.

4.8 Perbandingan Nilai Efisiensi Kinerja EP dalam Perhitungan Secara Desain dan Perhitungan Secara Aktual

Hasil perbandingan perhitungan nilai efisiensi (η) kinerja EP dalam perhitungan secara desain dan perhitungan secara aktual dapat dilihat pada tabel (4.5) serta grafik dapat dilihat pada gambar (4.6).

Tabel 4.5 Tabel Data Berdasarkan Jenis Perhitungan dan Efisiensinya.

No	Jenis Perhitungan	Efisiensi (η) (%)
1	Nilai SCA	99,95
2	Aspek Rasio	99
3	Perhitungan Deutch-Anderson	99,994
4	Nilai Rata-Rata Perhitungan Data Aktual	99,99687017
5	Nilai Rata-Rata perhitungan 4 metode	99,73521754



Gambar (4.6) Grafik perbandingan perhitungan nilai efisiensi (η) kinerja EP dalam menangkap partikel pada Semua Chamber.

Dari data diatas terdapat dua metode perhitungan antara desain dan aktual, tiga diantaranya perhitungan secara desain yaitu Nilai SCA, Aspek Rasio, dan *Deutch-Anderson*, sedangkan perhitungan secara aktual yaitu perhitungan kinerja sesungguhnya (aktual) berdasarkan partikel masuk, tertangkap dan keluar. Pada perhitungan aspek rasio memiliki efisiensi kinerja paling rendah yaitu 99% hal ini memang ketentuan dari pabrikasi EP sendiri yang menetapkan efisiensi secara aspek rasio maksimal 99%. Namun dari keempat metode tersebut secara rata-rata EP mampu bekerja diatas 99,97 %.

4.9 Perhitungan Selisih (Rata-Rata Secara Desain) dan Perhitungan Secara Aktual Berdasarkan Penangkapan Partikel Masuk, Tertangkap dan Keluar

Dari perhitungan yang sudah di cari sebelumnya dan telah didapatkan berbagai

nilai efisiensi berdasarkan desain EP dari nilai **SCA**, **Aspek Rasio**, perhitungan metode *Deutch-Anderson* dan perhitungan aktual berdasarkan jumlah partikel debu yang masuk, tertangkap dan keluar, maka terdapat selisih antara perhitungan secara desain dan perhitungan aktual. Besarnya nilai rata-rata secara desain dapat dihitung dengan persamaan (4.16), besarnya selisih perhitungan antara efisiensi berdasarkan aktual dan desain perhitungan dapat dihitung dengan persamaan (4.17).

1. Rata-rata efisiensi berdasarkan desain

$$= \frac{\text{Nilai SCA} + \text{Aspek Rasio} + \text{Deutch-Anderson}}{3} \dots\dots\dots(4.16)$$

$$= \left(\frac{99,95 + 99 + 99,994}{3} \right) \%$$

$$= 99,648 \%$$

2. Selisih perhitungan aktual dan perhitungan secara desain

$$= \text{Perhitungan aktual} - \text{rata-rata perhitungan desain} \dots\dots\dots(4.17)$$

$$= (99,99687017 - 99,648) \%$$

$$= 0,34887017 \%$$

Jadi setelah dihitung antara keseluruhan nilai efisiensi EP secara aktual dan perhitungan secara desain didapat selisih 0,34887017 %, nilai perhitungan aktual lebih unggul 0,34887017 % dari perhitungan secara desain. Setelah didapat nilai selisih 0,34887017 % dapat disimpulkan bahwa selisih antara

perhitungan secara aktual (nyata) tidak berbeda jauh dengan perhitungan secara desain, hal ini menunjukkan EP bekerja secara baik karena dari keseluruhan metode perhitungan, EP mampu menunjukkan efisiensi unjuk kerja lebih dari 99,6 % dan EP memang pantas untuk di gunakan sebagai penangkap debu pada PT Indocement Tunggul Prakarsa *plant-12* Tarjun.

4.10 Data Gas Buang Partikulat

Hasil data gas buang berdasarkan besar kecil-nya partikulat tegangan pada bulan Juli tanggal 17 hingga bulan Agustus tanggal 15 (30 hari).

1. Perbandingan Rata - Rata Partikulat masuk EP dan Emisi Gas Buang

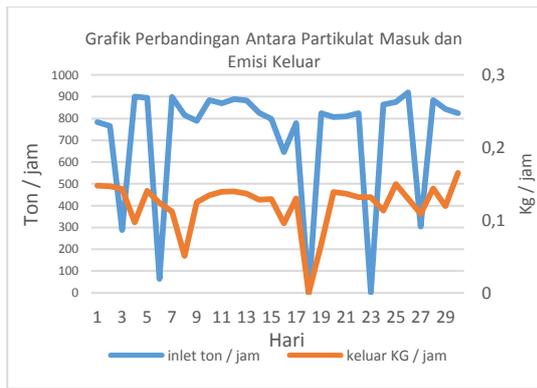
Tabel perbandingan antara rata-rata partikulat masuk dan hasil emisi gas buang dapat dilihat pada tabel (4.6) dan gambar grafik perbandingan antara rata-rata Partikulat masuk dan hasil emisi gas buang dapat dilihat pada gambar (4.7).

Tabel 4.6 Tabel Data perbandingan banyaknya partikulat yang masuk dengan rata-rata hasil emisi gas buang

Hari Ke-	Partikulat masuk EP (Ton / Jam)	Emisi yang dihasilkan (Kg / Jam)
1	782,77	0,147564

Lanjutan tabel 4.6		
Hari Ke-	Partikulat masuk EP (Ton / Jam)	Emisi yang dihasilkan (Kg / Jam)
2	766,18	0,1468091
3	287,43	0,1432188
4	900,6	0,0968893
5	894,35	0,1404768
6	63,51	0,1236137
7	898,44	0,112085
8	815	0,0507563
9	789,49	0,124662
10	884,36	0,1344713
11	869,49	0,1393372
12	888,2	0,1393945
13	883,26	0,1363442
14	825,79	0,1280397
15	797,93	0,1289336
16	646,29	0,095532
17	778,49	0,1297289
18	0,05	0
19	824,29	0,0668483

Lanjutan tabel 4.6		
Hari Ke-	Partikulat masuk EP (Ton / Jam)	Emisi yang dihasilkan (Kg / Jam)
20	806,79	0,1388074
21	809,37	0,1365434
22	824,22	0,1316127
23	1,51	0,1318522
24	863,97	0,1131868
25	876,37	0,1497501
26	919,93	0,1295725
27	304	0,1089355
28	884	0,143492
29	843,56	0,119331
30	825,07	0,1651202
Min	0,05	0
max	919,93	0,161512
Rata-Rata	718,490	0,121764



Gambar (4.7) Grafik perbandingan antara rata-rata partikel yang masuk dengan emisi yang dihasilkan dalam satu bulan.

Catatan pengoperasian EP pada *raw mill* selama satu bulan sejak tanggal 17 juli 2017 hingga 15 agustus 2017, memperlihatkan banyaknya partikulat yang masuk dan partikulat yang menjadi emisi gas buang ke udara. bahwa terjadinya naik turun jumlah emisi gas buang ke udara bebas secara fluktuaktif. Terlihat terjadinya proses perawatan pada salah satu chamber, pada hari ke 18 sehingga EP harus stop produksi, dan terbukti memang tidak ada emisi yang keluar atau 0 kg/h. Pada hari ke-23 jumlah partikulat yang masuk mengalami penurunan drastis yaitu 1,51 Ton/jam hal ini mengakibatkan kecepatan partikulat yang masuk ke EP meningkat karena dorongan kipas terlalu tinggi dan juga material yang dibawa tidak banyak sehingga udara lebih ringan membawa partikulat masuk. Karena kecepatan partikulat masuk terlalu tinggi, kinerja EP kurang maksimal sehingga nilai emisi maksimum pada hari tersebut cukup tinggi

yaitu 0,13 kg/jam, emisi ini hampir sama dari hari-hari saat jumlah partikel yang masuk normal yaitu 718,490 (Ton/jam).

Dari data dan grafik rata-rata secara keseluruhan dapat diamati banyaknya emisi yang dihasilkan tergantung jumlah partikulat yang masuk ke dalam EP, apabila partikulat masuk tinggi maka emisi yang dihasilkan juga tinggi, apabila partikulat masuk rendah maka jumlah partikulat juga rendah, namun banyak rendahnya emisi tetap berkisar pada efisiensi kinerja EP diatas 99,9%.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari penjelasan yang telah dibahas, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Kecepatan partikel yang melewati EP berpengaruh terhadap efisiensi penangkapan gas buang pada *collecting plate*. *Screen* berpengaruh terhadap kecepatan partikel debu yang masuk ke EP. Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan perpindahan partikel melewati EP didapat nilai sebesar 19 cm/s. Nilai kecepatan ini lebih tinggi dibanding 6,4 – 9,5 cm/s berdasarkan tetapan/ referensi kecepatan. Namun demikian walaupun kecepatan diatas rata-rata ketetapan EP tetap mampu memiliki efisiensi kerja > 99,6%.

2. Hasil dari perhitungan SCA pada EP diperoleh 14,274 m² per 1000 m³/h. Nilai SCA tersebut masih berada dalam range desain EP sebesar 11-45 m² per 1000 m³/h, untuk menghasilkan efisiensi lebih dari 99 %. Nilai perhitungan luas area spesifik (SCA) *collecting plate* berpengaruh terhadap tinggi rendahnya efisiensi EP. Apabila semakin tinggi nilai perhitungan pada SCA maka semakin tinggi juga efisiensi-nya, namun tetap diimbangi dengan naiknya kuat arus yang di *supply* pada *discharge electrode* dan *collecting plate*.
3. Berdasar nilai aspek rasio terhadap desain EP diperoleh nilai 1,42 maka dengan demikian PT Indocement Tunggal Prakarsa *plant-12* Tarjun memiliki efisiensi kinerja penangkapan debu sebesar lebih dari 99%.
4. Berdasarkan asumsi diameter partikel debu dianggap sama rata dan dihitung menggunakan persamaan *Deutch-Anderson* didapat efisiensi sebesar 99,994%.
5. Berdasarkan perhitungan banyaknya partikel debu yang masuk, tertangkap dan keluar EP, didapat efisiensi kinerja rata-rata selama satu bulan sebesar 99,68701 %.
6. Setelah keseluruhan nilai efisiensi EP secara perhitungan aktual dan perhitungan desain, hanya terdapat selisih 0,34887017 %, hal ini

menunjukkan efisiensi unjuk kerja EP lebih dari 99,6% dan berarti memang sesuai untuk digunakan sebagai penangkap debu pada PT Indocement Tunggal Prakarsa *plant-12* Tarjun.

5.2 Saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka penulis memberi saran antara lain:

1. Sebaiknya senantiasa dilakukan *checking* berkala pada EP terutama 3 komponen utama (DE, CP, dan *Hammering Device*) agar kinerja EP tetap terjaga secara optimal.
2. Selalu memperhatikan desain pada EP agar nilai SCA, Aspek Rasio, dan efisiensi kinerja penangkapan debu tetap terjaga.
3. Senantiasa melakukan penggantian berkala pada komponen-komponen EP ketika masa pakai komponen tersebut telah mendekati batas akhir penggunaan, hal ini guna menjaga umur EP itu sendiri dan juga menghindari hal-hal yang berbahaya pada EP akibat kegagalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, "ESP Design Parameter and Their Effects on Collection Efficiency", *Leson 1,3 and 4. Tahun 1998.*

- Anonim,” Electrostatic presipitation Basics”, BHA group, inc, Denmark, Tahun1992.
- Anonim, “ Operation and Maintenance manual ESP basic”, TAI & Chyun Association, Inc. Korea.
- Chiang, T. W. 2001. *Simulasi electrostatic precipitator keeping sejajar 10 KV DC*. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Dy Rustady “ Maintenance for ESP, Fly Ash and Sand Handling System”, PT. Truba Jaya Engineering.
- Mikael Risberg, “ Black Liquar Gasification”, Lulea University of Technology, Sweden, 2001.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2014), “*Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method*”. IPTEK Journal of Proceedings Series. 2014; 1(1): pp. 224-229.
- Syahputra, R., (2013), “*A Neuro-Fuzzy Approach For the Fault Location Estimation of Unsynchronized Two-Terminal Transmission Lines*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 5, No. 1, pp. 23-37.
- Syahputra, R., (2012), “*Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
- Syahputra, R., (2010), “*Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material*”, Forum Teknik, Vol. 33, 2010.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). “*Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach*”, Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE) 2015, UNESA Surabaya, pp. 187-193.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). “*Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources*”, Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014, UNDIP Semarang, pp. 388 - 393.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), “*Distribution Network*

- Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method*". International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). 2013; pp. 224-229.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2012), "Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method", International Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIMTR), May 21-22, 2012, Melacca, Malaysia.
- Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines*. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
- Thomas M Grace,"Recovery Boiler Equipment and Operation", T.M. Grace Co,Inc. Appleton, Wisconsin.
- Whardani, E, M, Sutisna dan A. H. Dewi. 2012. *Evaluasi pemanfaatan abu terbang (Fly ash) batubara sebagai campuran media tanam pada tanaman tomat (Solanium lycopersicum)*. Jurnal Itenas Rekayasa Institut Teknologi Nasional, Vol. XVI, No. I. Hal 45.
- Wang, L.K, N. C. Pereira dan Y. Hung 2004. *Air polution control engineering*. humana Press Inc. Totowa, New Jersey.
- https://www.google.co.id/search?q=collecting+plate+esp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjZsc337OrZAhVGUbwKHbLvA8YQ_AUICigB#imgrc=15cflNArwPXZ3M: diakses pada tanggal 8 maret 2018 pukul 20.00 WIB.