

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik pembahasan penelitian yang berjudul Unjuk Kerja *Electrostatic Precipitator* Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Pada *Raw Mill* PT Indocement Tunggul Prakarsa Plant-12 Tarjun terdapat beberapa referensi untuk mendalami materi yang nantinya akan digunakan sebagai acuan penyelesaian tugas akhir ini.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Sepfitrah, dkk Universitas Pasir Pangarian (2015) *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler* yang menjelaskan berapa emisi yang dihasilkan di *recovery boiler* dapat dikurangi dengan menggunakan ESP.

Noza Afrian, dkk Universitas Riau (2015) *Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp and Paper* yang menjelaskan tentang kinerja *electrostatic Precipitator* berdasarkan pengaruh tegangan DC yang digunakan dan juga perhitungan apa yang berpengaruh terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

Lutfi Maslul Muttaqim, dkk Universitas Diponegoro (2015) *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Exhaust Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas buang Main Engine Kapal Latih Bimasakti* yang menjelaskan seberapa bedarnya efisiensi ESP ini menggunakan model ukuran ESP yang dibuat tetap atau jarak elektroda yang dirubah dengan begitu didapatkan model ESP yang efisiensinya tinggi. Penelitiannya menggunakan program numerik untuk menganalisa model tersebut dan hasil analisa dari software yang berupa *velocity contour* dianalisa untuk menentukan seberapa besar efisiensi emisi gas buang.

Margono Sugeng , dkk Institut Sains dan Teknologi Nasional *Pengaruh kegagalan Collecting Plate System Electrostatic Precipitator dengan Kenaikan Emisi pada Pembangunan Listrik Tenaga Uap* yang menjelaskan bahwa ESP harus

memperhatikan desain kriteria terutama *collecting plate* apabila mengalami kegagalan dapat menyebabkan efisiensi ESP menurun.

Hardian Yanuar W Kamoto, Universitas Dioneoro (2010) *pemicuan Metode Intermittent Enegzation pada Raw Mill Elctrostatic Precipitator PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Plant-9* yang menjelaskan alat penyaring partikulat hasil dari *Raw Mill* yang telah halus dihisap dari proses grinding menggunakan udara bertekanan, dihisap menuju *electrostatic Precipitator* melalui fan.

Syarifil Anwar, ATPN Banjarbaru (2017) *Pembersih Udara Buang Pada Boiler (Ketel) Uap dengan Menggunakan Electrostatic Precipitator (ESP) pada PLTU Asam-asam* yang menjelaskan tentang perlunya penggunaan *electrostatic precipitator* pada penghisap dan pembersih debu keluaran batubara pada cerobong boiler agar dapat mengurangi polusi dan menjaga kebersihan cerobong.

Wibowo Hardian Yanuar, Universitas Diponegoro (2010) *Pembuatan Power Suply Teagangan Tinggi Searah Dengan Menerapkan Metode Intermittent Energisation untuk Pengendapan Debu Secara Elektrostatik* yang menjelaskan bahwa semakin besar tegangan tinggi rata-rata yang diaplikasikan maka debu semakin cepat pula terkumpul pada *collecting electrode* dan semakin cepat pula elektroda pengumpul mencapai titik jenuh.

Saidiman Wahyu, Politeknik Negri Samarinda (2009) *Perancangan Elektrostatik Precipitator (ESP) pada Cerobong Gas Buang Boiler Sebagai Penangkap Limbah Debu di Pabrik kayu Lapis PT. SUMALINDO LESTARI JAYA, Tbk SAMARINDA* yang menjelaskan mengenai salah satu cara untuk mengatasi masalah limbah debu yaitu dengan menggunakan *electrostatic precipitator* dengan keunggulan efisiensi yang besar, yakni bisa mencapai diatas 90 %.

Martadinata I Made, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo *Rancang Bangun Electrostatic Precipitator (ESP) Sebagai penangkap Debu Layang Indoor Berbasis Mikrokontroller* yang menjelaskan tentang suatu alat pengendap debu

menggunakan *electrostatic precipitator* untuk mengurangi kadar pencemaran udara dengan memanfaatkan energi listrik berbasis mikrokontroler.

Sunardi Agung Firmansyah, dkk Universitas Brawijaya (2012) *Perancangan dan Pembuatan Model Miniatur Electrostatic Precipitator (Pengendapan Debu Elektrostatis) untuk Mengurangi Partikel Debu Gas Buang Pabrik Gula Krebet baru 1 Kabupaten Malang* yang menjelaskan bahwa penangkapan partikel gas buang dipengaruhi oleh kuat medan listrik korona, tegangan korona, tegangan operasi, pemuatan partikel kecepatan gerak partikel, efisiensi, dan luas total plat pengumpul. ESP agar mendapatkan hasil yang efisien yang lebih optimal dibutuhkan perubahan parameter yaitu tegangan operasi, kecepatan gerak partikel, serta pemuatan partikel maka ESP akan bekerja 99%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 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 statik 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 di atas 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

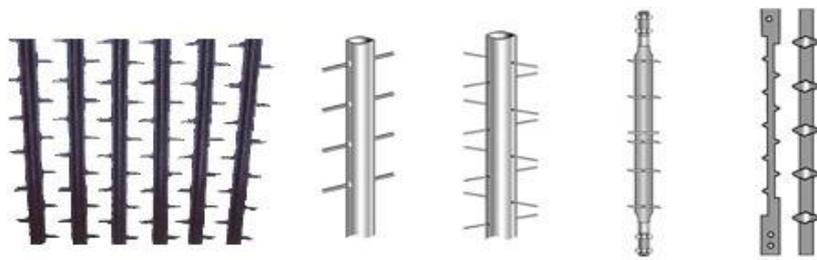
Bagian-bagian utama pada EP terdiri dari beberapa bagian yaitu:

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 didalam 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 disamping 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 diantara *Collecting plate*. Terdapat insulasi yang bermuatan netral diantara *Casing*, DE dan *Collecting plate* yang berfungsi sebagai pengaman hubung singkat. Jarak pada setiap ujung DE yaitu kurang lebih 10cm. DE diperlihatkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



(a)



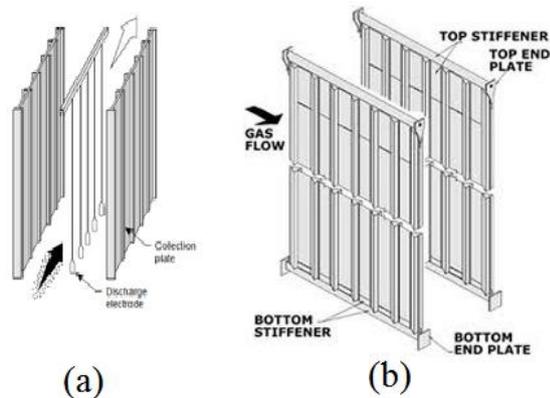
(b)

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*

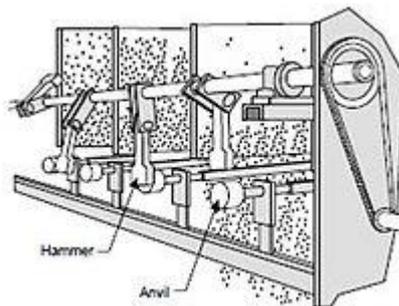
Vibrator untuk menjatuhkan partikulat yang menempel pada dinding *Hopper* sehingga tidak menggantung. Prinsip kerjanya yaitu dengan memberikan getaran pada dinding *Hopper*.

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 periodik 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 statik, 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).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

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)

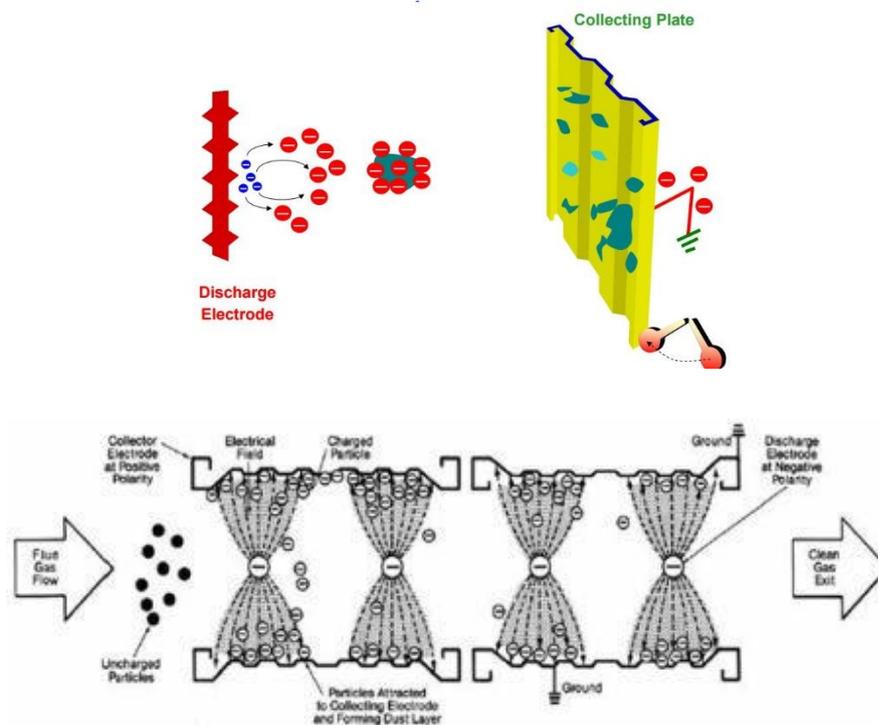
2.2.10 Prinsip Kerja *Electrostatic Precipitator*

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 melewatkan 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 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 bermutan 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 *raper* 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)

2.2.14 MATLAB (*Matrix Laboratory*)

MATLAB atau *matrix laboratory* merupakan suatu program yang digunakan untuk menganalisa, mengolah, meng-kalkulasi data numeril, matlab juga merupakan pengembangan dari pemrograman matematika lanjutan, yang memiliki pemikiran dasar berdasarkan sifat dan bentuk matriks. MATLAB dapat digunakan dalam hal visualisasi, bagan, atau grafik sekalipun dari hasil fungsi matematika. MATLAB adalah bahasa pemrograman yang menggunakan *command line*. MATLAB memiliki library yang dapat digunakan untuk menambahkan fungsi baru dalam mengolah data. Kegunaan MATLAB dapat digunakan untuk :

1. Pengolahan dan pembentukan algoritma
2. Memecahkan permasalahan matematika baik perhitungan biasa hingga perhitungan rumit., dalam komputansi.
3. Memrogram modeling, melakukan seimulasi, dan dapat digunakan untuk membuat suatu prototipe.
4. Digunakan untuk menganalisa data, eksplorasi dan visualisasi.
5. Menganalisis numerik dan data statistik baik yang sederhana hingga yang rumit sekalipun.
6. Digunakan untuk mengembangkan aplikasi teknik.
7. Pengembangan aplikasi yang berbasis grafik, dan juga dapat digunakan dalam pembuatan GUI (*Graphical User Interface*).

MATLAB merupakan sistem yang memiliki pengaplikasian yang berbeda-beda tiap pengerjaanya khususnya dalam perhitungan yang matematis. Untuk mengetahui sebuah MATLAB melakukan seluaruh perhitungan matematis ke dalam bentuk matriks dan untuk menampilkan visual grafik dapat dirancang dan diatur menggunakan GUI. pada lingkup perguruan tinggi, perangkat standar ini digunakan untuk pengembangan dan membuat model penyajian matematis, suatu rekayasa olah data dan kepentingan keilmuan. Pada bidang industri *software* ini sering digunakan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi, dalam pengembangan analisisnya.

MATLAB memiliki 5 bagian utama yaitu:

1. *Development Environment* yaitu sekumpulan perangkat dan merupakan suatu fasilitas yang dapat digunakan untuk membuat fungsi-fungsi dan file yang berhubungan dengan MATLAB. Terdapat juga GUI (*Graphical User Interface*) yang digunakan untuk membuat grafik atau bagan.
2. MATLAB *Mathematical Function Library* yaitu sekumpulan algoritma mengenai komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: sin, sum, cos sampai fungsi yang kompleks.
3. MATLAB *Language* yaitu suatu *high-level* dengan *control flow statements*, *functions*, dan *data structures*.
4. *Graphics* yaitu digunakan untuk menampilkan vector dan matriks dalam bentuk grafik.
5. MATLAB *Applications Program Interface* (API) yaitu suatu *library* yang memungkinkan program yang telah ditulis dalam bahasa C yang nantinya mampu ber-interaksi dengan MATLAB.