

KAJIAN SISTEM *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* UNTUK PENGENDAPAN DEBU GAS BUANG

Prayitno, Tunjung Indrati

Pustek Akselerator & Proses Bahan, BATAN, Yogyakarta

ABSTRAK

KAJIAN SISTEM ELECTROSTATIC PRECIPITATOR UNTUK PENGENDAPAN DEBU GAS BUANG. Emisi debu gas buang ke udara dari suatu aktivitas industri besi, baja, pulp dan kertas, semen, pupuk dan pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil seperti batubara merupakan sumber utama polusi udara ke lingkungan. Untuk mengurangi kadar debu yang keluar bersama gas, maka debu tersebut harus ditangkap terlebih dahulu sebelum gas dilepas ke udara. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kesadaran manusia akan kesehatan lingkungannya, maka teknologi pemeliharaan lingkungan semakin dikembangkan, misalnya dengan menciptakan alat penangkap debu pada gas emisi industri. Sebagai langkah tersebut oleh industri harus merancang dan mempergunakan sistem penangkap debu yaitu electrostatic precipitator. Prinsip kerja electrostatic precipitator dibagi dalam tiga langkah, yaitu proses pelepasan elektron, proses pemuatan partikel debu, proses pengumpulan partikel debu. Electrostatic precipitator diharapkan sebagai alat penangkap debu dari aliran gas sebelum dibuang ke lingkungan sehingga dapat mengurangi polusi udara.

ABSTRACT

STUDY ELECTROSTATIC PRECIPITATOR FOR PRECIPITATION OF FLUE GAS PARTICLES.. The flue gas particles concentration on air from iron, steel, pulp and paper, cement, fertilizer and electricity based on fosil fuel industries activities is ultimate resources of pollution. For reducing particles concentration of flue gas stream so the particles must be trapped before release on air. By doing the technology development and people awarness of environment healthy so the technology of environment keeping more be developed are making equipment for particle precipitation especially electrostatic precipitator. There are tree steps for operating : electron escaping, dust particles charging and dust particles collecting. By operating electrostatic precipitator, the dust particles can be trapped on that equipment so air pollution can be reduced.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan tuntutan, terhadap pengelolaan lingkungan yang lebih serius. Kemajuan dunia industri harus memberikan dampak sekecil mungkin terhadap lingkungan^[1], dalam arti tidak boleh menimbulkan kerusakan dan pencemaran lingkungan yang pada akhirnya dapat membahayakan kehidupan manusia dan makhluk hidup disekitarnya. Industri semen merupakan salah satu contoh industri yang berpotensi besar terhadap pencemaran lingkungan terutama disebabkan oleh emisi debu yang dikeluarkan. Hal ini dapat dipahami karena produk dari industri ini dalam bentuk debu dan sebagian pemrosesan materialnya pun dalam bentuk tepung.

Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan ini, pemerintah telah mengeluarkan peraturan mengenai baku mutu lingkungan.

Peraturan pemerintah yang mengatur hal ini adalah Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.13/MENLH/3/1995^[2] yang didalamnya mengatur mengenai baku mutu untuk sumber tidak bergerak untuk berbagai jenis industri besi dan baja, industri pulp dan kertas, industri semen dan juga untuk pembangkit tenaga listrik tenaga uap berbahan bakar batubara. Hasil pembangunan nasional telah dapat dinikmati oleh masyarakat, diantaranya adalah perkembangan yang demikian pesat di bidang industri. Kawasan industri banyak tumbuh dimana-mana dan telah membuka lapangan kerja baru. Namun bukan berarti bahwa kemajuan di bidang industri tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Adanya slogan industri berwawasan lingkungan atau industri yang ramah lingkungan merupakan suatu peringatan bahwa industri harus memperhatikan dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungannya. Pencemaran udara merupakan salah satu dampak industri terhadap lingkungan. Diantara

industri yang menimbulkan terhadap pencemaran udara adalah industri listrik. Kebijakan pengelolaan lingkungan hidup pada kegiatan industri listrik ditetapkan melalui Undang-Undang RI No. 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan dan Pedoman tentang pelaksanaannya yang dikeluarkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup^[3] serta peraturan-peraturan lain yang berkenaan dengan kebijakannya pengelolaan lingkungan hidup. Salah satu adalah peraturan baku emisi tahun 2000 atau BME 2000. Debu yang emisinya melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dapat mengakibatkan berlebihnya polusi udara disekitar areal pabrik. Untuk mengurangi kadar debu yang keluar bersama gas, maka debu tersebut harus ditangkap/diendapkan terlebih dahulu sebelum gas dilepaskan ke udara. Masalah ini tidak terhenti sampai bagaimana mengendapkan debu dalam gas buang, tetapi juga merawat seluruh peralatan penangkap debu dalam proses pembuatan semen. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kesadaran manusia akan kesehatan lingkungannya, maka teknologi pemeliharaan lingkungan semakin dikembangkan, misalnya dengan menciptakan alat penangkap debu pada gas emisi pabrik. Contoh industri dalam kemajuan tersebut juga dialami oleh industri semen, yang menggunakan dua macam sistem penangkap debu yaitu *electrostatic precipitator* dan *bag filter*. *Electrostatic precipitator* digunakan untuk kapasitas yang besar dan suhu *dust* yang tinggi, sedangkan *bag filter* digunakan untuk kapasitas yang lebih kecil dan suhu yang lebih rendah. Pada industri semen biasanya menggunakan, *electrostatic precipitator* yang digunakan pada alat *Rotary Dryer*, *Raw Mill*, *Rotary Kiln*, dan *Finish Mill*.^[4]

Prinsip kerja *electrostatic precipitator* didasarkan atas partikel bermuatan listrik yang dilewatkan dalam suatu medan elektrostatis. Sistem filter terdiri dari dua buah elektroda yaitu *discharge electrode* (-) yang berupa *steel wire* dan *collecting plate electrode* (+) yang berupa *steel plate*. *Discharge electrode* berfungsi untuk memberi muatan pada partikel debu sehingga terbentuk ion debu negatif. *Collecting plate* berfungsi untuk menarik partikel bermuatan dan mengumpulkannya, sehingga partikel debu dalam gas akan terakumulasi pada elektroda ini. Bersamaan proses akumulasi ini partikel debu akan mengalami netralisasi di *plate* elektroda. Prinsip kerja *electrostatic precipitator* dibagi dalam tiga langkah, yaitu proses pelepasan elektron (*electron discharge*), proses pemuatan partikel debu (*particle charging*), proses pengumpulan partikel debu (*precipitating*).

Collecting plate dipasang sejajar dengan arah aliran gas, sedangkan *discharge electrode* dipasang ditengah-tengah *collecting plate* secara berselang-seling. Debu yang terbawa bersama gas dilewatkan melalui ruangan antar elektroda. Sepanjang aliran gas, sedikit demi sedikit partikel debu akan tertarik menuju *plate*, sehingga pada *plate* akhir (dekat *outlet*) jumlah debu dalam gas tinggal sedikit.

Dengan perhitungan bahwa pada radius yang kecil disekitar permukaan *discharge electrode* yang bertegangan tinggi dihasilkan medan elektrostatis yang kuat. Pengaturan tegangan DC yang disupply-kan ke elektroda diatur sedemikian rupa sehingga secara periodik akan dicapai tegangan tembus (Udis) pada permukaan elektroda. Pada saat yang sama akan dihasilkan arus filter atau *discharge current* (Id). Saat itu di *wire* akan terjadi fenomena berupa bintik cahaya kebiru-biruan seperti kabut dan bersuara berisik, yang selanjutnya disebut sebagai *corona*. Melalui fenomena *corona* ini *discharge electrode* (*wire*) melepaskan elektron dalam jumlah besar yang sangat efektif untuk memberi muatan negatif (*charging*) pada partikel debu.

Elektron yang dilepaskan bergerak dalam kecepatan tinggi dari *negative electrode* menuju ke *positive collecting electrode*. Sementara itu dalam arah yang sejajar dengan *collecting plate* dan tegak lurus dengan arah gerakan elektron, partikel debu dilewatkan bersama dengan aliran gas. Sehingga akan terjadi proses benturan antara elektron dengan partikel debu yang cukup efektif. Akibatnya partikel debu akan dilingkupi elektron sehingga bermuatan negatif (ion debu negatif).

Di dalam lingkungan medan elektrostatis yang kuat, ion debu negatif akan mengalami interaksi gaya listrik. Ion debu negatif yang bergerak bersama gas akan tertarik menuju ke *positive collecting electrode*, selanjutnya mengalami proses netralisasi dengan muatan pada permukaan *plate*. Sebagai akibat samping, selama terjadinya proses benturan antar partikel debu dalam gas dengan elektron yang dilepas oleh *wire* dihasilkan juga ion debu positif. Ion ini merupakan bagian minoritas, yang akan tertarik dan terkumpul pada *discharge electrode* (*wire*).

Untuk menjatuhkan material yang terakumulasi pada *plate* ataupun *wire*, secara periodik elektroda digetarkan oleh pukulan *impact hammer* pada unit *rapping gear* (pada *collecting & discharge system*). Sehingga secara periodik material rontok dan tertampung pada *bottom hopper*. Material akan terkumpul dan siap diangkut sebagai produk atau *return material* melalui *dust transport*.

Pemuatan partikel debu (*particle charging*) sebanding dengan kuat medan listrik yang dibentuk pada saat harga puncak (Ep) dan kuadrat partikelnya (θ)^[5,6,7]

$$q = k_1 \cdot Ea \cdot \theta^2 \quad (1)$$

Adapun gaya elektronik yang bekerja pada partikel sebanding dengan muatan partikel (q) dan harga rata-rata kuat medan listriknya (Ea).

$$F = k_2 \cdot q \cdot Ea \quad \text{atau} \quad F = K \cdot Ep \cdot Ea \cdot \theta^2 \quad (2)$$

Menurut hukum *Stokes*, kecepatan migrasi partikel dalam arah tegak lurus dengan gerakan gas dirumuskan:

$$\omega = k \cdot Ea \cdot Ep \cdot \theta \quad (3)$$

Kecepatan migrasi dipengaruhi oleh harga rata-rata dan harga puncak medan listrik dan diameter partikel. Dari rumus diatas menunjukkan bahwa tegangan berkaitan dengan kuat arus medan listrik mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses "*precipitation*". Efisiensi dari *electrostatic precipitator* jika dikaitkan dengan luasan *precipitator* dan kuantitas gas dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = 1 - e^{\omega(A/Q)} \quad (4)$$

dimana:

η = Efisiensi *precipitator*

ω = Kecepatan migrasi (m/s)

A = Luas *collecting electrode* (m²)

Q = Volume gas tiap satuan waktu (m³/s)

Selain dengan persamaan (4), efisiensi penangkapan debu oleh *electrostatic precipitator* juga dapat dihitung dengan neraca massa yang didasarkan pada debu yang masuk dan keluar dari *electrostatic precipitator*.

Electrostatic precipitation dipasang untuk pengelolaan debu gas buang sistem pengendapan untuk aliran gas pada arah horisontal. Tergantung dari kondisi operasinya, desain *electrostatic precipitation* disesuaikan untuk kondisi temperatur tinggi, *under/over pressure*, lingkungan bersalju, berangin ataupun getaran tanah (gempa). Karena suhu kerja yang tinggi *electrostatic precipitator* dipasang pada *supporting frame* dengan maksud untuk menjamin tekanan pada *casing* dan *support* minimum selama terjadinya kontraksi dan ekspansi termal. Secara garis besar sistem instalasi dari unit *electrostatic precipitator* dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Filter housing* terdiri dari :
 - Sebuah *filter compartment*,
 - *Bottom hopper* (dua atau lebih),
 - Atap sebagai tempat pemasangan isolator kubik,
 - *Column* sebagai penopang *filter housing* yang salah satunya diletakkan pada *fixed foot* dan bagian lain pada *roller bearing* yang berhubungan dengan *fixed foot*.
2. *Discharge system*, terdiri dari sistem elektroda yang terhubung pada *rectifier* tegangan tinggi, yaitu:
 - *Frame structure* yang tergantung pada insulator porselin/*quartz* (atap dari filter).
 - *Discharge electrode* diregangkan pada *frame*.
3. *Collecting system*, terdiri dari *lamelle plate* yang berbentuk khusus, *collecting electrode* dan tergantung pada *carrying irons* yang mudah bergerak, dan dilas pada sisi bawah *roof beams*. Elektroda dihubungkan dengan metal dengan *roof*, selanjutnya dihubungkan dengan tanah. Elektroda ini disusun dalam baris paralel yang searah dengan aliran gas, pada bagian tengah terpasang *discharge elektroda*.
4. *Rapping gear* untuk *discharge system*, terdiri dari *drop hammer* yang digerakkan oleh *gear motor* melalui *shaft*, *insulator shaft*, dan *chain*. *Drop hammer* mengenai *impact beam* yang dipasang pada struktur *frame*, dan bekerja menurut interval yang teratur dengan rotasi kontinyu pada *shaft*.
5. *Rapping gear* untuk *collecting system*, terdiri dari *drop hammer* pada *shaft* yang dikendalikan oleh *gear motor* melalui suatu *chain drive*. *Hammer* mengenai *impact rod*, dimana *collecting electrodes* dipasang dan bekerja secara diskontinyu karena waktu rotasi dan *shaft* dikendalikan oleh programmer, *collecting electrode* digetarkan ketika debu yang menempel sudah terkumpul.
6. *Gas distribution screen*, terdiri dari suatu *system baffle* yang terpasang pada bagian *inlet filter* (bagian vertical dan horizontal serta bagian *outlet filter* (hanya bagian vertical). Pada kondisi normal *baffle* akan digoyangkan oleh *drop hammer* melalui *shaft* pada *rapping gear collecting electrodes*.
7. *Thermoswitch*, berfungsi mengatur kerja dari heater dalam *insulator cubicles*, secara otomatis pengurangan suhu gas iradiator dapat diantisipasi oleh kerja heater.

8. *Supply* tegangan tinggi, terdiri dari : *dry plate rectifier*, *hightension transformer*, *transducer* dan unit panel kontrol yang berisi peralatan instrument, relay dan switch-switch untuk pengoperasian dan kontrol *electrostatic precipitator*.
9. *Rectifier*, merupakan pengatur arus konstan dimana harga keluaran arus dijaga secara otomatis pada suatu harga tertentu dengan variasi harga beban. Keluaran arus dapat diatur mulai beban 25 % sampai 100 % melalui suatu *transductor*, *rectifier* menggunakan standar tegangan 380 volt.
10. Bagian tegangan tinggi, terdiri dari :
 - *Transformer* tegangan tinggi 1 fase, tegangan sekunder sekitar 45 – 55 kV
 - *Dry plate rectifier* dengan hubungan bridge satu fase, sehingga tegangan maksimum DC yang dihasilkan sekitar 6 - 70 kV.
11. *Transductor*, dihubungkan seri dengan lilitan primer dari trafo tegangan tinggi dan terdiri dari dua elemen yang terpasang paralel, yaitu *exitation rectifier* dan *exititation transformer*.
12. Kontrol panel, terdiri dari
 - mA-meter (Ema) untuk mengukur DC.
 - Voltmeter (EV) untuk mengukur tegangan primer trafo tegangan tinggi.
 - Ampermeter (EA) untuk mengukur arus primer dari *transductor* dan trafo tegangan tinggi.

- Saklar untuk pengoperasian dan peralatan alarm.
- *Regulating transformer* (Ereg) yang berfungsi untuk mengatur tegangan primer trafo eksitasi pada *transductor*.

PERHITUNGAN NERACA MASSA PADA PENGENDAPAN DEBU

Perhitungan neraca massa sistem *electrostatic precipitator* dilakukan dengan asumsi-asumsi dalam perhitungan ini adalah :

1. Reaksi berlangsung stoikiometris.
2. Medan listrik stabil.
3. Data : *electrostatic precipitator* : Q (aliran gas buang)= 20.000 m³/ jam, temperatur gas buang = 65 °C, waktu tinggal = 2 – 10 detik, laju presipitasi = 0,1 – 0,7 ft/ detik, kecepatan gas= 2 – 8 ft/ detik, tegangan listrik = 30 – 75 kV, jarak antar plat = 8 – 11 inchi, tinggi plat = 12 – 45 ft, panjang plat = (0,5 – 2,0). tinggi plat, efisiensi = 90 – 99%, nilai $\beta = 0,90$, $C_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ C²/N.m², gravitasi spesifik = 0,6 dan arus corona = 2 A.
4. Perhitungan Neraca Massa ⁽⁸⁾: Gas Buang Masuk = Gas Buang Keluar
 (partikel + SO₂ + NO_x + N₂ + O₂ + CO₂ + uap air + NH₃ + (NH₄)₂SO₄ + NH₄NO₃) masuk = (partikel + SO₂ + NO_x + N₂ + O₂ + CO₂ + uap air + NH₃ + *By Product*) keluar

Tabel 1. Hasil perhitungan kesetimbangan neraca massa unit *electrostatic precipitator*.

Komponen	Arus	
	Masuk (kg/ jam)	Keluar (kg/ jam)
SO ₂	3	3
NO ₂	2,4	2,4
Partikel debu	60	0,6
N ₂	18.131,4	18.131,4
O ₂	1.295,1	1.295,1
CO ₂	2.590,2	2.590,2
Uap air	4.607,2	4.607,2
NH ₃	0,5	0,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	145,72	1,457
NH ₄ NO ₃	56,48	0,564
<i>By Product</i>	-	259,7
TOTAL	26.892	26.892

5. Perhitungan :

- Tinggi plat (W) diambil 4 m sehingga dapat diketahui pula panjang platnya (L), yaitu

$$\text{Panjang plat } (L) = 0,5 \times \text{tinggi plat} = 0,5 \cdot (4 \text{ m}) = 2 \text{ m}$$

- $\frac{A}{Q} = -\frac{1}{W} \ln(1-\eta) \ggggg A = -\frac{Q}{W} \ln(1-\eta)$ (5)

- $A = -\frac{5,6 \text{ m}^3 / \text{det}}{0,15 \text{ m} / \text{det}} \ln(1-0,95) \ggggg$. Luas plat total = 108,2 m²

- Jika plat mempunyai 2 sisi pada setiap bagian, maka jumlah plat keseluruhan, adalah : $A_p = 2 \times \text{sisi area plat} = 2 \times (p \times t) = 2 \times (2 \times 4) = 16 \text{ m}^2$

$$n = \frac{A}{A_p} + 1 = \frac{108,2 \text{ m}^2}{16 \text{ m}^2} + 1 \gggggg \text{ Jumlah}$$

$$\text{plat} = 7,7 \text{ plat} \approx 8 \text{ plat}$$

- $d = 1,24 \cdot \beta^{0,333} \cdot d_p$ (6)

- $d = \frac{3\mu}{\epsilon_0} \frac{Q}{E^2 \cdot L \cdot W}$ (7)

- $d_p = \left(\frac{1}{1,24 (0,90^{0,333})} \right) \left(\frac{3\mu}{\epsilon_0} \frac{Q}{E^2 \cdot L \cdot W} \right)$
 $= 0,835 \left(\frac{3\mu}{\epsilon_0} \frac{Q}{E^2 \cdot L \cdot W} \right)$ (8)

Dari grafik hubungan antara densitas dan viskositas dinamik udara, didapatkan

$$\mu = 3,7 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s dan } \rho = 0,5 \text{ kg/m}^3.$$

$$Q = \frac{5,6 \text{ m}^3 / \text{det}}{8(2)} = 0,35 \text{ m}^3 / \text{det}, E = \frac{50.000 \text{ V}}{0,3 \text{ m} / 2}$$

$$= 3,4 \times 10^5 \text{ V/m}$$

$$d_p = 0,835 \left(\frac{3\mu}{\epsilon_0} \frac{Q}{E^2 \cdot L \cdot W} \right)$$

$$= 0,835 \left(\frac{3(3,7 \times 10^{-5})(0,35)}{(8,85 \times 10^{-12})[(3,4 \times 10^5)]^2 (2)(4)} \right)$$

$$= 0,835 \left(\frac{3,8 \times 10^{-5}}{8,2} \right) \gggggg d_p = 3,8 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$v_0 = v_0 = \frac{Q}{L \cdot W} = \frac{0,35 \text{ m}^3 / \text{det}}{(2 \text{ m})(4 \text{ m})} = 0,044 \text{ m/det}$$

- $g = \frac{6 \cdot \epsilon_0 \cdot E^2}{d \cdot \rho_p} = \frac{6(8,85 \times 10^{-12})[(3,4 \times 10^5)]^2}{[1,24(0,9^{0,333})] \cdot d_p (0,6)(1000)}$
 $= \frac{6,14}{741,5 \cdot d_p} = \frac{8,2 \times 10^{-3}}{d_p}$ (9)

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} g \frac{\rho_p \cdot d}{C_D \cdot \rho_a}}$$

$$= \sqrt{\frac{4}{3} \frac{8,2 \times 10^{-3} \cdot 0,6(1000)}{d_p \cdot C_D(0,5)}}$$

$$= \frac{3,96}{\sqrt{C_D}}$$
 (10)

$$\text{Re} = \frac{\rho_a \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{(0,5) \cdot v \cdot [1,24(0,9^{0,333}) \cdot d_p]}{3,7 \times 10^{-5}}$$

$$= 1,62 \times 10^4 \cdot d_p \cdot v$$

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} = \frac{24}{1,62 \times 10^4 \cdot d_p \cdot v} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{d_p \cdot v}$$

$$v = \frac{3,96}{\sqrt{C_D}} = \frac{3,96}{\sqrt{\frac{1,5 \times 10^{-3}}{d_p \cdot v}}}$$

$$v^2 = \frac{3,96}{\frac{1,5 \times 10^{-3}}{d_p \cdot v}} \ggggg v = 15,7 \times \frac{d_p \cdot v}{1,5 \times 10^{-3}}$$

$$\gggggg v = 1,05 \times 10^4 d_p$$

Tabel 2. Hasil perhitungan hubungan ukuran partikel prosen berat dan diameter partikel.

Ukuran Partikel (μm)	Wt (%)	d_{pi} (10^{-6} m)	v_i (m/s)
0 – 10	8	5	0,0525
10 – 20	10	15	0,1575
20 – 30	12	25	0,2625
30 – 40	15	35	0,3675
40 – 50	19	45	0,4725
50 – 60	14	55	0,5775
60 – 70	13	65	0,6825
70 – 80	9	75	0,7875

$$R = 1 - x_0 + \int_0^{x_0} \frac{v_p}{v_0} dx \quad (11)$$

Penyelesaian untuk x_0 :

$$x_1 = 8 \quad x_2 = 8 + 10 = 18$$

$$x_0 = 0,044 \quad \frac{x_0 - 8}{8 - 18} = \frac{0,044 - 0,0525}{0,0525 - \dots 0,1575}$$

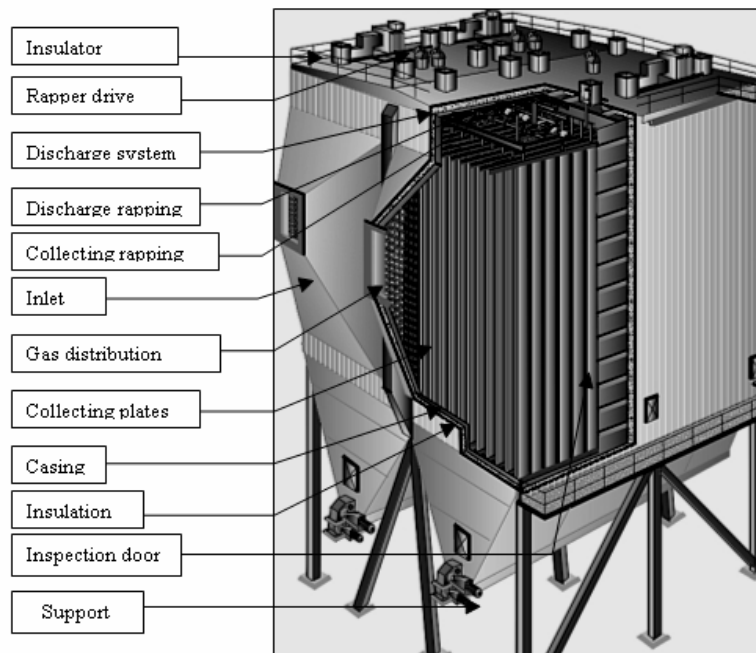
$$= 0,0525 >>>>>> 18 = 0,1575 \quad x_0 = 7,19$$

Tabel 3. Hasil perhitungan hubungan ukuran partikel prosen berat, diameter partikel dan jumlah prosen berat.

Ukuran Partikel (μm)	Wt (%)	d_{pi} (10^{-6} m)	v_i (m/ s)	Σ Wt (%)
0 – 10	8	5	0,044	7,19
10 – 20	10	15	0,0525	8
20 – 30	12	25	0,1575	18
30 – 40	15	35	0,2625	30
40 – 50	19	45	0,3675	
50 – 60	14	55	0,4725	
60 – 70	13	65	0,5775	
70 – 80	9	75	0,6825	
			0,7875	

$$R = 1 - 0,0719 + \frac{1}{0,044} [0,044 (7,19 - 0)] \left(\frac{1}{100} \right) \approx 1,0 \text{ atau } 100\% \text{ atau } 100\%$$

$$P_c = I_c \cdot V = 2 \cdot (70.000) = 140.000 \text{ W atau } 140 \text{ kW}$$

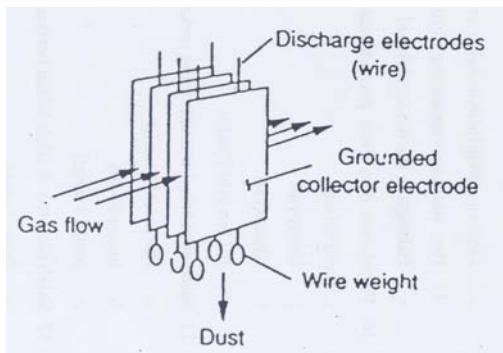


Gambar 1. Electrostatic Precipitator^[9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari dasar teori dan hasil perhitungan dalam sistem pengendapan gas buang dapat dijelaskan bahwa *electrostatic precipitator* terdiri dari :

1. *Discharge electrode* : berupa *steel wire* yang berfungsi untuk menghasilkan elektron yang bebas digunakan untuk *charging* (pemuatan) dari partikel debu.
2. *Colecting plate* berupa *steel plate* yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif dan mengumpulkan, sehingga partikel debu dalam gas akan terakumulasi pada bagian ini. Partikel debu akan mengalami netralisasi di *plate electrode*.
3. Hasil perhitungan neraca massa *electrostatic precipitator* (ESP): dikaitkan dengan ukuran dan bentuk alat berupa tangki segi empat tegak bagian bawah kerucut, panjang plat elektroda = 2 m, tinggi plat elektroda = 4 m, kawat elektroda = menyesuaikan, jumlah plat = 8 plat, tegangan listrik = 70.000 V, energi listrik = 140 kW.



Gambar 2. Sistem plat elektroda ESP.

Faktor –faktor yang mempengaruhi kinerja *electrostatic precipitator* dalam sistem pengendapan debu gas buang adalah sebagai berikut ;

- Kecepatan gas masuk; dalam separating area sangat berpengaruh terhadap efisiensi kerja alat tersebut. Jika kecepatan gas masuk terlalu tinggi maka *collecting plate* akan mengalami kesulitan dalam penangkapan partikel debu. Jika dihubungkan dengan persamaan $\eta = 1 - e^{-\omega (A/Q)}$, maka untuk Q yang lebih besar, $\omega (A/Q)$ menjadi kecil. Akibatnya harga $e^{-\omega (A/Q)}$ lebih besar, sehingga efisiensi akan turun. Oleh karena itu kecepatan gas masuk harus dibatasi, dan ini tergantung pada kecepatan bahan bakar masuk gas dari reaktor pengolahan.

- Kadar air gas masuk EP harus diperhatikan. Kandungan air cukup tinggi akan mengakibatkan penumpukan material karena menempel pada *plate baffle*. Kadar air sangat erat hubungannya dengan suhu dan tekanan, sehingga perlu diperhatikan berapa kadar air untuk suhu dan tekanan tertentu agar tidak terjadi akumulasi material pada inlet EP.
 - Suhu dan tekanan operasi dari gas harus dibatasi tidak boleh terlalu rendah atau terlalu tinggi. Suhu yang tinggi akan menyebabkan *viscositas* gas turun sehingga mobilitasnya menjadi tinggi, sehingga efisiensi akan turun. Sebaliknya suhu harus dijaga tidak boleh turun sampai titik embun air karena dapat mengakibatkan *coating* material, korosi, dan *flash over* pada line tegangan tinggi. Suhu yang tinggi juga dapat mengakibatkan deformasi *collecting plate* sehingga menurunkan kinerja EP, Untuk kondisi tekanan atmosferis, suhu dijaga antara 100 – 120 °C, dimana kondisi paling baik dicapai pada suhu 110 °C^[4,8]. Apabila tekanan gas bertambah maka efisiensi akan bertambah, karena dapat mengurangi mobilitas ion sehingga proses pemisahan material dapat lebih baik.
 - Jarak antar elektroda juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi EP. Jarak yang terlalu jauh akan menurunkan efisiensi, sedangkan jarak yang terlalu dekat bisa menimbulkan *spark* yang tinggi dan berakibat pada deformasi *collecting plate*. Pada persamaan $\eta = 1 - e^{-\omega (A/Q)}$ dapat dituliskan $\eta = 1 - e^{-\omega (L u d)}$, dengan : d = jarak antar elektroda, L = panjang medan listrik, u = kecepatan linear gas dalam medan elektrostatis.
- Persamaan diatas menunjukkan bahwa apabila $d \gg$ maka η akan turun. Oleh karena itu harga d juga ditentukan optimumnya agar efisiensi pemisahan tinggi. Nilai d besarnya sangat tergantung pada tegangan dan arus yang digunakan. Untuk tegangan sebesar 70 kV dan arus 1 A, maka jarak yang paling baik adalah 110 mm. Pemasangan *wire* dan *collecting plate* dilakukan berselang-seling dimana *wire* diletakkan ditengah-tengah. Apabila jaraknya tidak sama atau *wire* lebih dekat ke salah satu plate maka penangkapan partikel debu lebih kecil (efisiensi turun).
- Tegangan dan arus yang diberikan akan mempengaruhi kuat medan elektrostatis dalam *separating area*. Apabila tegangan rendah maka kuat medan elektrostatis (E) juga akan turun dan akibatnya lebih banyak debu yang akan lewat begitu saja, tidak bisa tertangkap oleh *collecting*

electrode. Tegangan kerja yang baik adalah antara 40 sampai 100 kV dan arus 5 sampai 2000 mA.

- Luas bidang penangkapan/pengendapan sangat berpengaruh terhadap efisiensi. Dari persamaan $\eta = 1 - e^{-\omega(A/Q)}$, apabila A diperbesar untuk variabel yang lain tetap, maka efisiensi akan menjadi tinggi.

KESIMPULAN

1. *Electrostatic precipitator* berfungsi sebagai alat penangkap/pengendap debu gas dari aliran gas sebelum dibuang ke lingkungan sehingga dapat mengurangi polusi udara.
2. Kinerja *electrostatic precipitator*, sangat tergantung pada kecepatan dan kadar air masuk, suhu dan tekanan operasi, jarak antar elektroda, tegangan dan arus listrik masuk, serta luas bidang penangkapan/pengendapan.
3. 3. Dimensi alat *electrostatic precipitator* (ESP): berbentuk tangki segi empat tegak bagian bawah kerucut, panjang plat elektroda = 2 m, tinggi plat elektroda = 4 m, kawat elektroda = menyesuaikan, jumlah plat = 8 plat, tegangan listrik = 70.000 V, energi listrik = 140 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WARDHANA WISNU A, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta, 1995.
- [2] ANONIM, Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13/MENLH/3/1995, *Tentang : Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak*.
- [3] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.27 Tahun 1999 *Tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan dan Pedoman tentang Pelaksanaannya yang Dikeluarkan Oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup*.
- [4] ANONIM, *Laporan Kerja Praktek di PT. Semen Cibinong Tbk.*, Pabrik Cilacap - *Electrostatic Precipitator*, UPN, Yogyakarta.
- [5] KIELY G, *Environmental Engineering*, McGraw Hill Co, Berkshire, 1997.
- [6] PERRY and GREEN, *Perry's Chemical Engineers Handbook 7th edition*, Mc - Graw Hill Co. Inc, New York, 1997.
- [7] SINNOT R.K, *Chemical Engineering, vol.6'*, Pergamon Press Ltd., 1983.

- [8] PRAYITNO dkk, *Penentuan dan Analisis Spesifikasi Teknis Sistem Pengolahan "By Product" Pada Pengelolaan Gas Buang Menggunakan Mesin Berkas Elektron*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya vol. 7, BATAN, Yogyakarta, 2005.

- [9] F.L.SMIDTH, *Airtech, Supplies Air Pollution Control Equipment*, <http://www.flsairtech.com>

TANYA JAWAB

Utaja

- Bagaimana menentukan waktu tinggal?

Prayitno

- Menentukan waktu tinggal berdasarkan kriteria perancangan antara (2 -10) detik, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan kondisi yang terbaik dan untuk menentukan ukuran dari alat elektrostatik dan elektrodanya.

Budi Santosa

- Bagaimana cara menentukan nilai ω ?

Prayitno

- Menentukan nilai $\omega = k Ea Ep \theta$, yaitu kecepatan migrasi dipengaruhi oleh harga rata-rata dan harga puncak medan listrik dan diameter partikel.

Rill Isaris

- Efisiensi penangkapan (removal) debu gas buang tergantung pada tegangan, arus yang dikenakan pada elektroda. Apakah juga tergantung pada jenis bahan elektroda dan kelembaban relatif, serta temperatur (T) gas buang yang lewat.

Prayitno

- Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penangkapan
 - Kecepatan gas masuk
 - Kadar air gas masuk
 - Suhu dan tekanan operasi harus dibatasi
 - Tegangan dan arus yang diberikan
 - Luas bidang penangkapan
 - Jarak antar elektroda

Mengenai jenis elektroda tidak berpengaruh pada efisiensi penangkapan, tidak terlalu signifikan.