

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembentukan Medan Listrik

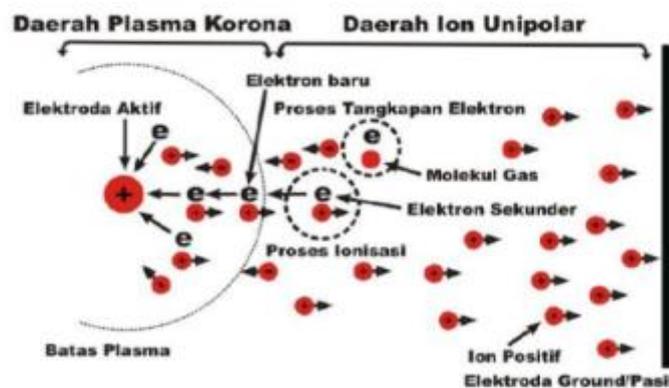
Terdapat dua elektroda, yaitu *discharge electrode* yang bermuatan negatif (-) dan pelat pengumpul yang bermuatan positif (+) pada jarak tertentu. *Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan negatif(-), pada level tegangan 78,5 - 100 kV (yang sebelumnya memiliki tegangan awal 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 dialirkan 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 baris elektroda, 1 baris terhitung 10 elektroda. Tabel tegangan dan arus *setiing* 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

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R^o}{R_o} \dots\dots\dots(4.1)$$

Bila :

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

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

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

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:

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

$$= 0,6771 \times 40$$

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

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):

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

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

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

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

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

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

$$= 2,03166 \times 40$$

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

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

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

Bila :

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

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

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

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:

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

$$= 0,6363 \times 40$$

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

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) :

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

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

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

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

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

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

$$= 1,90926 \times 40$$

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

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:

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

$$= 0,6363 \times 40$$

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

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) :

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

$$\begin{aligned}
 V &= 0,6363 + 78 \frac{0,208^2 - 0,20^2}{0,20} \\
 &= (0,6363 + 1,27296) \text{ kV} \\
 &= 1,90926 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Tegangan Aplikasi dalam 1 chamber adalah:

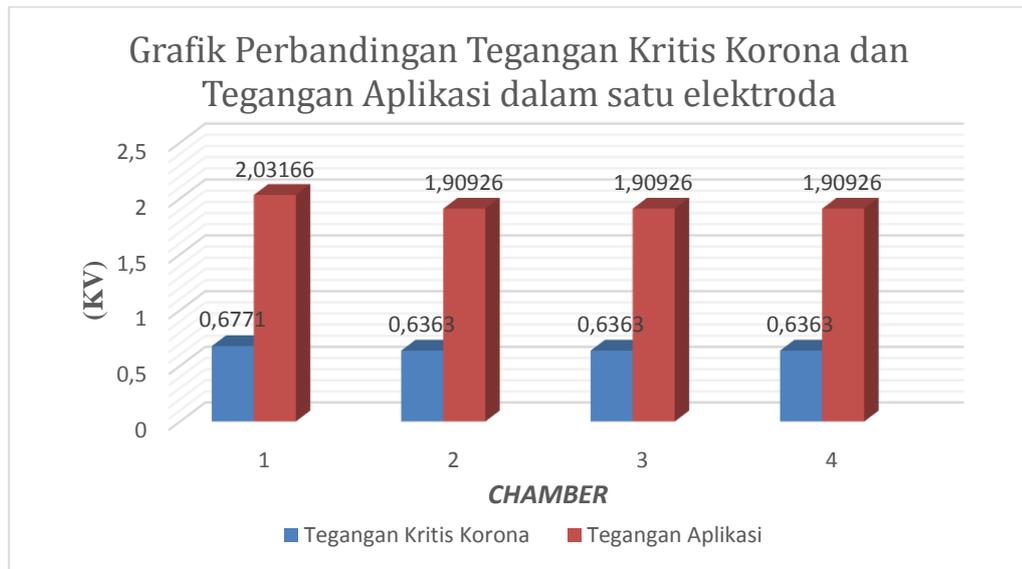
$$\begin{aligned}
 &= V \times 40 \text{ baris} \\
 &= 1,90926 \times 40 \\
 &= 76,3704 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

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 baris 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*.

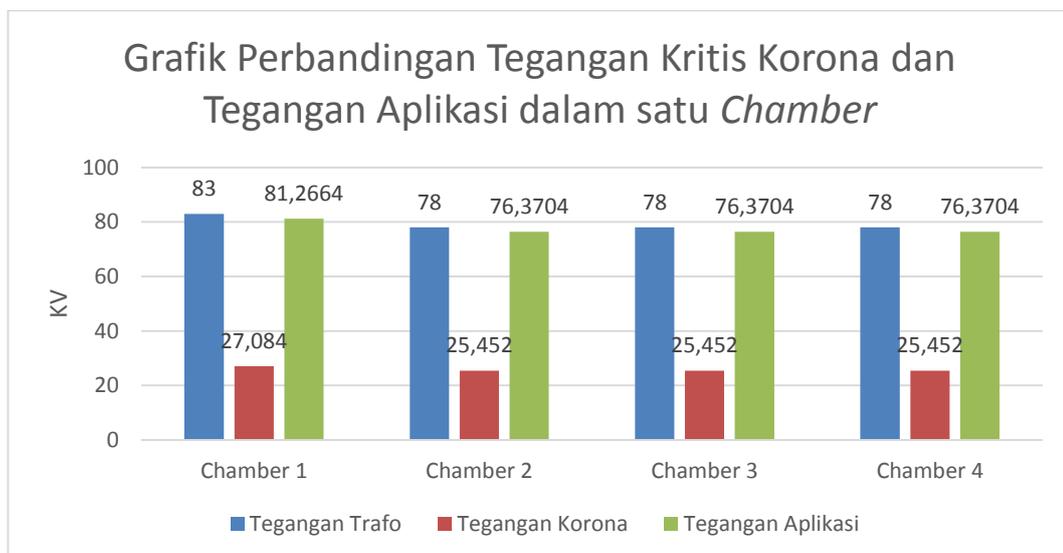
Setiap elektroda memiliki tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi. Tegangan kritis korona ini merupakan tegangan minimal yang harus muncul untuk membangkitkan medan listrik hingga muncul korona atau lucutan plasma pijar. Tegangan aplikasi adalah tegangan yang muncul pada saat elektroda beroperasi 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 baris DE yang tersusun seri, sedangkan dalam satu baris terdapat 10 elektroda, pada tiap chamber memiliki 40 baris DE, namun tegangan kritis dan aplikasi ini dihitung berdasarkan jumlah baris dari tiap chamber karena elektroda pada tiap chamber ini tersusun seri pada tiap barisnya.

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 baris) 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 baris) 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

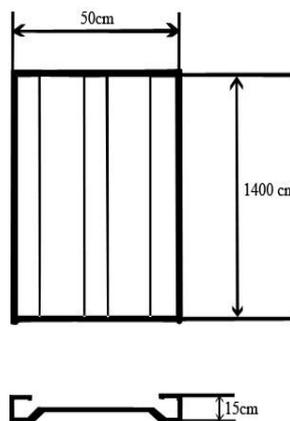


Gambar (4.3) Grafik perbandingan tegangan kritis korona dan tegangan aplikasi pada semua chamber

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 baris 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

$$\Rightarrow 10 \times 40 \times 4 = 1.600 \text{ pelat}$$

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

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

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).

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

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

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

Diketahui:

$$D \text{ (flowrate EP)} = 4,5 \text{ m} , r = 2,25 \text{ m}$$

$$PV = 37,513 \text{ mmH}_2\text{O} = 1,478 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$\rho = 0,978 \text{ kg / m}^3 = 0,061 \text{ lb/cuft}$$

maka nilai A dan v adalah:

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times 2,25 \\ &= 15,910714 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
&= 1096,2 \left(\frac{1,478}{0,0611} \right)^{0,5} \\
&= 5392,891 \text{ ft/min} \\
&= 27,396 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

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 :

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

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:

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

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

$$\Rightarrow 10 \times 0,50 \times 4 = 20 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{Tinggi efektif pengumpul} = 14 \text{ m}$$

Sehingga ;

$$\Rightarrow AR = \frac{20 \text{ m}}{14 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow = 1,42$$

Dari perhitungan aspek Rasionya adalah 1,42 masih berada dalam range desain EP. Ketentuan range dari pabrikan 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).

$$\begin{aligned} \eta &= \left(\frac{\text{Jumlah partikel yang masuk} - \text{jumlah partikel yang keluar}}{\text{jumlah partikel yang masuk}} \right) 100\% \dots (4.15) \\ \eta &= \left(\frac{782,77 - 0,00147564}{782,77} \right) 100\% \\ &= 99,99981148 \% \end{aligned}$$

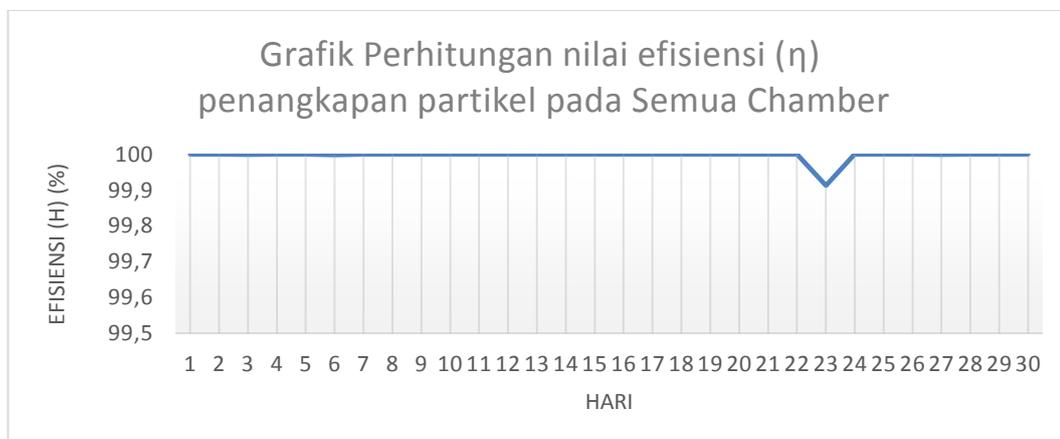
Perhitungan diatas merupakan perhitungan berdasarkan hasil kinerja penangkapan debu oleh EP secara aktual. Tabel perbandingan data aktual partikel debu yang berhasil ditangkap oleh EP dapat dilihat pada tabel (4.4) serta grafik perbandingan efisiensi kinerja EP selama satu bulan dapat dilihat pada gambar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

Lanjutan Tabel 4.4				
Hari ke-	Partikel debu			
	Masuk (Ton/h)	Tertangkap (Ton/h)	Terlepas (kg/h)	Efisiensi penangkapan (%)
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
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

Lanjutan Tabel 4.4				
Hari ke-	Partikel debu			
	Masuk (Ton/h)	Tertangkap (Ton/h)	Terlepas (kg/h)	Efisiensi penangkapan (%)
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 kecepatan masuk nya partikel terlalu cepat hal ini yang mengakibatkan penangkapan partikulat kurang maksimal. Dari

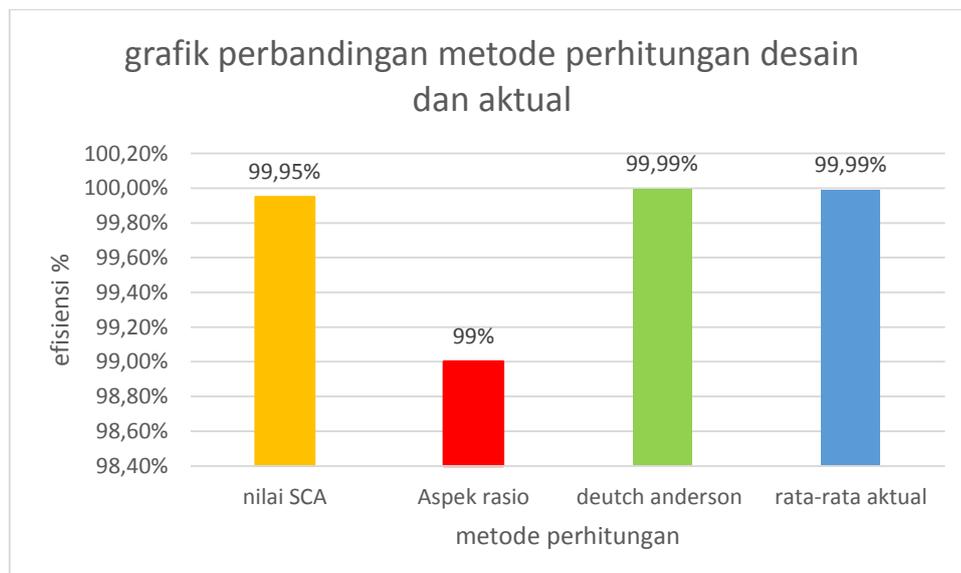
grafik aktual EP diatas Secara keseluruhan efisiensi kinerja EP mampu bekerja lebih dari 99,9 % hal ini berarti EP dalam kondisi baik.

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 <i>Deutch-Anderson</i>	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 ke-empat 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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Nilai SCA} + \text{Aspek Rasio} + \text{Deutch-Anderson}}{3} \dots\dots\dots(4.16) \\
 &= \left(\frac{99,95 + 99 + 99,994}{3} \right) \% \\
 &= 99,648 \%
 \end{aligned}$$

2. Selisih perhitungan aktual dan perhitungan secara desain

$$\begin{aligned}
 &= \text{Perhitungan aktual} - \text{rata-rata perhitungan desain} \dots\dots\dots(4.17) \\
 &= (99,99687017 - 99,648) \% \\
 &= 0,34887017 \%
 \end{aligned}$$

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 Tunggal 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).

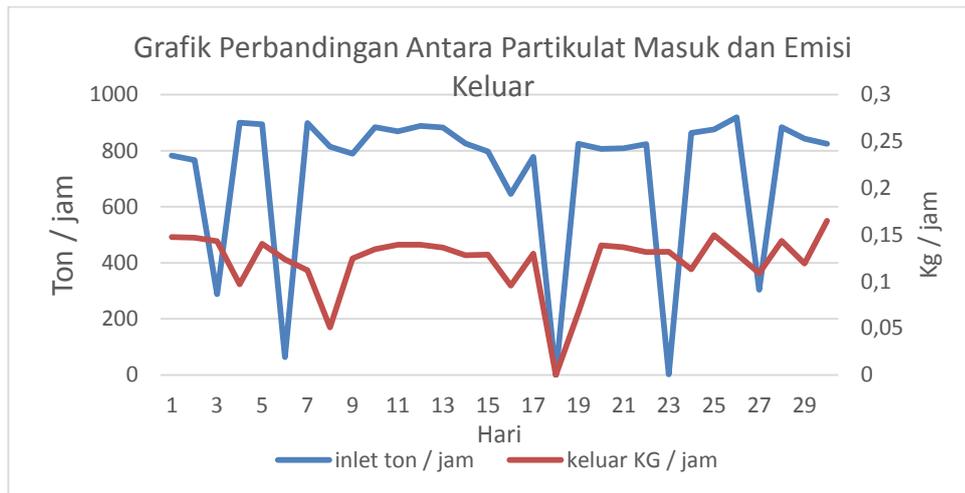
1. Perbandingan Rata - Rata Partikulat masuk EP dan Emisi Gas Buang

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 rata-rata hasil emisi gas buang dengan tegangan rata-rata dalam satu bulan.

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

Lanjutan tabel 4.6		
Hari Ke-	Partikulat masuk EP (Ton / Jam)	Emisi yang dihasilkan (Kg / Jam)
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
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%.