

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MODEL MINIATUR *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (PENGENDAP DEBU ELEKTROSTATIS) UNTUK MENGURANGI PARTIKEL DEBU GAS BUANG PABRIK GULA KREBET BARU I KABUPATEN MALANG

Agung Firmansyah Sunardi<sup>1</sup>, Drs.Ir. Moch.Dhofir, MT.<sup>2</sup>, Ir. Soemarwanto, MT.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [jacquesfirman@gmail.com](mailto:jacquesfirman@gmail.com)

**Abstrak**—Penyumbang polusi udara salah satunya adalah hasil emisi proses industri. Banyak regulasi yang dikeluarkan pemerintah untuk mengendalikan hasil emisi ini. Untuk memenuhi aturan tersebut dibutuhkan teknologi yang dapat menangani permasalahan polusi ini. Salah satu teknologi tersebut adalah *Electrostatic Precipitator*. Metode ini menggunakan medan listrik untuk mengionisasi partikel debu sehingga partikel debu tersebut dapat menempel pada elektroda plat pengumpul. Skripsi ini nantinya akan membahas perancangan dan pembuatan model miniatur *electrostatic precipitator* untuk mengendapkan partikel debu hasil gas buang PG Kreet Baru Malang. Di dalam perancangan dan pembuatan model miniatur EP ada beberapa parameter yang dibutuhkan yaitu, kuat medan listrik, tegangan tembus, tegangan kerja, pemuatan partikel, kecepatan gerak partikel, serta efisiensi yang diinginkan. Dari hasil perancangan, untuk mendapatkan efisiensi 99% dibutuhkan total luas plat pengumpul 287,214 m<sup>2</sup>, jumlah plat pengumpul yang digunakan 10 buah, jumlah elektroda kawat 360 buah, dimensi ruang adalah 13 x 2 x 6 m, serta tegangan kerja yang dibutuhkan 55 kV.

**Kata Kunci** — *Electrostatic Precipitator*, Ionisasi, Model miniature, Partikel debu, Perancangan, Polusi udara.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu penyumbang polusi udara selain emisi kendaraan bermotor adalah hasil emisi proses industri. Beberapa industri belum menerapkan kebijakan yang menyelenggarakan pentingnya industri yang sehat dan bebas polusi, terutama asap pabrik hasil pembakaran ketel uap berbahan bakar biomas atau fosil. Menurut peraturan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I Jawa Timur nomor 10 tahun 2009 yang mengatur tentang baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak, menyebutkan bahwa batas kandungan partikulat di dalam udara adalah 250 mg/Nm<sup>3</sup>. Untuk memenuhi batas tersebut, industri yang menggunakan bahan bakar bagase yaitu pabrik gula (PG) memerlukan peralatan yang dapat menegah pelepasan partikel debu ke udara bebas. Banyak metode yang digunakan untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan menggunakan *Electrostatic Precipitator* (EP). Metode ini menggunakan medan listrik untuk mengionisasi partikel menjadi ion negatif dan akan menempel pada elektroda pengumpul. EP memiliki efisiensi yang baik dalam menangkap partikel debu.

Dalam skripsi ini membahas perancangan dan pembuatan model miniatur EP untuk mengendapkan partikel debu hasil gas buang PG Kreet Baru Malang khususnya pada boiler Yoshimine II. Perancangan yang dilakukan adalah perancangan kelistrikan serta dimensi

ruang. Pengujian model miniatur EP dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya Malang.

Di dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang dijadikan sebagai batasan masalah, yaitu:

1. Apa saja parameter yang dibutuhkan dalam merencanakan *Electrostatic Precipitator* (EP).
2. Bagaimanakah perancangan dan pembuatan model miniatur *Electrostatic Precipitator* (EP) sebagai pengendap debu secara elektrostatik di PG Kreet Baru Malang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Parameter Pencemaran Udara

Udara merupakan komponen terpenting dalam kehidupan dan harus selalu dijaga dan ditingkatkan kualitasnya untuk menciptakan hidup sehat dengan udara yang bersih. Seiring perkembangan jaman, banyak terjadi pencemaran udara yang menyebabkan kualitas udara tersebut menurun. Untuk mengatasinya digunakan teknologi yang tepat sehingga harus diketahui terlebih dahulu parameter-parameter yang menyebabkan pencemaran udara, khususnya hasil limbah dari gas buang pada boiler. Parameter tersebut antara lain:[1]

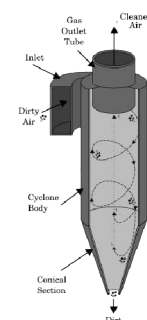
- Sulfur dioksida
- Karbon monoksida
- Nitrogen dioksida
- Hidrokarbon
- Partikel debu

### B. Metode Pengendapan Partikel Debu

Metode pengendapan partikel debu saat ini sangat banyak dan metode yang sering digunakan di industry antara lain:

- *Separator cyclone*

Separat cyclone seperti pada **Gambar 1** merupakan alat penangkap debu yang ditempatkan pada setiap boiler.



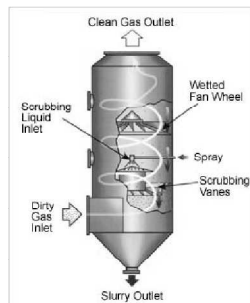
**Gambar 1** Separator Cyclone

Alat ini menggunakan prinsip gerakan cyclo dan gravitasi untuk memisahkan gas dengan debu yang dikandungnya. Prinsip kerja alat ini berawal dari gas yang masuk dengan bantuan *fan*. Gas akan mengikuti bentuk alur yang bersirip siklon. Hal ini mengakibatkan gas akan mengarah ke bawah sehingga partikel debu akan terpantul dan bergerak ke atas membentuk pusaran baru yang letaknya di di tengah pusaran dan mengarah ke bawah.

Sistem ini memiliki efisiensi 80%, namun alat ini sangat bergantung pada tekanan dan temperature sehingga pada kondisi riil akan mengalami perubahan. Alat ini biasa digunakan di industry peleburan timah, pengolahan kayu, maupun industry yang menggunakan bahan bakar batu bara atau limbah tebu.

- *Wet scrubber*

*Wet scrubber* seperti pada Gambar 2 merupakan alat yang menggunakan *liquid* atau cairan untuk membuang polutan. Prinsip kerja dari *wet scrubber* adalah saat arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan *liquid* pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. Desain dari alat ini tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan. *Wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*. Adapun butiran *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat lain yang disebut *entrainment separator*. Kemampuan alat ini terbatas yaitu menyisihkan partikel lebih dari 1 mikron.



Gambar 2 *Wet Scrubber*

- Pengendap elektrostatis

Sistem elektrostatis pada dasarnya melewati gas buang pada kamar yang berisi plat-plat atau kawat-plat pengumpul, yang terbuat dari tembaga, kuningan ataupun arang. Elektroda tersebut akan diberi arus listrik DC dengan muatan positif maupun negatif, sehingga daerah diantara elektroda akan timbul medan listrik. Medan listrik ini akan mengionisasi partikel sehingga partikel yang telah bermuatan akan ditarik oleh elektroda plat pengumpul yang berbeda muatan. Cara ini sangat efektif untuk mendapatkan partikel debu dengan efisiensi alat >95%.

### C. Teori Dasar Listrik Statis

- Muatan listrik

Muatan merupakan sifat dasar dan ciri khas dari partikel. Suatu partikel atau zat memiliki 2 jenis muatan yaitu muatan positif dan negatif. Menurut [1] muatan listrik merupakan perpindahan suatu elektron yang bermuatan negatif dari satu benda ke benda lain. Hal ini sesuai dengan Niels Bohr yang mengungkapkan bahwa suatu benda tersusun dari tiga partikel subatom yaitu, elektron, proton, dan neutron.

- Hukum coulomb

Gaya pada hukum Coulomb menyatakan bahwa besar gaya listrik yang diberikan masing-masing benda bermuatan kepada yang lainnya. Jika muatannya sejenis maka saling tolak-menolak. Sebaliknya jika muatan tidak sejenis maka saling tarik menarik. [2]

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

F : gaya *Coulomb* (N)

$\epsilon_0$  : konstanta Permittifitas ( $8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$ )

r : jarak antara muatan  $q_1$  dan  $q_2$  (m)

$q_1, q_2$  : muatan Listrik (Q)

- Medan listrik

Medan listrik timbul karena adanya gaya listrik pada setiap partikel yang bermuatan. Medan listrik akan dihasilkan oleh satu atau lebih muatan listrik, medan listrik ini biasanya juga disebut intensitas listrik atau kuat medan listrik dan dinotasikan dengan E,

$$E = k \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

E : intensitas medan listrik (V/m)

Q : muatan listrik (C)

k : konstanta ( $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ )

r : jarak antar muatan (m)

### D. Tegangan Tembus

Tegangan tembus merupakan fenomena yang terjadi karena adanya kegagalan isolasi. Tegangan tembus yang dibahas pada skripsi ini adalah tegangan tembus dalam udara. Tembus di dalam udara adalah transisi pelepasan bertahan dan tidak bertahan. Teori yang menjelaskan mekanisme tembus udara ini adalah teori *Streamer* dan *Townsend*. [3]

### E. Proses Ionisasi

Udara ideal adalah gas yang hanya terdiri dari molekul netral, yang tidak mengalirkan arus listrik pada kondisi normal. Namun pada kenyataannya udara sekitar tidak hanya terdiri dari molekul netral saja, tetapi ada yang berupa ion dan elektron bebas sehingga dapat mengalirkan arus listrik walaupun kecil. Pada kondisi normal udara bersifat isolator, namun bila ada proses ionisasi maka dapat berubah menjadi konduktor. Perubahan sifat ini dikarenakan adanya elektron bebas yang bergerak sehingga akan terjadi tumbukan antar elektron dengan muatan lainnya. Di dalam medan

listrik, bila sebuah elektron dengan muatan  $e$  ditempatkan dalam medan listrik  $E$ , maka elektron-elektron tersebut akan mendapat tambahan energi yang cukup besar untuk merangsang timbulnya pelepasan muatan dari molekul-molekul netral di sekitarnya, yang besarnya adalah [3][4]

$$W = e \cdot E \cdot x = \frac{1}{2} m_e v_e^2 \quad (3)$$

W : energi  
 $e$  : muatan elektron  
 $E$  : medan listrik (V/m)  
 $m_e$  : massa elektron  
 $v_e$  : kecepatan elektron

#### F. Korona

Korona merupakan gejala pelepasan muatan elektron dari molekul udara di sekitar penghantar bertegangan tinggi sehingga akan tampak pijaran bercahaya di sekitar penghantar dan mengeluarkan suara desis. Gejala ini penting dalam teknik tegangan tinggi terutama dimana medan tak seragam tidak dapat dihindari. Korona yang terjadi di daerah medan listrik yang tak seragam ini dianggap merugikan karena menimbulkan rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi dan karena merusak bahan isolasi. Gradien potensial yang dibutuhkan untuk membangkitkan korona pada permukaan konduktor biasa disebut dengan kuat medan korona atau kuat medan kritis. Untuk udara pada kawat paralel kuat medan kritis ( $E_c$ ) dapat didefinisikan sebagai berikut [4]

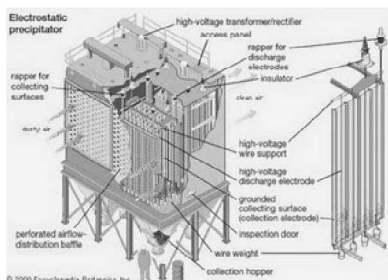
$$E_c = 3,1 \times 10^6 m d \left[ 1 + \frac{0,301}{\sqrt{dR}} \right] \quad (4)$$

$E_c$  : kuat medan korona (V/m)  
 $m$  : faktor iregularitas  
 $d$  : densitas udara relatif  $\left( \frac{0,392P}{T} \right)$   
 $R$  : jari-jari kawat (m)

Untuk  $d = 1$ , tekanan atmosfernya 760 mmHg dan pertempaur  $(25+273)^\circ\text{K}$ .

#### G. Electrostatic Precipitator

Pada **Gambar 3** tampak sebuah *electrostatic precipitator* (EP) yang digunakan untuk mengendapkan partikel debu hasil gas buang. [5]



**Gambar 3** *Electrostatic Precipitator*

Prinsip dasar dari alat ini adalah menggunakan medan listrik untuk memisahkan partikel dari udara.

Pada prakteknya EP dapat ditemukan dalam berbagai tipe dan konfigurasi. Proses pemisahan partikel dari gas dengan menggunakan medan listrik dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Memproduksi korona untuk membentuk ion-ion.
2. Mengionisasi partikel dengan ion-ion yang terbentuk oleh proses korona. (charging)
3. Perpindahan partikel yang telah terionisasi menuju medan listrik yang terbentuk. (collecting)
4. Partikel menempel pada elektroda pengumpul.
5. Pembuangan partikel yang telah mengndap kedalam tempat penampungan. (removal)

Adapun komponen-komponen penyusun dari *Electrostatic Precipitator* (EP) antara lain:

- *Discharge electrode*
- *Collecting electrodes*
- *HVDC power supply*
- *Rapper*
- *Hopper*

#### H. Parameter Yang Dibutuhkan Untuk Perancangan

- Kuat medan listrik korona

Kuat medan listrik pada EP dibutuhkan untuk proses pengikatan partikel melalui ionisasi. untuk mendapatkan besarnya nilai kuat medan dicari melalui perhitungan seperti persamaan (4).

- Tegangan korona

Tegangan korona merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan kuat medan korona. Tegangan korona ini dapat dihitung dengan persamaan: [6]

$$V_c = E_c r \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (5)$$

$V_c$  : tegangan kritis korona (V)

$E_c$  : kuat medan korona (V/m)

$r$  : jari-jari korona (m)

$r_1$  : jari-jari kawat (m)

$r_2$  : jarak antara kawat dengan plat (m)

- Tegangan operasi

Tegangan aplikasi merupakan tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan *Electrostatic Precipitator* (EP). Tegangan aplikasi ini dapat diperoleh sesuai dengan persamaan:[7]

$$V_a = V_c + E_c \frac{r^2 + r_1^2}{2r_1} \quad (6)$$

$V_c$  : tegangan kritis korona (V)

$E_c$  : kuat medan korona (V/m)

$r$  : jari-jari korona (m)

$r_1$  : jari-jari kawat (m)

$r_2$  : jarak antara kawat dengan plat (m)

- Pemuatan partikel

Tujuan dari pemuatan partikel adalah untuk mengionisasi partikel karena adanya ion-ion bebas yang dapat menarik partikel menuju elektroda pengumpul. *Particle charging* atau pemuatan partikel oleh ion-ion terjadi didaerah plasma aktif dan permukaan elektroda pengumpul. Pada area ini terdapat ruang yang didalamnya tersebar ion netral, ion negatif, dan elektron bebas. [5]

$$Q_p = \left\{ \left(1 + \frac{2\lambda}{d_p}\right)^2 + \left(\frac{2}{1 + \frac{2\lambda}{d_p}}\right) x \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}\right) \right\} \pi \epsilon_0 d_p^2 E_c \quad (7)$$

$Q_p$  : pemuatan partikel (C)

$\lambda$  : *mean free elektron path* =  $6,61 \times 10^{-8} \left(\frac{T}{293}\right) \cdot \left(\frac{101,3 \times 10^3}{p}\right)$  (m)

$\epsilon_r$  : permitivitas elektrik

$\epsilon_0$  : permitivitas elektrik pada gas ( $C^2/Nm^2$ )

$d_p$  : diameter partikel (m)

$E_c$  : kuat medan listrik (V/m)

T : Temperatur (K)

P : Tekanan (Pa)

- Kecepatan gerak partikel

Kecepatan gerak dari suatu partikel di dalam medan pada *electrostatic precipitator* (EP) dipengaruhi oleh beberapa gaya, yaitu : [5]

- Gaya elektrostatik ( $F_e$ )

Gaya elektrostatik adalah gaya yang disebabkan adanya pergerakan suatu muatan terhadap medan listrik. Gaya elektrostatik dapat dituliskan seperti persamaan (2-18) yaitu :

$$F_e = Q_p \cdot E \quad (8)$$

$F_e$  : gaya elektrostatik (N)

$Q_p$  : pemuatan partikel(C)

E : medan listrik (V/m)

- Gaya drag ( $F_d$ )

Selain dipengaruhi gaya elektrostatik, pergerakan partikel di dalam medan listrik juga dipengaruhi oleh *viscous drag* dari gas. Gaya ini menurut hukum Stokes disebutkan seperti pada persamaan (9):

$$F_D = \frac{3\pi\mu d_p \omega_{th}}{C_o} \quad (9)$$

Dengan,

$F_d$  : gaya *viscous drag* (N)

$\mu$  : viskositas gas (pa.s)

$d_p$  : diameter partikel (m)

$\omega_{th}$  : kecepatan migrasi partikel (m/s)

$C_o$  : faktor *Cunningham*

Sehingga gaya yang bekerja pada suatu partikel didalam medan listrik yaitu : [5]

$$F_D = F_E$$

$$\frac{3\pi\mu d_p \omega_{th}}{C_o} = Q_p \cdot E$$

$$\omega_{th} = \frac{Q_p \cdot E \cdot C_o}{3\pi\mu d_p} \quad (10)$$

- Efisiensi

Efisiensi merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan EP dalam mengendapkan debu. Efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti tertulis pada persamaan (11), yaitu: [8]

$$eff = 1 - e^{-\left(\frac{\omega_{th} A}{q}\right)} \quad (11)$$

eff : efisiensi (%)

$\omega_{th}$  : kecepatan migrasi partikel (m/s)

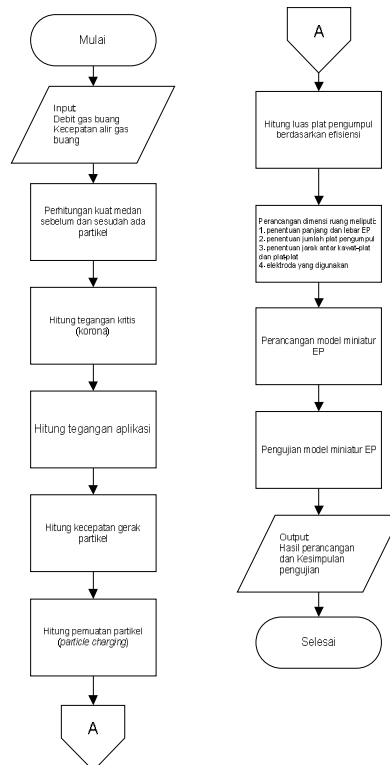
A : luas total plat pengumpul ( $m^2$ )

q : debit gas ( $m^3/s$ )

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian bersifat aplikatif dan analisis, yaitu perancangan dan pembuatan model miniatur *Electrostatic Precipitator* (EP) untuk mengendapkan partikel debu PG.Krebet Baru Malang. Perancangan yang dilakukan adalah perancangan di bidang kelistrikkannya dan mensimulasikan model miniature EP yang dibuat untuk mengetahui prinsip kerjanya. Simulasi ini dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya Malang. Data yang digunakan dalam kajian ini merupakan data primer dan sekunder yang didapat dari pengujian model miniatur EP dan dari PG Krebet Baru Malang.

Langkah-langkah penelitian ini digambarkan pada diagram alir **Gambar 4**



**Gambar 4.** Diagram alir penelitian

#### IV. PERANCANGAN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (EP)

##### A. Perancangan desain asli EP berdasarkan perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perancangan EP didapatkan hasil seperti berikut:

- Tegangan operasi : 98 kV
- Efisiensi yang diinginkan : 99,9%
- Ukuran plat pengumpul (p x l) : 5 x 6 m
- Tebal plat pengumpul : 2 mm
- Rasio aspek : 1,2 (lebar plat / panjang plat). Besarnya rasio aspek untuk EP berkisar antara 0,5 – 2. Untuk efisiensi >99,5% rasio aspek yang harus dimiliki suatu desain EP lebih dari 1.
- Luas total plat pengumpul : 869,466 m<sup>2</sup>
- Jumlah plat pengumpul : 29 (yang digunakan 28)
- Jumlah *field* yang seri : 2
- Debit gas : 96,67 m<sup>3</sup>/s
- Jarak plat-kawat : 0,11 m
- Jarak plat-plat : 0,22 m
- Jarak kawat-kawat : 0,11 m
- Diameter kawat : 25 x 10<sup>-4</sup> m
- Jumlah kawat : 45 buah/lajur
- Jumlah total kawat : 45 x 13 x 2 = 1170 buah
- Kecepatan migrasi partikel : 0,768 m/s
- Perkiraan panjang dan lebar : 5 m lebar x 12 m panjang

##### B. Perancangan Model miniatur EP

Adapun hasil perancangan model miniatur EP ini, antara lain:

- Panjang *casing* : 40 cm
- Lebar *casing* : 12,3 cm
- Tinggi *casing* : 12,3 cm
- Panjang plat pengumpul : 30 cm
- Lebar plat pengumpul : 12 cm
- Tebal plat pengumpul : 0,1 cm
- Diameter elektroda kawat : 4 mm
- Panjang elektroda kawat : 12 cm
- Jarak antar elektroda kawat : 3 cm
- Jarak antara kawat-plat : 4 dan 5 cm
- Bahan plat pengumpul : aluminium
- Bahan elektroda kawat : aluminium

#### V. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA MODEL MINIATUR ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (EP)

Hasil pengujian model miniatur EP dibagi menjadi 2 yaitu pengujian model miniature sebelum ada partikel dan sesudah ada partikel. Hasil pengujian sebelum ada partikel tampak pada Tabel 1 dan Tabel 2, sedangkan hasil pengujian sesudah ada partikel tampak pada Tabel 3 dan 4.

**Tabel 1** Hasil Pengujian Model Miniatur EP Sebelum Ada Partikel Pada Jarak Antar Elektroda Kawat Dan Plat Pengumpul Sebesar 4 cm

No.	Tegangan Korona (V <sub>k</sub> ) (kV)	Tegangan Tembus (V <sub>T</sub> ) (kV)	E <sub>maks</sub> (kV/cm)	E <sub>rata-rata</sub> (kV/cm)	η
1.	21	28	27,35	7	0,25594
2.	21,5	28,5	27,84	7,13	0,25593
3.	22	29,2	25,52	7,3	0,25596
<b>Rata-rata</b>	<b>21,5</b>	<b>28,57</b>	<b>27,903</b>	<b>7,142</b>	<b>0,256</b>

No.	Tegangan Korona (V <sub>k</sub> ) (kV)	Tegangan Tembus (V <sub>T</sub> ) (kV)	E <sub>maks</sub> (kV/cm)	E <sub>rata-rata</sub> (kV/cm)	η
1.	22,5	30	24,59	6	0,244
2.	23,4	31,2	25,7	6,24	0,243
3.	24	32	26,36	6,4	0,2427
<b>Rata-rata</b>	<b>23,6</b>	<b>31,07</b>	<b>25,55</b>	<b>6,2</b>	<b>0,243</b>

**Tabel 2** Hasil Pengujian Model Miniatur EP Sebelum Ada Partikel Pada Jarak Antar Elektroda Kawat Dan Plat Pengumpul Sebesar 5 cm

No.	V <sub>aplikasi</sub> (kV)	V <sub>tembus</sub> (kV)	Masa (gram)			Efisiensi
			Awal	Jatuh	Plat	
1	21	28	25	16,07	2,58	29,01%
2	21,5	28,5	25	15,38	1,08	11,29%
3	22	29,2	25	16,22	2,30	26,24%
<b>Rata-rata</b>	<b>21,5</b>	<b>28,57</b>	<b>25,00</b>	<b>15,89</b>	<b>1,99</b>	<b>22,18%</b>

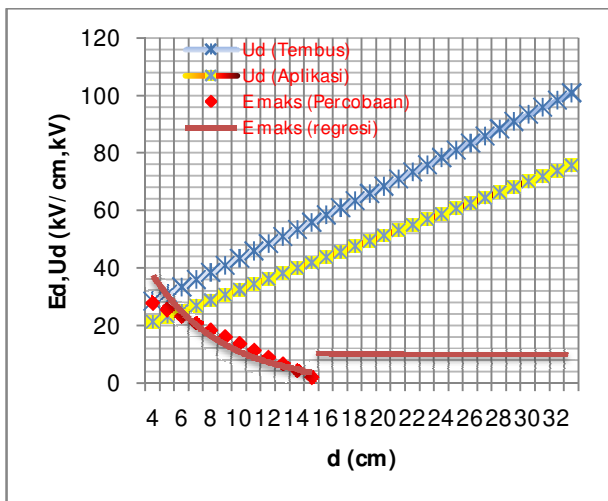
**Tabel 3** Hasil Pengujian Model Miniatur EP Sesudah Ada Partikel Pada Jarak Antar Elektroda Kawat Dan Plat Pengumpul Sebesar 4 cm

No.	V <sub>aplikasi</sub> (kV)	V <sub>tembus</sub> (kV)	Masa (gram)			Efisiensi
			Awal	Jatuh	Plat	
1	22,5	30	25	17,0421	1,4148	17,78%
2	23,4	31,2	25	19,3468	1,0212	18,06%
3	24	32	25	18,5433	1,8894	29,26%
<b>Rata-rata</b>	<b>23,6</b>	<b>31,07</b>	<b>25,00</b>	<b>18,31</b>	<b>1,44</b>	<b>21,55%</b>

**Tabel 4** Hasil Pengujian Model Miniatur EP Sesudah Ada Partikel Pada Jarak Antar Elektroda Kawat Dan Plat Pengumpul Sebesar 5 cm

No.	V <sub>aplikasi</sub> (kV)	V <sub>tembus</sub> (kV)	Masa (gram)			Efisiensi
			Awal	Jatuh	Plat	
1	21	28	25	16,07	2,58	29,01%
2	21,5	28,5	25	15,38	1,08	11,29%
3	22	29,2	25	16,22	2,30	26,24%
<b>Rata-rata</b>	<b>21,5</b>	<b>28,57</b>	<b>25,00</b>	<b>15,89</b>	<b>1,99</b>	<b>22,18%</b>

Pada Tabel 1 dan Tabel 2 didapatkan bahwa semakin besar jarak sela antar elektroda maka tegangan tembus yang dibutuhkan juga semakin besar. Tegangan korona pada pengujian ini digunakan sebagai tegangan operasi dimana besarnya 75% dari tegangan tembus. Kuat medan listrik yang dihasilkan merupakan simulasi kuat medan listrik menggunakan program FEMM. Hasil yang didapatkan adalah semakin besar jarak antar elektroda semakin kecil kuat medan listrik yang dihasilkan. Analisis hasil pengujian ini tampak pada Gambar 5



**Gambar 5** Grafik hubungan jarak sela dengan tegangan (Tembus dan Operasi/aplikasi) dan kuat medan listrik

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan hasil pengujian bahwa efisiensi yang dihasilkan sangat kecil. Hal ini dikarenakan dimensi dari model miniatur EP yang kecil, sehingga butuh perluasan dimensi untuk mendapatkan efisiensi yang lebih besar lagi. Untuk itu dilakukan perhitungan kembali, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 5

**Tabel 5** Perbandingan Desain Berdasarkan Pengujian Model Miniatur

No.	Jenis Spesifikasi	Nilai Perhitungan	
		Model Miniatur	Desain Asli
1	Tegangan operasi	55 kV	55 kV
2	Efisiensi yang diinginkan	99%	99%
3	Ukuran plat pengumpul (p x l)	30 cm x 12 cm	5 m x 6 m
4	Tebal plat pengumpul	1 mm	2 mm
5	Luas total plat pengumpul	6220 cm <sup>2</sup>	287,214 m <sup>2</sup>
6	Jumlah plat pengumpul	18 buah	10 buah
7	Jumlah field yang seri	3	2
8	Debit gas	0,021 m <sup>3</sup> /s	96,67 m <sup>3</sup> /s
9	Jarak plat-kawat	22 cm	22 cm
10	Jarak plat-plat	44 cm	44 cm
11	Jarak kawat-kawat	22 cm	22 cm
12	Diameter kawat	4 mm	2,5 cm
13	Panjang Kawat	12 cm	5 m
14	Jumlah kawat	8 buah per lajur	45 buah per lajur
15	Jumlah total kawat	120 buah	360 buah
16	Kecepatan migrasi partikel	1,55 m/s	1,55 m/s
17	Perkiraan panjang dan lebar keseluruhan	2,5 m x 1,2 m	13 m x 2 m

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa terhadap perancangan dan pembuatan model miniatur *Electrostatic Precipitator* (EP) untuk menangkap

partikel debu hasil gas buang PG. Krebet Baru Malang dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Dalam merancang EP ada beberapa parameter yang berpengaruh, yaitu:
  - Kuat medan listrik korona
  - Tegangan korona
  - Tegangan operasi
  - Pemuatan partikel (*particle charging*)
  - Kecepatan gerak partikel
  - Efisiensi
  - Luas total plat pengumpul
- Hasil pengujian model miniatur EP didapatkan efisiensi sebesar 22 % untuk jarak sela antar elektroda kawat dengan plat pengumpul sebesar 4 cm dan 5 cm. Hasil ini kurang baik karena efisiensi yang didapat terlalu kecil. Penyebab hal tersebut adalah dimensi dari EP yang kecil sehingga diperlukan perluasan dimensi dari model miniatur EP agar mendapatkan hasil efisiensi yang lebih optimal. Setelah dilakukan perubahan beberapa parameter, yaitu tegangan operasi, kecepatan gerak partikel, serta pemuatan partikel, maka untuk mendapatkan efisiensi sebesar 99% model miniatur EP membutuhkan 18 plat pengumpul dengan tegangan operasi 55 kV.
- Dari pengujian dan perhitungan yang dilakukan didapatkan hasil desain EP seperti pada Tabel 5

## DAFTAR PUSTAKA

- Pudjiastuti W. *Debu Sebagai Pencemar yang Membahayakan Kesehatan Kerja*. <http://depkes.go.id/download/debu.pdf>
- Sears Zemansky. 1969. *Fisika Untuk Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Sinuraya, Arwadi. 2002. *Pengaruh Bentuk dan Bahan Elektroda Terhadap Efisiensi Pengendap Elektrostatik Untuk Partikel Ca(OH)<sub>2</sub> dan CaCO<sub>3</sub>*. Program pascasarjana bidang ilmu teknik program studi teknik elektro universitas Indonesia: Jakarta.
- Naidu, Kamaraju. 1995. *High Voltage Engineering*. New Delhi: McGraw-Hill, Inc.
- Ken Parker. 2003. *Electrical Operation of Electrostatic Precipitator*. United Kingdom: MPG Book Ltd..
- Hayt, 2000. *Physics*. Jakarta: Erlangga.
- Saidiman, Wahyu. Januari 2009. *Perancangan Electrostatic Precipitator Pada Cerobong Gas Buang Boiler Sebagai Penangkap Limbah Debu Di Pabrik Kayu lapis PT Sumalindo Lestari Jaya Tbk., Vol.2 No.1*. Hal 62-67
- Theodore, Louis. 2008. *Air Pollution Control Equipment*. Kanada: John Wiley & Sons, Inc..