

BAB IV

PERANCANGAN *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (EP)

4.1 PG Krebbe Baru Malang

Pabrik Gula Krebbe didirikan sejak perang dunia I pada tahun 1906 oleh pemerintah Hindia Belanda, kemudian dibeli oleh Oei Tiong Ham Concern. Seiring pergolakan yang terjadi akibat masa perang dengan Belanda, pabrik sempat dibakar oleh tentara republik. Namun pada tahun 1953 karena adanya desakan dari IMA PETERMAS (Ikatan Meskapai Andal Koperasi Pertanian Tebu Rakyat Malang Selatan), Pabrik gula Krebbe dibangun kembali oleh Oei Tiong Ham Concern yang bekerja sama dengan Bank Industri Negara. Selanjutnya pada tahun 1961 semua perusahaan Oei Tiong Ham Concern diambil oleh pemerintah RI dan semua kegiatan perusahaan dibawah pengawasan Menteri / Jaksa Agung RI. Pada tahun 1964 dibawah pengawasan Departemen Keuangan RI dibentuklah PT Rajawali Nusantara Indonesia yang merupakan salah satu perusahaan BUMN bertugas mengelola PG Krebbe Baru.

Pabrik Gula (PG) Krebbe Baru Malang ini terletak di Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang yang berjarak 13 km dari Kota Malang. PG Krebbe Baru memiliki luas areal 17.500 ha yang didalamnya terdapat 2 pabrik yaitu Krebbe Baru I (KB I) dan Krebbe Baru II (KB II). PG Krebbe Baru memproduksi gula Kristal putih / Super High Sugar (SHS IA) yang menggunakan proses sulfitasi untuk pengolahannya. Bahan baku gula yang berupa tebu didapatkan dari daerah sekitar pabrik yang masih banyak terdapat lahan perkebunan tebu seperti daerah Gondanglegi, Bululawang, Turen, Wajak, Bantur, Tirtoyudo, dan Sumbermanjing. Lokasi PG Krebbe Baru ini cukup strategis sehingga proses produksi selalu stabil dan meningkat. (Ibrahim Belawan, 2012 : 15)

4.2 Identifikasi Lokasi

Pada penelitian ini fokus yang diambil berada pada kawasan pabrik Krebbe Baru I (KB I) seperti pada Gambar 4.1, khususnya pada instalasi KB I bagian ketel. Pabrik KB I memiliki 3 ketel uap yang berbahan bakar biomass /

bagase (tebu kering), yaitu Yoshimine I, Yoshimine II, dan Cheng-chen. Ketiga ketel uap ini masing-masing memiliki cerobong asap untuk membuang gas hasil pembakaran pada ketel. Kapasitas ketel dalam menghasilkan uap juga berbeda-beda yaitu:

1. Yoshimine I : 40 ton/jam
2. Yoshimine II : 80 ton/jam
3. Cheng-chen : 60 ton/jam



Gambar 4.1 Lokasi PG Krebbe (KB I)

Sumber: Google Maps

Dalam prakteknya hanya 2 ketel yang digunakan yaitu Yoshimine II dan Cheng-chen, sedangkan Yoshimine I digunakan sebagai cadangan. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi jika salah satu dari kedua ketel ini berhenti bekerja maka ada ketel yang siap digunakan sehingga tidak mengganggu proses produksi. Selain itu untuk menghemat biaya operasional dari proses produksi. Kapasitas giling total dari PG Krebbe baru saat ini sebesar 12000 TCD (Ton Cane per Day) dengan rincian, yaitu

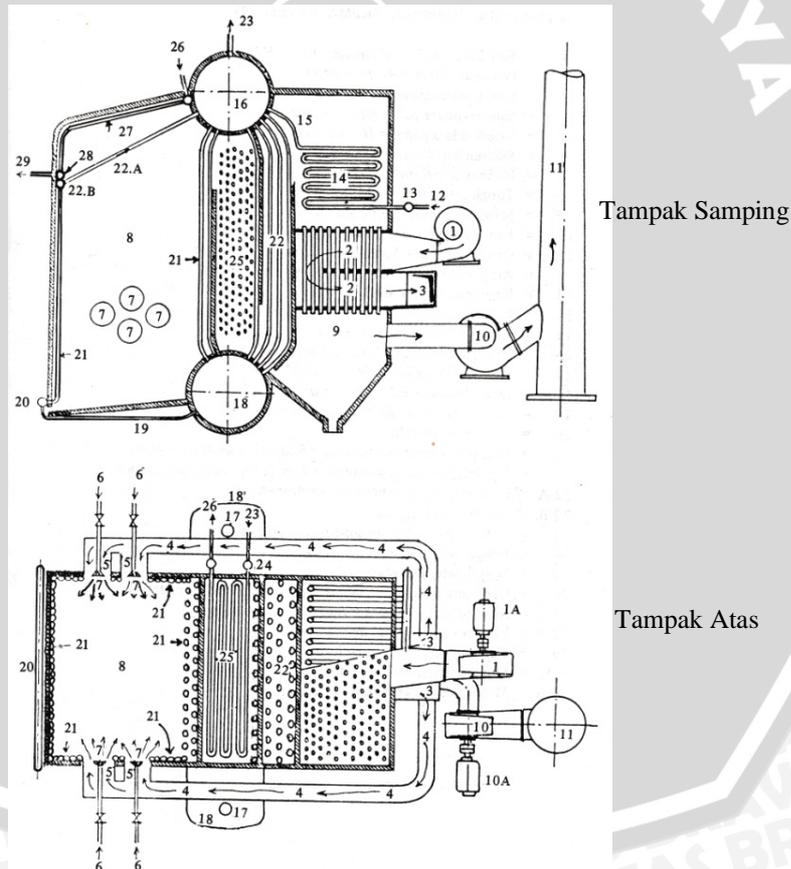
1. Pabrik KB I : 6500 TCD
2. Pabrik KB II : 5500 TCD

Ketel uap yang digunakan pada pabrik gula merupakan ketel berjenis *water tube* (pipa air) tipe D. Skema dari ketel ini dapat dilihat seperti pada

Gambar 4.2 (a) (Keterangan gambar terdapat pada Lampiran 8). Ketel uap pada pabrik gula menggunakan bahan bakar tebu kering atau biasa disebut bagase. Bagase ini didapat dari hasil samping proses penggilingan tebu tiap harinya yang digunakan untuk bahan bakar ketel. Hal ini dapat dilihat pada rincian total kebutuhan bagase yang dibutuhkan sebagai berikut:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1. Ketel Yoshimine II | : 380 ku/jam |
| 2. Ketel Cheng chen | : 294 ku/jam |
| Total | : 674 ku/jam = 16174 ku/hari |
| ku | : kwintal (100 kg) |

Untuk mengatasi masalah jika terjadi kekurangan bahan bakar bagase, pabrik mengantisipasinya dengan menyediakan bagase cadangan yang disimpan di gudang penyimpanan.

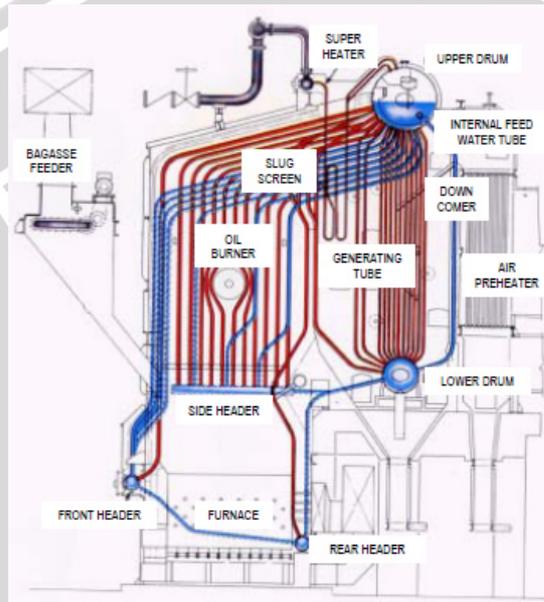


Gambar 4.2 (a) Ketel Uap Pipa Air Tipe D

Sumber: Djokosetyardjo, 2003 : 231

Didalam prakteknya ketel uap terbagi atas dua jenis yaitu ketel uap pipa api dan pipa air. (penjelasan terdapat pada lampiran 9). Sedangkan yang digunakan di PG Krebet merupakan ketel uap berjenis pipa air.

Prinsip kerja utama dari suatu ketel uap adalah memproduksi uap dengan cara mengubah air menjadi uap dengan pertolongan panas yang didapat dari hasil pembakaran bahan bakar yang berupa bagase. Adapun gambar bagian-bagian dari suatu ketel uap seperti pada Gambar 4.2 (b).

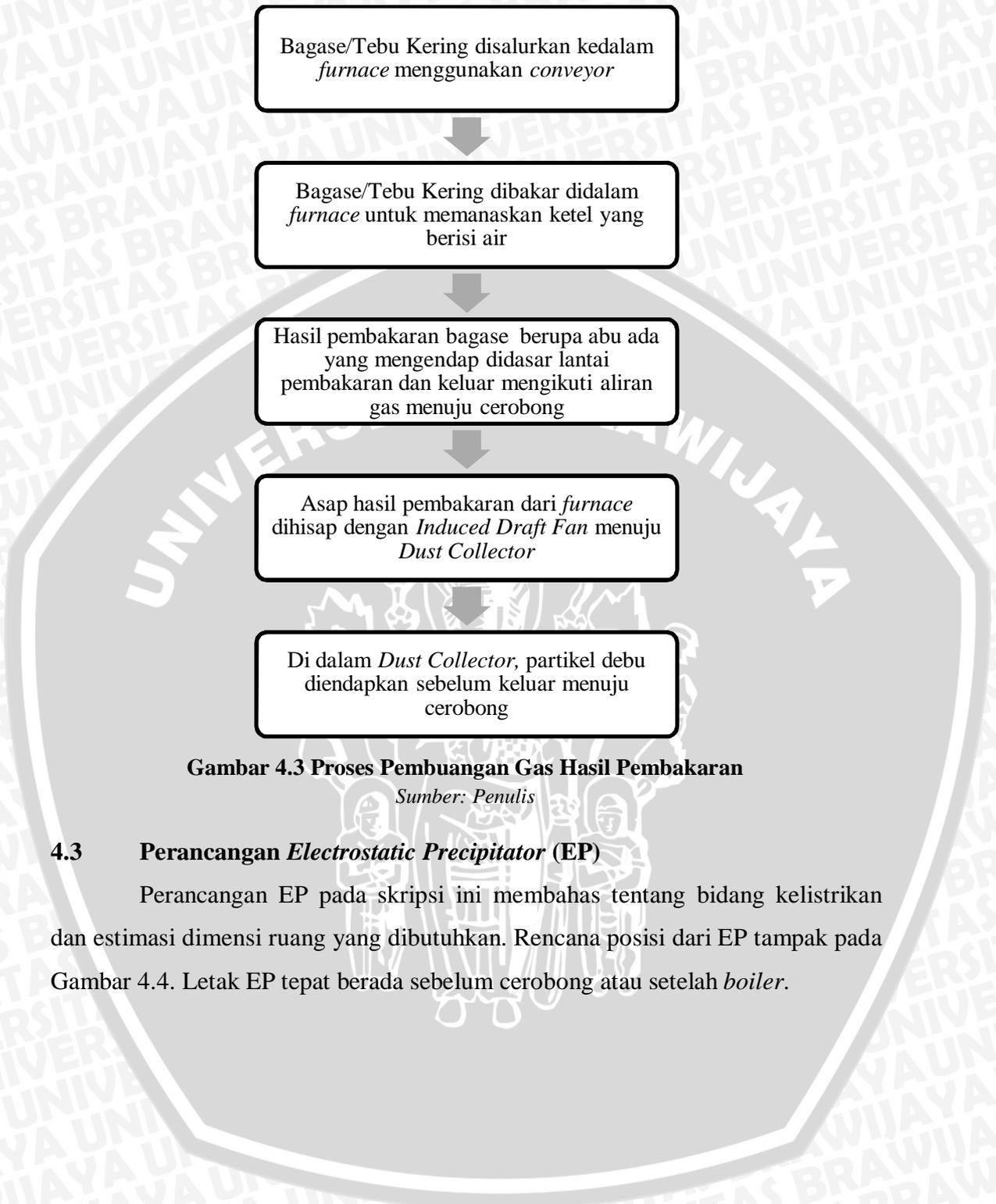


Gambar 4.2 (b) Bagian-bagian Ketel Uap Pipa Air

Sumber: http://www.yoshimine.co.jp/en/products/product_h.html

Proses pembakaran bagase mempunyai hasil limbah padat yang berupa abu. Abu sisa pembakaran ini ada yang mengendap didasar lantai pembakaran, namun ada juga yang ikut terbawa aliran asap menuju cerobong. Dalam mendistribusikan gas hasil pembakaran menuju cerobong, gas dihisap oleh blower (*Induced Draft Fan*) yang memiliki kapasitas hisap sebesar $5800 \text{ m}^3/\text{min}$ dan $5600 \text{ m}^3/\text{min}$, masing-masing untuk ketel uap Yoshimine II dan Cheng chen. Untuk mengatasi abu yang terbawa aliran asap dan tidak terbawa sampai keluar dari cerobong, aliran gas masuk ke dalam *dust collector*. Dengan penggunaan *dust collector* diharapkan partikel debu yang keluar menjadi sedikit.

Untuk lebih memahami proses jalannya gas hasil pembakaran ditunjukkan pada Gambar 4.3.

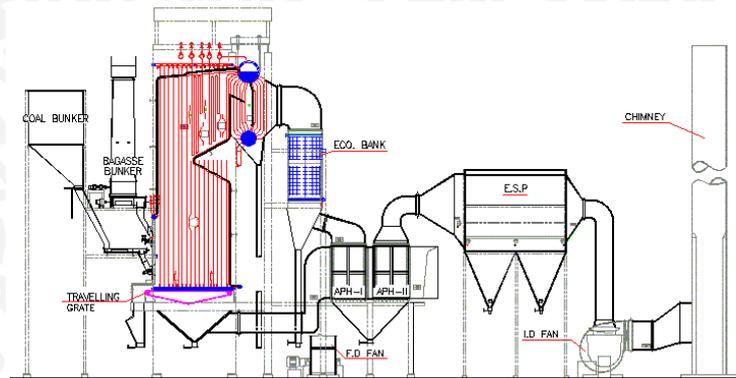


Gambar 4.3 Proses Pembuangan Gas Hasil Pembakaran

Sumber: Penulis

4.3 Perancangan *Electrostatic Precipitator* (EP)

Perancangan EP pada skripsi ini membahas tentang bidang kelistrikan dan estimasi dimensi ruang yang dibutuhkan. Rencana posisi dari EP tampak pada Gambar 4.4. Letak EP tepat berada sebelum cerobong atau setelah *boiler*.



Gambar 4.4 Rencana Posisi EP

Sumber: Hizbullah, 2008.

http://i2.wp.com/malikhizbullah.files.wordpress.com/2008/09/purti_big.gif

Dalam perancangan ini akan dibahas beberapa parameter sebagai dasar perancangan yang harus diperhatikan dalam merancang suatu EP, parameter – parameter tersebut antara lain:

4.3.1 Data Awal

Data awal yang digunakan untuk perancangan dan pembuatan model miniatur EP ini adalah

a) Debit gas buang

Debit gas buang adalah banyaknya volume gas yang mengalir atau keluar per satuan waktu. Hal ini diperlukan dalam perancangan karena menentukan besarnya kapasitas EP yang akan dirancang. Besarnya debit gas buang yang digunakan pada perancangan ini didapatkan dari nilai kapasitas maksimal *induce draft fan* (IDF) seperti pada gambar 4.5 yang berfungsi menghisap gas hasil pembakaran boiler menuju *stack* (cerobong asap). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil perancangan dengan kapasitas yang maksimal. Besar kapasitas hisap IDF yang terpasang pada boiler Yoshimine II adalah $5800 \text{ m}^3/\text{min}$ sama dengan $93,66 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 4.5 Induced Draft Fan (IDF)

Sumber: Belaman, 2012:62

Data spesifik dari IDF dapat dilihat pada data dan spesifik *boiler* di Lampiran 1.

- Faktor iregularitas kawat yang digunakan adalah 1, faktor iregularitas merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya kuat medan yang digunakan untuk membangkitkan korona.
- Diameter elektroda kawat / elektroda pengion yang digunakan adalah 25×10^{-4} m atau 2,5 mm. (di industri diameter kawat yang biasa digunakan adalah 0,13 – 0,38 cm dan yang umum digunakan adalah 0,25 cm)
- Bahan atau material yang digunakan untuk elektroda kawat adalah *high carbon-steel, stainless steel, copper, titanium alloy*, dan *aluminium*.
- Plat pengumpul / *collecting electrode* memiliki dimensi panjang 6 m dan lebar 5 m, dengan tebal 2 mm. Dengan jarak yang digunakan antar plat pengumpul sebesar 22 cm. (Ukuran panjang dan lebar pada industri umumnya masing-masing adalah 6 dan 12 m, jarak antar plat pengumpul adalah 15 sampai 30 cm, sedangkan untuk penggunaan normal EP dengan efisiensi yang tinggi adalah 20 sampai 23 cm).
- Jarak optimal antar kawat pengion dengan plat pengumpul adalah setengah dari jarak antar plat pengumpul, sehingga besarnya jarak antar kawat pengion dengan plat pengumpul adalah $= \frac{1}{2} \times 22 = 11$ cm. (menurut penjelasan diatas, jarak normal antar plat pengumpul adalah 20 – 23 cm, sehingga jarak antara plat pengumpul dengan kawat pengion yang normal adalah antara 10 – 11,5 cm)
- Kondisi tekanan dan temperatur pada *outlet furnace* adalah sebesar 26,315 kPa dan 220⁰C. Sedangkan densitas udara berdasarkan suhu dan tekanan yang ada adalah 0,1435.

4.3.2 Perhitungan Kuat Medan Listrik Yang Dibutuhkan Untuk Mengionisasi Partikel

Kuat medan listrik pada *electrostatic precipitator* (EP) dibutuhkan untuk proses pengikatan partikel dengan mengubah muatan partikel melalui proses ionisasi.

Untuk mendapatkan besarnya nilai kuat medan yang dibutuhkan untuk membangkitkan korona tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan (2-9):

$$E_c = 3,1 \times 10^6 m d \left[1 + \frac{0.301}{\sqrt{dR}} \right]$$

Dengan :

$$m = 1$$

$$d = 0,1435$$

$$R = 12,5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Maka :

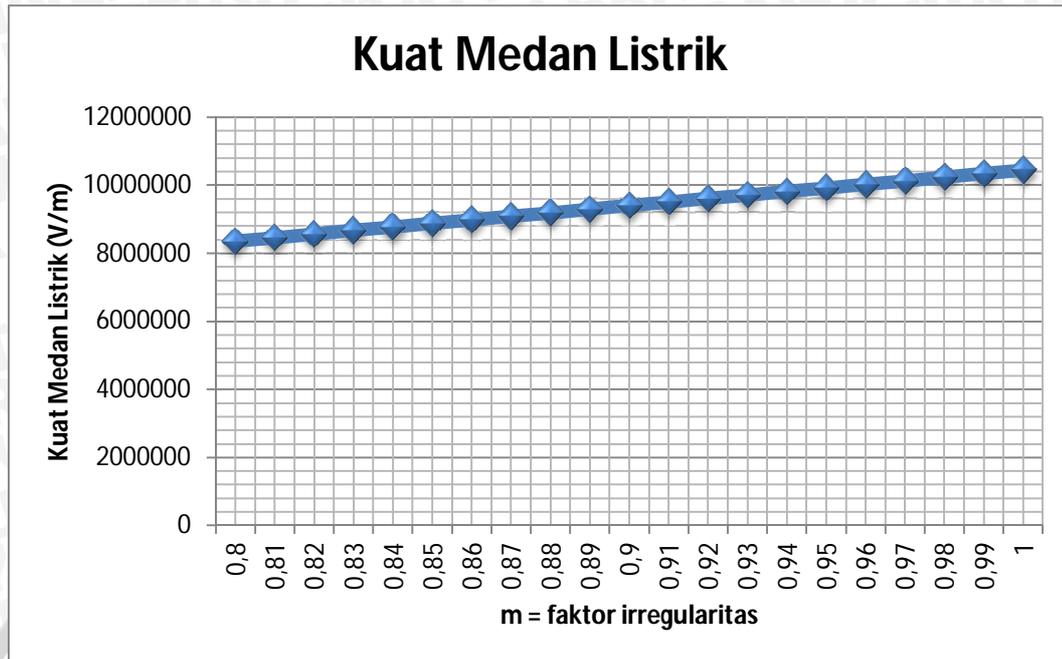
$$E_c = 3,1 \times 10^6 \cdot 1 \cdot 0,1435 \left[1 + \frac{0.301}{\sqrt{0,1435 \cdot 12,5 \times 10^{-4}}} \right]$$

$$E_c = 444850 \cdot 23,474$$

$$E_c = 10,443 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$= 10,443 \times 10^4 \text{ V/cm}$$

Pada perhitungan tersebut, besarnya kuat medan listrik didapatkan jika menggunakan faktor irregularitas kawat (m) sebesar 1 atau kawat yang rata / halus. Namun terdapat perbedaan kuat medan listrik yang dihasilkan, jika menggunakan kawat yang tidak rata ($m < 1$). Hal ini terlihat pada Gambar 4.6 merupakan grafik tentang pengaruh faktor irregularitas terhadap kuat medan listrik. Kuat medan listrik ini diperlukan untuk menentukan berapa besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk awal korona.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Faktor Irregularitas terhadap Kuat Medan Listrik
Sumber: Perhitungan

4.3.3 Perhitungan Tegangan Korona

Tegangan korona merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan kuat medan korona. Tegangan korona ini dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan (2-10), sehingga didapatkan persamaan (2-12) :

$$V_c = E_c r \ln \frac{r_1}{R}$$

Dengan :

$$R = 12,5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$r = 19,6 \times 10^{-4} \text{ m (jari-jari korona (r) = } R + 0,02 \sqrt{R} \text{)}$$

$$r_1 = 0,11 \text{ m (jarak antar plat ke kawat)}$$

Maka :

$$V_c = 10,443 \times 10^6 \cdot 19,6 \times 10^{-4} \ln \frac{0,11}{12,5 \times 10^{-4}}$$

$$V_c = 91,504 \times 10^3 \text{ V}$$

Karena korona yang digunakan pada industri menggunakan polaritas negatif maka besarnya tegangan korona yang digunakan adalah -91,504 kV.

4.3.4 Perhitungan Tegangan Operasi

Tegangan operasi merupakan tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan *Electrostatic Precipitator* (EP). Tegangan operasi ini dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (2-15) :

$$V_a = V_c + E_c \frac{r^2 + R^2}{2R}$$

$$V_c = 91,504 \times 10^3 \text{ V}$$

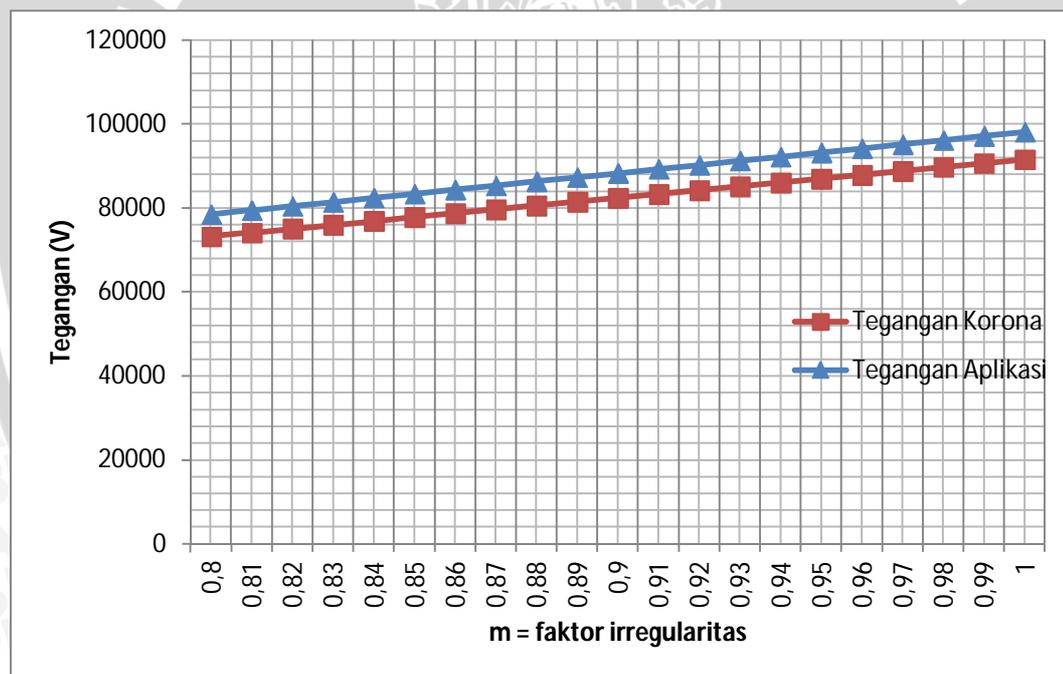
$$E_c = 10,443 \times 10^6 \text{ V/m}$$

Maka :

$$V_a = 91,643 \times 10^3 + 10,443 \times 10^6 \frac{(19,6 \times 10^{-4})^2 + (12,5 \times 10^{-4})^2}{2 \times 12,5 \times 10^{-4}}$$

$$V_a = 98,07 \times 10^3 \text{ V}$$

Pada Gambar 4.7 didapatkan besarnya tegangan yang digunakan berdasarkan nilai faktor iregularitas yang berbeda-beda.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Faktor Irregularitas terhadap Tegangan

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan penggunaan aplikasi yang ada di industry menggunakan korona negatif, maka tegangan operasi yang digunakan juga berpolaritas negatif yaitu -98,07 kV.

4.3.5 Perhitungan Pemuatan Partikel (*Particle Charging*)

Aplikasi EP di industri umumnya menggunakan ionisasi negatif (korona negatif). Hal ini dilakukan karena tegangan tembus yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan ionisasi positif sehingga proses pemuatan partikel dapat berlangsung lama. Tujuan dari pemuatan partikel adalah untuk mengionisasi partikel karena adanya ion-ion bebas yang dapat menarik partikel menuju elektroda pengumpul. Untuk mendapatkan besarnya pemuatan partikel dapat menggunakan persamaan (2-16), yaitu:

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

Dengan :

$$E_c = 10,443 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$\lambda = 4,281 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\epsilon_r = 3$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$d_p = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Maka,

$$Q_p = \left(1,0822 + 1,489 \times \frac{2}{5}\right) \pi \cdot 8,85 \times 10^{-12} \cdot (2,5 \times 10^{-6})^2 \cdot 10,443 \times 10^6$$

$$Q_p = 3,04 \times 10^{-16} \text{ C}$$

4.3.6 Perhitungan Kecepatan Gerak Partikel (*Particle Migration Velocity*)

Untuk mendapatkan kecepatan gerak dari suatu partikel di dalam medan pada *electrostatic precipitator* (EP) dapat menggunakan persamaan (2-21), yaitu :

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

Dengan :

$$E_c = 10,443 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$Q_p = 3,04 \times 10^{-16} \text{ C}$$

$$d_p = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$C_o = 1,0435$$

$$\mu = 1,83 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

Maka,

$$v_{th} = \frac{Q_p \cdot E \cdot Co}{3\pi \mu d_p}$$

$$v_{th} = \frac{3,04 \times 10^{-16} \cdot 10,443 \times 10^6 \cdot 1,0435}{3 \cdot \pi \cdot 1,83 \times 10^{-5} \cdot 2,5 \times 10^{-6}}$$

$$v_{th} = 0,768 \text{ m/s}$$

4.3.7 Perhitungan Luas Plat Pengumpul (*Collecting Electrodes*)

Berdasarkan Efisiensi

Electrostatic Precipitator (EP) yang dirancang mempunyai kapasitas sebesar 5800 m³/min sama dengan 96,66 m³/s. Kemudian jarak pelat kawat yang dirancang sebesar 0,1 m dan jarak antar plat 0,2 m. Untuk ukuran tiap plat yang digunakan 5 x 6 m dengan ketebelan plat 0,2 cm.

Jika efisiensi yang diinginkan sebesar 98% maka besarnya total luas plat menurut didapatkan berdasarkan penjabaran persamaan (2-22), yaitu :

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

Sehingga,

$$A = \frac{-q}{v_{th}} \ln(1 - eff)$$

$$A = \frac{-96,66}{0,768} \ln(1 - 0,98)$$

$$A = 492,41 \text{ m}^2 \approx 492 \text{ m}^2$$

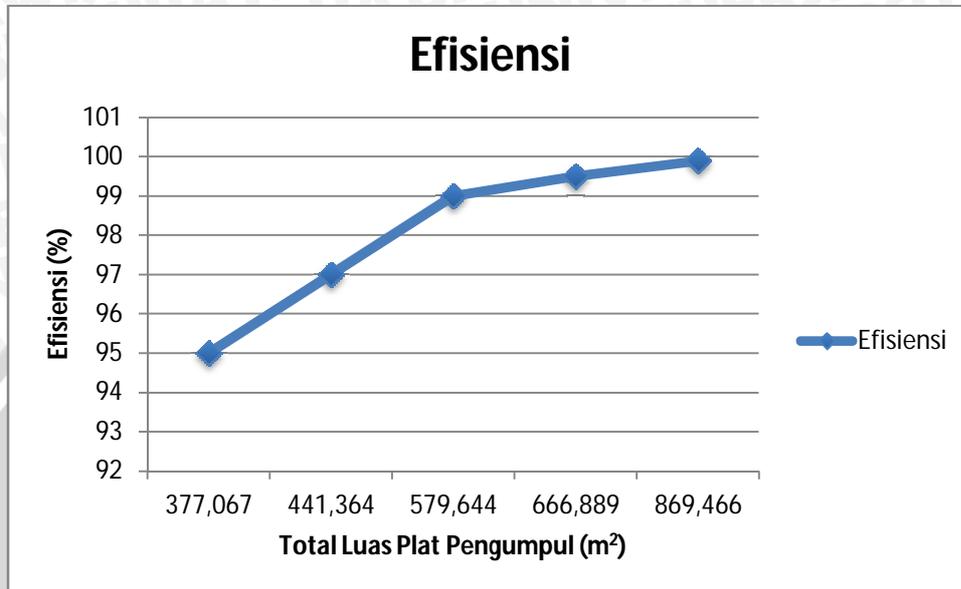
Maka banyaknya plat yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi sebesar 98% adalah $\frac{492,41}{5 \times 6} = 16,5 \approx 16$ buah. Untuk mengetahui total plat yang digunakan berdasarkan efisiensi ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Luas Total Plat Pengumpul Berdasarkan Efisiensi

No.	Efisiensi (%)	Luas Total Plat Pengumpul (m ²)	Banyak Plat yang digunakan (buah)
1	95	377,067	13
2	97	441,364	15
3	99	579,644	19
4	99,5	666,889	22
5	99,9	869,466	29

Sumber: Hasil perhitungan

Melalui perhitungan seperti persamaan (2-21), didapatkan luas total plat pengumpul pada setiap perubahan efisiensi yang diinginkan. Semakin besar total luas plat pengumpul yang dibutuhkan, semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan oleh alat. Hal ini terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Total Luas Plat Pengumpul Terhadap Efisiensi

Sumber: Hasil perhitungan

4.3.8 Spesifikasi Desain Berdasarkan Teori dan Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan beberapa parameter perancangan EP tercantum dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Desain Berdasarkan Teori dan Perhitungan

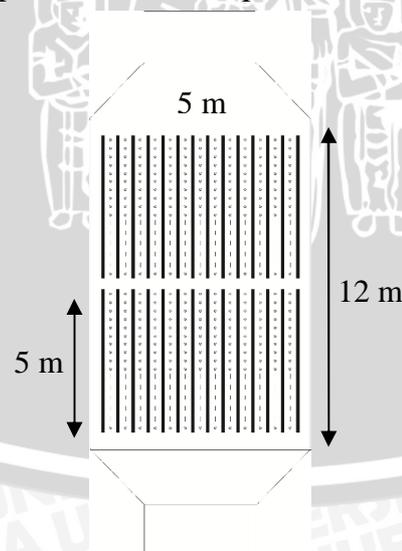
No.	Jenis Spesifikasi	Nilai
1	Tegangan operasi	98 kV
2	Efisiensi yang diinginkan	99,9%
3	Ukuran plat pengumpul (p x l)	5 x 6 m
4	Tebal plat pengumpul	2 mm
5	Luas total plat pengumpul	579,644 m ²
6	Jumlah plat pengumpul	28 buah
7	Jumlah <i>field</i> yang seri	2
8	Debit gas	96,67 m ³ /s

9	Jarak plat-kawat	0,11 m
10	Jarak plat-plat	0,22 m
11	Jarak kawat-kawat	0,11 m
12	Diameter kawat	25×10^{-4} m
13	Panjang Kawat	5 m
14	Jumlah kawat	45 buah/lajur
15	Jumlah total kawat	$45 \times 13 \times 2 = 1170$ buah
16	Kecepatan migrasi partikel	0,768 m/s
17	Perkiraan panjang dan lebar keseluruhan	5 m lebar x 12 m panjang
18.	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.

Sumber: Hasil perhitungan

Bentuk desain tampak atas dari EP seperti terlihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.9 Electrostatic Precipitator tampak atas

Sumber: Hasil perancangan

4.4 Perancangan Model Miniatur EP

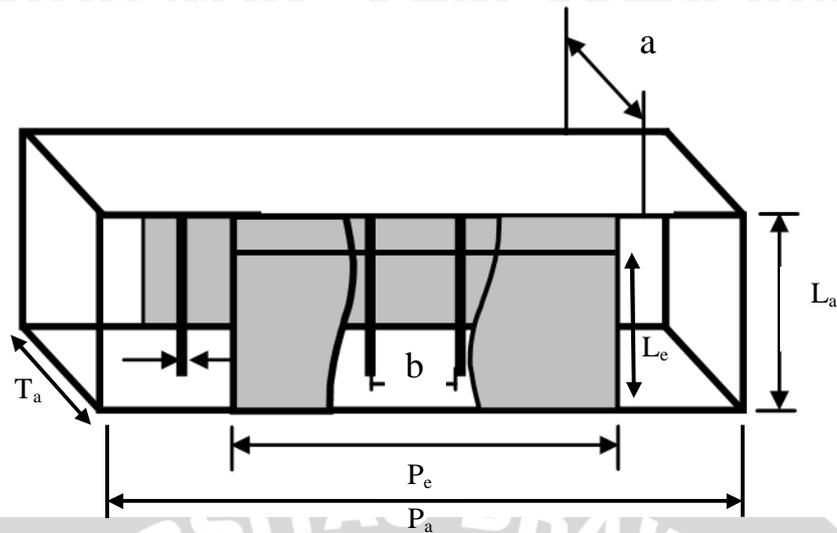
Perancangan model miniatur *electrostatic precipitator* (EP) dibuat untuk memahami kinerja EP dari segi kelistrikannya. Dalam merancang dan merealisasikan model ini dilakukan simulasi kuat medan menggunakan program bantu, yaitu *FEMM*.

4.4.1 Prinsip Kerja

Fungsi dari model miniatur pengendap debu elektrostatis ini hampir sama dengan pengendap debu elektrostatis atau *electrostatic precipitator* (EP) yang asli, yaitu memisahkan partikulat-partikulat yang terbawa di dalam aliran gas dengan memanfaatkan energi listrik. Proses-proses pengendapan partikulat yang akan dicoba pada model miniatur ini juga sama, yaitu:

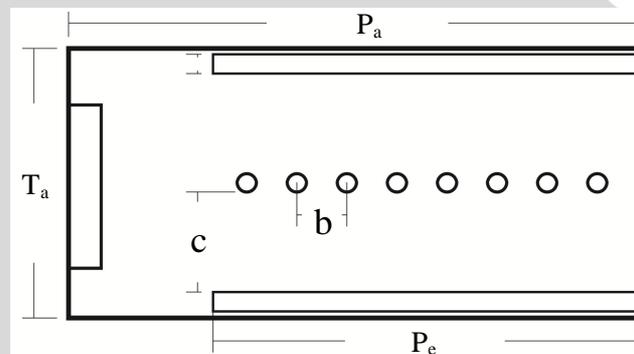
- a. Pemuatan partikel (*Particle Charging*)
- b. Pengumpulan partikel (*Collecting*)
- c. Pembersihan partikel yang mengendap (*Removal*)

Model miniatur ini merupakan EP dengan elektroda kawat yang sejajar dengan plat. Tujuan dari konfigurasi kawat-plat ini adalah untuk mendapatkan intensitas medan yang tak seragam, selain itu konfigurasi kawat-plat ini banyak digunakan di industri. Untuk pemilihan bahan yang digunakan untuk elektroda kawat dan plat pengumpul adalah terbuat dari alumunium. Menurut penelitian Sinuraya (2002 : 52) yang meneliti tentang pengaruh konfigurasi bahan dan bentuk elektroda terhadap efisiensi pengendap debu elektrostatis, alumunium memiliki potensial ionisasi yang kecil sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih besar daripada bahan lain yang memiliki potensial yang lebih besar. Selain itu alumunium mudah didapatkan di pasaran dan lebih terjangkau dari sisi ekonomisnya. Pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 merupakan dimensi utama dari model miniatur EP dan model miniatur terlihat dari atas. Penentuan susunan dan bentuk dari elektroda berdasarkan kuat medan yang ditimbulkan sangat tidak seragam sehingga timbul korona. Untuk spesifikasi dari elektroda yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.10 Dimensi Utama Model Miniatur EP

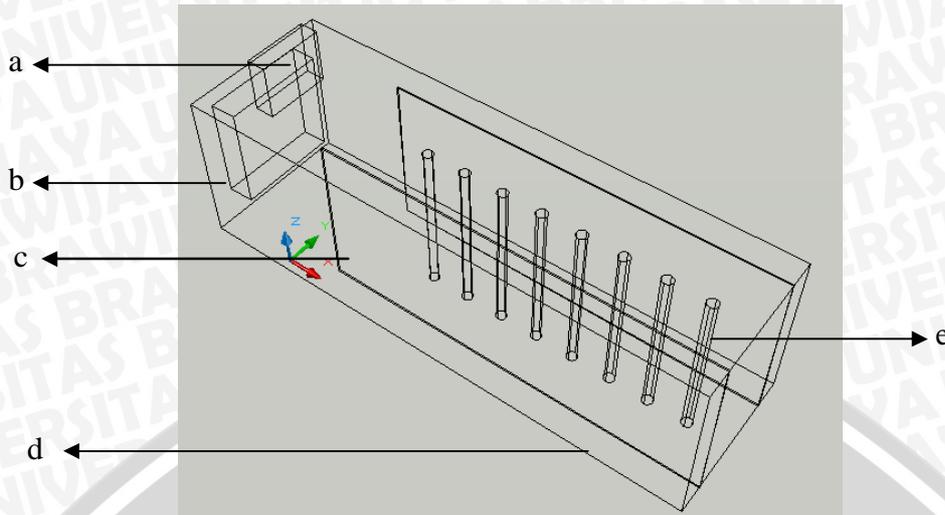
Sumber: Coury, 2004 : 277



Gambar 4.11 Dimensi Utama Model Miniatur EP (Tampak Atas)

Sumber: Hasil perancangan

Pada Gambar 4.12 ditunjukkan model miniatur EP. *Casing* atau rangka utama yang digunakan terbuat dari bahan mika (*acrylic*) yang memiliki ketebalan 3 mm. Dimensi utama *casing* 40 cm x 12 cm x 12 cm. Untuk mendorong debu yang akan diuji, menggunakan fan 8 x 8 cm dengan tegangan 12 VDC. Supaya debu yang berada didalam tempat penampung dapat turun secara merata dan perlahan, digunakan *vibrator* yang terbuat dari motor DC dengan tegangan 5 VDC. Penggetar diletakkan tepat disebelah kotak penampung debu.



Gambar 4.12 Rencana Model Miniatur EP

Sumber: Hasil perancangan

Tabel 4.3 Penjelasan Gambar Model Miniatur EP

Notasi	Keterangan
a	Kotak penampung debu
b	Fan 8 x 8 cm
c	Elektroda plat pengumpul
d	Casing
e	Elektroda kawat

Sumber: Hasil perancangan

4.4.2 Data Awal

Menurut hasil perancangan EP berdasarkan perhitungan dan teori didapatkan luas total plat pengumpul $579,644 \text{ m}^2$, dengan panjang plat pengumpul 5 m dan lebar plat pengumpul 6 m. Dari hasil tersebut dilakukan proses *scaling* atau pengecilan untuk mendapatkan dimensi yang lebih kecil sehingga mudah dibuat dan direalisasikan. Skala yang digunakan adalah 1 : 50, sehingga panjang plat menjadi 10 cm dan lebar plat menjadi 12 cm. Namun untuk mendapatkan hasil tangkapan debu yang lebih banyak, maka panjang plat pengumpul diperpanjang menjadi 30 cm. Oleh karena itu didapatkan spesifikasi bentuk model miniatur EP, sebagai berikut:

- a. Panjang casing : 40 cm
- b. Lebar casing : 12,3 cm
- c. Tinggi casing : 12,3 cm

- d. Panjang plat pengumpul : 30 cm
- e. Lebar plat pengumpul : 12 cm
- f. Tebal plat pengumpul : 0,1 cm
- g. Diameter elektroda kawat : 4 mm
- h. Panjang elektroda kawat : 12 cm
- i. Jarak antar elektroda kawat : 3 cm
- j. Jarak antara kawat-plat : 4 dan 5 cm
- k. Bahan plat pengumpul : alumunium
- l. Bahan elektroda kawat : alumunium

Untuk mendorong debu pengotor digunakan DC fan 12 volt yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- a. Panjang x lebar x tebal : 8 x 8 x 2,5 cm
- b. Tegangan operasi : 12 volt
- c. Arus : 0,15 A
- d. Kecepatan putar : 3600 rpm
- e. Kecepatan linier : 30,15 m/s
- f. Debit udara : 0,021 m³/s

4.4.3 Simulasi Kuat Medan Listrik Menggunakan Program *FEMM*

Simulasi kuat medan listrik dilakukan untuk mengetahui seberapa besar intensitas medan listrik yang ditimbulkan oleh elektroda kawat terhadap plat. Selain mengetahui intensitas medan listrik yang terjadi, simulasi ini juga digunakan untuk mendapatkan luas korona maksimal yang terjadi pada tiap elektroda kawat sehingga dapat diketahui jumlah luas area yang dapat mengionisasi partikel. Fokus simulasi ini adalah ingin mengetahui pengaruh intensitas medan terhadap perubahan jarak antar elektroda kawat dan plat pengumpul. Prinsip kerja pada simulasi ini dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.6 (a). Langkah awal dalam melakukan simulasi adalah menentukan beberapa parameter yang akan digunakan. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 yaitu:

Tabel 4.4 Parameter Yang Digunakan Untuk Simulasi Kuat Medan Listrik

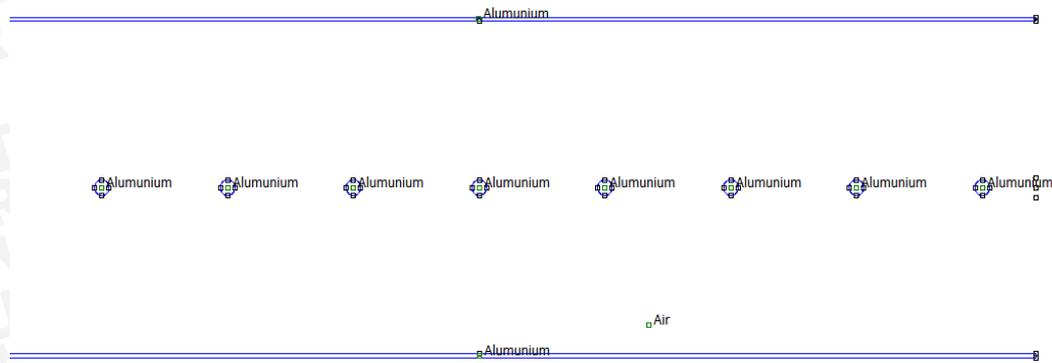
Parameter			Percobaan	
Nama	Notasi	Satuan	1	2
Diameter elektroda kawat	D_{ek}	cm	0.4	0.4
Panjang elektroda kawat	P_{ek}	cm	12	12
Panjang elektroda plat pengumpul	P_e	cm	30	30
Lebar elektroda plat pengumpul	L_e	cm	12	12
Tebal elektroda plat pengumpul	T_{pp}	cm	0.1	0.1
Panjang dan lebar casing	$P_a \times L_a$	cm	40 x 12,3	40 x 12,3
Tinggi casing	T_a	cm	12	12
Jarak antar plat pengumpul	a	cm	8	10
Jarak antar kawat	b	cm	3	3
Jarak antar elektroda kawat- plat pengumpul	c	cm	4	5
Jumlah kawat yang digunakan	J_K	buah	8	8
Tegangan yang diterapkan	V_a	kV	30	30

Sumber : Hasil perancangan

Setelah menentukan parameter seperti pada Tabel 4.4, maka dilanjutkan dengan melakukan simulasi kuat medan listrik. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program FEMM untuk mengetahui intensitas medan listrik yang terjadi pada model miniatur EP. Program FEMM adalah program yang digunakan untuk memberikan solusi permasalahan yang berhubungan dengan *low frequency electromagnetic*. Program ini merupakan program simulasi 2D planar dan asimetris, selain itu fungsi program ini untuk menganalisis permasalahan fisika yang meliputi *linier/nonlinier magnetic*, *linier/nonlinier time harmonic magnetic*, *linier electrostatic* dan *steady-state heat flow*. (Meeker, 2009 : 6)

Pada skripsi ini permasalahan yang digunakan adalah *linier electrostatic*. Karena menggunakan bantuan program FEMM dalam mengamati kuat medan listrik yang terjadi, maka dalam menggunakan program ini dibutuhkan diagram

alir seperti pada Gambar 3.7. Selanjutnya untuk penggambaran model miniatur EP yang terdiri dari sepasang plat dan elektroda kawat seperti terlihat pada Gambar 4.13.



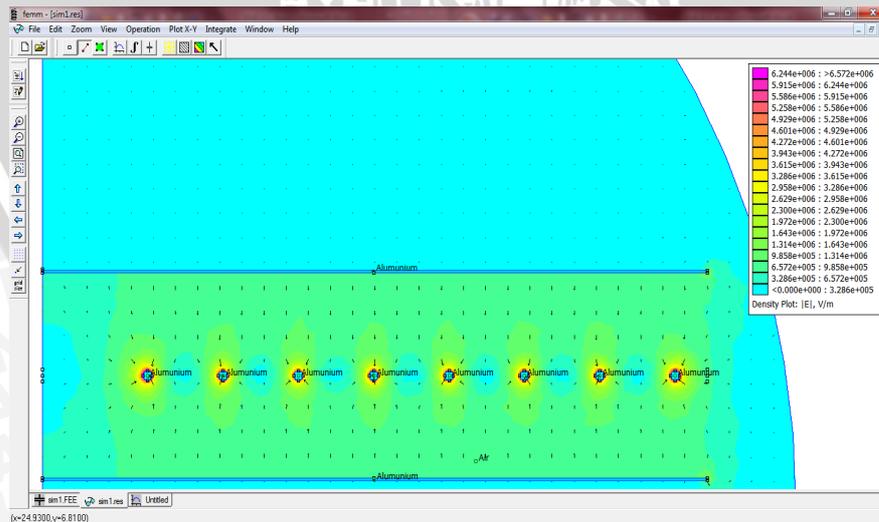
Gambar 4.13 Model Miniatur EP Pada Program FEMM

Sumber: Hasil perancangan

Setelah melakukan simulasi kuat medan listrik didapatkan hasil berupa gambar kontur dari intensitas medan listrik yang terjadi dan grafik jarak antar elektroda kawat dan elektroda plat pengumpul sebagai berikut:

1. Hasil simulasi kuat medan listrik pada $s = 4$ cm

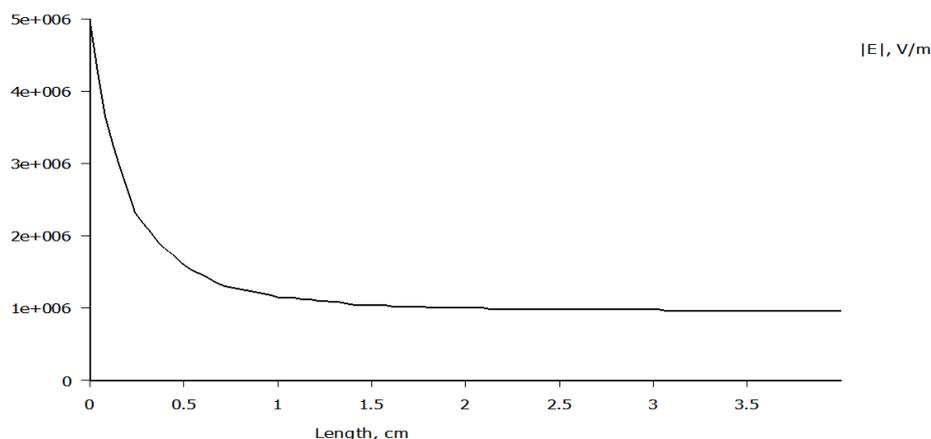
Hasil simulasi kuat medan listrik pada jarak antar elektroda kawat dan elektroda pengumpul sebesar 4 cm ditunjukkan pada Gambar 4.14 yang menunjukkan kontur dan arah intensitas medan listrik (E) yang terjadi.



Gambar 4.14 Hasil Simulasi Kuat Medan Listrik Pada $s = 4$ cm

Sumber: Hasil perancangan

Sedangkan pada Gambar 4.15 menunjukkan grafik pengaruh jarak sela antar elektroda kawat dengan elektroda kawat.



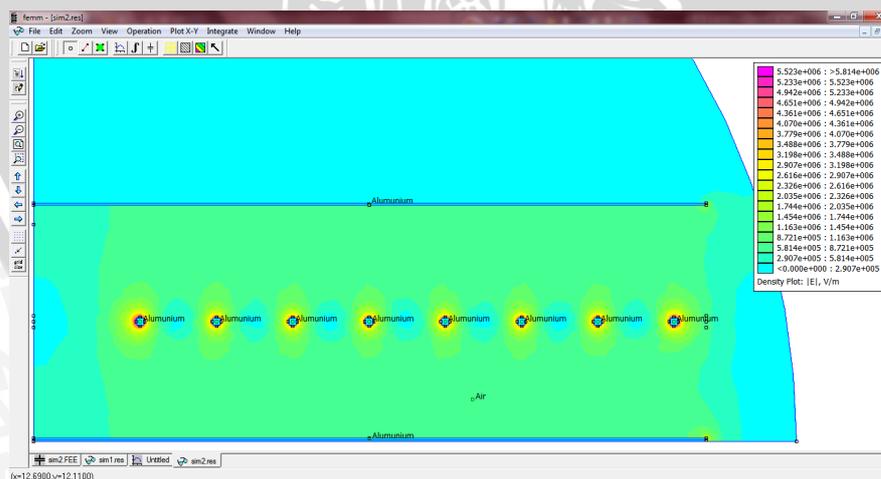
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Jarak Sela (4 cm) Terhadap Intensitas Medan Listrik

Sumber: Hasil perancangan

Dari grafik pada Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa semakin besar jarak sela antar elektroda kawat dan plat pengumpul, semakin menurun besarnya intensitas yang terjadi.

2. Hasil simulasi kuat medan listrik pada $s = 5$ cm

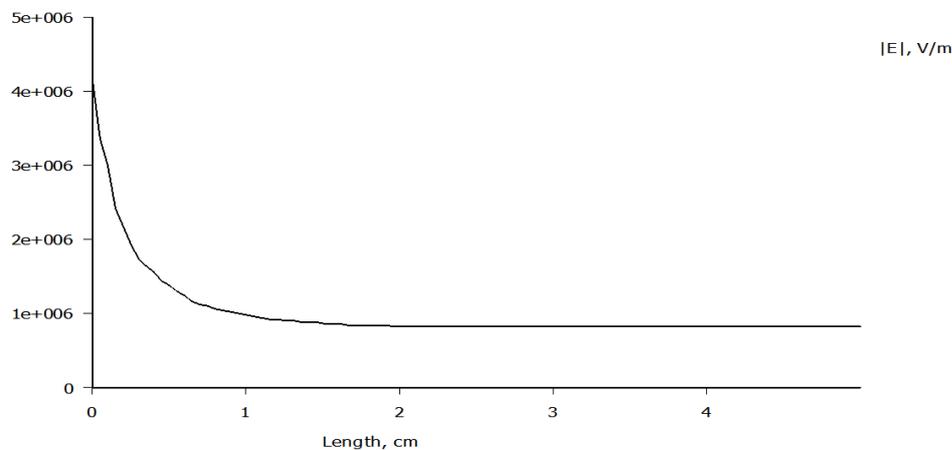
Hasil simulasi kuat medan listrik pada jarak antar elektroda kawat dan elektroda pengumpul sebesar 5 cm ditunjukkan pada Gambar 4.16 yang menunjukkan kontur dan arah intensitas medan listrik (E) yang terjadi.



Gambar 4.16 Hasil Simulasi Kuat Medan Listrik Pada $s = 5$ cm

Sumber: Hasil perancangan

Sedangkan pada Gambar 4.17 menunjukkan grafik pengaruh jarak sela antar elektroda kawat dengan elektroda kawat.



Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Jarak Sela (5 cm) Terhadap Intensitas Medan Listrik

Sumber: Hasil perancangan

Dari grafik pada Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa semakin besar jarak sela antar elektroda kawat dan plat pengumpul, semakin menurun besarnya intensitas yang terjadi. Namun perbedaan yang terlihat pada Gambar 4.13 dan 4.15 adalah besarnya kuat medan listrik maksimal yang terjadi. Pada Gambar 4.13 kuat medan listrik maksimal terjadi pada $4,8 \times 10^6$ V/m, sedangkan pada Gambar 4.15 kuat medan listrik maksimal terjadi pada $4,2 \times 10^6$ V/m. Hal ini semakin menunjukkan bahwa jarak antar elektroda kawat dan plat pengumpul sangat berpengaruh pada intensitas medan listrik (E) yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-2) yaitu: (Sears, 1969 : 571)

Dengan,

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

Sehingga,

$$E \sim \frac{1}{r}$$

Dari persamaan tersebut tampak bahwa besarnya kuat medan listrik berbanding terbalik dengan jarak antar muatan atau jarak antar elektroda kawat dan plat pengumpul. Setelah mendapatkan hasil simulasi kuat medan listrik, kemudian mengamati daerah korona yang terjadi disekitar elektroda kawat. Setelah melakukan simulasi pada program FEMM seperti diatas, Hasil pengujian yang didapat akan dijadikan dasar dalam pembuatan bentuk model miniatur EP.