ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR DI PT. PETROKIMIA GRESIK

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

ANDRE PRASETYOADI
NIM. 0510632002

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG

2009

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR DI PT. PETROKIMIA GRESIK

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

ANDRE PRASETYOADI
NIM. 0510632002

Telah Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing :

Ir. Drs. Moch. Dhofir, MT.	**DR. Rini Nur Hasanah, ST, M.Sc, Ph.D.**
NIP. 1960001 199002 1 001	**NIP. 19680122 199512 1 001**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR DI PT. PETROKIMIA GRESIK

SKRIPSI

Disusun Oleh:

ANDRE PRASETYOADI
NIM. 0510632002

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus

Pada tanggal

10 Agustus 2009

MAJELIS PENGUJI

Ir. Chairuzzaini
NIP. 119500627 197803 1 001

Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

Ir. Teguh Utomo, MT.
NIP. 19650913 199103 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 19650402 199002 1 001

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Syukurku kepada Allah Bapa Putra dan Roh kudus atas nafas hidup dan semangat jiwaku serta atas segala jawaban dari doa dan jalan terang dari segala keputusasaanku

Ia membimbingku ke air yang tenang Ia menyegarkan jiwaku
Ia menuntunku ke jalan yang benar oleh karena namaNya

Ucapan terimakasih kepada Bunda Maria,atas ketenangan jiwaku dan terkabulnya doa novena Tiga Salam Maria

" Berjaga-jagalah! Berdirilah teguh dalam iman! Dan tetaplah kuat! Lakukanlah segala pekerjaanmu dalam kasih!" (1 Korintus 16:13,14)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan YME atas segala Berkat dan rahmatNya sehingga skripsi yang berjudul **"ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR DI PT. PETROKIMIA GRESIK"** dapat diselesaikan.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu hingga dapat diselesaikannya skripsi ini. Khususnya diucapkan kepada:

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.kom. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Rudy Yuwono, ST, M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Dr. Ir. Harry Soekotjo D,Ms selaku KKDK Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Drs. Moch. Dhofir, MT dan Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST, M.Sc Ph.D. atas bimbingan, arahan dan motivasi serta waktu yang diberikan guna terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak Solekhan,ST. selaku Kabag Listrik III di Departemen Pemeliharan III PT. Petrokimia Gresik, atas ijin, masukan, bimbingan dan arahan yang diberikan guna terselesaikannya skripsi ini.
5. Seluruh staf dan karyawan PT. Petrokimia Gresik, khususnya pada Departemen Pemeliharaan III, yang telah banyak memberikan banyak bantuan dan masukan yang berharga guna terselesaikannya skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan staf karyawan di lingkungan Fakultas Teknik, khususnya Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
7. Kedua orang tuaku, Papa dan Mama atas dorongan semangat, motivasi serta dukungan materi dan rohani yang tak terkira.
8. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro khususnya dari paket A yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

banyak bantuan, masukan, saran dan kritik yang sangat berguna demi kesempurnaan skripsi ini.

Disadari sepenuhnya bahwa skripsi ini mungkin masih banyak kekurangan, untuk itu segala masukan, saran dan kritik yang berguna demi kesempurnaan skripsi ini sangat diharapkan.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak di Universitas Brawijaya maupun pihak di luar Universitas Brawijaya demi kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Malang, Agustus 2009

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
RINGKASAN ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Batasan masalah 2
1.4. Ruang lingkup 2
1.5. Tujuan 2
1.6. Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Dasar Electrostatic Precipitator 4
2.2. Electrostatic Precipitator Pada Cement Retarder Plant Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik 6
2.3. Electrostatic Precipitator type F 7
2.3.1. Isolasi dan Atap Terluar (*OuterRoof*) 9
2.3.2. Ruang Isolasi (*Insulator Chamber*) 10
2.3.3. Sistem Peluahan (*Discharge System*) 11
2.3.4. Sistem Pengumpul *(Collecting System)* 12
2.3.5. Sistem pengetuk (*Rapping system)* 13
2.4. Teori kelistrikan 14
2.4.1. Medan Elektrik 14
2.4.2. Korona 15

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.4.2.1 Korona positif dan negatif 16
2.4.3. Kuat medan dan tegangan kritis..... 18
2.4.4. Pemuatan Partikel *(particle charging)* 19
2.4.4.1 Muatan Medan (*field charging*) 20
2.4.5. Kecepatan migrasi *(Migration Velocity)* 21
2.5. Rangkaian Pengganti *electrostatic precipitator* 22
2.6. Pencemar Udara Partikulat..... 24
2.6.1. Gypsum 24
2.7. Korosi 25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Literatur 26
3.2. Pengambilan Data..... 26
3.3. Analisis Data 27
3.4. Menarik Kesimpulan 28
3.5. Diagram Alir 29

BAB IV DATA DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Inspeksi Eksternal..... 30
4.1.1. Spesifikasi Teknis Electrostatic Precipitator..... 30
4.1.2. Bentuk Dan Bagian – Bagian Electrostatic Precipitator 31
4.1.3. Kondisi Riil Di Lapangan Bagian Luar Atau Casing
Dari Electrostatic Precipitator..... 32
4.1.3.1.Hasil Inspeksi Terhadap Casing Bagian Samping 32
4.1.3.2. Hasil Inspeksi Terhadap Casing Bagian Atas 34
4.1.4. Tegangan Dan Arus Dari Electrostatic Precipitator..... 36
4.1.5. Kondisi Trafo 37
4.1.6. Kondisi Rectifier 38
4.1.7. Kondisi Isolator 39
4.2. Hasil Inspeksi Internal 39
4.2.1. Kondisi *discharge electrode* 40
4.2.2. Kondisi *collecting plate*..... 41

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.3. Analisis Penurunan Efisiensi 42
4.3.1. Analisis Pada Power Supply Unit 43
4.3.2. Perhitungan Kuat Medan 44
4.3.2.1. Perhitungan Kuat Medan Kritis 44
4.3.2.2. Perhitungan Kuat Medan diantara *Discharge electrode* dan *collecting plate* 46
4.3.3. Perhitungan Tegangan 48
4.3.4. Perhitungan Efisiensi 50
4.3.4.1. Perubahan Tegangan 55
4.3.4.2. Perubahan Tegangan dan Luasan Plat Pengumpul 56
4.3.4.3. Perubahan Tegangan dan Volume Flow 58
4.3.4.4. Perubahan Tegangan, Luasan *Collecting plate*, dan *Volume Flow* 59
4.3.5. Analisa Penurunan Tegangan 60
4.3.5.1. Analisa penurunan tegangan pada insulator 60
4.3.5.2. Analisa Penurunan Tegangan Pada DE dan CP 63

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 70

DAFTAR PUSTAKA 74

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Beberapa Type *Precipitator* 8
Tabel 2.2 Pengaruh konsentrasi sulfat terhadap kesehatan manusia 25
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus EP 36
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran terhadap Trafo 37
Tabel 4.3 Hasil Pengujian terhadap Rectifier 39
Tabel 4.4 Pengaruh factor irregularitas terhadap kuat medan awal yang dibutuhkan untuk menimbulkan korona 45
Tabel 4.5. Perbedaan kuat medan pada jarak r dari DE 47
Tabel 4.6 Pengaruh perubahan jarak sela (R_2) terhadap tegangan onset korona (V_c) 49
Tabel 4.7 Perhitungan pengaruh radius partikel terhadap *migration velocity* 52
Tabel 4.8 Hubungan antara ukuran partikel terhadap efisiensi *electrostatic precipitator* 54
Tabel 4.9 Perubahan tegangan terhadap perubahan effisensi awal EP..... 55
Tabel 4.10 Perubahan luasan CP dan pengaruhnya terhadap efisiensi 57
Tabel 4.11 Pengaruh perubahan volume flow terhadap efisiensi 58
Tabel 4.12 Pengaruh perubahan Tegangan, Luasan CP dan *volume flow*..... 59
Tabel 4.13 Data Pencatatan Arus dan Tegangan EP 61
Tabel 4.14 Perbandingan arus dan tegangan pada masing – masing kompartemen 63

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Dari Sebuah Pengendap ELektrostatik 4
Gambar 2.2 Proses Pelepasan Partikel Dari Collecting Plate 5
Gambar 2.3 Letak EP di PT. Petrokimia Gresik 6
Gambar 2.4 Plant EP di PT. Petrokimia Gresik 7
Gambar 2.5 Bagian-Bagian dari Sebuah Electrostatic Precipitator tipe F 8
Gambar 2.6 *Outer roof* 9
Gambar 2.7 Lapisan isolasi pada dinding 9
Gambar 2.8 Proses Pada Insulation Chamber 10
Gambar 2.9 *Supporting Insulator* 10
Gambar 2.10. Konstruksi *discharge electrode system* 11
Gambar 2.11.*Collecting plate* 13
Gambar 2.12. *Collecting plate dan rapper* 14
Gambar 2.13. *Discharge electrode system, collecting system* dan *rapping system* .. 14
Gambar 2.14 Pembentukan avalance pada korona negatif 16
Gambar 2.15 Perubahan medan elektrik terhadap jarak dari kawat korona 17
Gambar 2.16 Pembentukan avalance pada korona positif 17
Gambar 2.17 Komponen – komponen kecepatan pada sebuah partikel dalam aliran gas 22
Gambar 2.18. Bagian – bagian EP 23
Gambar 2.19. Rangkaian Pengganti 23
Gambar 2.20. Range pengumpulan electrostatic precipitator 24
Gambar 4.1. Bagian – bagian *electrostatic precipitator* 31
Gambar 4.2 Bagian yang sudah ditambal pada kompartemen 1 32
Gambar 4.3 Lubang dan cacat pada isolasi di kompartemen II 33
Gambar 4.4 Lubang dan keropos pada kompartemen III 33
Gambar 4.5 Bagian mainhole yang mengalami korosi. 34
Gambar 4.6 Beberapa Perangkat Kerlistrikan di Bagian Atap 34
Gambar 4.7 Tambahan Atap Pada Electrostatic Precipitator 35
Gambar 4.8 Bocor pada Atap Tambahan 35
Gambar 4.9 Perbandingan nilai desain dan nilai aktual dari tegangan *electrostatic precipitator* 36

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.10 Kondisi *discharge electrode* yang melengkung 40
Gambar 4.11 Bekas patahan *discharge electrode* yang sudah diperbaiki dengan cara dipotong dan disambung 41
Gambar 4.12 Kondisi *discharge electrode* dan *collecting plate* yang rusak dan mengalami korosi 41
Gambar 4.13 Kondisi *hanger* dari *collecting plate* 42
Gambar 4.14 flowchart analisis penurunan efisiensi EP 43
Gambar 4.15 Pengaruh factor irregularitas terhadap kuat medan awal yang dibutuhkan untuk menimbulkan korona 46
Gambar 4.16 Perbedaan kuat medan pada jarak r dari DE 48
Gambar 4.17 Pengaruh perubahan jarak sela (R_2) terhadap tegangan onset korona (V_c) 50
Gambar 4.18 Hubungan radius partikel terhadap *migration velocity* 53
Gambar 4.19 Hubungan atara ukuran partikel terhadap efisiensi *electrostataic precipitator* 54
Gambar 4.20 Perubahan tegangan terhadap perubahan efisiensi awal EP 56
Gambar 4.21 Perubahan luasan CP dan pengaruhnya terhadap effisensi 58
Gambar 4.22 Pengaruh Perubahan volumw flow terhadap efisiensi 59
Gambar 4.23 Pengaruh perubahan Tegangan, Luasan CP dan *volume flow* 60
Gambar 4.24 Bagian – bagian EP 61
Gambar 4.25 Diagram arus yang melalui EP 62
Gambar 4.26 Rangkaian pengganti 64
Gambar 4.27 Perbandingan tegangan dan arus pada masing – masing kompartemen 65
Gambar 4.28 Hubungan penurunan tegangan terhadap resistansi 66

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

ABSTRAK

ANDRE PRASETYOADI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2009, **Analisis Peningkatan Efisiensi Electrostatic Precipitator di PT. Petrokimia** Gresik, Dosen Pembimbing.Ir.Drs. Moch Dhofir, MT dan Dr. Rini Nur Hasanah, ST.,M.Sc.Ph.D

Masalah lingkungan menjadi salah satu masalah yang hangat dibicarakan saat ini, proses-proses penanganan limbah menjadi isu penting dalam kaitannya dengan masalah lingkungan tersebut. PT. Petrokimia Gresik sebagai salah satu produsen pupuk kimia, turut andil dalam menjaga lingkungan dengan melengkapi pabriknya dengan beberapa perangkat penangkap limbah partikulat berupa debu gypsum. Akan tetapi saat ini salah satu perangkat penangkap debu tersebut yakni electrostatic precipitator (EP) tidak lagi bekerja optimal. EP ini pada saat awal pemasangan meiliki efisiensi penangkapan sebesar 99.75%, tetapi saat ini hanya memiliki efisiensi kurang dari 50 % sehingga tidak mampu lagi bekerja optimal untuk menangkap partikel debu gypsum.

Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan upaya lebih lanjut untuk melakukan analisa terhadap factor – factor yang dapat menyebabkan penurunan efisiensinya yakni dengan mengambil data terhadap kondisi EP, baik itu pada bagian eksternal maupun internal, hasilnya ditemukan cacat dan lubang pada bagian *casing* luar serta kerusakan berupa korosi, dan perubahan bentuk pada bagian internal *discharge* dan *collecting system*. Selain itu dari data yang didapat dari PT. Petrokimia Gresik ditemukan penurunan tegangan dan arus pada EP yang tentunya akan mempengaruhi effisiensi. Dari analisis didapatkan bahwa penurunan efisiensi akibat penurunan tegangan ini mencapai 69.42% yakni pada saat tegangan hanya sebesar 10 kV, efisiensi ini akan terus turun jika tegangan berkurang, selain itu beberapa faktor yang turut berpengaruh terhadap efisiensi ini adalah berubahnya ukuran luasan *collecting plate*, serta *volume flow*.

Untuk mengoptimalkan kerja EP serta meningkatkan efisiensi, maka langkah yang perlu dilakukan adalah menjaga agar tegangan tetap seperti kondisi awal yakni sebesar 55 kV, yakni dengan mengurangi jatuh tegangan pada insulator yang mencapai 15 kV serta melakukan perawatan rutin dan perbaikan yang diperlukan pada bagian *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate* (CP) agar tidak terjadi peningkatan resistansi yang dapat menimbulkan jatuh tegangan yang besar pula pada DE dan CP. Sehingga EP dapat bekerja optimal dan efisiensinya meningkat.

Kata kunci : Electrostatic precipitator, Elektrostatik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi pupuk kimia buatan dan adalah salah satu produsen pupuk kimia yang terbesar di Indonesia. Salah satu hasil produksinya adalah *cement retarder* yaitu gypsum. Debu gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) ini sebenarnya adalah hasil samping (limbah) dari produksi asam phospat.

Mengacu kepada Surat KepMen LH no.133 tahun 2004 yang menyebutkan bahwa batasan kadar debu maksimum untuk industri adalah 450 mg/Nm^3, maka sebagai bentuk tanggung jawab industri terhadap lingkungan, PT Petrokimia Gresik memiliki beberapa perangkat penangkap debu gypsum dan salah satunya adalah electrostatic precipitator (EP) yang pada kondisi awal terpasang memiliki efisiensi penangkapan hingga mencapai 99,75% sehingga debu gypsum yang dihasilkan dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Seiring dengan berjalannya waktu, terjadi penurunan yang sangat signifikan terhadap efisiensi penangkapan EP ini, hingga saat ini hanya mencapai kurang dari 50 %.

Peningkatan efisensi EP ini dirasa perlu karena dengan meningkatnya nilai efisiensi maka emisi debu atau partikulat yang dilepas ke atmosfer menjadi lebih rendah sehingga PT. Petrokimia Gresik dapat memenuhi batasan pencemaran terhadap lingkungan yang dipersyaratkan sesuai dengan peraturan. Selain itu gypsum ini ternyata dapat dimanfaatkan dan laku dijual kembali karena gypsum adalah bahan aditif pada pembuatan semen, sehingga proses pengumpulan debu gypsum dengan meningkatkan efisiensi EP ini menjadi penting bukan hanya untuk mengurangi pencemaran lingkungan karena debu gypsum yang berterbangan, tetapi juga karena gypsum masih bernilai ekonomis yang tinggi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam skripsi ini akan dilakukan penelitian untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi EP di PT. petrokimia Gresik serta upaya yang sebaiknya dilakukan untuk meningkatkan efisiensi EP di PT. Petrokimia Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1. Mengapa terjadi penurunan efisiensi electrostatic precipitator di PT. Petrokimia Gresik.
2. Bagaimana meningkatkan efisiensi *electrostatic precipitator* pada PT. Petrokimia Gresik

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Tidak dilakukan perancangan *electrostatic precipitator* yang baru untuk peningkatan efisiensi
2. Analisis performa terhadap kinerja *electrostatic precipitator* yang sudah terpasang
3. Tidak membahas aspek kimiawi dari partikel polutan.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi terhadap proses penangkapan debu gypsum oleh electrostatic precipitator.
2. Menemukan dugaan awal terhadap penurunan efisensi electrostatic precipitator.
3. Melakukan beberapa kajian terhadap dugaan awal terhadap faktor yang berpengaruh terhadap penurunan efisiensi electrostatic precipitator.
4. Menemukan inti permasalahan penurunan efisiensi electrostatic precipitator.
5. Melakukan analisis penyelesaian masalah sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi electrostatic precipitator.

1.5. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap penurunan efisiensi *electrostatic precipitator* pada cement retarder plant departemen produksi III PT. Petrokimia Gresik serta menemukan alternatif penyelesaian masalah untuk memaksimalkan penangkapan debu gypsum sehingga proses produksi tetap berjalan dengan baik serta dapat mengurangi polusi udara

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran secara umum tentang tugas akhir ini dibagi menjadi lima bagian adalah sebagai berikut:

I. Pendahuluan, meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka, berupa penjelasan tentang dasar elektrostatik precipitator, gaya elektrostatik, medan elektrik, pembangkitan korona, pemuatan partikel dan pengumpulan partikel.

III. Pembahasan metode penelitian yang dilakukan meliputi obyek penelitian, teknik pengumpulan dan pengolahan data

IV. Menyajikan tentang hasil penelitian serta pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan.

V. Kesimpulan dari pembahasan hasil penelitian dan saran.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

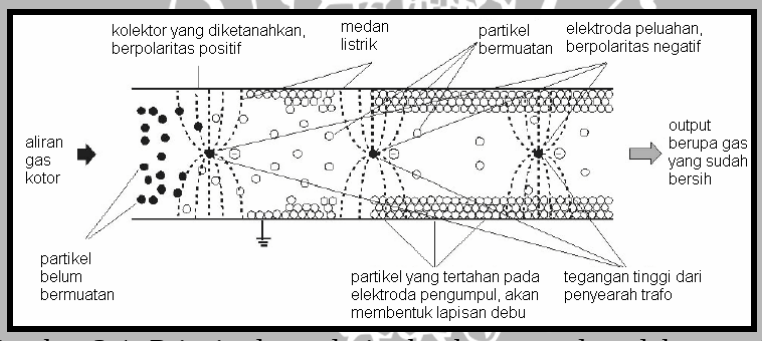
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Dasar Electrostatic precipitator

Prinsip dasar sebuah pengendap elektrostatik sebenarnya "sederhana", yakni dengan mengandalkan prinsip elektrostatik dimana partikel polusi di dalam gas akan diberi muatan, selanjutnya partikel yang bermuatan negative tersebut akan secara alamiah menuju elektroda pengumpul yang bermuatan positif, sehingga akan dihasilkan gas keluaran yang bersih (Parker, 2004:1-2). Untuk lebih jelasnya, proses ini dapat disederhanakan menjadi beberapa tahap berikut ini :

- Memproduksi medan elektrik untuk menghasilkan korona dan ion - ion
- Memuati partikel dengan ion
- Mempengaruhi partikel bermuatan pada medan listrik
- Perpindahan partikel bermuatan yang melewati medan
- Pengumpulan dan pelepasan partikel bermuatan.

Prinsip kerja dari sebuah pengendap elektrostatik dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini :

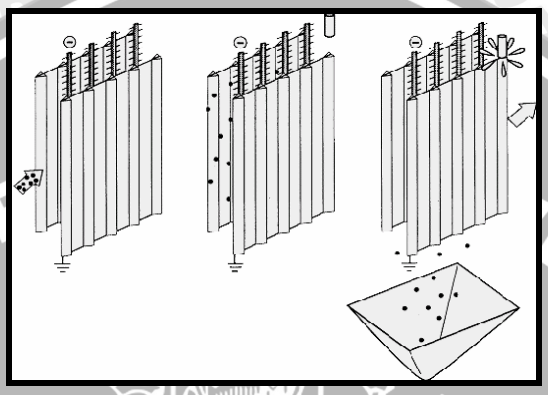


Gambar 2.1. Prinsip dasar dari sebuah pengendap elektrostatik
Sumber : Parker, 2004:1-3

Pada industri, precipitator dapat diibaratkan seperti sebuah kotak pengendap yang sangat besar, untuk dapat menampung polutan dari industri tersebut. Proses yang terjadi selanjutnya di dalam kotak tersebut adalah, partikel yang terkandung di dalam gas yang memasuki precipitator akan dilewatkan sebuah zona ionisasi yang dipenuhi oleh elektroda pelepas tegangan tinggi, karena pengaruh dari korona, elektroda ini akan menghasilkan ion-ion bermuatan negative pada gas.

Medan gas yang bermuatan negative di sekitar elektroda akan memuati partikel–partikel dengan muatan negative sehingga akan mengakibatkan partikel –partikel ini

bergerak menuju elektroda dengan muatan yang berbeda yakni collecting electrodes / elektroda pengumpul. Partikel bermuatan akan terkumpul pada plat pengumpul yang diketanahkan. Selanjutnya pemukul atau penggetar (rappers) pada gambar 2.2. akan melepaskan partikel yang terkumpul dan secara gravitasi akan terjatuh ke bawah menuju pengumpul atau hoopers dari proses ini gas yang melalui Electrostatic Precipitator dapat menjadi 99,9% lebih bersih dibandingkan dengan saat memasuki ESP (Theodore. L, 1992:283)



Gambar 2.2. Proses pelepasan partikel dari collecting plate
Sumber : Parker, 2004:1-7

Kemampuan pengendap elektrostatik untuk menangkap polutan hingga mencapai efisensi diatas 90%, membuat alat ini adalah alat yang menjanjikan untuk mengatasi pencemaran udara akibat limbah bahan polutan industri. Intensitas polutan yang dapat "ditangkap" oleh sebuah *Electrostatic* precipitator akan diperhitungkan sebagai efisiensi *Electrostatic* precipitator.

Efisiensi *Electrostatic precipitator* ditunjukkan persamaan (2-1) (Parker, 2004:1-5):

$$E_f = 1 - e^{-A\omega / Vf} \qquad (2\text{-}1)$$

Dengan

ω = migration velocity

A = luas plat pengumpul

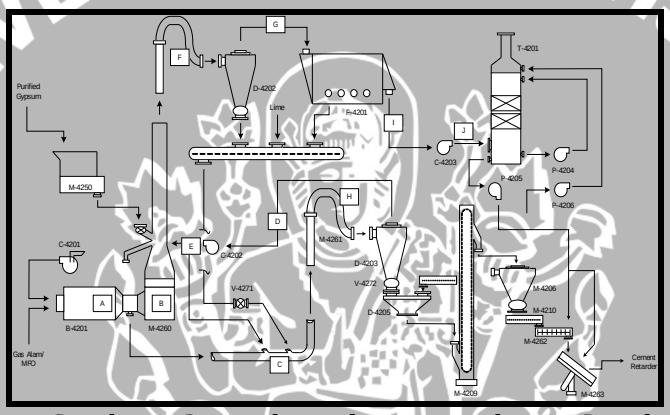
Vf = actual gas volumetric flow rate

Dari rumus efisiensi diatas dapat disimpulkan untuk memperoleh efisiensi yang diinginkan, secara langsung ada 3 faktor yang mempengaruhi yakni migration velocity (ω), luasan plat pengumpul (A) dan volume aliran gas pada *electrostatic precipitator* (Vf). Sebuah pengendap elektrostatik akan bekerja dengan baik jika ketiga faktor diatas berjalan dengan baik. Dan sebaliknya jika salah satu atau

keseluruhan proses tersebut tidak bekerja optimal, maka dapat dipastikan kerja pengendap elektrostatik tersebut tidak akan berjalan optimal pula, dan dapat diketahui dengan adanya penurunan efisiensi.

2.2. Electrostatic precipitator (EP) pada Cement Retarder Plant Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik

Electrostatic precipitator yang digunakan pada Cement Retarder Plant Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik memilik kode item F.4201, adalah alat yang berfungsi untuk menangkap debu *gypsum* ($CaSO_4.2H_20$) yang terkandung dalam *exhaust gas* sebelum dilepas ke atmosfer sebagaimana diagram proses pada gambar 2.3. berikut:



Gambar 2.3. Letak EP di PT. Petrokimia Gresik.
Sumber : Proposal rehabilitasi EP PT. Petrokimia Gresik

Berdasarkan gambar diatas, maka gas yang berasal dari *flash dryer* M.4260 mengalami proses pemisahan pertikel padatan di *cyclone* D.4202 dan ESP F.4201. kemudian gas dilewatkan kolom *scrubber* T.4201 untuk diserap kandungan gas (terutama fluor dan Sox), Serta debu *gypsum* yang masih ada dengan menggunakan air. Sebagian larutan dari *scrubber* digunakan kembali diproses untuk membentuk kembali *gypsum dihydrate* (di mixer M.4262) serta proses granulasi (di granulator M.4263).

Proses purifikasi *gypsum* (pemurnian) menggunakan air untuk menghilangkan kadar asam, setelah itu dikeringkan kembali dengan menggunakan *burner* pada suhu 300° C. Ternyata banyak partikel debu *gypsum* yang terbawa oleh uap air hasil pemanasan, partikel debu yang mempunyai ukuran partikel yang lebih besar masih dapat ditangkap di *cyclone* D.4202 dan partikel debu *gypsum* yang berukuran kecil masuk ke *plant* ESP F.4201.

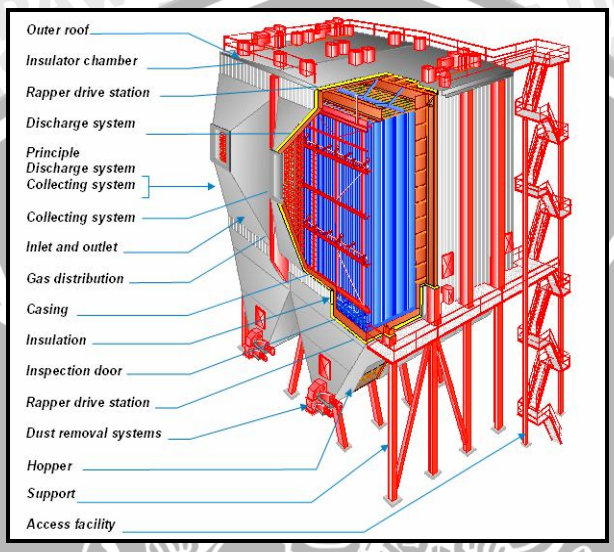
Prinsip dari ESP adalah berdasar prinsip fisika yakni menggunakan medan elektrostatik untuk menangkap atau menyaring partikel debu. Muatan listrik akan menimbulkan suatu gaya atau kuat medan listrik sehingga apabila di dalam atau diantara beberapa elektroda bermuatan dialirkan gas maka dapat dikumpulkan partikel atau benda padat yang terdapat di dalam aliran gas tersebut. Tegangan listrik yang secara umum digunakan EP yaitu antara 40 KV – 120 KV DC sedangkan untuk EP yang dipergunakan pada pabrik III PT. Petrokimia Gresik yaitu 55 KV DC. Dengan adanya tegangan ini maka pada EP akan timbul medan elektrostatik yang akan mampu menangkap atau menarik partikel debu di sekelilingnya. Gambar 2.4. menunjukkan fisik dari EP di PT. Petrokimia Gresik.

Gambar 2.4. EP di PT.Petrokimia Gresik
Sumber : PT. Petrokimia Gresik

EP dapat mengumpulkan partikel debu dengan diameter yang bervariasi dari partikel yang lebih kecil dari 1 mikron hingga 12-15 mikron. Tegangan tinggi akan mempengaruhi penampang elektroda untuk menimbulkan pelepasan muatan elektron dengan elektroda pelepas atau biasa disebut *discharge electrode* (DE). Benturan muatan tersebut dengan partikel dalam gas akan memberikan muatan pada partikel itu dan akhirnya menyebabkan partikel tersebut ditarik ke elektroda pengumpul yang memiliki polaritas berlawanan. Konsentrasi atau kerapatan dari ion-ion pada elektroda dalam keadaan normal adalah lebih besar daripada konsentrasi partikel yang dikumpulkan, sehingga ukuran, berat jenis, dan partikel tersebut memegang peranan penting dalam pemberian muatan serta pengumpulan dari partikel – partikel. Diameter partikel yang dapat dikumpulkan (dalam satuan mikron) yaitu debu batubara 10 ; unsur alkali 1 – 5 ; debu seng 15 ; debu silica 15. Akan tetapi, pada *plant* ini debu yang ditangkap adalah *gypsum* yang memiliki ukuran bervariasi antara 1 mikron hinga mencapai ukuran 6 mikron.

2.3. Electrostatic precipitator type F

Electrostatic precipitator (EP) terdiri dari berbagai macam yang digunakan sesuai dengan karakterisitik masing-masing, bebrapa type tersebut diantaranya adalah type E, type C, dan type F. Pada *Cement Retarder Plant* Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik, menggunakan EP tipe F, bagian – bagian dari EP tipe F tersebut adalah sebagai berikut ditunjukkan pada gambar 2.5:



Gambar 2.5. Bagian-bagian dari sebuah electrostatic precipitator tipe F
Sumber : F.L.smidth_airtech, *Catalouge Electrostatic Precipitator Type* F

Walaupaun pada prinsipnya sama akan tetapi tiap type memiliki perbedaan, seperti dijelaskan pada tabel 2.1. di bawah ini.

Tabel 2.1. Perbandingan Beberapa Type *Precipitator*

Type C	Tipe E	Tipe f
➢ Desain yang kuat	➢ Desain yang kuat	➢ Desain telah teruji
➢ Mudah untuk disusun	➢ Mudah untuk disusun	➢ Mudah untuk disusun
➢ Biaya perawatan rendah	➢ Biaya perawatan rendah	➢ Biaya perawatan rendah
➢ Lebih ringan	➢ Lebih ringan	➢ Berat yang lebih ringan dari kedua tipe yang lain
➢ *Rapping* lebih efisien	➢ *Rapping* lebih efisien	➢ *Rapping* sangat efisien
➢ Control microprosesor cepat	➢ Control microprosesor cepat	➢ Control microprosesor cepat
	➢ Sistem discharge rigid ➢ *Rapping gears* (opsional), berada di atap ➢ Multi *rapping* (opsional) dari *collecting plates*	➢ Sistem discharge rigid ➢ Desain Casing bagian dalam yang bersih tanpa las atau kait ➢ Tahan terhadap pemanasan yang cepat

Sumber : F.L.smidth_airtech, *Catalogue of Electrostatic Precipitator Type F*

2.3.1 Isolasi dan atap terluar (*outer roof*)

Isolasi terhadap bagian *casing* dan permukaan atap menjadi salah satu faktor yang penting untuk mempertahankan fungsi dan umur dari sebuah EP. *Outer roof* ditunjukkan pada gambar 2.6. berikut ini.

Gambar 2.6. *Outer roof*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Isolasi berfungsi untuk mencegah kondensasi yang akan mengakibatkan korosi dan pengurangan waktu pakai, selain itu juga untuk mencegah pengeluaran panas yang tidak terkontrol dan perubahan bentuk dari bagian-bagian *precipitator* (karena korosi atau perubahan suhu yang ekstrim). Untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan tersebut maka keseluruhan permukaan dari *precipitator* diisolasi dengan menggunakan wool mineral dengan ketebalan 100 – 200 mm, seperti pada gambar 2.7.

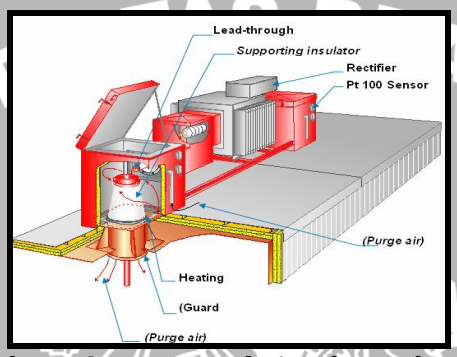
Gambar 2.7. Lapisan isolasi pada dinding
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Yang harus diperhatikan, dari bagian – bagian isolasi ini apabila akan dilakukan inspeksi adalah apakah atap terluar (*outer roof*) dan bagian *casing* telah diisolasi dengan baik, sehingga dapat menghindarkan ESP dari korosi dan akibat lain

karena pengaruh udara luar atau cuaca, sehingga proses dapat berjalan dengan baik dan umur dari EP dapat bertahan lama.

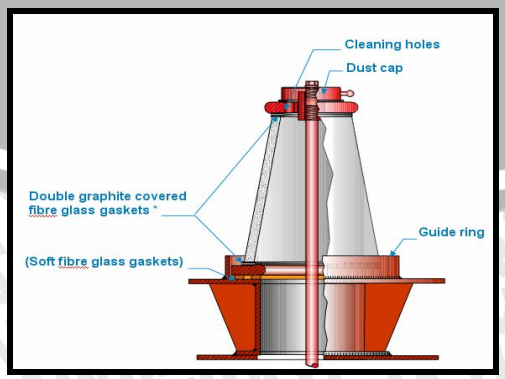
2.3.2. Ruang isolasi (*Insulator chamber*)

Ruang isolasi adalah tempat untuk kabel penghantar bertegangan sehingga tegangan tinggi yang sudah disearahkan selanjutnya dapat disalurkan menuju *discharge electrode* (DE) untuk menghasilkan korona. *Insulation chamber* didesain sedemikian rupa sehingga dapat digunakan secara optimal dengan perawatan yang seminimal mungkin. Desain ideal dari sebuah *insulation chamber* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses pada *insulator chamber*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Walaupun sepertinya *insulator chamber* hanyalah bagian isolasi akan tetapi peranannya dalam kontinuitas proses dari sebuah *precipitator* tidak dapat dipandang sebelah mata, karena EP dapat memiliki tegangan hingga beberapa puluh kilovolt, yang telah disearahkan dan selanjutnya disalurkan menuju *discharge electrode* (DE) untuk menghasilkan korona, yang menjadi inti dari terjadinya proses pemuatan, sehingga jika terjadi kegagalan isolasi sedikit saja tentunya akan mengakibatkan kegagalan system.



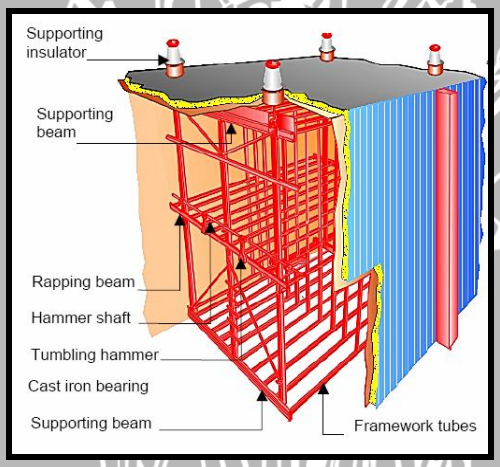
Gambar 2.9. *Supporting Insulator*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Salah satu bagian pada *insulator chamber* adalah *supporting insulator* (Gambar 2.9). S*upporting insulator* berfungsi untuk menyamakan perbedaan koefisien panas antara besi dengan material *insulator,* yang dapat menyebabkan kerusakan pada isolator.

Yang harus diperhatikan adalah apakah terjadi gangguan pada proses yang terjadi dalam *insulation chamber* dan kerusakan pada *supporting insulator* yang dapat disebabkan karena kerapuhan bahan karena usia maupun karena adanya korosi sehingga mengakibatkan gangguan pada proses dari EP.

2.3.3. Sistem Peluahan (*Discharge System*)

Discharge system atau system peluahan,adalah system yang berada di bagian dalam dari sebuah *electrostatic precipitator* (EP), system inilah yang bertanggung jawab terhadap timbulnya korona yang akan memuati partikel polutan dengan muatan negatif.



Gambar 2.10 Konstruksi discharge electrode system
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Tinggi keseluruhan dari system *discharge electrode* (DE) ini harus kurang dari tinggi *collecting plates* (CP), yang berarti tidak ada DE yang melewati tepian atas atau bawah dari CP, sehingga menghindari risiko terjadinya *flashover* tegangan tinggi yang berulang kali, dan percikan pada elektroda.

Bagian rangka dari sebuah *discharge electrode system* memiliki fungsi untuk mendukung / *supporting* dari DE, kerangka atau konstruksi ini yang akan mempertahankan DE agar tetap pada posisinya dan mempertahankan jarak sela antara DE dan CP. Sedangkan untuk DE akan berfungsi untuk menghasilkan korona

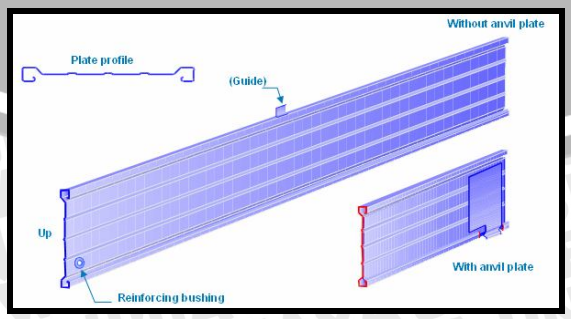
dari tegangan tinggi searah yang dialirkan melalui masing – masing elektroda. Ada dua jenis DE yang dapat digunakan untuk EP type F, yakni :

a) *Helical Discharge Electrodes* (discharge elektrod berbentuk spiral), *helical discharge electrodes* terbuat dari kawat *cold-drawn stainless steel* yang sangat halus. Dengan diameter 2.7 mm, dan dibentuk seperti sebuah gulungan kawat, sebelum dipergunakan gulungan ini akan diregangkan dan ditegakkan dengan menggunakan alat khusus sehingga memiliki ukuran ketegangan mekanis yang seragam.

b) *Fibulax Discharge Electrodes* selain memiliki bentuk helical atau spiral, DE untuk EP juga digunakan *fibulax discharge electrode* . *fibulax* ini adalah DE yang kaku terbuat dari sebuah tabung berbentuk oval, dan dilengkapi dengan pemancar / *emitter* dengan arah parallel terhadap aliran gas. Bentuk oval dari elektroda memastikan bahwa osilasi yang mungkin terjadi dari elektroda akan berada pada arah aliran gas dan oleh karena itu tidak akan menyebabkan pengurangan jarak tegangan, yang akan mengakibatkan *flashover*.

2.3.4. Sistem Pengumpul *(Collecting system)*

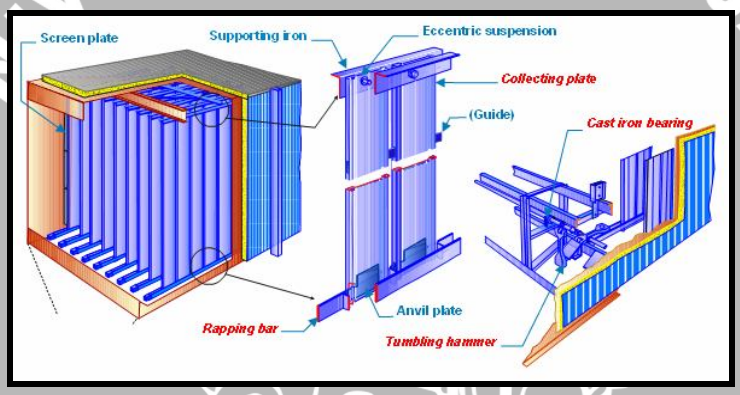
Collecting system atau sistem pengumpul dari namanya saja sudah dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa bagian ini adalah bagian yang berperan penting dalam hal mengumpulkan partikel – partikel yang sudah mendapatkan muatan negative dari DE. *Collecting system* disini tidak hanya mengacu kepada pelatnya saja sebagai pengumpul, tetapi juga mencakup bagian – bagian lain yang akan mendukung proses pengumpulan dan tentunya pelepasan partikel yang tertangkap dari permukaan CP. Untuk *precipitator* tipe F digunakan CP type H, seperti tampak pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Collecting Plate*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Pelat pengumpul (*collecting plate*) ini dapat dibuat dari pelat dengan ketebalan 1,25 – 2 mm yang terbuat dari baja lunak atau dapat juga dibuat dari *stainless steel* . dengan lebar nominal pelat 500 mm, selanjutnya pelat pengumpul diatur sedemikian rupa sehingga masing – masing pelat dapat memuai dengan batas tertentu jika mengalami pemanasan atau pada suhu yang tinggi, sehingga terhindar dari pembengkokan pelat yang tidak diinginkan, selanjutnya pelat – pelat tersebut dihubungkan dengan kuat pada *rapping bar* di bagian bawah.

Karena adanya suspensi vertikal dan eksentris dari tiap pelat maka didapatkan kontak yang baik antara *rapping bar* dengan *collecting plate* (CP) , sehinggga memastikan akan terjadinya transmisi yang efektif dari *collecting plate rapping gear* hingga menuju tiap –tiap bagian CP, yang berakibat meningkatnya efektifitas pelepasan partikel yang tertangkap pada CP.



Gambar 2.12. *Colecting Plate* dan *Rapper*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Jika digunakan pelat yang panjang atau jika proses menginginkan intensitas *rapping* yang tinggi, maka pelat tersebut akan diperlengkapi dengan pelat landasan (*anvil plate*) pada bagian bawah, yang akan dihubungkan dengan *rapping bar*. Hal ini akan berakibat peningkatan transmisi energi *rapping* dari *rapping bar* menuju CP.

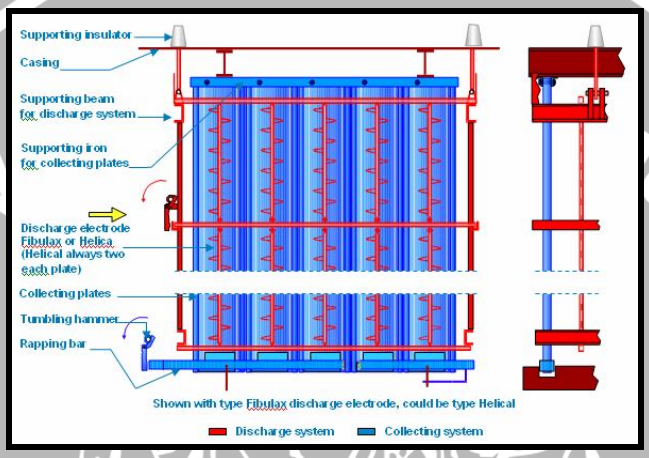
Yang harus diperhatikan adalah bahwa CP, didesain sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan nilai kekerasan yang maksimal, akan tetapi dengan risiko yang seminimal mungkin untuk terjadinya *flash-over*

2.3.5. Sistem pengetuk (*Rapping system)*

Bagian lain yang tidak kalah penting adalah pengetuk atau *rapper*, *rapper* adalah sebuah bagain dengan fungsi yang sangat penting, karena fungsinya adalah

sebagai penggetar mekanis sehingga partikel – partikel bermuatan yang telah menempel pada CP dapat terlepas dan selanjutnya karena adanya gaya gravitasi, terjatuh ke bawah dan terkumpul pada *hooper*. *Rapper* atau pengetuk ini berupa *tumbling hammer*, *tumbling hammer* untuk *precipitator* type F ada 2 jenis tergantung dari beratnya, yakni light dengan berat 5 kg dan heavy dengan berat 6 kg

Berat dari sebuah *tumbling hammer* tergantung dari tinggi dari CP dan atau prosesnya. Tumbling hammer terbuat dari baja tempa sepuh keras (*drop forged hardened steel*)



Gambar 2.13. *Discharge Electrode System, Collecting System* dan *Rapping System*

Sumber : F.L smidth_airtech, *catalogue of EP Type* F

Discharge electrode system, jika digabungkan akan menjadi seperti gambar 2.13. di atas, terlihat pada gambar bagian yang berwarna merah adalah *discharge system* dan bagian yang berwarna biru adalah collecting system, pada gambar juga nampak dua buah rapping system yakni berwarna merah dan biru, yakni untuk *collecting* dan juga untuk *discharge electrode* karena debu atau partikel – partikel juga meiliki kemungkinan untuk melekat pada *discharge electrode* tidak hanya berada pada *collecting plate*, untuk menjaga kontinuitas keseluruhan system maka discharge electrode pun harus dijaga kebersihanya sehingga dapat tetap menghasilkan korona yang optimal.

2.4.Teori kelistrikan

2.4.1. Medan Elektrik

Intensitas medan listrik disuatu titik dalam medan elektrostatik didefinisikan sebagai limit angka banding gaya pada suatu muatan uji yang diletakkan pada titik

itu terhadap besarnya muatan uji (Strauss,1975:133), yaitu limit yang diambil jika besar muatan uji mendekati nol

$$E = \text{limit } F/q \qquad (2\text{-}2)$$

Gaya F yang bekerja pada sebuah muatan titik q di dalam medan elektrik tersebut adalah sebagai berikut : (Strauss,1975:133)

$$F = qE \qquad (2\text{-}3)$$

Kerapatan fluks listrik sebanding dengan intensitas medan E yang diberikan

$$D = \varepsilon E \qquad (2\text{-}4)$$

Dimana ε adalah permitifitas bahan yang dilalui medan tersebut.

Kerja yang bekerja pada sebuah muatan ketika bergerak didalam medan listrik disebut sebagai potensial, yang mempunyai persamaan (Strauss,1975:133).

$$\varphi = -\int_l E dl \qquad (2\text{-}5)$$

Dan kerja yang dilakukan oleh suatu gaya pada muatan itu bila muatan itu bergerak dari kedudukan A ke kedudukan B adalah (Strauss,1975:133).

$$\begin{aligned} \text{Kerja} &= \int_A^B F.dl = q\int_A^B E.dl \\ &= -q\int_A^B \nabla\varphi.dl = -q(\varphi_B - \varphi_A) \end{aligned} \qquad (2\text{-}6)$$

dimana l adalah lintasan sepanjang selang A ke B.

Disini F dianggap hanya merupakan gaya listrik qE disetiap titik sepanjang lintasan. Pada keadaan ini partikel bermuatan akan mengalami percepatan. Jika partikel tidak mengalami percepatan, gaya listrik itu harus disetimbangkan disetiap titik oleh gaya yang sepadan dan berlawanan yang diberikan oleh gaya lain, sehingga total adalah nol dan energi kinetiknya tidak berubah (Strauss,1975:133).

2.4.2. Korona

Salah satu bagian yang penting dalam proses pengendapan elektrostatik adalah pelepasan korona. Karena dari pelepasan korona inilah, ion-ion akan memuati partikel-

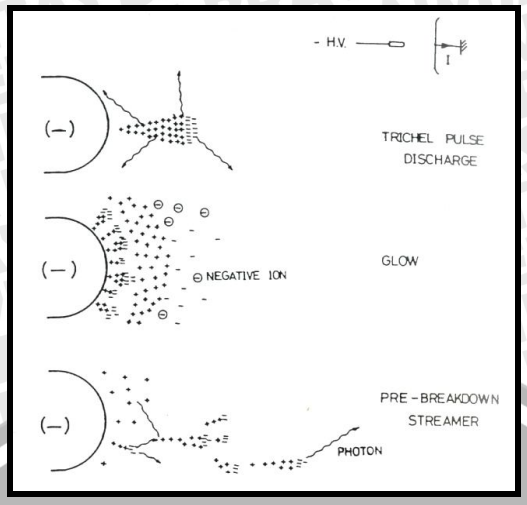
partikel polutan dengan muatan, sehingga partikel – partikel tersebut dapat menempel pada *collecting plate*(CP).

Korona adalah terlepasnya muatan listrik dari permukaan konduktor. Istilah korona mengacu kepada suatu peluahan secara terus-menerus yang dihasilkan di dalam gas. Nama korona diambil dari "crown" (mahkota) dari penyelidikan pelaut mengenai peluahan dari tiang-tiang kapal mereka selama badai. Itu adalah peluahan bercahaya lemah dan biasanya terjadi pada sekitar tekanan atmosfer. Modus terlepasnya muatan itu dalam skala besar dapat terlihat oleh mata telanjang, sedangkan dalam skala kecil tidak dapat terlihat oleh mata.

Dengan melebihi kuat medan breakdown udara yang terjadi di permukaan kawat tegangan tinggi, akan terjadi pelepasan muatan listrik ke udara. Jika tegangan tinggi dikenakan pada sepasang elektroda yang salah satunya berbentuk kawat atau bentuk lain dengan radius kecil , medan elektrik disekitar permukaannya akan menjadi tinggi. Elektron bebas disekitar medan tinggi ini akan dipercepat sampai kecepatan yang mencukupi untuk membebaskan elektron dari kulit terluar sebuah molekul gas melalui tumbukan, yang menghasilkan sebuah ion positif dan elektron bebas lainnya. Elektron bebas tambahan ini mengalami proses yang sama untuk menyababkan ionisasi tumbukan. Proses ini dinamakan avalance, yang terjadi berulang kali sehingga timbul elektron elekton dan ion positif dalam jumlah besar disekitar daerah korona. Korona dipengaruhi oleh beberapa kondisi yaitu : tekanan udara, bahan elektroda, adanya uap air di udara, photo ionisasi dan type tegangan tinggi yang diterapkan.

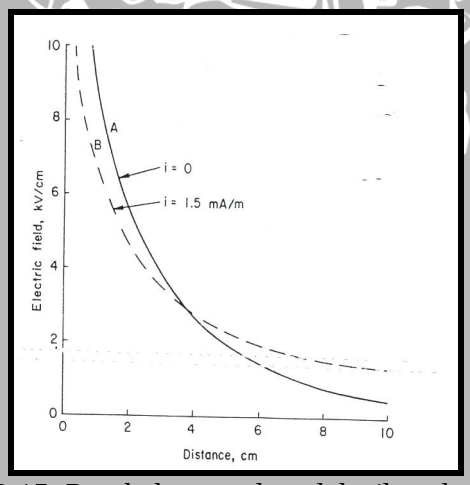
2.4.2.1. Korona Positif dan Korona Negatif

Jika elektroda korona negatif, elektron-elektron yang diproduksi oleh proses avalance seperti ditampilkan pada Gambar 2.14. bergerak secara cepat menjauhi kawat kearah elektroda positif (yang ditanahkan). Ion positif bergerak ke elektroda korona (negatif), sejalan dengan pergerakan elektron medan elektrik berkurang secara cepat (Gambar 2.15). Kecepatan gerak elektron yang ditentukan oleh medan elektrik juga berkurang sampai dengan nilai terendah yang dibutuhkan untuk melakukan ionisasi tumbukan. Jika gas-gas elektronegatif seperti oksigen, uap air dan sulfur dioksida muncul , elektron-elektron yang diproduksi oleh korona akan ditangkap sehingga menghasilkan ion-ion negatif yang juga bergerak ke elektroda positif karena pengaruh medan elektrik. Elektron-elektron dan ion-ion negatif inilah yang menjadi sumber muatan untuk partikel-partikel yang akan diendapkan.



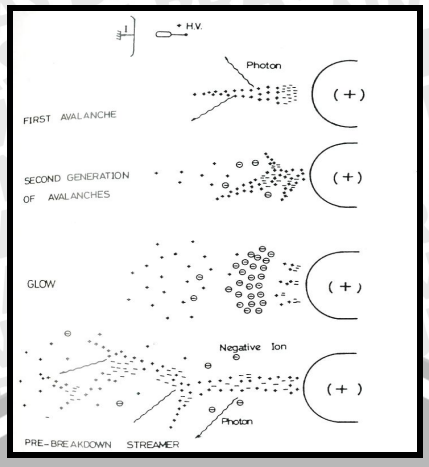
Gambar 2.14. Pembentukan avalance pada korona negatif
Sumber : Salam, 2000

Proses terjadinya korona positif tidak jauh berbeda dengan korona negatif kecuali arah medan elektrik yang berbeda. Proses avalance akan menghasilkan ion-ion positif yang bergerak menuju elektroda negatif (Gambar 2.16.), sedangkan elektron-elektron akan bergerak menuju elektroda korona. Perbedaan mendasar antara korona positif dan negatif adalah pada korona negatif pembentukan ion ion penghasil muatan ruang membutuhkan kehadiran gas-gas elektronegatif , sedangkan pada korona positif proses itu terjadi dengan sendirinya.



Gambar 2.15. Perubahan medan elektrik terhadap jarak dari kawat korona
Sumber : Salam, 2000

Munculnya gas-gas elektronegatif dalam jumlah cukup besar di hampir semua proses industri tidak menyebabkan masalah yang berarti. Kenyataannya hampir semua pengendap elektrostatik di industri menggunakan elektroda negatif karena karakteristik tegangan-arus yang lebih baik pada tekanan dan temperatur yang umum pada proses.



Gambar 2.16 Pembentukan avalance pada korona positif
Sumber : Salam, 2000

Penggunaan pengendap elektrostatik dengan elektroda korona positif adalah untuk membersihkan udara di dalam ruangan. Korona positif juga digunakan untuk pengendap yang beroperasi pada temperatur sekitar 1500^0F atau lebih.

Korona a.c. menghasilkan pergerakan yang berosilasi dalam memuati partikel, dan korona d.c. menghasilkan gaya yang stabil yang akan menggerakkan partikel kearah elektroda pengumpul yang pasif. Penggunaan korona negative disebabkan alasan bahwa korona negative lebih stabil jika dibandingkan dengan korona positif, yang cenderung jarang terjadi dan dapat menyebabkan loncatan tegangan pada tegangan yang rendah

Korona pada kawat positif akan berwarna putih kebiru-biruan disekeliling kawat tersebut, sedangkan korona pada kawat negative akan seperti bintik – bintik merah disepanjang kawat tersebut. Pada konduktor yang dipoles halus atau mengkilap bintik – bintik ini berkurang, tetapi jumlahnya akan bertambah seiring dengan peningkatan arus, sedangkan pada kawat yang tidak dipoles atau tidak halus atau kawat yang dilengkapi dengan duri – duri atau titik peluahan lainnya, titik peluahan akan terpusat pada ketidaksempurnaan pada permukaan kawat, atau pada titik – titik khusus tersebut

2.4.3. Kuat medan dan tegangan kritis

Kekuatan dari medan elektrik E (Vm^{-1}) pada sembarang titik, didefinisikan sebagai gradient potensial pada titik tersebut. Maka tegangan yang diaplikasikan atau beda potensial diantara dua elektroda konsentris, seperti sistem kawat dan tabung, dengan jari-jari R_1 dan R_2 adalah : (Strauss, 1975: 415)

$$V = \int_{R_1}^{R_2} E dr \qquad (2\text{-}7)$$

Sebelum corona terbentuk, sejumlah gas ion yang ada bisa diabaikan karena jumlahnya yang sedikit dan arus ion belum ada, kuat medan pada radius *r*, didapatkan dengan mengintegrasikan persamaan di atas, sehingga akan menghasilkan : (Strauss, 1975: 415)

$$V = Er \ln \frac{R_2}{R_1} \tag{2-8}$$

Atau

$$E = \frac{C_o}{r} \tag{2-9}$$

Dimana

$$C_o = \frac{V}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \tag{2-10}$$

Persamaan diatas adalah fungsi dari tegangan yang diaplikasikan dan dimensi geometris dari sistem. Hal ini dapat dilihat dari persamaan (2-11) dimana kuat medan mencapai nilai maksimumnya untuk nilai *r* terendah, yakni pada permukaan kawat, dengan jari-jari R_1. Untuk memulai korona dibutuhkan *electrical breakdown* yang terjadi pada kawat tersebut. Untuk udara pada kawat parallel dengan temperature 25° C kuat medan kritis, E_c adalah : (Strauss, 1975: 415)

$$E_c = 31 \times 10^5 \frac{m\partial}{\partial_s}\left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{[\partial R_1 / \partial_s]}}\right) \tag{2-11}$$

Dimana

R_1 = radius kawat, m

∂ / ∂_s = kerapatan udara relative

= 1 untuk tekanan 100 kPa (1atm), 25°C

= (2,95)/T (untuk kondisi lain)

Untuk

P = tekanan atmosfer dalam kPa,

T = temperature absolute, ^{o}K

m = 1 untuk kawat yang halus

= 0,82 untuk korona secara umum pada seutas kawat

= 0,92 untuk kawat yang kasar

Tegangan yang dipergunakan untuk memulai terjadinya korona akan didapatkan dengan mensubstitusikan persamaan (2-8) dengan persamaan (2-11) sehingga didapat: (Strauss, 1975: 416)

$$V_c = 3100\frac{m\partial}{\partial_s}\left(1+\frac{0{,}301}{\sqrt{[\partial R_1/\partial_s]}}\right)R_1 \ln {R_2}/{R_1} \qquad (2\text{-}12)$$

Dimana

V_c = tegangan starting korona (kV)

R_1 = jari – jari *discharge electrode*

R_2 = jarak kawat dan pelat

2.4.4. Pemuatan Partikel *(Particle Charging)*

Sebuah kebutuhan yang mendasar bagi proses presipitasi atau penangkapan partikel, bahwa partikel akan dimuati oleh muatan listrik hingga nilai maksimum yang sesuai dengan kondisi operasi (Stern, 1977 : 203). Pemuatan partikel umumnya akan terjadi pada daerah diantara batas dari pancaran korona dan *collecting plate* (CP). Dimana partikel akan mendapatkan ion negatif dari proses korona.(Stern, 1977 : 204)

2.4.4.1. Muatan Medan (*field charging*)

Mekanisme yang paling utama yang akan mempengaruhi pemuatan partikel adalah ukuran partikel. Partikel dengan ukuran besar, yakni dengan diameter lebih dari 0.5 µm, akan menyebabkan perubahan bentuk lokal dari medan elektrik saat garis medan menyentuh partikel. Ion yang bergerak disepanjang medan elektrik akan bersentuhan dengan partikel. Saat ion terus menumbuk partikel debu, muatan pada partikel ini akan meningkat hingga medan lokal yang dihasilkan oleh muatan pada partikel menyebabkan distorsi pada garis medan sehingga garis medan tidak lagi menuju kepada partikel. Saat kondisi ini terjadi, ion tidak akan lagi menumbuk partikel karena tidak ada muatan lain yang akan menempati partikel. Metode pemuatan jenis ini disebut juga pemuatan bergantung medan atau pemuatan medan (Stern, 1977 : 204).

Besarnya muatan batas atau saturasi dapat dihitung dengan asumsi bahwa partikel adalah berbentuk lingkaran, bahwa tidak ada interaksi antara medan dari partikel yang berdekatan, dan medan elektrik dianggap konstan. Dalam unit MKS, nilai dari muatan saturasi adalah : (Stern, 1977 : 204)

$$q_s = 12\left[{\epsilon}/{(\epsilon+2)}\right] a_p{}^2 \pi \varepsilon_0 E_0 \qquad (2\text{–}13)$$

Dengan

q_s = muatan saturasi (C)

ϵ = konstanta dielektrik

a_p = jari – Jari partikel (m)

ε_0 = permitivitas ruang hampa

E_0 = Kuat medan awal korona (V/m)

Oleh karena itu, besarnya muatan bergantung kepada ukuran partikel dan besarnya medan elektrik dipengaruhi oleh konstanta dielektrik dari material yang akan dikumpulkan (Stern, 1977 : 204).

2.4.5. Kecepatan Migrasi *(Migration velocity)*

Pergerakan dari partikel pada medan elektrik, sangat dipengaruhi oleh gaya elektrostatik dan aerodinamis. Gaya elektrik telah lebih dulu dihitung dari muatan pada partikel dikali dengan medan elektrik sesuai persamaan: (Stern, 1977 : 209).

$$F_E = qE \qquad (2\text{-}14)$$

Gaya aerodinamis adalah gaya seret (*drag forces*) yang dihasilkan dari pergerakan relatif antara partikel dan gas dan dapat dihitung dengan persamaan: (Stern, 1977 : 209)

$$F_D = 6\pi\nu a_p \omega \qquad (2\text{-}15)$$

Batasan dari kecepatan terminal dari partikel karena adanya gaya ini akan terjadi jika kedua gaya diatas sama. Dengan memperhitung kan hal ini dan memecahkan permasalahan kecpatan, maka akan didapatkan persamaan: (Stern, 1977 : 209)

$$\omega = qE/6\pi a\nu \qquad (2\text{-}16)$$

ω seungguhnya mengarah kepada kecepatan perpindahan atau *migration velocity*. Jika ukuran partikel besar, muatan lebih didominasi oleh kontribusi dari muatan medan, dan kecerpatan perpindahannya akan dapat ditunjukkan dalam bentuk muatan saturasi dari partikel karena proses pemuatan medan sebagai : (Stern, 1977 : 209)

$$\omega = \frac{2a^2 \epsilon\varepsilon_0 E_0 E_D}{(\epsilon+2)\nu} \qquad (2\text{-}17)$$

q = muatan partikel (C)

a_p = jari-jari partikel

ε = konstanta dielektrik

ε_0 = permitifitas ruang hampa

E_o = medan elektrik rata-rata (kV/cm)

E_p = medan elektrik pada elektroda pengumpul

Untuk partikel yang diameternya kurang dari 0,5μm, persamaan diatas tidak berlaku karena pergerakan partikel kecil dipengaruhi oleh pemuatan difusi. Dalam kasus ini faktor koreksi dalam gaya tarik aerodinamik harus dicantumkan dalam perhitungan karena terjadi pengurangan kecepatan gerak partikel akibat tumbukan dengan molekul-molekul gas. Faktor koreksi [1+B(λ/a)] disebut juga Faktor koreksi Cunningham, dengan menambahkan Faktor koreksi Cunningham persamaan kecepatan gerak partikel berubah menjadi(Stern, 1977 : 209)

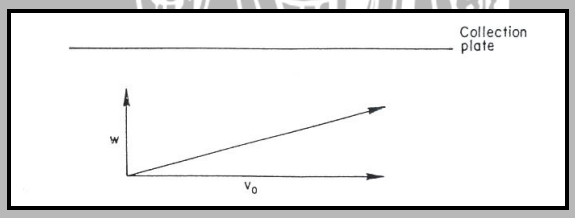
$$\omega = \left({}^{qE}/_{6\pi a v} \right) \left[1 + B\left({}^{\lambda}/_{a} \right) \right] \qquad (2\text{-}18)$$

B = Faktor koreksi Cunningham

a = jari-jari kawat korona (cm)

λ = jalus bebas rata-rata molekul (cm)

Proses pengumpulan partikel pada pengendap elektrostatik dapat digambarkan dengan menganggap kondisi aliran gasnya berlapis. Dengan kondisi demikian, partikel mempunyai dua komponen kecepatan. Komponen kecepatan yang mendorong partikel menuju elektroda pengumpul adalah w yang dihasilkan oleh gaya elektrostatik dan gaya tarik aerodinamik. Kecepatan disepanjang sumbu pengendap adalah kecepatan gas yang dikurangi dengan gesekan(Stern, 1977 : 209). Kecepatan resultan adalah penjumlahan secara vektor dari komponen-komponen ini.



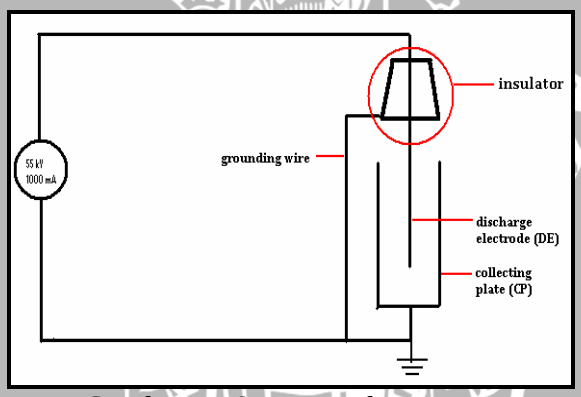
Gambar2.17 Komponen-komponen kecepatan pada sebuah partikel bermuatan dalam aliran gas

Sumber : Stern, 1977

Sesuai dengan gambar 2.17. partikel yang memasuki pengendap di sekitar elektroda korona akan dikumpulkan pada jarak yang ditentukan oleh perbandingan kecepatan gas (v_o) dengan kecepatan gerak partikel (w) dan dimensi pengendap. Semakin pendek pengendap, efisiensi pengendap akan semakin kecil (<100%).

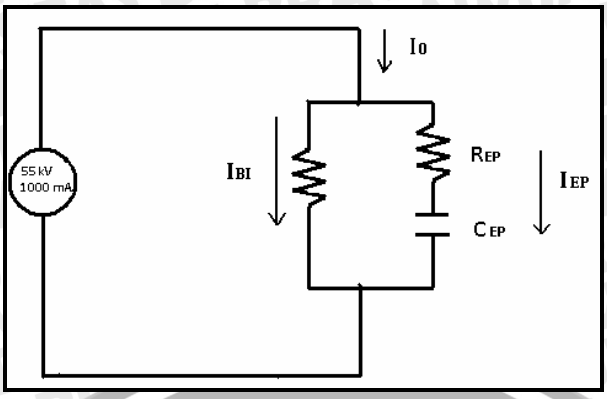
2.5. Rangkaian Pengganti *Electrostatic Precipitator*

Electrostatic precipitator (EP) terdiri dari beberapa bagian, bagian – bagian tersebut jika dikategorikan dapat terbagi lagi menjadi bagian eksternal dan internal, dari kedua bagian ini, masih terbagi lagi menjadi bagian kelistrikan dan mekanis, bagian kelistrikan berhubungan secara langsung dengan proses penyearahan tegangan AC menjadi DC, bagian ini terdiri dari thyristor unit, trafo step up dan *rectifier*. Tegangan sumber dari jala-jala akan melalui thrystor unit, dan selanjutnya menuju ke trafo, dan selanjutnya disearahkan oleh *rectifier* atau penyearah, setelah disearahkan maka akan dihasilkan tegangan DC negative. Pada EP di PT. Petrokimia Gresik tegangan yang digunakan adalah sebesar 55 kV dengan arus 1000mA, setelah disearahkan, tegangan tinggi tersebut akan melewati insulator sebelum dipergunakan untuk menghasilkan korona pada *discharge electrode* (DE) jika digambarkan dalam sebuah rangkaian, selanjutnya dapat ditunjukkan pada gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.18. Bagian-bagian EP
Sumber : Hasil analisis internal

Gambar 2.18 diatas adalah gambar rangkaian sederhana dari sebuah EP, yang terdiri dari bagian – bagian inti dari EP , yakni isolator, *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate* (CP). Untuk memudahkan dalam melakukan analisa terhadap EP, maka dapat dipergunakan rangkaian pengganti. Rangkaian pengganti ini akan berguna untuk menganalisis perubahan tegangan dan arus pada EP. Dari gambar bagian – bagian EP pada gambar 2.18. diatas, selanjutnya rangkaian disederhanakan dalam sebuah rangkaian pengganti sperti pada gambar 2.19. di bawah ini.



Gambar 2.19. Rangkaian pengganti
Sumber : Hasil analisis

Dari rangkaian pengganti diatas dapat dilakukan perhitungan terhadap tegangan bocor pada R_{EP}, yang kemudian dapat mempengaruhi besarnya tegangan EP. Rangkaian pengganti EP dapat digambarkan dengan hubungan seri antara R_{EP} dengan C_{EP},dan arus yang melalui EP adalah I_{EP}, sehingga perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

$ZR_{EP} = R_{EP}$

$ZC_{EP} = 1/C_{EP}$

Sehingga besarnya impedansi total adalah :

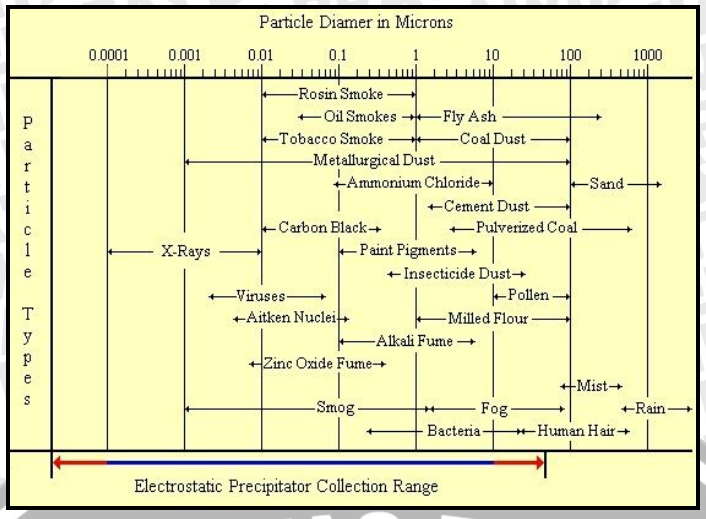
$Z_s = ZR_{EP} + ZC_{EP}$

Besarnya tegangan bocor (ΔV) pada R_{EP} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$\Delta V = (ZR_{EP} / Z_s) * V$

2.6. Pencemar udara Partikulat

Partikulat berada dalam atmosfer dalam bentuk suspensi , yang terdiri atas partikel-partikel padat dan cair, yang berukuran 100 hingga 0,01 mikron. Partikulat yang berukuran kurang dari 10 mikron dan tergantung dalam udara ambien dapat memudarkan cahaya dan berperilaku seperti gas.pada gambar 2.18. ditunjukkan ukuran partikel dan range pengumpulan dari *electrostatic precipitator*.



Gambar 2.20 Range pengumpulan *Electrostatic Precipitator*
Sumber : F.L.smidth_airtech, *Casalogue Electrostatic Precipitator Type* F

Partikel-partikel dengan ukuran kurang dari 10 mikron disebut juga aerosol. Beberapa diantara limbah di industri memiliki ukuran yang berkisar antara 0,01 – 1000 mikron, sedangkan range pengumpulan dari electrostatic precipitator dapat berkisar antara 0,0001 – 10 mikron, sehingga hanya partikulat limbah industri dengan range tersebut yang dapat ditangkap oleh *electrostatic precipitator*.

2.6.1. Gypsum

Gypsum, memiliki rumus kimia $CaSO_4.2H_20$, gypsum juga memiliki nama lain yakni Kalsium sulfat atau *hydrated calcium sulfat,* oleh karena itu gypsum dapat dimasukkan ke dalam class sulfat. Oleh karena itu gypsum masih memiliki sifat – sifat sulfat, efek dari sulfat terhadap kesehatan manusia adalah dapat menyebabkan iritasi pada system pernafasan (Stoker, 1976 :201), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.2. berikut

Table 2.2. Pengaruh konsentrasi sulfat terhadap kesehatan manusia

Konsentrasi (PPM)	Efek
0,2	Konsentrasi terendah yang dapat mempengaruhi respons manusia. Ambang batas yang dapat mempengaruhi kondisi reflex yang terpusat pada lapisan luar otak
0,3	Ambang batas untuk mengenal rasa
0,5	Ambang batas untuk mengenal bau
1,6	Ambang batas yang dapat mempengaruhi penyempitan saluran

	pernafasan pada manusia yang sehat
8 – 12	Menyebabkan iritasi tenggorokan dengan seketika
10	Menyebabkan iritasi mata
20	Menyebabkan batuk yang terus menerus

Sumber : Stoker, 1976

Gypsum dapat ditemukan di alam dalam bentuk Kristal – Kristal padat seperti bebatuan hingga tingginya mencapai ukuran beberapa meter, dengan warna putih, transparan atau putih kebiruan atau kekuningan. Akan tetapi gypsum yang akan ditangkap oleh *electrostatic precipitator* di PT. Petrokimia Gresik adalah debu gypsum, yang merupakan hasil samping dari produksi asam phospat. Gypsum ini memiliki ukuran 1 – 12 mikron, sehingga masih memenuhi syarat range pengumpulan dari sebuah *electrostatic precipitator*.

2.7. Korosi

Temperature yang rendah dan korosi dari permukaan logam adalah permasalahan yang memepengaruhi hampir keseluruhan dari mesin-mesin yang digunakan untuk proses industry. Proses terjadinya korosi itu sendiri sebenarnya sangat alamiah. Kondisi lingkungan dari bumi kita berpengaruh sangat besar terhadap proses terjadinya korosi secara terus menerus, dan mengurangi kesempatan untuk menghilangkan korosi secara menyeluruh, usaha melakukan perawatan seringkali dilakukan untuk mengidentifikasi dan meminimalisir terjadinya korosi.

Korosi bermacam-macam tergantung terhadap proses. walaupun banyak penelitian dilakukan pada cakupan area korosi, akan tetapi tidak ada formula tertentu yang membuat operator atau perawatan untuk memprediksikan jumlah pengikisan logam yang mungkin terjadi karena adanya perubahan kondisi proses. pada kebanyakan proses, kebanyakan pada power industry, korosi tergantung kepada kehadiran uap air bebas pada aliran gas (Heumann, 1997: 175). Sebagai contoh, pada *power boiler firing* yang bahan bakarnya mengandung sulfur, keseluruhan SO_3 yang dihasilkan dari proses pembakaran akan bereaksi dengan uap air yang ada dan akan membentuk fasa gas dari asam sulfat. Selanjutnya asam ini akan menyerang permukaan logam, yakni pada saat temperature gas berada dibawah titik pengembunan pada konsentrasi tertentu dari asam yang terbentuk.

Bagaimanapun juga perhitungan dari titik pengembunan pada partikulat yang berada pada aliran gas masih sangat diragukan, dan kehadiran partikulat akan semakin menambah permasalahan proses korosi. Asam dapat diserap terlebih dahulu, kedalam permukaan partikel sebelum debu dikumpulkan pada permukaan logam. Jika permukaan partikel mengandung bahan kimia penetral, konsentrasi dari asam yang ada akan dapat direduksi, dan walaupun debu dapat menjadi perantara atau pembawa bahan korosif untuk mencapai permukaan logam, kehadirannya akan menghalangi kadar asam yang akan bereaksi dengan logam. Kadar korosi menjadi tidak pasti, hanya akan dapat diperhitungkan secara kasar pada kebanyakan precipitator. Usaha pencegahan kadar pembawa korosi yang dapat menyerang permukaan logam juga bergantung kepada desain yang baik dan pertimbangan yang matang dalam pengoperasian dan perawatan (Heumann, 1997: 176).

Kondensasi dari gas asam akan mengakibatkan permasalahan korosi yang signifikan. Kadar asam ini tergantung kepada kadar chloride, sulfur dan nitrogen dari bahan bakar. Bergantung terhadap konsentrasinya, titik pengembunan dari sulfur dioksida akan berada pada kisaran 240 – 275^{0}F dan untuk hydrogen klorida akan berkisar pada 155-200^{0}F . salah satu solusinya adalah EP harus beroperasi pada titik pengembunan kadar asam tertentu ditambah 50^{0}F (Parker, 2004 : 5-2).

Alternative yang lain adalah dengan mengisolasi system, mengaplikasikan pemanas eksternal jika diperlukan sehingga tetap berada diatas titik embun asam. Tujuannya adalah untuk menghindarkan permukaan logam menjadi cukup dingin sehingga mengakibatkan kondensasi dan korosi setempat. Permasalahan yang mungkin berhubungan adalah *hoppers* secara umum lebih dingin daripada keseluruhan system, korosi dapat terjadi disana, terutama jika terdapat garam yang bersifat hygroscopic. Pada keadaan ini *hoppers* seharusnya diisolasi. Bahkan dapat dimungkinkan pemasangan *strip heaters*, untuk mempertahankan suhu diatas temperature kondensasi. Dan tentunya masuknya udara luar juga harus dihindari. Hal ini tidak hanya akan meningkatkan volume total dari gas yang harus diproses dan mengakibatkan reentraintment, akan tetapi juga akan mengakibatkan kondensasi local (Parker, 2004 : 6-12).

Tetesan air yang mungkin terjadi mungkin akan berpengaruh terhadap beberapa bagian dari precipitator, sehingga isolasi eksternal dan pemanasan akan menjadi tidak

efektif untuk mencegah korosi (Parker, 2004 : 6-15). Pada saat precipitator dimatikan untuk perbaikan atau perawatan, bersihkan dengan udara luar yang panas untuk memastikan gas-gas yang reaktif dikeluarkan dari system. Tindakan pencegahan sederhana ini dapat menghindarkan korosi yang berhubungan dengan kondensasi pada saat unit tidak bekerja. beberapa kasus pelapisan dengan cat khusus atau persiapan logam sebelumnya dapat diperlukan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penyusunan skripsi ini, terdapat metode penelitian yang digunakan untuk memberikan satu alur kerangka berpikir dalam bentuk langkah-langkah yang ditempuh untuk melakukan penelitian, yaitu meliputi:

a. Studi literatur
b. Pengambilan data
c. Analisis data
d. Menarik kesimpulan

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dan penguasaan tentang teori-teori yang terkait dengan hal-hal berikut:

a. Prinsip kerja electrostatic precipitator.
b. Bagian – bagian electrostatic precipitator.
c. Pengaruh jarak sela terhadap tegangan dan arus.
d. Pengaruh tegangan terhadap kuat medan.
e. Proses pemuatan partikel.
f. Perhitungan efisiensi electrostatic precipitator.
g. Karakteristik pencemar udara partikulat.

3.2. Pengambilan Data

Data – data yang dipergunakan dalam skripsi ini adalah data sekunder dari PT. Petrokimia Gresik. Data – data yang diperlukan dalam penyelesaian skripsi ini antara lain adalah :

a. Inspeksi eksternal :
- Spesifikasi teknis electrostatic precipitator type F.
- Bentuk dan bagian – bagian electrostatic precipitator.
- Tegangan dan arus dari electrostatic precipitator.
- Kondisi trafo.
- Kondisi rectifier.

- Kondisi isolator.
- Kondisi riil di lapangan bagian luar atau casing dari electrostatic precipitator.

b. Inspeksi internal :

Inspeksi internal adalah pemeriksaan untuk mengetahui kondisi bagian dalam dari electrostatic precipitator yakni kondisi discharge electrode (DE) dan collecting plate (CP) termasuk di dalamnya adalah ukuran dan dimensi dari DE dan CP, yang meliputi :

- Bentuk dan ukuran DE dan CP.
- Luasan area penangkapan debu (CP).
- Jarak sela antara DE dan CP.

3.3. Analisis Data

Data – data yang telah didapatkan, digunakan sebagai bahan analisis terhadap penurunan efisiensi electrostatic precipitator sehingga dapat ditemukan factor penyebabnya dan dapat dilakukan upaya peningkatannya, sehingga tujuan dari penyusunan skripsi ini dapat dicapai. Analisis atau penelitian yang dilakukan meliputi hal – hal berikut ini :

a. Melakukan identifikasi terhadap proses penangkapan gypsum oleh electrostatic precipitator.
b. Menemukan beberapa dugaan awal factor – factor yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi.
c. Melakukan kajian terhadap factor – factor yang sesuai dugaan awal dapat menyebabkan penurunan efisiensi, yakni dengan melakukan inspeksi eksternal dan internal.
d. Menyusun inti permasalahan yang menjadi penyebab penurunan efisiensi electrostatic precipitator.
e. Melakukan analisis disertai dengan perhitungan untuk meningkatkan efisiensi electrostatic precipitator.

Langkah – langkah penelitian diatas digunakan untuk mendapatkan factor penyebab penurunan efisiensi, serta upaya penanggulangannya sehingga meningkatkan efisiensi dari electrostatic precipitator.

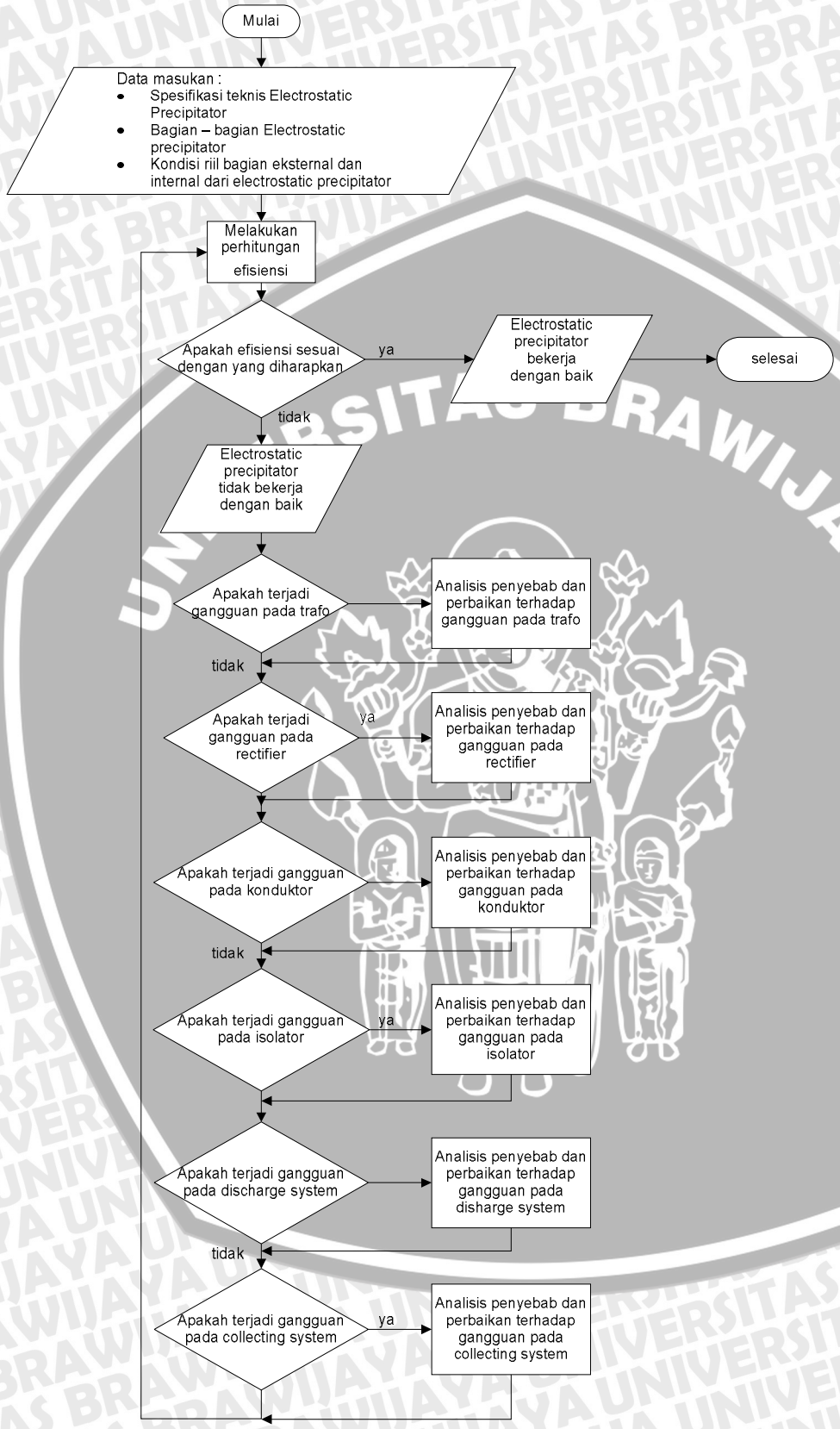
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.4. Menarik kesimpulan

Selanjutnya hasil perhitungan dan analisis yang mengacu pada tujuan penelitian disimpulkan, yaitu untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi electrostatic precipitator dan menemukan alternative penyelesaian masalah untuk memaksimalkan penangkapan debu gypsum. Kesimpulan dari penelitian ini disajikan sebagai penutup pada BAB V bersama saran dari penulis.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.5. Diagram alir



BAB IV
DATA DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN

Dalam penyelesaian skripsi diperlukan data penunjang sebagai salah satu acuan yang dipergunakan sebagai dasar melakukan penelitian untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi dan selanjutnya menemukan langkah untuk meningkatkan efisiensi *electrostatic precipitator* (EP). Data – data yang didapatkan disini adalah data sekunder dari PT. Petrokimia Gresik. Selain data sekunder, juga dilakukan pengamatan secara langsung terhadap kondisi dari EP di lapangan untuk menemukan faktor – faktor yang turut berpengaruh terhadap terjadinya penurunan efisiensi EP tersebut.

4.1. Hasil Inspeksi Eksternal

Inspeksi eksternal adalah inspeksi yang pertama kali dilakukan untuk mengetahui penyebab permasalahan penurunan efisiensi dari EP. Yang dimaksud dengan inspeksi eksternal disini adalah inspeksi atau pemeriksaan terhadap bagian – bagian EP yang tampak dari luar, sebelum kita mencari tahu lebih dalam permasalahan penurunan efisensi yang terjadi pada bagian dalam EP yang dilakukan lewat inspeksi internal.

4.1.1. Spesifikasi Teknis Electrostatic Precipitator

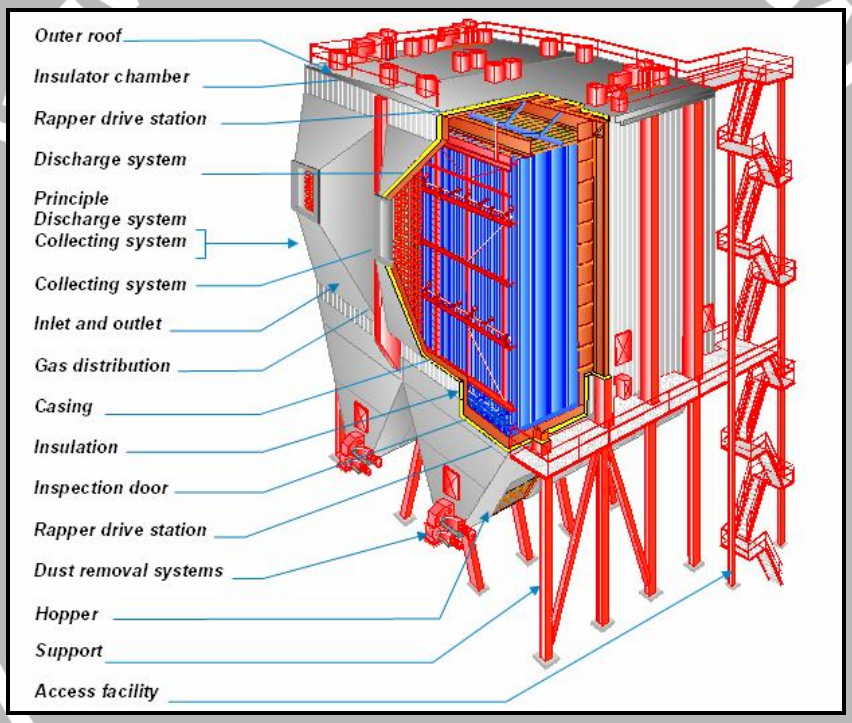
Sebelum melangkah untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengenali EP itu sendiri, yakni dengan mengetahui spesifikasi teknis dari EP tersebut. Spesifikasi EP ini adalah sebagai berikut :

Gas Volume	: Max 2840 m^3/min
Gas Temperature	: Normal. 80 – 90 Deg. C
Gas Pressure	: 500 mmH_2O
Moisture Content of Gas	: H = 0.267
Dust Material	: *Gypsum*
Out Let Dust Density	: 0.73 / m^3 (dry base)
Collecting Area Of ESP	: 5.720 M^2
Number Of Chamber	: 3
Power Pack	: 55 kV x 1000 mA x 3 set

Thermal Insulation	:	Rock Wool 75^{t}
Inlet Dust Volume	:	280 g/m3
Gas Velocity	:	44.3 m/s
Outlet Emision	:	700 mg/m^3 (Maks)
Gas viscosity	:	1.83 x 10^{-4} kg/ms

4.1.2. Bentuk Dan Bagian – Bagian Electrostatic Precipitator.

Electrostatic precipitator (EP) pada pabrik III PT. Petrokimia Gresik digunakan untuk menangkap debu gypsum, sebagai hasil samping dari pembuatan asam phospat pada pabrik III PT. Petrokimia Gresik, yang dapat dijual kembali sebagai *cement retarder*. Sedangkan bagian – bagian dari EP dapat dilihat dari gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagian – bagian *electrostatic precipitator*
Sumber : PT. Petrokimia Gresik

Dari bagian – bagian EP diatas, terdapat beberapa bagian yang memegang peranan penting terhadap kinerja EP. Beberapa bagian akan berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap penurunan efisiensi EP tersebut. Beberapa bagian ini yang akan dilakukan inspeksi agar dapat diketahui penyebab terjadinya gangguan dan pengaruhnya terhadap penurunan efisensi.

4.1.3. Kondisi Riil Di Lapangan Bagian Luar Atau Casing Dari Electrostatic Precipitator

Pemantauan dilakukan terhadap kondisi casing di setiap sisi dan di bagian atap dari EP. Casing untuk EP memegang peranan yang sangat penting dalam kaitannya dengan kontinuitas proses. walaupun casing tidak berpengaruh secara langsung terhadap efisiensi EP akan tetapi kegagalan isolasi dari casing seperti timbulnya lubang atau celah akan mengakibatkan tekanan di dalam EP berkurang, dan udara luar dapat terhisap masuk ke bagian dalam precipitator, seperti kita ketahui bahwa udara luar selain memiliki kandungan uap air serta kandungan garam yang cukup tinggi mengingat lokasi pabrik III PT. Petrokimia Gresik yang dekat dengan laut sehingga dapat dengan mudah memicu terjadinya korosi pada bagian dalam, selain itu perbedaan temperatur dapat memicu terjadinya korosi di bagian dalam precipitator, dimana *precipitator* menghendaki temperature diatas titik pengembunan (*dew point*) agar tidak terjadi korosi. Selain lubang pada bagian casing, yang perlu dicermati adalah karat pada bagian casing yang akan berpotensi untuk semakin bertambah dan menimbulkan lubang pada bagian yang berkarat tersebut. Untuk lebih jelasnya hasil inspeksi terhadap casing dari EP adalah sebagai berikut

4.1.3.1. Hasil Inspeksi Terhadap Casing Bagian Samping

Hasil inspeksi terhadap casing EP di PT. Petrokimia Gresik, didapatkan bahwa terdapat beberapa lubang dan karat. EP ini sendiri terbagi menjadi tiga kompartemen, dimana masing – masing kompartemen memiliki tingkat kerusakan atau cacat yang tidak selalu sama, pada beberapa bagian terlihat sudah dilakukan beberapa perbaikan, sedangkan pada bagian yang lain masih belum dilakukan perbaikan atau sudah dilakukan perbaikan akan tetapi kembali mengalami kerusakan.

Gambar 4.2. Bagian yang sudah ditambal pada kompartemen 1
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Kerusakan – kerusakan yang tampak dari luar sebagai hasil inspeksi ekstrernal yang dilakukan terhadap EP di pabrik III PT. Petrokimia Gresik akan berguna sebagai bahan acuan pengaruh factor eksternal dalam hal ini casing terhadap pengaruhnya kepada perangkat lain dari EP yakni bagian dalam EP. Inlet dari precipitator berada pada kompartemen I yang selanjutnya flow gas akan mengarah ke kompartemen II, dan III. Hasil inspeksi yang dilakukan pada kompartemen I tampak bahwa kompartemen I masih terisolasi dengan baik sebagai hasil dari proses maintenance yang dilakukan sebelumnya, yang tampak pada kompartemen I adalah bagian keropos yang sudah ditambal, Seperti ditunjukkan gambar 4.2.

Gambar 4.3. Lubang dan cacat pada isolasi di kompartemen II
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Pada kompartemen II masih terdapat sisa karat karena adanya kebocoran isolasi, pada bagian ini hanya tampak 1 titik lubang yang jelas terlihat di bagian tengah dekat mainhole yang ditunjukkan pada gambar 4.3.(a), sementara di bagian lain tidak ada, akan tetapi isolasi yang ada tidak terpasang dengan baik yang ditunjukkan pada gambar 4.3.(b) yang memungkinkan perbedaan temperature bagian luar dan dalam bisa menjadi sangat ekstrim yang tentunya memicu korosi

Gambar 4.4. Lubang dan keropos pada kompartemen III
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Pada kompartemen III masih akan dilakukan proses maintenance sehingga masih tampak pada beberapa bagian berupa karat, lubang dan bagian – bagian lain yang keropos termakan karat. Baik itu pada rangka penyangga maupun di bagian isolasi yang

pada beberapa sisi terdapat isolasi yang keropos. seperti terlihat pada gambar 4.4. kerusakan – kerusakan tersebut dapat dikategorikan sedang hingga mengkhawatirkan.Selain kemungkinan udara masuk ke dalam precipitator disebabkan adanya lubang atau keropos pada casing, kemungkinan lain yang ditemukan adalah pada bagian *manhole*. *Manhole* adalah lubang untuk keluar dan masuk operator ke dalam precipitator jika diperlukan untuk melakukan maintenance.

Gambar 4.5. Bagian *manhole* yang mengalami korosi.
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Kerusakan pada *manhole* dapat dilihat pada gambar 4.5.. *Manhole* ini mengalami korosi sehingga kemungkinan tidak dapat mengisolasi udara dengan baik. Selain itu juga akan berakibat tekanan di dalam precipitator tidak terjaga dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

4.1.3.2. Hasil Inspeksi Terhadap Casing Bagian Atas

Bagian atap dari precipitator atau disebut juga *rooftop*, memegang peranan yang tak kalah penting dalam menjaga temperature di dalam precipitator, agar tidak terjadi perubahan yang terlalu ekstrim dan berakibat korosi.

Gambar 4.6. Beberapa perangkat kelistrikan di bagian atap
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

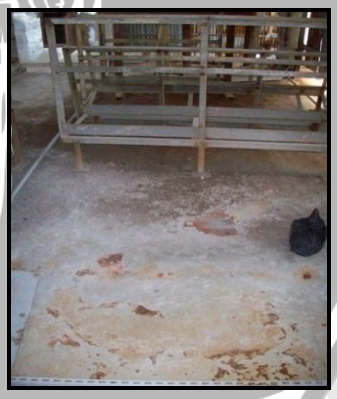
Selain itu pada bagian atap juga terdapat beberapa perangkat kelistrikan seperti insulator, serta trafo dan rectifier yang berfungsi sebagai supply tegangan. Gambar 4.6. menunjukkan beberapa perangkat kelistrikan yang berada di atap

Hasil inspeksi pada bagian atap ditemukan terdapat perlindungan atau isolasi yang tidak wajar, yakni digunakan atap tambahan sebagai perlindungan seperti terlihat pada gambar 4.7.

Gambar 4.7. Tambahan atap pada *electrostatic precipitator*
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Atap tambahan ini difungsikan untuk melindungi atap "asli" dari precipitator terhadap perbedaan temperatur yang ekstrim antara bagian dalam precipitator dengan bagian luarnya yang dapat disebabkan oleh panas langsung dari matahari maupun pendinginan dari air hujan serta untuk melindungi beberapa perangkat kelistrikan yang ada di bagian atap.

(a)



(b)

Gambar 4.8. (a) Bocor pada atap tambahan. (b) Korosi pada bagian atap asli
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Faktor cuaca memang akan mempengaruhi tingkat korosi terutama di bagian atap. Akan tetapi tambahan perlindungan atap ini juga tidak efektif karena atap tambahan pun banyak yang berlubang dan bocor seperti pada Gambar 4.8.(a), sehingga pada atap "asli" (bagian bawah atap tambahan) tetap terjadi korosi (Gambar 4.8.(b)).

Dan jika hal ini dibiarkan berlarut – larut maka cepat atau lambat, atap "asli" akan keropos dan timbul lubang yang dapat membahayakan bagi operator yang bertugas melakukan perawatan di bagaian atap, maupun membahayakan peralatan kelistrikan yang berada di bagian atap.

Selain hal – hal yang telah disebutkan diatas, yang perlu dikhawatirkan lagi adalah kemungkinan timbulnya korosi di bagian dalam dari EP tepat di bawah atap sebagai akibat perbedaan suhu yang ekstrim antara bagian dalam dan luar casing, dimana tepat di bawah atap terdapat beberapa penyangga untuk *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate* (CP) yang jika mengalami korosi akan mengalami perubahan bentuk maupun kerusakan yang akan berpengaruh secara langsung terhadap kinerja EP, yang selanjutnya dapat berakibat terhadap penurunan efisiensi EP.

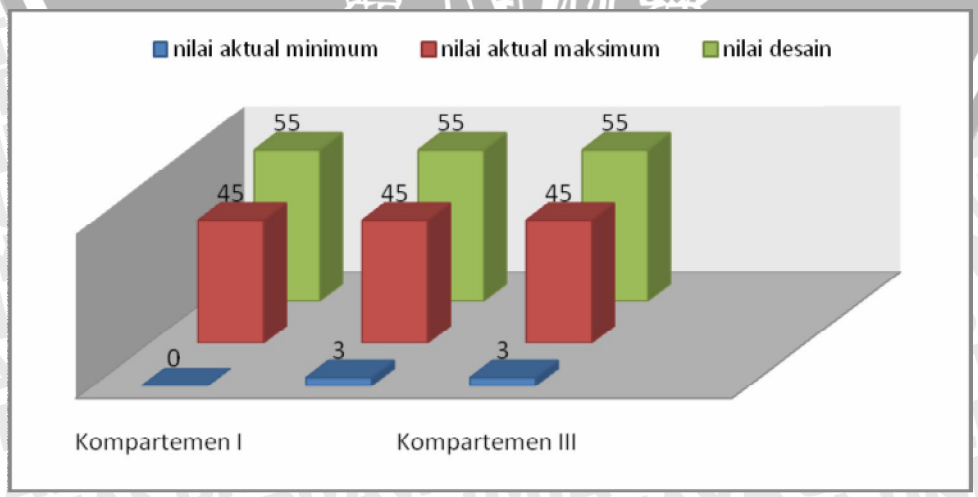
4.1.4. Tegangan Dan Arus Dari Electrostatic Precipitator.

Pada electrostatic precipitator terdapat beberapa kompartemen, dimana masing – masing kompartemen memiliki panel masing – masing. Data berupa nilai tegangan dan arus dari EP didapatkan dari pengamatan terhadap tegangan dan arus yang terdapat pada *control room*, data tegangan dan arus dari EP ini ditunjukkan pada table 4.1. sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil pengukuran tegangan dan arus EP

Parameter	Nilai Aktual	Nilai Desain
Kompartemen I	0-45 kV; 0 - 280 mA	55 kV; 1000 mA
Kompartemen II	3 - 45 kV; 380 - 400 mA	55 kV; 1000 mA
Kompartemen III	3 - 45 kV; 380 - 460 mA	55 kV; 1000 mA

Sumber : PT. Petrokimia Gresik



Gambar 4.9. Perbandingan nilai desain dan nilai aktual dari tegangan EP
Sumber : Hasil inspeksi eksternal

Dari gambar 4.9. dapat terlihat bahwa telah terjadi penurunan tegangan EP dari nilai desain yakni sebesar 55 kV. Pada kompartemen I titik terendah adalah 0 kV atau tidak beroperasi sama sekali dan maksimal dapat mencapai 45 kV, sedangkan pada kompartemen II titik tegangan minimum adalah sebesar 3 kV dan nilai tegangan maksimumnya adalah 45 kV, pada kompartemen III memiliki nilai tegangan minimum 3 kV dan maksimum 45kV. Penurunan nilai tegangan ini akan berpengaruh langsung terhadap korona yang dihasilkan dan selanjutnya akan berpengaruh langsung terhadap proses pemuatan partikel dan kuat medan pada EP. nilai tegangan ini sebaiknya tidak lebih rendah dibanding dengan tegangan starting corona, yang berarti tidak timbul korona. Perhitungan besarnya tegangan starting korona akan dibahas pada subbab 4.3.3.

Penurunan tegangan pada EP ini dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah trafo dan rectifier yang sudah tidak dapat beroperasi dengan baik, atau dapat juga dikarenakan terjadi permasalahan arus bocor pada insulator atau pada bagian internal EP, sehingga untuk mendapatkan inti permasalahan penurunan tegangan akan kita tinjau pada ketiga factor tersebut.

4.1.5. Kondisi Trafo

Trafo yang dipergunakan pada EP adalah trafo *step-up* yang tentunya bertujuan untuk menaikkan tegangan. Untuk memenuhi kebutuhan EP digunakan 3 buah trafo 1 phasa dengan spesifikasi yang sama seperti tertera di bawah ini :

S : 77000 VA

Phase : 1Φ

F : 50 Hz ± 5 %

V primer : 380 Volt AC

V sekunder : 77000 Volt AC

Pengujian terhadap trafo dilakukan pada saat EP tidak beroperasi, yakni pada saat maintenance, dari hasil pengujian didapatkan data seperti tercantum pada table 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengukuran terhadap trafo

Peralatan	Incoming (V AC)	Outgoing (V AC)
Trafo 1	380	70000
Trafo 2	380	70000
Trafo 3	380	70000

Sumber : PT. Petrokimia Gresik

Dari tabel 4.2, dapat terlihat bahwa apabila sisi primer trafo diberi tegangan 380 V maka sisi sekunder atau output trafo masih mampu menghasilkan tegangan sebesar 77 kV. Dari pengukuran ini dapat disimpulkan bahwa trafo masih dalam kondisi yang baik, karena sesuai dengan spesifikasi awal, yang berarti tidak terjadi gangguan pada trafo.

4.1.6. Kondisi Rectifier

Rectifier adalah salah satu peralatan yang memegang peranan yang penting karena pada *rectifier* inilah tegangan ac dari trafo disearahkan sehingga didapat tegangan dc, yang selanjutnya disalurkan menuju *discharge electrode* untuk menghasilkan korona negatif, spesifikasi *rectifier* ini adalah sebagai berikut :

Temperature rise :

Core & coil	*less than*	*50°C*
Thyristor function	*less than*	*85°C*
Resistor	*less than*	*150°C*
Fuse	*less than*	*65°C*
Insulating Oil	*less than*	*50°C*
Silicon Diode	*: DC 55 kV 1000 mA*	
Out Put Voltage	*: DC 55 kV (EP.Load)*	
Out Put Current	*: 1000 mA (EP.Load)*	
Rectifier method	*: single phase full wave*	
Cooling system	*:RectifierOil-Immersed–Self cooled*	

Dengan spesifikasi tersebut, maka dapat tegangan keluaran dari rectifier adalah 55kV dan 1000 mA, dan penyearahannya menggunakan metode penyearahan gelombang penuh (*full wave*) sehingga lebih rata jika dibandingkan dengan penyearahan setengah gelombang (*half wave*). Pemeriksaaan terhadap kondisi *rectifier* dilakukan untuk mengatahui apakah tegangan keluaran dari rectifier masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan sehingga EP dapat bekerja dengan optimal.

Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik, diketahui bahwa ternyata kondisi *rectifier* masih baik, hal ini dibuktikan dengan hasil pengukuran tegangan keluaran *rectifier* seperti yang diharapkan. Pengukuran ini dilakukan pada saat

maintenance, dimana *rectifier* tidak terhubung dengan perangkat di bawahnya yakni insulator dan perangkat *discharge* dan *collecting* dari EP sehingga hasil pengukuran terhadap tegangan keluaran *rectifier* tidak terpengaruh oleh beban.

Hasil pengujian terhadap kondisi *rectifier* yang telah dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik dapat dilihat pada table 4.3.

Table 4.3. Hasil pengujian terhadap *rectifier*

Peralatan	Incoming (V AC)	Outgoing (V DC)
Rectifier 1	380	55000
Rectifier 2	380	55000
Rectifier 3	380	55000

Sumber : PT. Petrokimia Gresik

4.1.7. Kondisi Isolator

Kondisi isolator tampak luar memang memiliki penampilan fisik yang tidak terlalu baik, akan tetapi pemeriksaan terhadap kondisi isolator tidak hanya terhadap kondisi fisik saja, akan tetapi terhadap kemampuannya utnuk masih bisa mengisolasi pada kondisi tegangan 55 kV dc dan 1000 mA., salah satu *standard operational procedure* (SOP) menyebutkan bahwa sebelum EP dioperasikan isolator harus dimeger, sehingga tidak terjadi hubungan antara *discharge electrode* dengan *collecting plate* yang salah satunya dimungkinkan karena adanya kebocoran pada isolator. Meger sesuai *standard operational procedure* yang berlaku harus memiliki nilai batas aman yakni 50 MΩ agar EP dinyatakan layak untuk dioperasikan, jika hasil meger didapatkan nilai dibawah itu, maka isolator dinyatakan tidak berfungsi dengan baik atau rusak, dan sebaiknya dilakukan penggantian insulator sebelum EP dioperasikan.

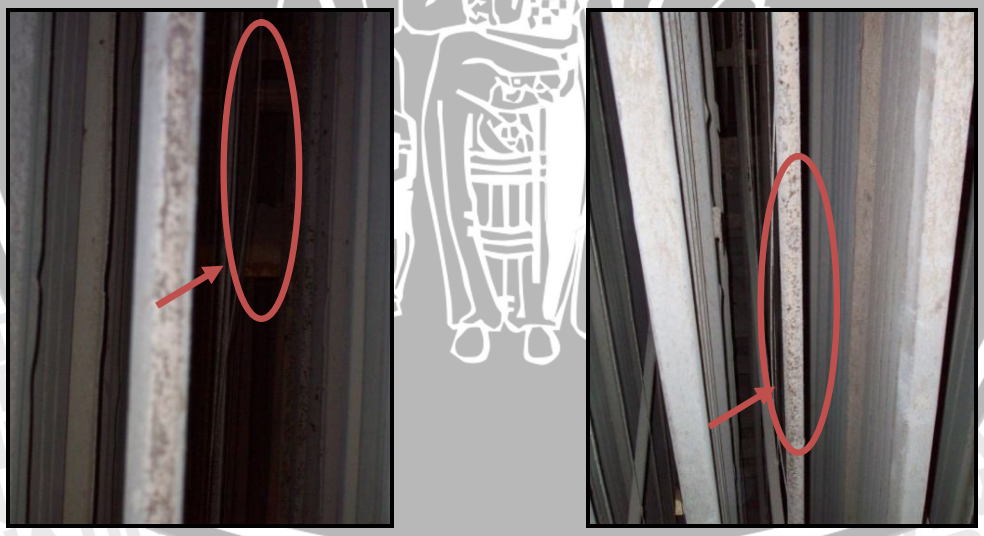
4.2. Hasil Inspeksi Internal

Setelah melakukan inspeksi eksternal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan inspeksi internal, yakni pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi bagian dalam dari EP. Pada bagian dalam dari electrostatic precipitator terdapat inti dari proses *precipitator*, dimana di bagian dalam terjadi korona dari *discharge electrode* (DE) yang selanjutnya akan memuati partikel yang akan bergerak menuju *collecting plates* (CP) karena adanya medan yang mempengaruhi partikel tersebut. Pada CP partikel – partikel gypsum akan ditangkap dan selanjutnya dapat dikumpulkan oleh *screw conveyor*. Inspeksi internal yang berhubungan dengan efisiensi penangkapan partikel gypsum

inilah yang akan diperhatikan, yakni kondisi dari DE dan CP yang akan mendukung proses pemuatan dan penangkapan partikel gypsum

4.2.1. Kondisi *Discharge Electrode*

Discharge electrode (DE) memiliki peranan untuk meluahkan tegangan DC yang dialirkan melaluinya sehingga akan timbul korona. DE yang digunakan disini memiliki tipe *ribbon type with projection* yang berbentuk tipis seperti pita, akan tetapi memiliki tonjolan – tonjolan seperti gerigi gergaji yang berfungsi untuk meningkatkan kuat medan di sekitarnya. DE ini dipasang pada sebuah frame dengan ukuran panjang 9,996 m dan lebar 2,985 m, dalam sebuah frame terdapat 18 discharge electrode dengan ukuran lebar $9{,}5 \times 10^{-3}$ m dan panjang 2,985 m. jarak antara DE adalah 0,12 m. sebuah frame yang berisi 18 DE ini kemudian diletakkan diantara *collecting plate* (CP) dengan jarak antara DE dengan CP adalah 0,14 m. DE dengan tipe *ribbon type with projection* ini memiliki beberapa kelemahan antara lain karena bentuknya yang tipis seperti pita, maka saat mengalami korosi mudah sekali patah karena getaran yang ditimbulkan oleh *hammering / rapping* yang rutin dilakukan pada DE untuk menghilangkan debu gypsum yang mungkin menempel pada DE.



Gambar 4.10. Kondisi *discharge electrode* yang melengkung
Sumber : Hasil inspeksi internal

Inspeksi internal dapat dilakukan pada saat EP tidak beroperasi. Dari hasil pengamatan seperti tampak pada gambar 4.10. DE banyak yang mengalami perubahan bentuk yakni melengkung yang mengakibatkan jarak antara DE dengan CP menjadi berkurang di satu sisi dan bertambah pada sisi yang lain, dengan perhitungan dapat

diperhitungkan lebih lanjut pengaruh perubahan jarak ini terhadap nilai efisiensinya . Selain melengkung cacat pada DE yang terjadi adalah DE patah yang ditunjukkan pada gambar 4.11., yang terjadi kemudian adalah patahan ini kemudian melengkung hingga mendekati atau menyentuh collecting plate, sehingga memungkinkan terjadinya *short circuit.*

Gambar 4.11. Bekas patahan *discharge electrode* yang sudah diperbaiki dengan cara dipotong dan disambung
Sumber : Hasil inspeksi internal

Perubahan bentuk dari DE baik itu melengkung dan patah yang selanjutnya mempengaruhi jarak antara DE dan CP, dan pengaruhnya terhadap penurunan tegangan dan efisiensi akan dibahas lebih lanjut pada bagian analisis.

4.2.2. Kondisi *Collecting Plate*

Collecting plate (CP) berfungsi untuk mengumpulkan debu gypsum setelah dimuati dengan muatan negatif dari DE Dalam sebuah kompartemen terdapat 32 rangkaian CP, yang diantara CP tersebut dipasang *frame* yang berisi DE. CP ini telah mengalami perubahan yakni tidak lagi menggunakan desain asli akan tetapi hasil dari modifikasi oleh PT. Petrokimia Gresik untuk menyiasati harga CP asli dari jepang yang harganya mahal.

Gambar 4.12. Kondisi *discharge electrode* dan *collecting plate* yang rusak dan mengalami korosi
Sumber : Hasil inspeksi internal

CP hasil modifikasi memiliki ukuran masing – masing lebar 1 m dan panjang 9 m, dalam pembuatannya mengalami kesulitan untuk melakukan *pressing* menyerupai bentuk asli, karena peralatan yang digunakan hanya mampu melakukan *pressing* maksimal untuk panjang 1 m, hasilnya adalah collecting plate dengan panjang 9 m tersebut tidak dapat lurus dengan sempurna akan tetapi melengkung dengan kelengkungan yang bervariasi, kelemahan lainnya adalah bahan yang digunakan juga mudah mengalami korosi seperti tampak pada gambar 4.12. sehingga sering dilakukan penggantian. Selain itu ukuran yang tidak standar tentu akan berpengaruh terhadap luas permukaan spesifik pengumpul. Selain dikarenakan kelengkungan CP yang selanjutnya dapat mempengaruhi jarak antara DE dan CP faktor lainnya adalah terdapat beberapa *hanger* CP yang dapat dilihat pada gambar 4.13. mengalami pengeroposan, patah, maupun bengkok.

(a)

(b)

Gambar 4.13. Kondisi *hanger* dari *collecting plate* (a) Bengkok (b) Keropos dan terlepas

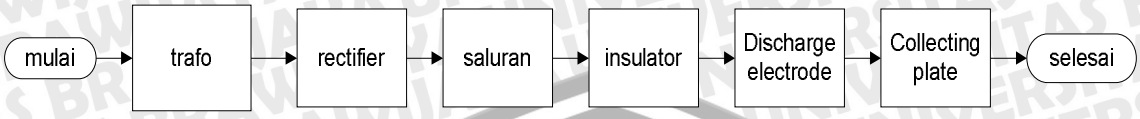
Sumber : PT. Petrokimia Gresik

Terjadinya kerusakan pada hanger CP disebabkan perbedaan ukuran ketebalan CP dari kondisi aslinya sehingga beratnya juga akan berbeda, kemapuan dan ukuran penyangga tidak mampu untuk menahan berat CP, selain itu juga dikarenakan korosi. Beberapa bagian telah dilakukan penggantian rangka *hanger* tersebut, namun beberapa bagian masih terdapat kerusakan seperti yang telah disebutkan di atas. Hal ini tentu berpengaruh langsung terhadap penurunan efisiensi, karena dapat berpengaruh terhadap penurunan tegangan.

4.3. Analisis Penurunan Efisensi

Untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi terhadap electrostatic precipitator, tentunya harus dilakukan penelitian terhadap proses yang dimulai dari awal

yakni sumber tegangan, penyearahan tegangan, penyaluran tegangan, proses terjadinya korona, pemuatan partikel, hingga penangkapan partikel pada collecting plate, untuk lebih jelasnya urutan proses untuk menemukan penyebab penurunan efisiensi electrostatic precipitator ini digambarkan dalam diagram dibawah ini.



Gambar 4.14. Flowchart analisis penurunan efisiensi EP
Sumber : Hasil analisis

Kondisi trafo, rectifier, saluran dan insulator didapatkan dari hasil inspeksi eksternal, sedangkan kondisi DE dan CP didapatkan dari inspeksi internal. Secara keseluruhan kondisi bagian eksternal masih dalam kondisi baik. Baik itu trafo, rectifier, saluran hingga insulator.

4.3.1. Analisis Pada Power Supply Unit

Pada power supply unit, terdapat dua komponen penting yang berfungsi menjaga stabilitas tegangan dari EP dua komponen ini yakni pada trafo dan rectifier, dari pengukuran didapatkan tegangan keluaran rectifier adalah sebesar 55 kV dengan supply tegangan jala – jala sebesar 380 V dan spesifikasi trafo 380/77000. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari thyristor unit pada sisi primer dari trafo yang akan mengontrol tegangan input trafo sehingga akan didapat tegangan output sebesar 55kV, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$U_{dc} = 55kV \approx \hat{U}ac$$

$$\hat{U}_{ac} = \sqrt{2}\ U_{eff}$$

$$U_{eff'S} = \frac{\hat{U}_{ac}}{\sqrt{2}} \approx \frac{U_{dc}}{\sqrt{2}} = \frac{55kV}{\sqrt{2}}$$

$$U_{eff'S} = 38{,}8\ kV$$

Rasio belitan pada trafo adalah 380/77000, sehingga :

$$U_{eff'P} = \frac{380V}{77kV} \times U_{eff'S}$$

$$U_{eff'P} = \frac{380V}{77kV} \times 38{,}8\ kV = 191{,}5\ V$$

Tegangan sebesar 191,5 V ini adalah tegangan input pada sisi primer dari trafo, yang dihasilkan oleh thyristor unit sehingga didapatkan tegangan output pada *rectifier* sebesar 55 kV.

4.3.2. Perhitungan Kuat Medan

Pada electrostatic precipitator (ESP), ada 2 medan yang diperhitungkan, yang pertama adalah kuat medan kritis yakni kuat medan yang dibutuhkan untuk terjadinya *electrical breakdown* pada kawat sehingga selanjutnya akan timbul korona. Setelah terjadinya *electrical breakdown* pada kawat, maka selanjutnya kuat medan pada ruang antara *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate* (CP) akan dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diberikan pada DE, perhitungan kedua kuat medan tersebut akan dibahas pada subbab berikut ini.

4.3.2.1.Perhitungan Kuat Medan Kritis

Untuk memulai korona pada kawat, dibutuhkan *electrical breakdown* yang terjadi pada kawat tersebut. Untuk udara pada kawat parallel dengan temperature 25° C kuat medan kritis, E_c adalah

$$E_c = 31\times10^5 \frac{m\lambda}{\lambda_s}\left(1+\frac{0{,}308}{\sqrt{[\lambda R_1/\lambda_s]}}\right)$$

Dimana

R_1 = radius kawat, m

λ/λ_s = kerapatan udara relative

= (2,95P)/T (untuk kondisi lain) = 0.03

Untuk

P = tekanan atmosfer dalam kPa = 500 mmAq = 4.9 kPa

T = temperature absolute, ^{o}K = 273 + 90 = 363 ^{0}K

m = 1 untuk kawat yang halus

= 0,82 untuk korona secara umum pada seutas kawat

= 0,92 untuk kawat yang tidak rata

Dari data – data diatas dilakukan perhitungan terhadap kuat medan kritis, sebagai berikut :

$$E_c = 31\times10^5 \times 0.92\times 0.03\left(1+\frac{0,308}{\sqrt{[0.03\times 0.0007]}}\right)$$

$$E_c = 85560\left(1+\frac{0,308}{\sqrt{2.1\cdot10^{-5}}}\right)$$

$$E_c = 85560\left(1+\frac{0,308}{4.58\cdot10^{-3}}\right)$$

$$E_c = 85560(1+67.24)$$

$$E_c = 5836142.58 \text{ v/m}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai kuat medan kritis yakni sebesar 5836142.588 V/m. nilai ini didapatkan jika digunakan factor irregularitas kawat m sebesar 0.92, atau untuk kawat yang tidak rata, sesuai dengan bentuk kawat yang digunakan.

Akan tetapi pada persamaan diatas, terdapat beberapa perbedaan factor irregularitas *m* untuk kawat yang digunakan, perbedaan kuat medan yang dihasilkan oleh masing – masing jenis kawat tersebut dapat ditabelkan pada table 44.

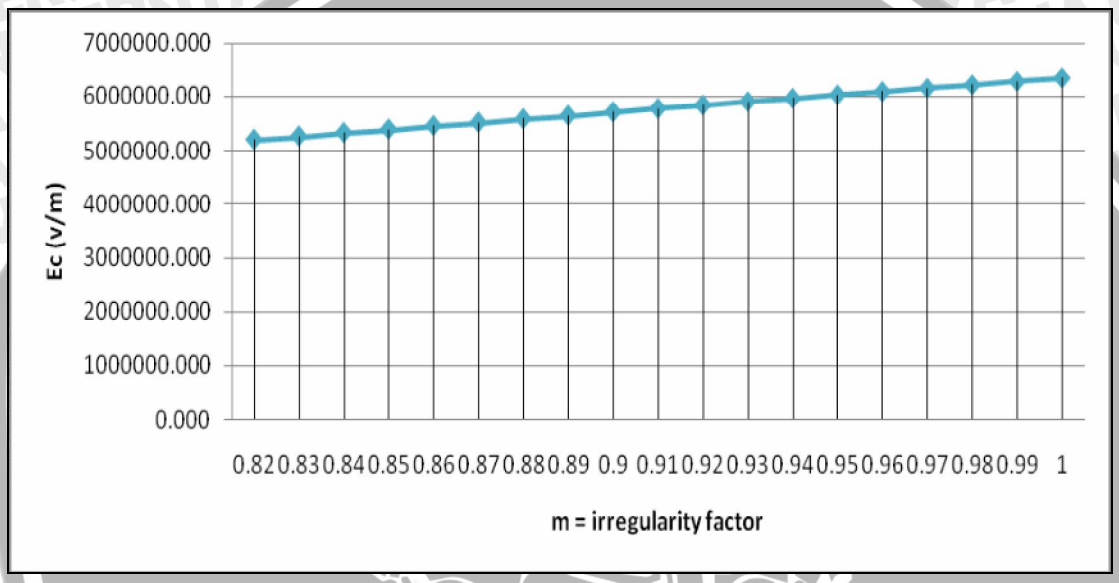
Table 4.4. Pengaruh factor iregularitas terhadap kuat medan awal yang dibutuhkan untuk menimbulkan korona

m	ℓ/ℓs	R1 (m)	m(ℓ/ℓs)	Ec (V/m)
0.82	**0.03**	**0.0007**	**0.0246**	**5201779.263**
0.83	0.03	0.0007	0.0249	5265215.596
0.84	0.03	0.0007	0.0252	5328651.928
0.85	0.03	0.0007	0.0255	5392088.261
0.86	0.03	0.0007	0.0258	5455524.593
0.87	0.03	0.0007	0.0261	5518960.926
0.88	0.03	0.0007	0.0264	5582397.258
0.89	0.03	0.0007	0.0267	5645833.591
0.9	**0.03**	**0.0007**	**0.027**	**5709269.923**
0.91	0.03	0.0007	0.0273	5772706.256
0.92	0.03	0.0007	0.0276	5836142.588
0.93	0.03	0.0007	0.0279	5899578.921
0.94	0.03	0.0007	0.0282	5963015.253
0.95	0.03	0.0007	0.0285	6026451.586
0.96	0.03	0.0007	0.0288	6089887.918
0.97	0.03	0.0007	0.0291	6153324.250
0.98	0.03	0.0007	0.0294	6216760.583
0.99	0.03	0.0007	0.0297	6280196.915
1	**0.03**	**0.0007**	**0.03**	**6343633.248**

Sumber : Hasil perhitungan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dari table 4.2. dapat terlihat bahwa semakin tinggi factor iregularitas maka kuat medan awal yang ditimbulkan akan semakin besar, sehingga tidak bergantung kepada usia kawat, tetapi jenis kawat yang dipergunakan sejak awal, untuk ESP yang dipergunakan di PT. Petrokimia Gresik adalah jenis *ribbon type with projection*, yakni pita tipis dengan tonjolan pada sisinya yang dapat dianalogikan sebagai kawat yang tidak rata dengan factor irregularitas *m* = 0,92 didapatkan kuat medan awal yang diperlukan untuk terjadinya korona adalah sebesar 5836142,588 V/m.



Gambar 4.15. Pengaruh factor iregularitas terhadap kuat medan awal yang dibutuhkan untuk menimbulkan korona

Sumber : Hasil Perhitungan

Kuat medan awal ini adalah kuat medan yang diperlukan untuk terjadinya electrical breakdown pada korona, kuat medan awal ini diperlukan untuk menentukan berapa besarnya tegangan minimum yang diperlukan untuk starting korona atau tegangan onset korona.

4.3.2.2. Perhitungan Kuat Medan di Antara *Discharge Electrode* dan *Collecting Plate*

Apabila pada kawat telah terjadi korona, yang berarti telah terjadi *electrical breakdown* pada kawat maka, selanjutnya kuat medan di antara *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate* (CP) akan dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diterapkan pada ESP yakni sebesar 55 kV, medan yang dihasilkan pada bidang antara

discharge electrode (DE) dan *collecting plate* (CP) akan berbeda – beda bergantung terhadap jaraknya terhadap DE. Besarnya kuat medan tersebut dapat dihitung dengan mengunakan perhitungan sebagai berikut, dengan V adalah tegangan yang diberikan pada EP yakni sebesar 55kV, r adalah kuat medan pada jarak r dari kawat, R_1 adalah jari-jari *discharge electrode* sebesar 7 x 10^{-4} m, R_2 adalah jarak antara kawat dengan pelat sebesar 14 cm = 14 x 10^{-2} m. sehingga akan didapatkan kuat medan sebesar :

$$V = Er \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$E = \frac{V}{r \ln \frac{R_2}{R_1}}$$

$$E = \frac{55000}{0.14 \ln \frac{0.14}{0.0007}}$$

$$E = \frac{55000}{0.14 \ln 200}$$

$$E = \frac{55000}{0.14 \times 5.29}$$

$$E = \frac{55000}{0.74} = 74147.53 v/m$$

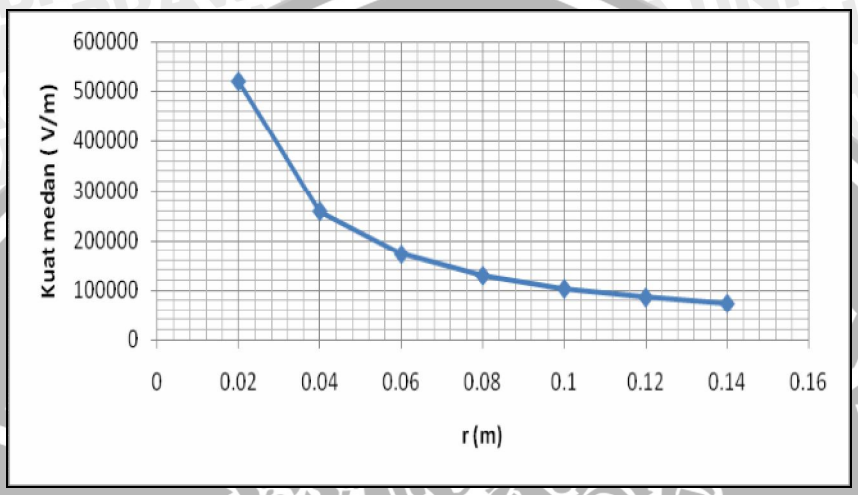
Karena adanya perbedaan kuat medan pada jarak r dari kawat DE, maka perbedaan kuat medan tersebut dapat ditabelkan, seperti ditunjukkan pada table 4.5. di bawah ini.

Table 4.5. Perbedaan kuat medan pada jarak r dari DE

V (v)	r (m)	R1 (m)	R2 (m)	E (V/m)
55000	0.01	0.0007	0.14	1038065
55000	0.02	0.0007	0.14	519032.7
55000	0.04	0.0007	0.14	259516.4
55000	0.06	0.0007	0.14	173010.9
55000	0.08	0.0007	0.14	129758.2
55000	0.12	0.0007	0.14	86505.45
55000	0.14	0.0007	0.14	74147.53

Sumber : Hasil perhitungan

Table 4.5. selanjutnya dimasukkan ke dalam sebuah grafik, dan dapat dilihat pada gambar 4.16.bagaimana pengaruh dari perbedaan jarak r dan pengaruhnya terhadap kuat medan. Dari gambar 4.16 dibawah ini, terlihat bahwa semakin jauh dari DE kuat medan akan menjadi semakin kecil, dan sebaliknya semakin dekat dengan DE maka medan akan semakin besar.



Gambar 4.16. Perbedaan kuat medan pada jarak r dari DE

Sumber :Hasil perhitungan

Perhitungan adalah pada saat DE dan CP pada jarak normal yakni 14 cm, kuat medan ini akan berpengaruh terhadap effisiensi EP. Pada grafik dapat dilihat bahwa kuat medan maksimum adalah pada jarak yang paling dekat dengan DE, pada jarak 1 cm dari DE kuat medan adalah sebesar 1.03 MV/ sedangkan kuat medan minimum adalah pada permukaan CP dengan jarak sejauh 14 cm dari DE yakni sebesar 74.14 kV/m. jika terjadi perubahan jarak antara DE dengan CP maka akan terjadi perubahan nilai medan dan akan berpengaruh terhadap effisiensi dari *Electrostatic precipitator.*

4.3.3. Perhitungan Tegangan

Electrostatic precipitator (EP) memiliki 2 parameter teganngan yang akan berpengaruh secara langsung terhadap kelangsungan proses, EP akan bergantung terhadap tegangan puncak atau *peak voltage* (V_p), dan tegangan minimum atau *minimum voltage* yang memiliki nilai yang sama dengan *corona onset voltage* atau tegangan onset corona.Tegangan puncak untuk EP ini adalah tegangan sebesar 55 kV

yang menjadi input dari EP, sebagai nilai minimum adalah tegangan onset corona, tegangan onset corona dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$V_c = 3100 \frac{m\partial}{\partial_s}\left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{[\partial R_1 / \partial_s]}}\right) R_1 \ln {R_2}/{R_1}$$

Dengan nilai untuk masing – masing sama dengan nilai yang digunakan pada subbab 4.3.2.1.sehingga nilai dari tegangan kritis dapat diperhitungkan :

$$V_c = 3100 \times 0.03 \times 0.92 \left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{[7 \cdot 10^{-4} \times 0.03]}}\right) 7 \cdot 10^{-4} \ln {14 \cdot 10^{-2}}/{7 \cdot 10^{-4}}$$

$$V_c = 85.56 \left(1 + \frac{0{,}301}{4.58 \cdot 10^{-3}}\right) 7 \cdot 10^{-4} \ln 200$$

$$V_c = 21.65 kV$$

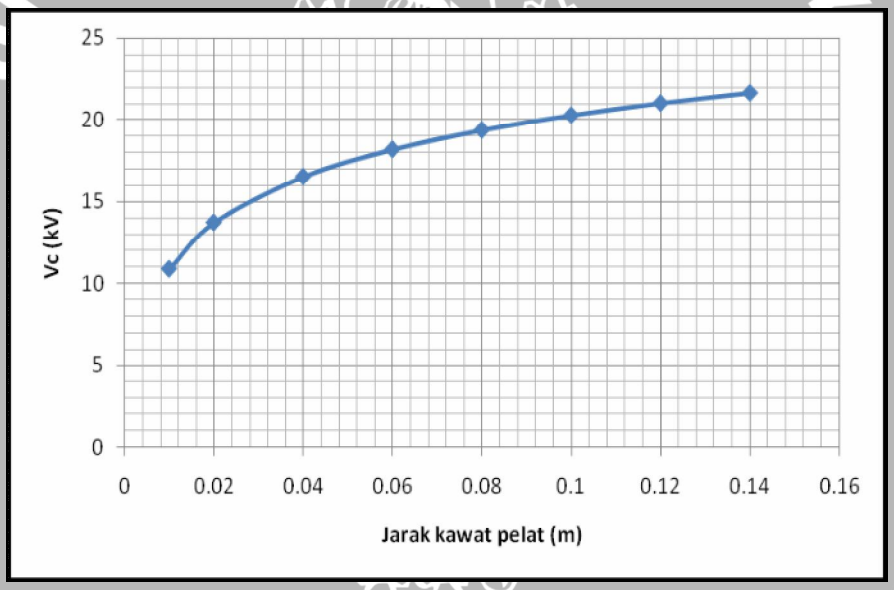
Tegangan kritis adalah tegangan minimum yang diperlukan untuk membangkitkan korona, untuk kondisi sesuai dengan spesifikasi awal, dengan jarak kawat pelat 14 cm, maka tegangan minimum atau tegangan kritis yang diperlukan untuk membangkitkan korona adalah sebesar 21.65 kV, jika terjadi perubahan jarak kawat pelat maka tegangan kritis ini akan berubah. Perubahan ini akan ditabelkan pada tabel 4.6. berikut ini.

Table 4.6. Pengaruh perubahan jarak sela (R_2) terhadap tegangan onset korona (Vc)

Ec (kV)	R1(m)	R2(m)	Vc (kV)
5836.14	0.0007	0.01	10.86386971
5836.14	0.0007	0.02	13.6955825
5836.14	0.0007	0.04	16.52729529
5836.14	0.0007	0.06	18.18374109
5836.14	0.0007	0.08	19.35900808
5836.14	0.0007	0.1	20.27061599
5836.14	0.0007	0.12	21.01545388
5836.14	0.0007	0.14	21.64520534

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas didapatkan tegangan kritis V_C semakin berkurang dengan berkurangnya jarak R2, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.17. yang tampak bahwa tegangan kritis atau tegangan onset korona turun seiring perubahan jarak sela. Pada prakteknya di lapangan, setelah maintenance ada kemungkinan terdapat beberapa titik dari *discharge electrode* (DE) yang melengkung sehingga jaraknya kurang dari 14 cm, pada titik inilah akan terjadi korona terlebih dahulu dibandingkan titik yang lain pada saat EP mulai dioperasikan. Sebagai contoh dari table 4.6. seandainya jarak sela antar DE dan CP adalah 8 cm bisa dikarenakan DE melengkung sehingga mendekati CP atau sebaliknya, maka tegangan yang diperlukan untuk terjadinya korona adalah sebesar 19.35 kV.



Gambar 4.17. Pengaruh perubahan jarak sela (R_2) terhadap tegangan onset korona (Vc)

Sumber : Hasil Perhitungan

Tegangan kritis ini akan semakin kecil jika jarak sela mengecil,jika jarak sela ini menjadi hanya 4 cm maka dengan tegangan sebesar 16.5 kV sudah terjadi korona. Jika korona lebih cepat terjadi maka ada kemungkinan pada nilai tegangan tertentu lebih cepat terjadi tembus sebelum tercapai tegangan nominal sebesar 55 kV.

4.3.4. Perhitungan efisiensi

Perhitungan efisiensi dilakukan untuk menemukan seberapa jauh pergeseran atau perubahan efisiensi saat ini jika dibandingkan dengan kondisi awal. Sebagai perbandingan maka perlu dilakukan perhitungan nilai efisiensi saat kondisi awal, yakni keadaan saat seluruh bagian ESP masih sesuai dengan spesifikasi awal dan tentunya masih dalam keadaan baik dan selanjutnya dilakukan perhitungan dengan kondisi saat ini dimana beberapa bagian mungkin tidak berfungsi dengan baik atau telah mengalami beberapa perubahan sehingga berbeda dengan spesifikasi awal. Nilai efisiensi didapatkan dari rumus

$$E_f = 1 - e^{-A\omega/Vf}$$

Dengan

A = Luas plat pengumpul

Vf = Actual gas volumetric flow rate

ω = Efective migration velocity

Sesuai spesifikasi awal luasan plat pengumpul A adalah 5720 m^2, actual gas volumetric flow rate Vf adalah 2840 m^3/menit atau sama dengan 47.33 m^3/s, efisiensi ESP adalah sebesar 99,75 %, yang berarti akan didapatkan jika nilai *effective migration velocity* ω adalah sebesar :

$$E_f = 1 - e^{-A\omega/Vf}$$

$$1 - E_f = e^{-A\omega/Vf}$$

$$1 - 0{,}9975 = e^{-5720\omega/47{,}33}$$

$$2{,}5 \times 10^{-3} = e^{-120{,}35\omega}$$

$$\omega = 0{,}049 m/s$$

Dari perhitungan untuk mendapatkan nilai efisiensi sebesar 99.75%, maka nilai

effective migration velocity ω adalah sebesar 0.049 m/s. Pada *electrostatic precipitator* (EP) di PT. Petrokimia Gresik, partikel yang akan ditangkap memiliki jari-jari partikel a_p bervariasi dengan ukuran partikel yang masuk memiliki diameter antara 1 – 6 µm, yang berarti jari – jari berkisar antara 0,5 µm – 2 µm, sedangkan konstanta dielektrik ϵ untuk gypsum (CaSO4.2H2O) adalah 5,6. Permitifitas ruang hampa ϵ_0 adalah 8,86 x 10-12 , *gas viscosity* v 1.83 x 10^{-4} kg/ms , E_o adalah kuat medan awal untuk membangkitkan korona dari perhitungan pada subbab 4.3.2.1. sebesar 5,836 MV/m ,medan elektrik pada elektroda pengumpul E_p didapat dengan perhitungan kuat medan minimum, yakni pada pelat yang dikebumikan atau pelat pengumpul, dari perhitungan pada subbab 4.3.2.2. yakni sebesar 74.147 kV/m. nilai migration velocity dapat dihitung sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2a_p \epsilon \epsilon_0 E_0 E_p}{(\epsilon+2)v}$$

$$\omega = \frac{2a_p 5.6 \times 8.86 \cdot 10^{-12} \times 5.8 \cdot 10^6 \times 74.14 \cdot 10^3}{(5.6+2)1.83 \cdot 10^{-4}}$$

$$\omega = \frac{42.67 a_p}{1.39 \cdot 10^{-12}}$$

Selanjutnya nilai migration velocity ini akan dipengaruhi oleh ukuran partikel yang beragam, sebagai contoh, untuk partikel dengan ukuran ap 0.5µm maka besarnya migration velocity adalah :

$$\omega = \frac{42.67 \times 0.0000005}{1.39 \cdot 10^{-12}}$$

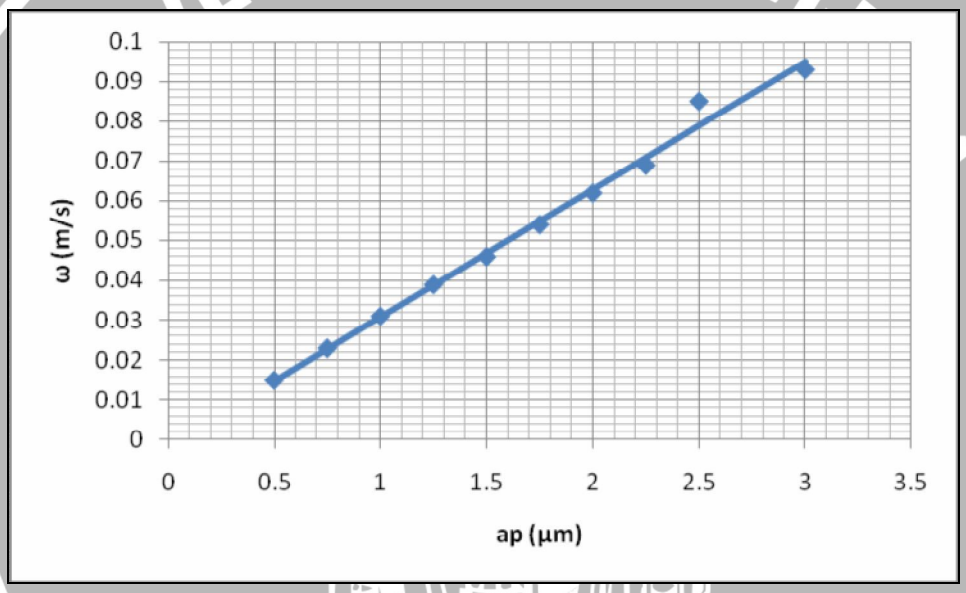
$$\omega = 0.015\, m/s$$

Ukuran partikel tentunya tidak mungkin seragam, atau sama, ukuran akan berbeda – beda, Perbedaan ukuran partikel akan berpengaruh terhadap *migration velocity* yang selanjutnya akan mempengaruhi efisiensi. Hubungan antara ukuran partikel dengan *migration velocity*, dapat dilihat pada table 4.7. berikut ini :

Table 4.7. Perhitungan pengaruh radius partikel terhadap *migration velocity*

ap (m)	∈	∈o x 10^{12}	Eo (v/m)	Ep (v/m)	N (kg/ms)	ω
0.0000005	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.015
0.00000075	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.023
0.000001	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.031
0.00000125	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.039
0.0000015	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.046
0.00000175	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.054
0.000002	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.062
0.00000225	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.069
0.00000275	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.085
0.000003	5.6	8.86	5836142.59	74150	0.000183	0.093

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.18. Hubungan radius partikel terhadap *migration velocity.*

Sumber : Hasil Perhitungan

Effective migration velocity (EMV) akan berpengaruh terhadap kecepatan partikel menuju collecting plate (CP), semakin besar nilai EMV, maka akan semakin cepat pula partikel mencapai CP sehingga semakin cepat tertangkap, dari gambar 4.18 diatas terlihat bahwa ukuran partikel akan berpengaruh terhadap *Effective migration velocity* (EMV). Semakin besar partikel maka effective migration velocity-nya akan semakin besar, hal ini tentunya akan berpengaruh juga secara langsung terhadap effisensi penangkapan dari ESP, sehingga selanjutnya dilakukan perhitungan pengaruh ukuran partikel terhadap effisensinya, untuk ukuran partikel 0.5 µm, yang memiliki nilai

migration velocity-nya adalah sebesar 0.015438 m/s, sehingga effisensinya adalah sebesar :

$$E_f = 1 - e^{-A\omega / Vf}$$

$$E_f = 1 - e^{-5720 \times 0.015438 / 47..33}$$

$$E_f = 1 - e^{-1.8657}$$

$$E_f = 0.845212$$

$$E_f = 84.52\%$$

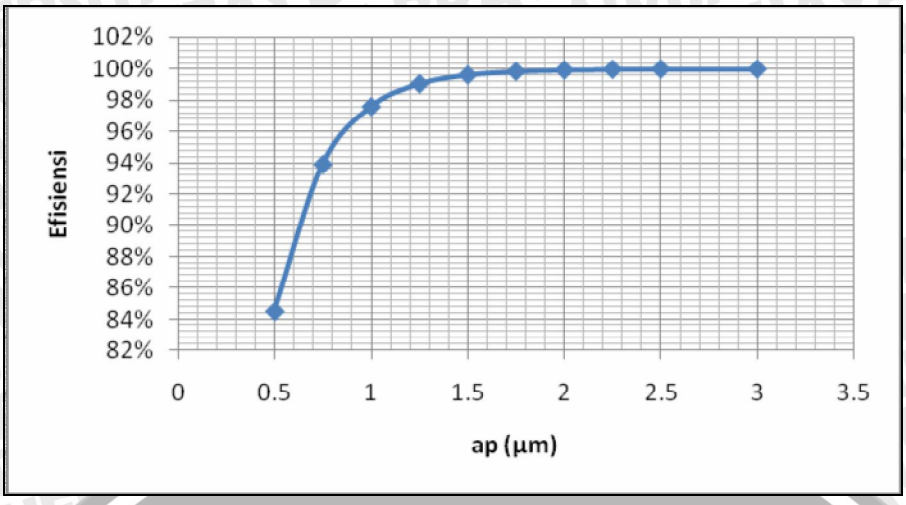
Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai effisiensi, dengan ukuran partikel yang berbeda-beda, dan nilai migration velocity berbeda pula, dari perhitungan didapatkan hasil yang kemudian ditabelkan. Tabel 4.8. dibawah ini adalah tabel pengaruh ukuran partikel terhadap migration velocity dan efisiensinya.

Table 4.8. Hubungan antara ukuran partikel terhadap efisiensi *electrostatic precipitator*

Ap (m)	ω (m/s)	A (m^2)	Vf (m^3/s)	η
0.0000005	0.015438	5720	47.33	84.52%
0.00000075	0.023157	5720	47.33	93.91%
0.000001	0.030876	5720	47.33	97.60%
0.00000125	0.038595	5720	47.33	99.06%
0.0000015	0.046314	5720	47.33	99.63%
0.00000175	0.054033	5720	47.33	99.85%
0.000002	0.061752	5720	47.33	99.94%
0.00000225	0.069471	5720	47.33	99.98%
0.00000275	0.08491	5720	47.33	100.00%
0.000003	0.092629	5720	47.33	100.00%

Sumber : Hasil Perhitungan

Karena ukuran partikel yang bervariasi, maka nilai EMV akan berbeda – beda demikian pula dengan nilai efisiensi, untuk itu digunakan nilai rata-rata untuk ukuran partikel, yakni sebesar 1.68 x 10^{-6} dan nilai EMVnya adalah 0.051, sehingga nilai efisiensi untuk spesifikasi awal sebelum terjadi perubahan pada EP adalah sebesar 99.81%.



Gambar 4.19. Hubungan antara ukuran partikel terhadap efisiensi *electrostatic precipitator*

Sumber : Hasil Perhitungan

Akan tetapi seiring berjalannya waktu terjadi beberapa perubahan dari spesifikasi awal, yakni perubahan ukuran luasan *collecting plate*, *volumetric flow*, serta terjadinya penurunan tegangan yang akan mempengaruhi nilai efisiensi, pengaruh dari perubahan-perubahan factor tersebut terhadap penurunan efisensi akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.3.4.1. Perubahan Tegangan

Tegangan pada electrostatic precipitator (EP) besar pengaruhnya terhadap proses pemuatan dan pengumpulan partikel, tegangan yang ada pada EP akan menimbulkan korona pada discharge electrode (DE) sehingga dapat memuati partikel serta dapat menghasilkan medan yang dapat mempengaruhi partikel untuk bergerak menuju collecting plate (CP). Tegangan pada EP adalah sebesar 55kV, perubahan tegangan pada EP akan menyebabkan perubahan effisiensi EP, tetapi yang perlu diperhatikan pula disini adalah tegangan tidak boleh kurang dari tegangan onset corona yang didapatkan perhitungan pada bab 4.3.3. sebesar 21.65 kV, apabila tegangan kurang dari nilai tersebut maka tidak terjadi korona. Akan tetapi perlu diperhatikan juga tabel 4.4. bahwa ada kemungkinan tegangan kritis ini dibawah 21.65 kV, dikarenakan adanya perubahan jarak sela.

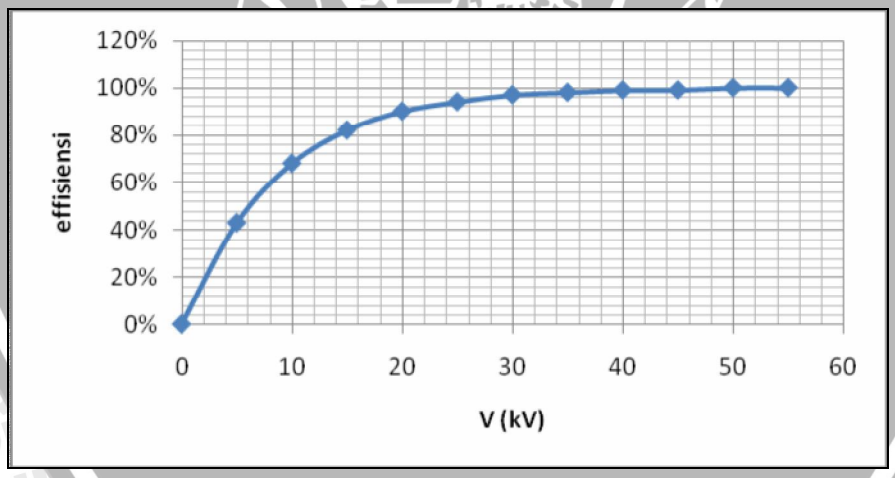
Perubahan pada tegangan akan mengakibatkan perubahan pada kuat medan pada elektroda pengumpul, dan selanjutnya akan mempengaruhi nilai *effective migration velocity* (EMV), perubahan EMV akan berakibat perubahan effisensi dari EP. Hubungan antara perubahan nilai tegangan terhadap perubahan effisiensi adalah sebagai berikut :

Table 4.9. Perubahan tegangan terhadap perubahan effisensi awal EP

V (V)	Ep (v/m)	ω (m/s)	A (m^2)	Vf (m^3/s)	η
0	0	0	5720	47.33	0
5000	6740.684	0.004701449	5720	47.33	43.34%
10000	13481.37	0.009402899	5720	47.33	67.90%
15000	20222.05	0.014104348	5720	47.33	81.81%
20000	26962.74	0.018805798	5720	47.33	89.69%
25000	33703.42	0.023507247	5720	47.33	94.16%
30000	40444.11	0.028208696	5720	47.33	96.69%
35000	47184.79	0.032910146	5720	47.33	98.12%
40000	53925.48	0.037611595	5720	47.33	98.93%
45000	60666.16	0.042313045	5720	47.33	99.39%
50000	67406.84	0.047014494	5720	47.33	99.65%
55000	74147.53	0.051715944	5720	47.33	99.80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel 4.7. diatas, dapat dilihat terjadinya perubahan efisiensi dari EP, nilai yang didapat dari tabel diatas selanjutnya dimasukkan kedalam sebuah grafik sehingga lebih mudah untuk melihat terjadinya perubahan efisiensi, dan bentuk grafik dari tabel 4.7. ditunjukkan pada gambar 4.20 dibawah ini :



Gambar 4.20. Perubahan tegangan terhadap perubahan effisensi awal EP

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari gambar 4.20. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan efisiensi sebanding dengan penurunan tegangan, pada tegangan antara 45 kV hingga 25 kV penurunan efisiensi yang terjadi tidak terlalu signifikan, akan tetapi pada tegangan sekitar 20 kV baru terjadi penurunan efisiensi yang drastis, hal ini dikarenakan tegangan yang ada kurang dari tegangan onset korona, sehingga tidak adanya peluahan korona yang cukup

atau bahkan tidak timbulnya korona sehingga tidak adanya cukup muatan untuk memuati partikel – partikel gypsum yang akan ditangkap oleh *collecting plate* (CP). Dari kondisi awal ini masih perlu dikaji lebih lanjut dampak perubahan beberapa bagian EP dan pengaruhnya terhadap efisiensi EP.

4.3.4.2. Perubahan Tegangan dan Luasan Plat Pengumpul

Electrostatic precipitator (EP) yang ada di PT. Petrokimia Gresik sebelumnya memiliki luasan pelat pengumpul sebesar 5720 m^2, yang didapatkan dari kondisi awal dimana plat pengumpul memiliki ukuran masing – masing pelat yakni tinggi = 10.3 m, dan lebar = 2.985 m, sehingga luasan collecting plate adalah

A = ((luas masing-masing pelat) x sisi pelat x jumlah pelat x jumlah kompartemen)

$$A = ((2.985 \times 10.3) \times 2 \times 31 \times 3) = 5719.66\ m^2 \approx 5720\ m^2$$

Luasan ini adalah kondisi awal saat collecing plate (CP) belum mengalami perubahan, dimana *sparepart* CP dengan spesifikasi ini diimpor langsung dari Jepang, sehingga spesifikasi bentuk, ukuran dan material akan sesuai dengan spesifikasi awal. Akan tetapi lama-kelamaan suku cadang yang diimpor langsung dari Jepang ini tidak lagi ekonomis, karena harganya yang terus meningkat, maka dilakukan perubahan yakni dengan menggunakan pelat besi dengan ukuran dan bentuk yang diusahakan menyerupai desain awal. Akan tetapi terdapat beberapa kendala antara lain mesin press yang digunakan untuk membentuk hanya terbatas pada ukuran lebar 1 meter dan panjang pelat maksimal 9 meter, sehingga untuk sekali press akan didapat lebar masing – masing pelat adalah 1 m dan tinggi 9 m, kemudian disusun menjadi berukuran 3 x 9 meter. Sehingga luasan permukaan pengumpul akan menjadi :

A = ((luas masing-masing pelat) x sisi pelat x jumlah pelat x jumlah kompartemen)

$$A = ((3 \times 9) \times 2 \times 31 \times 3) = 5022\ m^2$$

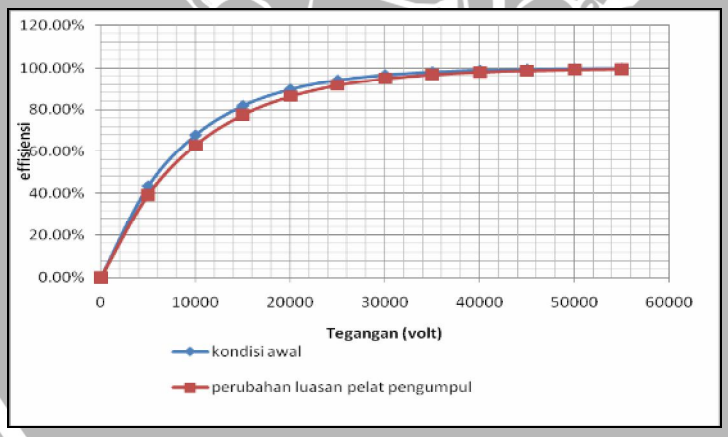
Perubahan ukuran luasan plat pengumpul serta pengaruhnya terhadap effisiensi dapat ilihat pada table 4.10. berikut :

Table 4.10. Perubahan luasan CP dan pengaruhnya terhadap effisensi

V (kV)	Ep (v/m)	ω (m/s)	A (m^2)	Vf (m^3/s)	η awal	η
0	0	0	5022	47.33	0%	0%
5000	6740.684	0.004701	5022	47.33	43.34%	39.27%
10000	13481.37	0.009403	5022	47.33	67.90%	63.12%
15000	20222.05	0.014104	5022	47.33	81.81%	77.61%
20000	26962.74	0.018806	5022	47.33	89.70%	86.40%
25000	33703.42	0.023507	5022	47.33	94.16%	91.74%
30000	40444.11	0.028209	5022	47.33	96.69%	94.98%
35000	47184.79	0.03291	5022	47.33	98.13%	96.95%
45000	60666.16	0.042313	5022	47.33	99.40%	98.87%
50000	67406.84	0.047014	5022	47.33	99.66%	99.31%
55000	74147.53	0.051716	5022	47.33	99.81%	99.58%

Sumber : Hasil Perhitungan

Perubahan luasan CP ternyata tidak terlalu berpengaruh banyak terhadap penurunan efisensi, dapat dilihat dari grafik bahwa perbedaan efisiensi tidak terlalu berbeda jauh, apabila dibandingkan efisiensi awal dengan efisiensi EP setelah terjadi perubahan pada CP dari table 4.8. dapat dihitung, perbedaan efisensi yang paling besar terjadi pada nilai tegangan sekitar 10 kV, perbedaan itu sebesar 67.9% - 63.12% = 4.78%. selebihnya perbedaan effisensi hanya berkisar pada nilai 0.2 % - 4 %.



Gambar 4.21. Perubahan luasan CP dan pengaruhnya terhadap effisensi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perubahan luasan CP pada EP di PT Petrokimia Gresik tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan effisensi hingga mencapai kurang dari 50%.

4.3.4.3. Perubahan Tegangan dan Volume Flow

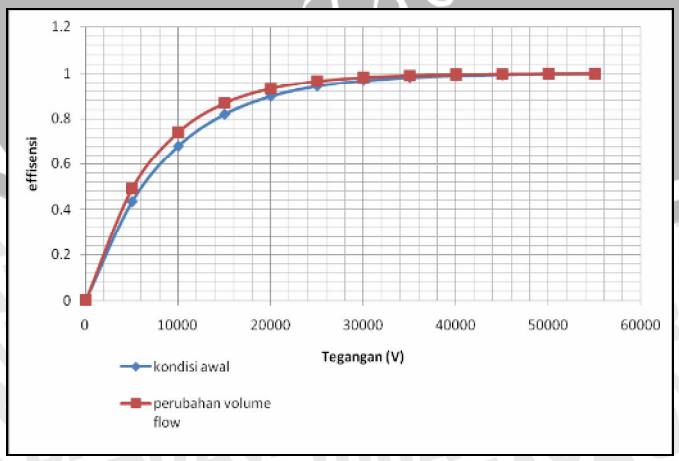
Selain perubahan luasan collecting plate (CP), pada electrostatic precipitator (EP) di P.T. Petrokimia Gresik juga terjadi perubahan *Volume flow*, atau jumlah gas yang mengalir ke dalam EP. Kondisi awal *volume flow* adalah sebesar 2840 m^3/menit atau sama dengan 47.33 m^3/detik, sedangkan kondisi saat ini *volume flow* adalah sebesar 143500 m^3/jam atau sama dengan 39.86 m^3/detik. Artinya telah terjadi penurunan volume flow, yang dapat diduga akan terjadi peningkatan efisiensi, tetapi akan lebih jelas lagi ditunjukkan pada table 4.9.

Table 4.11. Pengaruh perubahan volume flow terhadap effisensi

V (kV)	Ep (v/m)	ω (m/s)	A (m^2)	Vf (m^3/s)	η	V (kV)
0	0	0	5720	39.86	0%	0
5000	6740.684	0.004701	5720	39.86	43.34%	49.06%
10000	13481.37	0.009403	5720	39.86	67.9%	74.05%
15000	20222.05	0.014104	5720	39.86	81.81%	86.78%
20000	26962.74	0.018806	5720	39.86	89.69%	93.27%
25000	33703.42	0.023507	5720	39.86	94.16%	96.57%
30000	40444.11	0.028209	5720	39.86	96.69%	98.25%
40000	53925.48	0.037612	5720	39.86	98.93%	99.54%
50000	67406.84	0.047014	5720	39.86	99.65%	99.88%
55000	74147.53	0.051716	5720	39.86	99.8%	99.94%

Sumber : Hasil perhitungan

Dari grafik 4.22. ternyata memang terdapat peningkatan efisiensi dari EP setelah mengalami perubahan *volume flow*, karena semakin sedikit partikel gas yang memasuki EP maka akan semakin besar kemungkinan mendapat muatan dan kemudian ditangkap oleh *collecting plate*. Perbedaan efisiensi seperti terlihat pada gambar 4.22. berkisar antara 0.14 % - 6.15 %.



Gambar 4.22. Pengaruh perubahan volume flow terhadap effisensi

Sumber : Hasil perhitungan

Grafik dan table diatas didapatkan pada perubahan *volume flow* dengan kondisi luasan collecting plate tetap. Maka selanjutnya akan dikaji sejauh mana perubahan pada efisensi EP setelah terjadi perubahan luasan CP dan perubahan volume flow pada EP.

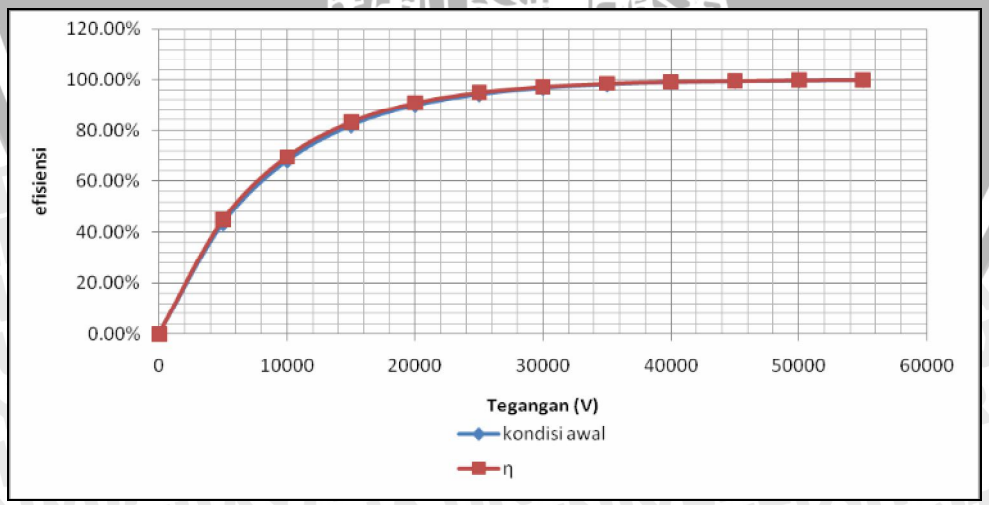
4.3.4.4. Perubahan Tegangan, Luasan *Collecting plate*, dan *Volume Flow*

Setelah melakukan perhitungan terhadap masing – masing bagian yang mengalami perubahan pada Electrostatic precipitator (EP), pada subbab ini akan dilakukan perhitungan pengaruh perubahan ketiga factor tersebut untuk menemukan sejauh mana perubahan effisiensi saat ini. Dan setelah dilakukan perhitungan didapat table 4.10. sebagai berikut

Tabel 4.12. Pengaruh perubahan tegangan, luasan *collecting plate* dan *volume flow*

V (kV)	Ep (v/m)	ω (m/s)	A (m^2)	Vf (m^3/s)	η	V (kV)
0	0	0	5022	39.86	0.00%	0.00%
5000	6740.684	0.004701	5022	39.86	43.34%	44.70%
10000	13481.37	0.009403	5022	39.86	67.90%	69.42%
20000	26962.74	0.018806	5022	39.86	89.70%	90.65%
30000	40444.11	0.028209	5022	39.86	96.69%	97.14%
40000	53925.48	0.037612	5022	39.86	98.94%	99.13%
50000	67406.84	0.047014	5022	39.86	99.66%	99.73%

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.23. Pengaruh perubahan tegangan, luasan *collecting plate* dan *volume flow*

Sumber : Hasil perhitungan

Dari table dan grafik diatas, dapat dianalisa bahwa kolaborasi antara perubahan luasan plat pengumpul dan perubahan volume flow, ternyata tidak berpengaruh terhadap penurunan efisensi dari electrostatic precipitator (EP). Efisiensi EP bahkan cenderung sama dengan kondisi awal, bahkan cenderung lebih baik. Dapat dilihat pada table untuk kondisi tegangan sesuai kondisi awal 55 kV, efisiensi bahkan lebih baik dari kondisi awal yang hanya sebesar 99.81%, mengalami peningkatan sebesar 0.4 % menjadi 99.85%. yang artinya penyebab penurunan efisensi bukan dikarenakan oleh perubahan spesifikasi luasan plat pengumpul ataupun volume flow. Dari table terlihat bahwa yang memegang pernana penting terhadap penurunan efisensi adalah penurunan tegangan, untuk itu langkah selanjutnya adalah menganalisa penyebab penurunan tegangan pada EP.

4.3.5. Analisa Penurunan Tegangan

Penurunan tegangan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap penurunan efisiensi pada *electrostatic precipitator* (EP), untuk itu perlu diteliti lebih lanjut penyebab penurunan tegangan, sehingga didapatkan solusi atas masalah penurunan tegangan pada EP sekaligus penurunan efisiensi pada EP.

4.3.5.1. Analisa Penurunan Tegangan Pada Insulator

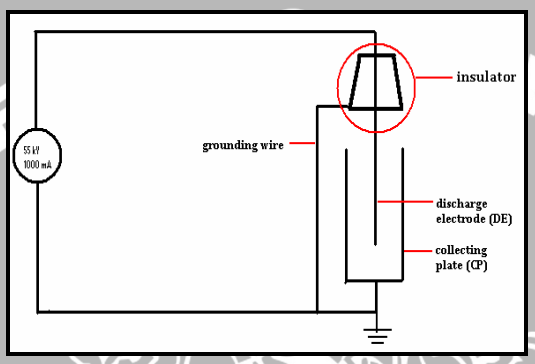
Pada spesifikasi awal EP memiliki spesifikasi tegangan sebesar 55kV, dan arus sebesar 1000 mA, dengan spesifikasi seperti semula diharapkan didapatkan korona yang optimal, sehingga proses pemuatan dan penangkapan partikel dapat berjalan dengan baik, dan efisiensi sesuai dengan yang diharapkan, tetapi pada kenyataannya nilai tegangan dan arus tidak sesuai dengan spesifikasi awal, sehingga dilakukan analisis terhadap data arus dan tegangan EP seperti yang tercantum pada table 4.11. dibawah ini.

Table 4.11. Data pencatatan arus dan tegangan EP

No.	Tanggal	Kompartemen 1		Kompartemen 2		Kompartemen 3	
		kV(DC)	mA	kV(DC)	mA	kV(DC)	mA
1	4/3/2009	45	280	45	430	45	450
2	11/3/2009	12	280	22	428	45	450
3	18/3/2009	8	240	23	397	43	430
4	25/3/2009	8	260	22	398	45	445
5	1/4/2009	8	280	20	394	40	440
6	8/4/2009	8	280	12	396	35	440
7	15/4/2009	6	280	12	400	27	450
8	22/4/2009	2	280	10	400	10	460
9	29/4/2009	0	0	5	400	5	450
10	6/5/2009	0	0	3	380	5	460

Sumber : PT. Petrokimia Gresik

Data pada table diatas dipilih pada kondisi awal EP sesaat setelah maintenance pada tanggal 3/3/2009, sehingga data tegangan dan arus adalah yang pertama kali terbaca, dapat terlihat nilai tegangan pada kompartemen 1 adalah sebesar 45 kV dan arus hanya sebesar 280 mA, pada kompartemen 2 tegangan awal 45 kV dan arusnya hanya sebesar 430 mA, pada kompartemen 3 kondisi tegangan sebesar 45 kV dan arus mencapai 450 mA, sehingga didapat kesimpulan bahwa telah terjadi penurunan nilai tegangan dan arus pada saat mulai dioperasikan pada tanggal 4/3/2009.



Gambar 4.24. Bagian – bagian EP
Sumber : Hasil analisis

Karena hasil pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik menunjukkan tidak ada masalah terhadap trafo dan rectifier unit, maka analisa penurunan arus dan tegangan mengarah kepada insulator unit yang berfungsi sebagai penyangga *discharge electrode* (DE) sekaligus sebagai isolator, yang ditunjukkan pada gambar 4.23.

Dari gambar 4.23. dapat dilihat bahwa kemungkinan terjadi arus bocor pada *insulator* adalah melalui dinding *insulator*, atau dapat disebut arus konduksi yang kemudian mengalir menuju *grounding wire* atau kawat pengetanahan, arus bocor yang melewati insulator ini selanjutnya kita sebut I_{BI} (I bocor insulator). Besarnya arus bocor ini bervariasi dan berbeda – beda pada masing – masing kompartemen. Pada kompartemen 1 tegangan pada kondisi awal adalah 45 kV dan arusnya hanya sebesar 280 mA, dengan demikian ada ΔV dan ΔI, yakni sebesar :

ΔV_1 = 55kV – 45 kV = 10 kV

ΔI_1 = 1000 mA – 280 mA = 720 mA

Pada kompartemen 2 tegangan pada kondisi awal adalah 45 kV dan arusnya hanya sebesar 430 mA, dengan demikian ada ΔV dan ΔI, yakni sebesar :

ΔV_2 = 55kV – 45 kV = 10 kV

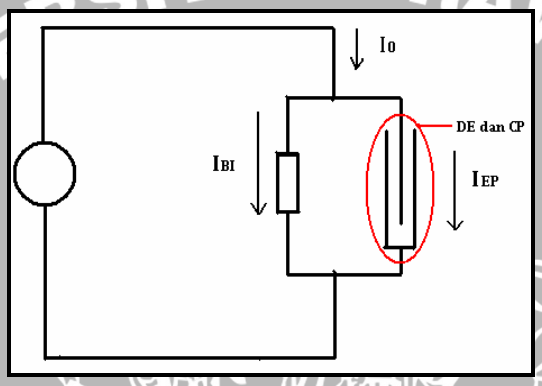
ΔI_2 = 1000 mA – 430 mA = 570 mA

Pada kompartemen 3 tegangan pada kondisi awal adalah 45 kV dan arusnya hanya sebesar 450 mA, dengan demikian ada ΔV dan ΔI, yakni sebesar :

ΔV_3 = 55kV – 45 kV = 10 kV

ΔI_3 = 1000 mA – 450 mA = 550 mA

Arus bocor disebabkan karena adanya arus konduksi yang melewati insulator, yang menandakan insulator tidak dapat mengisolasi dengan baik, sehingga terjadi drop tegangan yang berarti akan mengurangi efisiensi EP. Arus bocor yang melalui insulator ini dapat digambarkan dalam sebuah diagram berikut ini.



Gambar 4.25 Diagram arus yang melalui EP
Sumber : Hasil analisis

Dengan adanya drop tegangan dan kebocoran arus maka, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap kondisi insulator serta kemampuannya untuk menahan arus konduksi, karena selama ini insulator hanya akan diganti jika penampilan fisik terlihat terjadi kerusakan berupa retak atau pecah. Pengujian terhadap kemampuan insulator hanya mengacu kepada hasil meger yakni sebesar 50MΩ, yang dirasa masih kurang dapat mewakili kemampuan insulator untuk menahan arus konduksi sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan menghindari jatuh tegangan yang cukup besar pada insulator.

4.3.5.2. Analisa Penurunan Tegangan Pada DE dan CP

Permasalahan penurunan tegangan tidak hanya berhenti pada bagian insulator, akan tetapi pada proses produksi, seiring berjalannya waktu, ternyata terjadi penurunan tegangan yang cukup signifikan pula yang terjadi pada *discharge* dan *collecting unit*. Pada bagian ini telah terjadi penurunan tegangan yang cukup besar, bahkan hingga mencapai nilai tegangan 0 kV dan arus mencapai 0 mA. Dari data pada table 4.11.,

maka akan dilakukan analisa penurunan tegangan yang terjadi pada bagian internal dari EP ini, yakni membandingkan data arus dan tegangan seperti yang ditabelkan pada table 4.14. berikut ini.

Table 4.14. Perbandingan tegangan dan arus pada masing – masing kompartemen

No.	Tanggal	Kompartemen 1				Kompartemen 2				Kompartemen 3			
		kV (DC)	IEP (mA)	ΔV (v)	REP (kΩ)	kV (DC)	IEP (mA)	ΔV (v)	REP (kΩ)	kV (DC)	IEP (mA)	ΔV (v)	REP (kΩ)
1	4/3/2009	45	280	10	36	45	430	10	23	45	450	10	22
2	11/3/2009	12	280	43	154	22	428	33	77	45	450	10	22
3	18/3/2009	8	240	47	196	23	397	32	81	43	430	12	28
4	25/3/2009	8	260	47	181	22	398	33	83	45	445	10	22
5	1/4/2009	8	280	47	168	20	394	35	89	40	440	15	34
6	8/4/2009	8	280	47	168	12	396	43	109	35	440	20	45
7	15/4/2009	6	280	49	175	12	400	43	108	27	450	28	62
8	22/4/2009	2	280	53	189	10	400	45	113	10	460	45	98
9	29/4/2009	0	0	55	0.000	5	400	50	125	5	450	50	111
10	6/5/2009	0	0	55	0.000	3	380	52	137	5	460	50	109

Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai R_{EP} diatas didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut, misalkan untuk kompartemen 1 pada pencatatan pada tanggal 11/3/2009, dengan nilai ΔV sebesar 43 kV, maka :

$$V = V_{awal} - \Delta V$$

$$\Delta V = V_{awal} - V$$

$$\Delta V = 55kV - 12kV$$

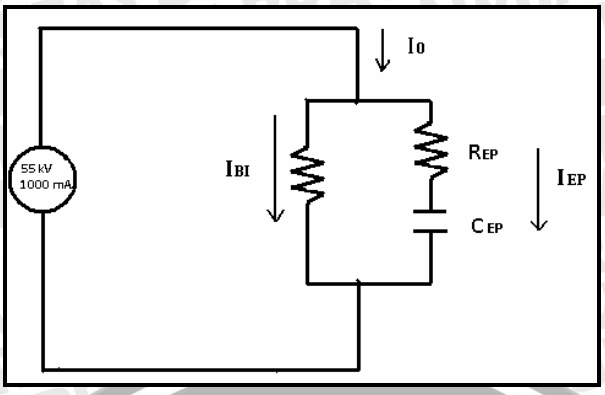
$$\Delta V = 43kV$$

$$\Delta V = I_{EP} \times R_{EP}$$

$$R_{EP} = \frac{\Delta V}{I_{EP}}$$

$$R_{EP} = \frac{43kV}{280mA} = 153571.14\Omega = 153.571k\Omega$$

Jatuh tegangan ΔV adalah besarnya tegangan bocor pada R_{EP}, yang disebabkan peningkatan resistansi R_{EP}, untuk lebih jelasnya ditunjukkan oleh rangkaian pengganti pada gambar 4.26. di bawah ini.



Gambar 4.26. Rangkaian pengganti
Sumber : Hasil analisis

Dari rangkaian pengganti diatas dapat dilakukan perhitungan terhadap tegangan bocor pada R_{EP}, yang kemudian dapat mempengaruhi besarnya tegangan EP. Rangkaian pengganti EP dapat digambarkan dengan hubungan seri antara R_{EP} dengan C_{EP},dan arus yang melalui EP adalah I_{EP}, sehingga perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

$$ZR_{EP} = R_{EP}$$

$$ZC_{EP} = 1/C_{EP}$$

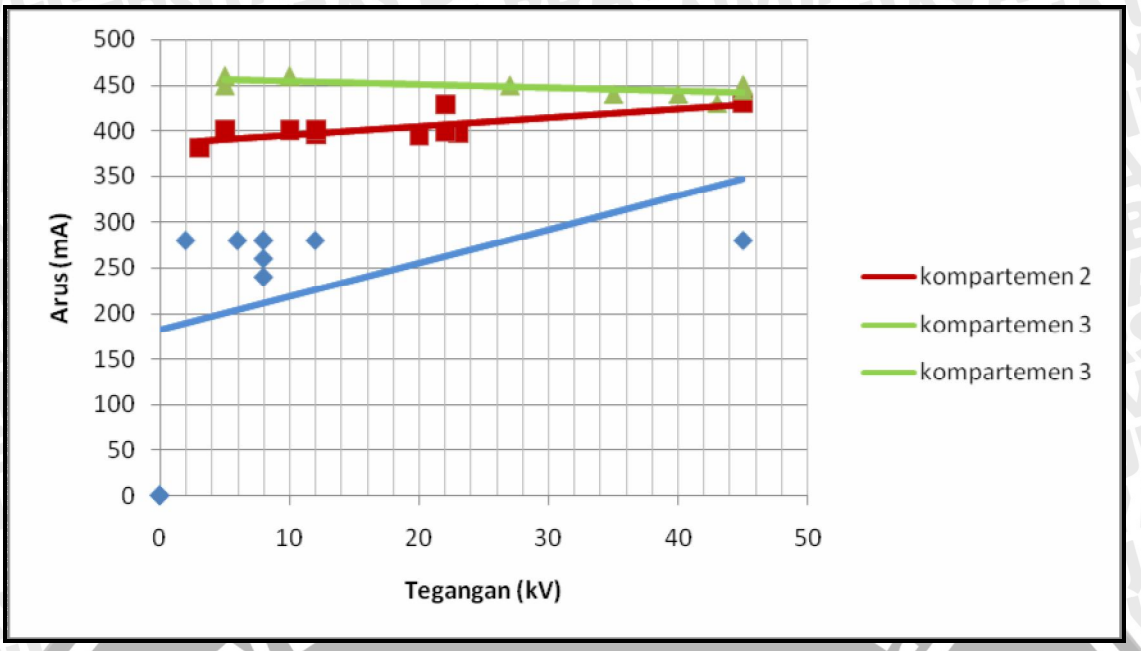
Sehingga besarnya impedansi total adalah :

$$Z_s = ZR_{EP} + ZC_{EP}$$

Besarnya tegangan bocor (ΔV) pada R_{EP} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta V = (ZR_{EP} / Z_s) * V$$

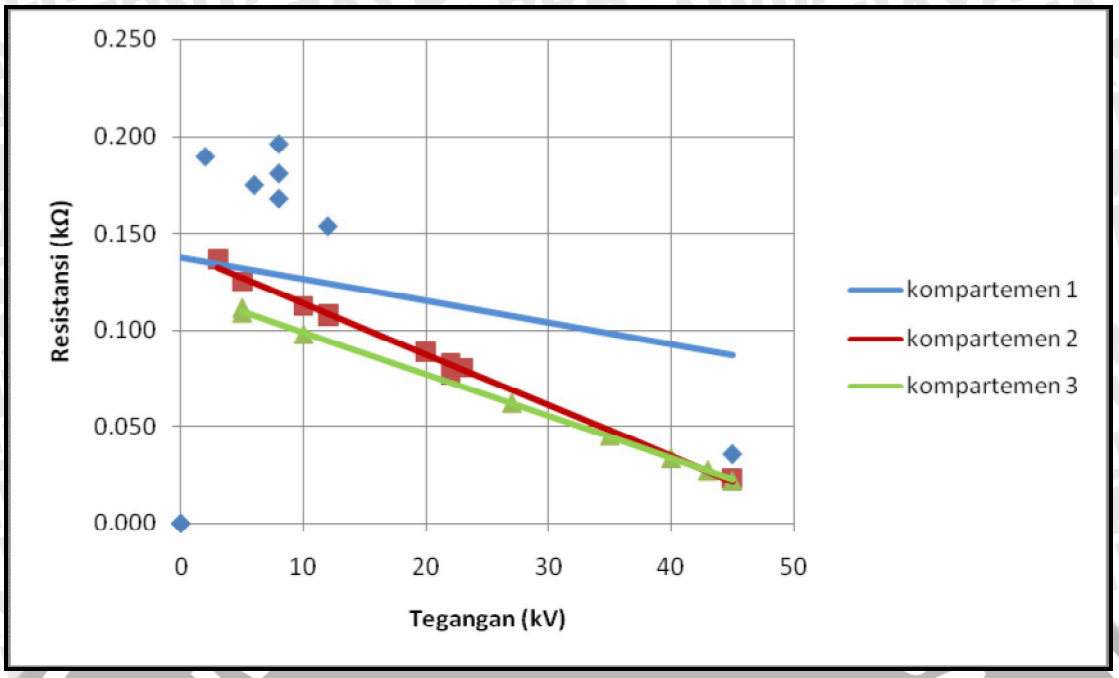
Dari persamaan diatas ,dapat disimpulkan bahwa dengan peningkatan ZR_{EP} = R_{EP} pada keadaan I_{EP} yang relative konstan, maka akan terjadi peningkatan tegangan bocor pada EP, dan selanjutnya akan terjadi penurunan nilai tegangan pada EP, yang akan berpengaruh terhadap effisiensi EP, untuk lebih jelasnya data dimasukkan kedalam grafik pada gambar 4.27. berikut ini :



Gambar 4.27. Perbandingan tegangan dan arus pada masing – masing kompartemen
Sumber : Hasil analisis

Dari data table dan grafik diatas, bisa dilihat bahwa perubahan tegangan yang cukup signifikan tidak diiikuti pula oleh perubahan arus, perubahan arus tidak terlalu besar dan cencerung mendekati nilai awal arus, seperti pada kompartemen 1 pada saat tegangan awal sebesar 45 kV, memiliki arus sebesar 280 mA, selanjutnya saat tegangan turun mencapai 12 kV, arus masih tetap pada kisaran 280 mA, bahkan saat tegangan turun cukup drastic hingga mencapai 8 kV, arus hanya berada pada kisaran 240 – 280 mA. Pada kompartemen 2 saat tegangan awal 45 kV memiliki arus sekitar 430 mA, saat terjadi penurunan tegangan sebesar 40 kV dan tegangan menjadi 5 kV, arusnya masih berada pada nilai 400 mA, yang berarti tidak terjadi penurunan atau kenaikan yang cukup banyak seiring dengan penurunan tegangan. Hal yang serupa juga terjadi pada kompartemen 3, pada kondisi awal tegangan 45 kV dan arus 450 mA, saat terjadi penurunan hingga mencapai tegangan hanya sebesar 5 kV, arusnya tetap antara 450 – 460 mA.

Dari data yang ada diatas maka dilakukan analisa terhadap resistansi yang mungkin timbul pada masing – masing kompartemen. Seperti ditunjukkan pada table 4.12, dan selanjutnya hasil dari resistansi itu kemudian dimasukkan kedalam diagram, dan dapat dilihat pada gambar 4.28. berikut ini.



Gambar 4.28. Hubungan penurunan tegangan terhadap resistansi
Sumber : Hasil analisis

Pada gambar 4.28. dapat terlihat bahwa dengan menurunnya nilai tegangan terjadi peningkatan pada nilai resistansi, hal ini terjadi pada semua kompartemen, walaupun tiap kompartemen memiliki nilai yang berbeda-beda akan tetapi arahnya sama, yakni mengalami peningkatan resistansi.

Peningkatan resistansi ini dapat disebabkan karena adanya partikel gypsum yang menempel pada discharge electrode (DE), pada kondisi awal tegangan tetap yakni sebesar 45 kV dengan arus yang berbeda – beda untuk tiap – tiap kompartemen.. Pada kompartemen 1 dengan kondisi awal tegangan yang sebesar 45 kV dan arus 280 mA, selanjutnya mengalami penurunan tegangan dengan perbedaan arus yang tidak terlalu menonjol, hingga pada saat mencapai tegangan hanya sebesar 2 kV, arusnya masih berkisar pada nilai 280 mA, yang berarti telah terjadi peningkatan resistansi sebagai akibat menempelnya lapisan gypsum pada DE, penyebab menempelnya gypsum pada DE bisa bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi gypsum yang terlalu lembab atau basah, lembab atau basahnya gypsum ini dikarenakan proses pengeringan pada dryer yang kurang sempurna atau dikarenakan adanya saluran inlet atau bagian isolasi EP yang bocor sehingga memungkinkan masuknya uap air sehingga kondisi gypsum menjadi basah.

Analisa ini diperkuat dengan data inspeksi yang dilakukan bahwa saat maintenance atau membersihkan bagian dalam dari EP, terjadi timbunan pada DE

hingga menyerupai lilin, selain itu pada beberapa bagian terdapat lapisan gypsum yang terkumpul hingga ,menyerupai lumpur, mengingat sifat gypsum adalah isolator, sehingga lapisan gypsum akan menutupi DE sehingga prose discharge corona menjadi terhambat, resistansi meningkat, dan selanjutnya terjadi drop tegangan.

Kondisi seperti ini jika dibiarkan berlarut – larut, lama kelamaan lapisan yang lembab dari gypsum yang menempel pada DE maupun CP ini akan mengakibatkan korosi. Korosi pada DE akan mengakibatkan DE putus sehingga akan cenderung mendekati CP atau bahkan yang terjadi selanjutnya adalah DE menyentuh CP, sehingga terjadi hubungan singkat, arus meningkat tajam dan pengaman akan trip seperti yang terjadi pada kompartemen 1 dimana tegangan dan arus menunjukkan nilai nol kV dan 0 mA. Pada CP lapisan gypsum yang lembab ini akan menyebabkan keropos pada beberapa bagian dan saah satunya dapat terjadi pada bagian penyangga atau *supporting frame* sehingga lama kelamaan akan keropos dan CP akan terlepas, dan kemungkinan hubung singkat dapat terjadi.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan serta analisis yang sudah dipaparkan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Beberapa faktor yang dapat berpengaruh terhadap efisiensi pada *electrostatic precipitator* (EP) adalah :
   a) Perangkat kelistrikan (Thyristor unit, Trafo, *rectifier*)
   b) Isolator
   c) Kondisi *casing*
   d) Kondisi *discharge electrode (DE)*
   e) Kondisi *collecting plate (CP)*
   f) Kondisi partikel polutan (jenis, sifat, dan resistivitasnya)
2. Penurunan efisiensi pada *electrostatic precipitator* (EP) di PT. Petrokimia Gresik disebabkan karena :
   a) turunnya tegangan pada EP, yang dibuktikan pada keadaan tegangan sebesar 15 kV, terjadi penurunan effisiensi sebesar 17% sehingga effisiensi EP menjadi 83%, dan turun dengan drastis pada saat tegangan mencapai 10 kV sehingga effisiensinya hanya sebesar 69.42%.
   b) Penurunan efisiensi juga disebabkan oleh adanya perubahan spesifikasi ukuran *collecting plate* (CP) karena mengakibatkan penurunan effisiensi hingga mencapai 4.78%, yakni pada tegangan sebesar 10 kV. Penurunan tegangan yang menyebabkan penurunan effisiensi ini diakibatkan oleh adanya arus konduksi pada *insulator* dan adanya peningkatan resistansi pada DE.

3. Peningkatan effisiensi dapat dilakukan dengan :

   a) Mengganti insulator, sehingga tidak terjadi arus konduksi, yang dapat mengakibatkan jatuh tegangan pada insulator.

   b) Melakukan perawatan rutin dan perbaikan pada DE dan CP sehingga dapat memperlambat laju peningkatan resistansi pada DE dan CP

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kondisi insulator pada EP di PT. Petrokimia Gresik.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap nilai resistivitas partikel gypsum untuk mengetahui hubungan kualitas gypsum terhadap resistivitasnya dan pengaruhnya terhadap jatuh tegangan.
3. Perlu dilakukan pengujian terhadap jenis *discharge electrode* (DE) yang dipergunakan terhadap kemampuan peluahan korona dan pemuatan partikel

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Dhofir,Moch.1997.Diktat Gejala Medan Tinggi Jilid I..Malang.Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.**

Hermagasantos. Teknik Tegangan Tinggi teori dan pegangan untuk laboratorium. Jakarta. PT Rosda Jayaputra

Heumann, William L. 1997, *Industrial air pollution control system*, Mc graw hill

Kuffel,E, Zaengl, W.S, 1984, *High Voltage Engineering*, Pergamon Press, First edition

Naidu,M.S. Karmaraju,V.H, 1987, *High Voltage Engineering*, Mc GrawHill

Parker, Kenneth; Plaks, Norman 2004. *Electrostatic Precipitator (ESP) Training Manual*. United States Enviromental Protection Agency

Salam,Mazen Abdel. 2000. *High Voltage Engineering* . Newyork, Marcel Dekker,Inc.

Stern,C, Arthur; 1977,*Air Pollution Third edition volume IV engineering control of air pollution*,Academic press

Stoker, Stephen; Seager, Spencer L., 1976, *environmental chemistry air and water pollution*, scott, foresman and company

Strauss, W. 1975, *Industrial Gas Cleaning*, Pergamon Press, Second Edition

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

GAMBAR INSPEKSI EKSTERNAL ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

Gambar 1. Electrostatic precipitator (EP) di PT. Petrokimia Gresik

I. ATAP (*ROOF TOP)*

Gambar 2. Tambahan atap pada EP

Gambar 3. Lubang pada atap tambahan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4. Korosi pada bagian atap

III ISOLATOR

Gambar 5. isolator

Gambar 6. Box isolator

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

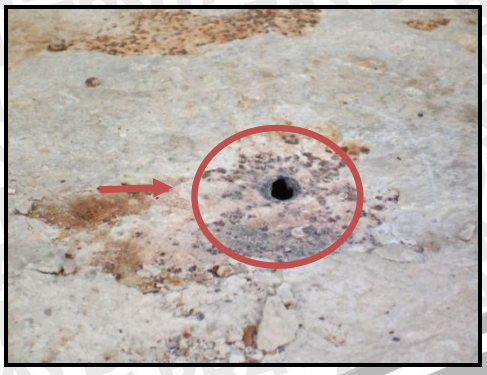
Gambar 7. Sisi bagian dalam dari isolator

Gambar 8. Kabel bertegangan DC yang menuju *discharge electrode*

IV. CASING

Gambar 8. Bagian yang sudah ditambal pada kompartemen I

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(a)

(b)

Gambar 9. lubang dan cacat pada isolasi di kompartemen II

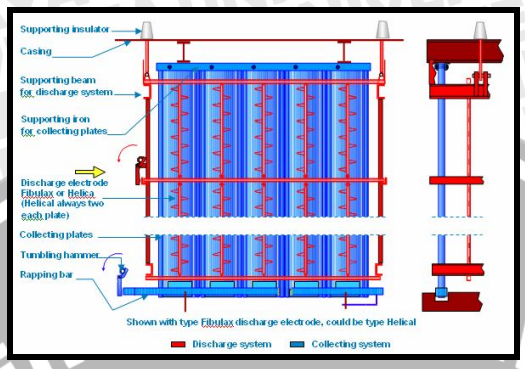
Gambar 10. lubang dan keropos pada kompartemen III

Gambar 11. bagian mainhole yang mengalami korosi.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

GAMBAR INSPEKSI INTERNAL ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

I. *DISCHARGE* DAN *COLLECTING SYSTEM*



Gambar 12. *Discharge* dan *collecting system*

Gambar 13. Bagian dalam EP

Gambar 14.Formasi *discharge electrode* (DE) dan *collecting plate*(CP)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 15. Kondisi DE yang melengkung

(a) (b)

Gambar 16. Kondisi *hanger* dari *collecting plate* (a) bengkok (b) keropos dan terlepas

II. *HAMMERING SYSTEM*

Gambar 17. Dislokasi hamerring

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA