



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SOLUSI BANGUN
INDONESIA**

**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA – PT. SOLUSI BANGUN INDONESIA
TBK CILACAP PLANT**

**OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR*
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP
OTOMATIS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

DIEGO DWI SAKTI

NIM. 2202315020

PROGRAM KERJASAMA

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA DENGAN

PT. SOLUSI BANGUN INDONESIA

JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI D3

TEKNIK MESIN

KONSENTRASI REKAYASA INDUSTRI SEMEN

CILACAP 2024/2025



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



SOLUSI BANGUN INDONESIA

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA – PT. SOLUSI BANGUN INDONESIA

OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP OTOMATIS

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Diploma III Program Studi Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri, Teknik
Mesin.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**
PROGRAM KERJASAMA

DIEGO DWI SAKTI
NIM : 2202315020

**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA DENGAN
PT. SOLUSI BANGUN INDONESIA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI D3
TEKNIK MESIN
KONSENTRASI REKAYASA INDUSTRI SEMEN
CILACAP 2024/2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR*
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP
OTOMATIS**

Oleh :
Diego Dwi Sakti
NIM. 2202315020

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing I

P. Jannus, S.T, M.T
NIP. 196304261988031004

Pembimbing II

Mungalim
NIK. 62500749

Kepala Program Studi
Diploma III Teknik Mesin

Budi Yuwono, S.T
NIP. 196306191990031002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR*
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP
OTOMATIS**

Oleh :

Diego Dwi Sakti
NIM. 2202315020

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri Semen

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir dihadapan Dewan Penguji pada tanggal 1 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Diploma III Pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri Semen Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi	Tanda Tangan	Tanggal
1.	P. Jannus, S.T, M.T NIP. 196304261988031004	Ketua		3 Juli 2025
2.	Ir Agus Sukandi, M.T NIP. 196006041998021001	Anggota		3 Juli 2025
3.	Juhartono NIK. 62200886	Anggota		3 Juli 2025

Cilacap, 3 Juli 2025

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Manager Program EVE



Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T, M.T. IWE
NIP. 197707142008121005



Gammalia Permata Devi, S.T
NIK. 62501176



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Diego Dwi Sakti
NIM : 2202315020
Program Studi : D3 Teknik Mesin

Menyatakan bahwa yang dituliskan didalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan penulisan ilmiah.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Cilacap, 3 Juli 2025

Diego Dwi Sakti
NIM. 2202315020

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PENELITIAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Diploma III Program EVE Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Diego Dwi Sakti
NIM : 2202315020
Jurusan : Teknik Mesin
Program Studi : D3 Teknik Mesin
Konsentrasi : Rekayasa Industri Semen
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada EVE, Program Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia Tbk **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP OTOMATIS

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif, EVE, Program Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), merawat, mempublikasikan penelitian saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Cilacap

Pada tanggal : 3 Juli 2025

yang menyatakan

Diego Dwi Sakti

NIM. 2202315020



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

OPTIMALISASI KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* MENGUNAKAN SISTEM KONTROL *LOOP* TERTUTUP OTOMATIS

Diego Dwi Sakti¹

¹Program Studi Rekayasa Industri Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

²(EVE Departement, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Cilacap Plant)

diegodwi.eve18@gmail.com

ABSTRAK

PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk merupakan perusahaan semen dengan kapasitas produksi mencapai 14,5 juta ton per tahun yang menghasilkan emisi debu signifikan dalam proses produksinya. Untuk mengendalikan emisi, digunakan teknologi electrostatic precipitator sebagai alat pemisah debu dari udara bersih, namun sistem di pabrik cilacap masih bersifat manual sehingga kurang efisien dalam penangkapan partikel debu dan konsumsi energi listrik dalam respon terhadap fluktuasi beban debu. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kinerja electrostatic precipitator dengan merancang sistem kontrol loop tertutup otomatis dari DCS berdasarkan umpan balik emisi debu dari cerobong, menggunakan komunikasi modbus TCP/IP. Metode yang digunakan mencakup analisis kinerja sistem kontrol manual, evaluasi parameter teknis electrostatic precipitator, serta perancangan sistem kontrol loop tertutup otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol tertutup otomatis ini mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan partikel, menurunkan konsumsi energi listrik tahunan secara signifikan, serta mengurangi kerugian produksi akibat gangguan operasi. Optimalisasi ini tidak hanya mendukung peningkatan efisiensi operasional pabrik, tetapi juga memperkuat komitmen terhadap pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: *Electrostatic Precipitator*, Emisi debu, *Automatic Closed-Loop Control*, *Distributed Control System*, Efisiensi energi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

OPTIMALIZATION OF PERFORMANCE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR USING AUTOMATIC CLOSED LOOP CONTROL SYSTEM

Diego Dwi Sakti¹

¹Industrial Engineering Study Program of the Department of Mechanical Engineering,

²(EVE Departement, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Cilacap Plant)

diegodwi.evel8@gmail.com

ABSTRACT

PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk is a cement company with a production capacity of 14.5 million tons per year, which generates significant dust emissions during the production process. To control emissions, electrostatic precipitator technology is used as a dust separator from clean air, but the system at the Cilacap plant is still manual, resulting in inefficient dust particle capture and high electricity consumption in response to fluctuations in dust load. This study aims to optimize the performance of the electrostatic precipitator by designing an automatic closed-loop control system from the DCS based on dust emission feedback from the chimney, using Modbus TCP/IP communication. The methods include analyzing the performance of the manual control system, evaluating the technical parameters of the electrostatic precipitator, and designing an automated closed-loop control system. The research results show that the implementation of this automated closed-loop control system can improve particle collection efficiency, significantly reduce annual electricity consumption, and minimize production losses due to operational disruptions. This optimization not only supports improved operational efficiency at the supports improved operational efficiency at the plant but also reinforces the commitment to more sustainable environmental management.

Keywords: *Electrostatic Precipitator, Dust emissions, Automatic Closed-Loop Control, Distributed Control System, Energy efficiency.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Terima kasih kepada Allah SWT, yang mahakuasa yang telah memberikan restu kepada penulis untuk menyusun tugas akhir berjudul “Optimalisasi kinerja *electrostatic precipitator* menggunakan sistem kontrol loop tertutup otomatis”. Proposal ini dibuat untuk melengkapi pembelajaran berdasarkan kurikulum pendidikan *Enterprise based Vocational Education* (EVE) berbasis perusahaan dari PT. Solusi Bangun Indonesia dan Politeknik Negeri Jakarta. Proposal ini berisi data serta latar belakang seperti: latar belakang, lokasi alat, penjelasan mengenai alat yang diangkat untuk judul tugas akhir, anggaran biaya, dan waktu pelaksanaan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akan sangat sulit untuk menyelesaikan proposal tugas akhir ini. Oleh karena itu, terima kasih kepada:

1. Bapak Mungalim, pembimbing lapangan yang sudah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya selama masa spesialisasi di Electrical Engineer sampai dengan penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak P. Jannus, S.T., M.T, dosen pembimbing.
3. Ibu Gammalia Permata Devi, dan EVE Team.
4. Seluruh karyawan dan kontraktor Electrical Department.
5. Orang tua sebagai motivator yang selalu memberikan perhatian, semangat dan dukungan tanpa henti.

Diharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk memperbaiki proposal ini. Penulis sangat berharap proposal ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Cilacap, 3 Juli 2025

Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LAPORAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PENELITIAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.3.1 Tujuan Umum	3
1.3.2 Tujuan Khusus.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Electrostatic Precipitator</i>	6
2.2 Prinsip Kerja <i>Electrostatic Precipitator</i>	7
2.3 Komponen <i>Electrostatic Precipitator</i>	8
2.3.1 <i>Transformer Step-Up</i>	8
2.3.2 <i>Collecting Plate</i>	9
2.3.3 <i>Discharge Electrode</i>	10
2.3.4 <i>Rapper</i>	10
2.3.5 <i>Hopper</i>	11
2.4 <i>Corona Pada Electrostatic Precipitator</i>	11
2.5 Hubungan <i>Clean Gas Dust Content</i> dengan <i>Gas Flow</i>	13
2.6 Permasalahan Operasional <i>Electrostatic Precipitator</i>	14
2.7 Perhitungan Efisiensi <i>Electrostatic Precipitator</i>	17
2.7.1 Perhitungan Kecepatan Migrasi Partikel	17
2.7.2 Perhitungan Kuat Medan Listrik	18
2.7.3 Perhitungan Efisiensi Pengumpulan Partikel	19
2.8 <i>Programmable Logic Controller</i>	20
2.9 <i>Fishbone Diagram</i>	20
2.10 Sistem Kontrol <i>Loop</i>	21
2.11 <i>Industrial Control System</i>	23
2.12 <i>Distributed Control System</i>	24
2.13 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan	26
BAB III METODELOGI PENYELESEIAN MASALAH	28
3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir	28



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2 Penjelasan Diagram Alir	29
3.2.1 Mulai	29
3.2.2 Pengumpulan Informasi	29
3.2.3 Mengumpulkan Data	29
3.2.4 Menganalisis Data dan Memulai Perhitungan	29
3.2.5 Menentukan Tipe Module	29
3.2.6 Membuat Schematic Diagram	29
3.2.7 Diskusi	30
3.2.8 Metode Pemecahan Masalah	30
3.2.9 Selesai	30
3.3 Jadwal Tugas Akhir	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Emisi Debu pada <i>Electrostatic Precipitator</i> 422-EP1	31
4.2 Data Spesifikasi Aktual <i>Electrostatic Precipitator</i>	32
4.3 Analisis Akar Penyebab Permasalahan Tugas Akhir	35
4.4 Penjelasan Analisis Akar Penyebab Permasalahan Tugas Akhir	36
4.4.1 Analisis Mesin	36
4.4.1.1 Sistem Kontrol Manual	36
4.4.2 Analisis Metode	38
4.4.2.1 <i>Workflow</i> Pengaturan Parameter <i>Electrostatic Precipitator</i>	38
4.5 Analisis Kinerja <i>Electrostatic Precipitator</i> Berdasarkan Desain	40
4.5.1 Kecepatan Migrasi Partikel Berdasarkan Desain	40
4.5.2 Kuat Medan Listrik Berdasarkan Desain	41
4.5.3 Efisiensi Pengumpulan Partikel Berdasarkan Desain	41



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6 Analisis Kinerja <i>Electrostatic Precipitator</i> Kondisi Aktual.....	42
4.6.1 Kuat Medan Listrik Berdasarkan Kondisi Aktual.....	43
4.6.2 Kecepatan Migrasi Partikel Berdasarkan Kondisi Aktual.....	44
4.6.3 Efisiensi Pengumpulan Partikel Berdasarkan Kondisi Aktual	45
4.7 Perbandingan Kinerja Berdasarkan Desain dan Kondisi Aktual	46
4.8 Solusi Akar Penyebab Permasalahan Tugas Akhir	48
4.8.1 Sistem Otomatis pada <i>Electrostatic Precipitator</i>	48
4.9 Alur Implementasi dan Tahapan Perancangan Sistem Tugas Akhir.....	50
4.10 Analisis Kebutuhan Material dan Perhitungan Biaya Tugas Akhir.....	51
4.11 Analisis Potensi Penghematan Biaya Tugas Akhir.....	52
4.11.1 Pehitungan Biaya Konsumsi Energi Listrik	52
4.11.2 Perhitungan Biaya Kerugian Produksi	53
BAB V KESIMPULAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	59



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Electrostatic precipitator	6
Gambar 2.2 Prinsip kerja electrostatic precipitator.....	7
Gambar 2.3 Transformer step-up	9
Gambar 2.4 Collecting plate	9
Gambar 2.5 Discharge electrode	10
Gambar 2.6 Rapping system	11
Gambar 2.7 Hopper.....	11
Gambar 2.8 Hubungan radius discharge electrode dengan corona	12
Gambar 2.9 Definisi spark dan arc.....	13
Gambar 2.10 Grafik hubungan gas flow dengan clean gas dust content	14
Gambar 2.11 Permasalahan fluktuasi besar pada kV dan mA	15
Gambar 2.12 Permasalahan kV stabil dan mA menurun	15
Gambar 2.13 Permasalahan kV tiba tiba nol dan mA maksimum	16
Gambar 2.14 Permasalahan spark rate berat setiap beberapa menit.....	16
Gambar 2.15 Fishbone diagram	20
Gambar 2.16 Sistem kontrol loop terbuka	22
Gambar 2.17 Sistem kontrol loop tertutup.....	23
Gambar 2.18 Sistem ICS secara umum.....	24
Gambar 2.19 Distributed control system	25
Gambar 2.20 Baku mutu emisi bagi kegiatan industri semen.....	27
Gambar 3.1 Diagram alir.....	28
Gambar 3.2 Jadwal tugas akhir	30
Gambar 4.1 Data emisi debu unit 422-EP1.....	31
Gambar 4.2 Data spesifikasi gas quantity design unit 422-EP1	32
Gambar 4.3 Data general design unit 422-EP1	33
Gambar 4.4 Data electrical unit 422-EP1	33
Gambar 4.5 Root cause analysis kinerja electrostatic precipitator tidak optimal .	35
Gambar 4.7 Pengaturan parameter electrostatic precipitator	37



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.8 Permasalahan spark rate electrostatic precipitator	37
Gambar 4.9 Workflow pengaturan parameter konvensional fix setting.....	39
Gambar 4.10 Workflow pengaturan parameter automatic closed loop	39
Gambar 4.11 Flowchart sequence program system automatic closed loop	48
Gambar 4.12 Modifikasi pada panel control unit 422-EP1.....	50
Gambar 4.13 Pemasangan fiber optic dari lss 6	51





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data historis stoplog unit 422-EP1.....	2
Tabel 4.1 Data gas quantity design	40
Tabel 4.2 Data kecepatan migrasi partikel berdasarkan desain.....	41
Tabel 4.3 Data kuat medan listrik berdasarkan desain	41
Tabel 4.4 Data efisiensi pengumpulan partikel berdasarkan desain	42
Tabel 4.5 Data aktual kinerja electrostatic precipitator.....	43
Tabel 4.6 Data kuat medan listrik kondisi aktual.....	44
Tabel 4.7 Data kecepatan migrasi partikel kondisi aktual.....	45
Tabel 4.8 Data efisiensi pengumpulan partikel kondisi aktual	46
Tabel 4.9 Data perbandingan kinerja unit 422-EP1	47
Tabel 4.10 Tabel setting value parameter electrostatic precipitator	50
Tabel 4.11 Kebutuhan material tugas akhir.....	52
Tabel 4.12 Biaya konsumsi energi listrik tahun 2024	53
Tabel 4.13 Data operasional.....	54

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Profil PT Solusi Bangun Indonesia	59
Lampiran 2 Tabel FMEA	63
Lampiran 3 Datasheet Electrostatic Precipitator	64
Lampiran 4 Datasheet Anybus	66
Lampiran 5 Cement Manufacturing Course Volume 5	67
Lampiran 6 Personalia Tugas Akhir	73





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk merupakan perusahaan semen yang memiliki komitmen untuk menjadi perusahaan yang terdepan dengan kapasitas produksi 14.5 juta ton semen per tahun.[1] Dengan kapasitas produksi yang cukup besar, tentunya terdapat beberapa proses yang harus dilalui yaitu *crusher area*, *raw mill area*, *kiln area*, *coal mill area*, *finish mill area*, dan *packer area*. Setiap tahapan proses ini secara tidak langsung menghasilkan emisi debu yang signifikan ke lingkungan. Emisi ini berpotensi menurunkan kualitas udara serta berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat di sekitar kawasan industri.

Emisi debu dari industri semen mengandung partikel polutan berukuran sangat kecil yang tidak mudah disadari oleh masyarakat. Berdasarkan dari wujud fisiknya, pencemaran yang terdapat di udara tidak hanya berupa gas, tetapi juga dapat berbentuk partikel padat seperti debu dan asap. Dalam hal ini, penanganan emisi debu menjadi krusial guna memastikan kualitas udara yang lebih baik dan meminimalkan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas produksi.

PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk merupakan industri semen yang menggunakan bahan baku utama berupa batu kapur dan tanah liat, serta bahan baku koreksi seperti pasir besi dan pasir silika. Setelah melalui proses penghancuran dan penggilingan, bahan-bahan ini berubah menjadi partikel halus. Tanpa adanya sistem penyaringan yang memadai, partikel ini dapat terlepas ke atmosfer dan menyebabkan pencemaran udara yang serius

Untuk mengatasi hal tersebut, PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk memiliki alat pemisah debu dari udara bersih sebelum dikeluarkan ke lingkungan melalui cerobong (*stack*). Alat tersebut bernama *electrostatic precipitator* yang menggunakan listrik tegangan tinggi untuk memisahkan debu dari gas panas

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keluaran *raw mill* dan *kiln*. Prinsip dasar pengoperasian *electrostatic precipitator* adalah mengisi partikel debu dalam aliran gas panas bermuatan listrik, lalu partikel debu yang telah bermuatan listrik akan menempel pada *collecting plate* kemudian partikel jatuh dan terkumpul dalam hopper dan udara bersih dilepaskan ke atmosfer.

Pada saat ini *electrostatic precipitator* yang ada di pabrik cilacap memiliki beberapa kekurangan yaitu adalah masih menggunakan kontrol manual yang hanya bisa disesuaikan di panel lss 6 dan tidak adanya sistem otomatis untuk mengatur tegangan trafo yang ada pada *electrostatic precipitator* sehingga mengakibatkan penggunaan tenaga listrik yang kurang efisien. Menyadari sangat pentingnya *electrostatic precipitator* tersebut, maka akan dilakukannya optimalisasi dengan membuat sistem *automatic closed loop control* dari DCS *base on dust emission feedback*. Sehingga nantinya tegangan yang ada di *electrostatic precipitator* dapat diatur secara otomatis dengan menyesuaikan emisi debu yang keluar dari *stack*, sehingga dapat berdampak pada penurunan konsumsi energi listrik. Pada tabel 1.1 di bawah ini diketahui bahwa terdapat data historis *stoplog* dari unit *electrostatic precipitator* unit 422-EP1.

Tabel 1.1 Data historis stoplog unit 422-EP1

No	Tanggal Stop	Tanggal Start	Durasi (Hour)	Keterangan
1	03.01.2021	07.01.2021	17.5	Perbaikan 422-EP 1 Kiln karena dust emisi tinggi
2	04.08.2022	06.08.2022	43.27	422-EP 1 F3B1 & F3B2 trip, high dust emission
3	10.02.2023	11.02.2023	12.67	Kiln di stop utk check inside 422-EP1 F3B1 dan F3B2 shorted
Total Duration Stop				73.44

Pada tabel 1.1 di atas tercatat bahwa telah terjadi beberapa kali penghentian operasi kiln yang disebabkan oleh tingginya emisi debu. Tiga kejadian utama terjadi pada tanggal 3 januari 2021[2], 4 agustus 2022[3], dan 10 februari 2023[4] dengan total durasi pemberhentian mencapai 73.44 jam. Gangguan ini berdampak langsung terhadap stabilitas produksi dan menunjukkan pentingnya perbaikan sistem kontrol *electrostatic precipitator* untuk meminimalkan *kiln stop* akibat lonjakan emisi debu.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang sudah dijelaskan, maka rumusan masalah tugas akhir yang harus diselesaikan adalah :

- a) Apakah kinerja *electrostatic precipitator* yang masih menggunakan sistem *open loop* terhadap efisiensi penangkapan partikel debu sudah optimal?
- b) Apakah tegangan *output* dari *transformer step-up* pada *electrostatic precipitator* telah mampu beradaptasi secara *real-time* terhadap fluktuasi beban debu untuk menjaga efisiensi pengumpulan partikel?
- c) Seberapa akurat dan andal data fluktuasi beban debu yang diperoleh dari cerobong dan *electrostatic precipitator* dalam memberikan dasar pengambilan keputusan untuk menjaga kestabilan kinerja sistem?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut :

1.3.1 Tujuan Umum

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Diploma III Jurusan Teknik Mesin Program Studi Rekayasa Industri Semen Politeknik Negeri Jakarta.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a) Merancang *electrostatic precipitator* yang mampu meningkatkan efisiensi penangkapan partikel pada operasional.
- b) Menganalisis kemampuan tegangan *output* dari *transformator step-up* pada *electrostatic precipitator* dalam beradaptasi terhadap fluktuasi beban debu secara *real-time*, guna meningkatkan efisiensi pengumpulan partikel.
- c) Mengevaluasi tingkat akurasi dan keandalan data fluktuasi beban debu yang diperoleh dari cerobong dan sistem *electrostatic precipitator*, sebagai dasar dalam merancang parameter kendali yang mampu menjaga kestabilan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

operasi *electrostatic precipitator* serta mendukung pengambilan keputusan berbasis kondisi aktual proses.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tugas akhir ini tidak melebar, maka penulisan laporan tugas akhir ini dibatasi dalam ruang lingkup sebagai berikut :

- a) Penelitian ini difokuskan pada unit *electrostatic precipitator* 422-EP 1 dan 2 di Pabrik Cilacap milik PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk.
- b) Optimalisasi kinerja *electrostatic precipitator* dibatasi pada aspek perhitungan efisiensi pengumpulan partikel debu dan konsumsi energi listrik, tanpa melakukan modifikasi mekanikal pada struktur internal *electrostatic precipitator*.
- c) Pembahasan hanya mencakup analisis data operasional dan respon *electrostatic precipitator* terhadap fluktuasi beban debu berdasarkan parameter teknis, tanpa membahas detail instruksi logika, perintah kontrol, atau pemrograman pada sistem PLC/DCS.
- d) Penggunaan data emisi dari cerobong hanya difokuskan sebagai dasar perhitungan dan evaluasi performa *electrostatic precipitator*, tanpa menguraikan integrasi teknis komunikasi data (seperti Modbus TCP/IP).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan oleh PT. Solusi Bangun Indonesia (Persero) Tbk cilacap plant dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a) Memberikan rancangan pengaturan parameter sistem kontrol otomatis berbasis DCS yang dapat meningkatkan efisiensi penangkapan partikel debu melalui pengendalian berbasis umpan balik emisi cerobong.
- b) Menjadi referensi teknis dalam pengembangan sistem kontrol otomatis di unit *electrostatic precipitator* untuk mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, tujuan, manfaat, sistematika, dan lokasi pengerjaan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori yang mendukung dari komponen yang dipakai.

BAB III METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir

Membahas tentang diagram alir pengerjaan tugas, penjelasan langkah kerja, dan metode pemecahan masalah yang akan dikerjakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Memaparkan hasil penelitian serta analisis terhadap efektivitas sistem kontrol otomatis yang diterapkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menyajikan kesimpulan dari penelitian serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan pada *electrostatic precipitator* unit 422-EP1 di PT. Solusi Bangun Indonesia, dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Kinerja *electrostatic precipitator* bulan maret 2024 mengalami penurunan, ditandai dengan tingginya emisi debu yang mencapai $65\text{mg}/\text{Nm}^3$ dan efisiensi penangkapan hanya sebesar 98% yang berada di bawah standar desain sebesar 99.50%.
2. Hasil evaluasi terhadap kinerja *electrostatic precipitator* berdasarkan kondisi aktual dan desain menunjukkan adanya ketidaksesuaian seperti kuat medan listrik, dan efisiensi pengumpulan partikel dengan data kondisi aktual yang dikumpulkan selama tahun 2024.
3. Analisis perbandingan antara desain dan kondisi aktual pada bulan maret menunjukkan bahwa output tegangan trafo saat ini belum mampu mencapai level optimal sesuai kebutuhan beban debu saat proses berlangsung.
4. Akar penyebab penurunan kinerja *electrostatic precipitator* ditemukan berasal dari dua faktor utama, yaitu :
 - Machine : Sistem kontrol masih dilakukan secara manual, menyebabkan *output trafo* tidak dapat menyesuaikan kondisi beban debu secara optimal.
 - Metode : *Workflow* pengaturan parameter hanya dapat dilakukan melalui LSS 6 tanpa integrasi ke pusat control CCR, sehingga menyulitkan fleksibilitas pengoperasian.
5. Analisis konsumsi energi listrik sepanjang tahun 2024 menunjukkan total biaya sebesar Rp4.199.684.362 dengan total kerugian energi listrik sebesar Rp983.543.836.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Analisis kerugian produksi akibat *kiln stop* yang diakibatkan oleh gangguan *electrostatic precipitator* sebesar Rp5.062.164.120 menunjukkan urgensi penerapan sistem yang lebih andal dan adaptif.
7. Analisis total kerugian yang disebabkan oleh kinerja *electrostatic precipitator* yang tidak optimal yaitu sebesar Rp5.983.543.836.

5.2 Saran

Dikarenakan *budget* proyek yang telah melebihi Rp75.000.000, proyek ini dikategorikan kedalam *CAPEX* (*Capital Expenditure*) proyek. Sehingga perancangan ini dapat direalisasikan pada *overhaul* 2026.

Berdasarkan hasil penelitian sistem *electrostatic precipitator* di atas, Adapun beberapa saran strategis berdasarkan hasil pengamatan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan antara lain:

1. Solusi yang diajukan berupa pengembangan sistem *automatic closed loop control* berbasis DCS berdasarkan umpan balik langsung dari emisi debu di *stack electrostatic precipitator* dan menyesuaikan *output trafo* secara *real-time*, mampu meningkatkan efisiensi kinerja *electrostatic precipitator* serta menurunkan emisi partikel.
2. Penerapan sistem *automatic closed loop control system* sebaiknya didukung oleh pelatihan teknis kepada operator, agar pengelolaan sistem lebih responsif dan adaptif terhadap perubahan kondisi beban debu di lapangan.
3. Evaluasi berkala terhadap parameter performa *electrostatic precipitator* seperti tegangan trafo, arus sekunder trafo dan efisiensi penangkapan debu harus menjadi agenda rutin.
4. Rencana investasi peralatan otomatisasi hendaknya mempertimbangkan potensi penghematan biaya jangka panjang, tidak hanya dari sisi energi tetapi juga pengurangan *downtime* akibat penurunan performa alat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengizinkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Solusi Bangun Indonesia, "Profil Perusahaan," 2018.
- [2] PT Solusi Bangun Indonesia, "Maintenance Stoplog 2021," 2021.
- [3] PT Solusi Bangun Indonesia, "Maintenance Stoplog 2022," 2022.
- [4] PT Solusi Bangun Indonesia, "Maintenance Stoplog 2023," 2023.
- [5] Guntoro, B. Fajar T.K, and A. Yoyo Wardaya, "The Effect of Electrostatic Precipitator Operating Methods on Energy Consumption Efficiency," *Int. Res. J. Innov. Eng. Technol.*, vol. 07, no. 08, pp. 36–47, 2023, doi: 10.47001/irjiet/2023.708006.
- [6] Holcim, "Cement Manufacturing Course Volume 5," 2005.
- [7] Tai&Chyun, "Electrostatic Precipitator Electrical Maintenance Reading Analysis," 2022.
- [8] N. Afrian, Firdaus, and E. Ervianto, "Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (Esp) Berdasarkan Besarnya Tegangan Dc Yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi Di Power Boiler Industri Pulp and Paper," *J. Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2015.
- [9] "Fishbone Diagram: Alat Analisis Untuk Mengidentifikasi Penyebab Masalah." <https://kwikkiangie.ac.id/home/2024/05/22/fishbone-diagram-alat-analisis-untuk-mengidentifikasi-penyebab-masalah/>
- [10] K. SaThierbach *et al.*, *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析* Title, vol. 3, no. 1. 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056%0Ahttps://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827%0Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005%0Ahttp://dx.doi.org/10.10>
- [11] 'Katsuhiko) ('Ogata, /105-166. 2010. [Online]. Available: [https://repository.unikom.ac.id/50540/1/Modern Control Engineering-Katsuhiko Ogata \(Prentice Hall 2010\)\(904s\).pdf](https://repository.unikom.ac.id/50540/1/Modern%20Control%20Engineering-Katsuhiko%20Ogata%20(Prentice%20Hall%202010)(904s).pdf)
- [12] S. P. Collins *et al.*, *No Title 済無No Title No Title No Title*. 2021.
- [13] R. Prasetyo Milan, F. Abdul Majid, and dan Ridwan Dwi Prasetya, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Ketinggian Material Di Dalam Raw Mill (362-RM1)," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin*, no. 1, pp. 210–219, 2022, [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/32>
- [14] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor," 2017.
- [15] FLS Miljo, "Specification Data Sheet Esp Kiln/Raw Mill," 1995.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Profil PT Solusi Bangun Indonesia

- Profil PT Solusi Bangun Indonesia

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk adalah sebuah perusahaan public Indonesia dimana mayoritas sahamnya (80,6%) dimiliki dan dikelola oleh Semen Indonesia Group. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk merupakan produsen semen, beton jadi, dan agregat terkemuka serta terintegrasi dengan keunikan dan perluasan usaha waralaba yang menawarkan solusi menyeluruh untuk pembangunan rumah, dari penyediaan bahan material sampai rancangan yang cepat serta konstruksi aman. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk dikenal sebagai pelopor dan innovator di sector industri semen yang tercatat sebagai sector yang tumbuh pesat seiring pertumbuhan pasar perumahan, bangunan umum dan infrastruktur. Perusahaan mengoperasikan tiga pabrik semen masing-masing di Narogong (Jawa Barat), Cilacap (Jawa Tengah), Tuban (Jawa Timur), dan fasilitas penggilingan semen di Ciwandan, Banten dengan total kapasitas gabungan pertahun 10,8 juta ton clinker.

- Sejarah Berdirinya Solusi Bangun Indonesia Cilacap Plant

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Pabrik Cilacap beralamat di Jalan Ir. Juanda Kelurahan Karang Talun Cilacap Tengah 53234 dan merupakan anak PT Semen Indonesia. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk yang dahulu dikenal dengan nama PT Holcim Tbk dan sebelumnya PT Semen Nusantara, didirikan berdasarkan Undang-Undang Penanaman Modal Asing No.1 Tahun 1967 Jo UU No.11 tahun 1970. Presiden RI saat itu melalui SK No B-76/PRES 3/1974 tanggal 4 Maret 1974 memberikan persetujuan pendirian pabrik sesuai permohonan dari pemegang saham yang terdiri dari:

PT Gunung Ngadeg Jaya (30% saham), Pengusaha Swasta Nasional; Onoda Cement Co.Ltd (35% saham) Pengusaha Swasta Jepang; Mitsui Co.Ltd (35% saham), Pengusaha Swasta Jepang.

PT Semen Nusantara sebagai badan hukum disahkan berdasarkan Akte Notaris Kartini Mulyadi, SH. di Jakarta, dengan register Nomor: 133 tanggal 18

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Desember 1974 dengan usulan akte perubahan No. 46 tanggal 11 Maret 1975, dalam bentuk perseroan terbatas dan berstatus Penanaman Modal Asing, dan kemudian dikukuhkan dengan surat Menteri Kehakiman RI No.V.A/5/96/25 tanggal 23 April 1975. Pulau Nusakambangan yang dinyatakan tertutup (sesuai SK Gubernur Hindia Belanda No. 25 tanggal 10 Agustus 1912 Jo No. 34 diktum ke-3 sub a) pada akhirnya diperbolehkan untuk dibuka dan dimanfaatkan berdasarkan SK Presiden RI No. 38 tahun 1974. Dengan demikian, dimungkinkan bagi PT Semen Nusantara untuk memanfaatkan sebagian area di Pulau Nusakambangan sebagai lokasi penambangan batu kapur, salah satu bahan baku Utama pembuatan semen. Kemudian PT Gunung Ngadeg Jaya mendapatkan ijin penambangan daerah untuk:

1. Konsesi penambangan batu kapur Nusakambangan seluas 1000 Ha sejak
2. tahun 1975.
3. Konsesi penambangan tanah liat di Desa Tritih Wetan seluas 250 Ha.
4. Lokasi Pabrik Semen Holcim di Kelurahan Karang Talun Kecamatan Cilacap Utara dengan luas 26.5 Ha.
5. Lokasi perumahan karyawan di Kelurahan Gunung Simpang seluas 10 Ha.
6. Lokasi service station / shipping distribution lengkap dengan loading facility seluas 3.5 Ha (status kontrak dengan Perum Pelabuhan III cabang Cilacap).

Pada tanggal 1 Juli 1977, PT Semen Nusantara sudah mulai berproduksi. Jenis semen yang dihasilkan adalah semen Portland tipe 1 dengan logo Candi Borobudur dan Bunga Wijaya Kusuma. Selanjutnya sejak tanggal 10 Juni 1993. PT Semen Nusantara memiliki status baru dengan pengambilan saham 100% oleh Indonesia, yang kemudian diambil alih oleh PT Semen Cibinong Tbk Pabrik Cilacap sendiri terdiri dari dua sentral produksi yaitu CP 1 (pabrik lama) dan CP 2 (pabrik baru). Proyek pembangunan CP 2 dilakukan mulai Januari 1995 hingga April 1997. Pada tahun 1995, Pabrik CP 1 sempat mengalami penutupan karena

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

adanya kenaikan BBM yang menyebabkan biaya operasi melebihi budget dan menimbulkan kerugian. Pada tahun 2000, PT Semen Cibinong Tbk Pabrik Cilacap setuju untuk diadakan restrukturisasi hutang dengan para kreditor. Hutang perseroan telah dikurangi sebesar \$500 juta. Selain itu, PT Tirtamas Maju Tama selaku pemegang saham terbesar telah menjual seluruh sahamnya kepada perusahaan Holcim dari Swiss dan mengakibatkan perubahan pemegang saham sebagai berikut:

1. Holcim : 77,33 %
2. Kreditor : 16,1 %
3. Umum : 6,6 %

Selanjutnya tertanggal 13 Desember 2001, Holcim Ltd menjadi pemegang saham utama. Holcim atau Holderbank didirikan oleh Jacob Schmidheiny pada tahun 1838 di desa Balgach, Swiss. Pada tahun 1933, perusahaan telah berekspansi di lebih dari tujuh puluh negara di lima belahan dunia: Amerika Utara, Amerika Latin, Eropa, Asia Pasifik, dan Afrika. Pada tanggal 30 Desember 2004, Holcim Participation Ltd. menjual seluruh sahamnya kepada induk perusahaan yaitu Holderfin B.V., pemegang saham mayoritas PT Semen Cibinong Tbk dengan kepemilikan 5.925.921.820 lembar saham dengan nilai transaksi sebesar Rp 2,5 Triliun (USD 256,48 juta).

Holderfin yang berkedudukan di Belanda tersebut merupakan induk perusahaan sekaligus pemegang saham Holcim di Mauritius. Mulai tanggal 1 Januari 2006, nama PT Semen Cibinong resmi diganti dengan nama PT Holcim Indonesia Tbk, sesuai dengan keputusan rapat yang diadakan pada tanggal 24 April 2005. Selanjutnya, Holcim Indonesia menjadi anggota Asosiasi Semen Indonesia, dan sebagai unit usaha di bawah group Holcim, perusahaan aktif sebagai anggota World Bussiness Council for Sustainable Development (WBCSD) dan anggota pendiri Cement Sustainability Initiative. Pada tanggal 12 November 2018, PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (SMGR) menyelesaikan transaksi pembelian saham PT Holcim Indonesia Tbk (SMCB). Total nilai transaksinya mencapai USD 917 juta atau setara Rp 12,9 Triliun. Semen Indonesia menandatangani perjanjian



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengizinkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

jual beli bersyarat (Conditional Sales & Purchase Agreement) untuk mengambil alih 6.179.612.820 lembar saham atau setara 80% kepemilikan saham. Saham itu sebelumnya milik Holderfin B.V yang merupakan anak usaha dari Lafarge Holcim, sebuah perusahaan di Swiss. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk adalah sebuah perusahaan publik

Indonesia dimana mayoritas sahamnya (80,64%) dimiliki dan dikelola oleh PT Semen Indonesia Industri Bangunan (SIIB) – bagian dari Semen Indonesia Group produsen semen terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk menjalankan usaha yang terintegrasi dari semen, beton siap pakai, dan produksi agregat. Perseroan mengoperasikan empat pabrik semen di Narogong (Jawa Barat), Cilacap (Jawa Tengah), Tuban (Jawa Timur), dan Lhoknga (Aceh), dengan total kapasitas 14,5 juta ton semen per tahun, dan mempekerjakan lebih dari 2,400 orang. PT Solusi Bangun Indonesia Tbk saat ini mengoperasikan jaringan penyedia bahan bangunan yang mencakup distributor khusus, toko bangunan, ahli bangunan binaan perusahaan dan solusi-solusi bernilai tambah lainnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Business /Service : KILN CILACAP 2
Equipment : 422-EP1 & 422-EP2
Asset Number :
Core Team : TIM FMEA KILN CIL 2

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

System / Process Responsibility : DEPARTEMEN PRODUKSI CILACAP 2

FMEA Number :
Prepared By : Muzgim
FMEA Date : 17 September 2024
Revision Date :

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)				
Component / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Technical Effect(s) of Failure	Potential Business Consequence(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Controls		Detection	RPN	Recommended Controls		Responsible & Target Completion Date	Action Results					
							Preventive Controls	Detective Controls			Preventive Controls	Detective Controls		Implementing Controls	Detective Controls	New Ver	New Occ	New Det	New RPN
Controler 422-EP1 & 422-EP2 berfungsi untuk memantau tekanan mA, suhu, tekanan, dan KV Trifo agar proses pemanjangan debu bisa berjalan dengan efektif, efisien sehingga idarabgas yang keluar dari cerobong tidak mencemari lingkungan	- Controler - Sensor suhu, tekanan, dan KV Trifo agar proses pemanjangan debu bisa berjalan dengan efektif, efisien sehingga idarabgas yang keluar dari cerobong tidak mencemari lingkungan	- Breakdown 422-EP1 & 422-EP2 - Pemanjangan debu maksimal - Insangun karena emisi debu tinggi - Production loss karena KIN STOP	- Maintenance cost - Hukuk part - Insangun karena emisi debu tinggi - Production loss karena KIN STOP	5	- Electronic part damage - Indikator laser rusak - Interfering mA dan KV - Cooling fan OCR - Thyristor rusak - Spont rate Trifo tinggi - Temperature LBS 5 - Tidak ada mode HMI saat Raw Mill Stop	4	- PAUK EP - Monitoring dan pemantauan setting mA dan KV saat Spont rate tidak tinggi	- Monitoring Trend mA dan KV Trifo - Monitoring LBS 5 dan PAUK EP - Menganti label Feedback dengan yang tersedia - Melakukan time base penggantian cooling fan OCR 3 bulan sekali	5	100	- Cleaning Insulator mA dan KV Trifo - Rekoneksi Trifo EP - Menganti label Feedback dengan yang tersedia - Melakukan time base penggantian cooling fan OCR 3 bulan sekali	- Monitoring Trend mA dan KV Trifo - Monitoring LBS 5 dan PAUK EP - Monitoring Spont rate EP agar tidak muncul tinggi	El Engineer, Muzgim (Desember 2025)	- PAUK EP - Cleaning Insulator mA dan KV Trifo - Rekoneksi Trifo EP - Monitoring Spont rate EP agar tidak muncul tinggi	- Monitoring Trend mA dan KV Trifo - Monitoring LBS 5 dan PAUK EP - Monitoring Spont rate EP agar tidak muncul tinggi	3	2	3	18
							</												

Dibuatkan oleh,

Muzgim

Muzgim
El Engineer

(Eksistensi Kurikulum)
Reliability Manager

RPN CATEGORY:

102 - 1008 : High (Require Risk Control Actions)
66 - 191 : Medium (Reduce Risk to as Low as Reasonably Practical)
6 - 64 : Low (Acceptable Risk)

Peluncuk Pengisian :

- (1) Function : - Isi dengan item atau komponen sesuai langka
- (2) Failure Mode : - Isi dengan jenis kegagalan yang terjadi (Contoh : Break, Air, Burnt off)
- (3) Failure Effect : - Isi dengan efek / akibat dari kegagalan tersebut
- (4) Failure Consequences : - Isi dengan dampak / akibat dari kegagalan tersebut
- (5) Failure Cause : - Isi dengan penyebab / penyebab kegagalan
- (6) Occurrence : - Isi dengan analisis Probability, diberikan nilai Tabel Occurrence
- (7) Preventive Control : - Isi dengan cara mencegah / cara mencegah
- (8) Detective Control : - Isi dengan cara deteksi / cara deteksi misal : alarm, monitor, level monitoring dll
- (9) Detection : - Isi dengan dengan raring detection pada tabel Detection
- (10) RPN : - Isikan nilai RPN (Risk Priority Number)
- (11) Recd. Prev. Contr. : - Isi dengan rekomendasi preventive control (sesuai untuk
- (12) Recd. Detect. Contr. : - Isi dengan rekomendasi deteksi control (sesuai untuk
- (13) Recd. Det. Contr. : - Isikan Person penanggung jawab rekomendasi control dan target waktu selesai
- (14) Recd. S. Target Date : - Isikan Person penanggung jawab rekomendasi control dan target waktu selesai

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 3 Datasheet Electrostatic Precipitator

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Project Name: P.T. Semen Nusantara		Project Number: 94-20098-135		
SPECIFICATION DATA SHEET		Vendor: FLS Miljo		
Equipment: ELECTROSTATIC PRECIPITATOR ESP KILN / RAW MILL		Date: 01-Dec-95		
Equip. No(s): 345.EP1		Sheet 1 of 2		
Item	Details/Description.	Unit	Data	Notes
For Gas Flow Mill Running	In "Compound Operation" for kiln/mill EP's			
	Gas quantity/design	m ³ /hr	1,294,989	
	Gas quantity	Nm ³ /hr	947,242	
	Temperature/Dewpoint	c/c	61	
	Static pressure	mBar	-14.3	
	Barometric pressure	mBar	1013	
	Raw gas dust content	g/m ³	38.9	
	Clean gas dust content (dry)	mg/Nm ³	50	
For Gas Flow Mill Down	In "Direct Operation" and for Clinker Cooler/Cement Mill			
	Gas quantity/design	m ³ /hr	1,285,980	
	Gas quantity	Nm ³ /hr	818,395	
	Temperature/Dewpoint	c/c	59	
	Static pressure	mBar	-14.3	
	Barometric pressure	mBar	1013	
	Raw gas dust content (wet) actual	g/m ³	64.8	
	Clean gas dust content (dry)	mg/Nm ³	50	
General Design	Total collecting area, projected	m ²	29,160	
	Number of chambers		1	
	Number of fields per chamber		4 6	
	Number of rows/row width	./mm	18/300 36/400	
	Plate thickness of casing	mm	5	
	Max. tolerated gas temperature	Deg.C	350	
	Max. tolerated operating pressure	mBar	-24.5	
	Pressure drop over the system	mBar	4.4	
	Insulation thickness	mm	casing: 150 frame: 200	
	Width	m	4 x 72 2 x 144	
	Height	m	13.5	
	Length	m	3 x 4.5	

345EP.WFD



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SPECIFICATION DATA SHEET		Vendor: FLS Miljo		
Equipment: ELECTROSTATIC PRECIPITATOR ESP KILN / RAW MILL		Date: 01-Dec-95		
Equip. No(s): 345.EP1		Sheet 2 of 2		
Item	Details/Description	Unit	Data	
Electrical Data	Number of HT-rectifiers **	4 4	100/900 110/1800	8
	Peak voltage of rectifiers	kV	100/110	
	Secondary current of rectifiers	mA	--- 900 --- 1800	
	Location of rectifiers		Roof	
	Rapping control/MCC included **	Yes/No	Yes	
	Pre-separation type	Yes/no	No	
Internal Equipment	Gas distribution device-type *		Vertical w/ Guide Plates	
	Discharge electrodes-type *		SS 2343	
	Thickness of collecting electrodes	mm	1.5	
	Cleaning device-Rapping/Vibrating		Rapping	
Corrosion Protection	Inside			
	Outside			
Dust Extraction Conveyor	Type/design * - Chain/Screw		Chain	
	Dimensions - Width/Diameter	mm	300	
	Capacity	t/h	45 m³/h	each
** Fill in sub-control system list. * Add leaflets and sketches with dimensions of equipment mentioned				

345EP.WPD

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Datasheet Anybus

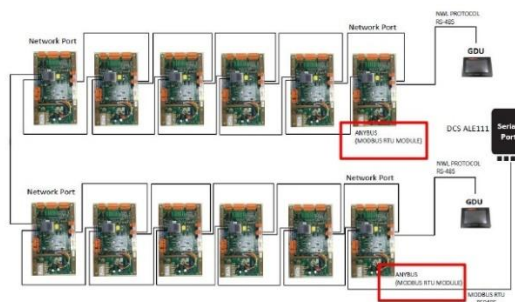
244.090200.039



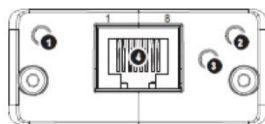
Anybus

Anybus is a convertor that allows end user to extend their network. With plug-in module, end user can easily install and access multiple other industrial networks. Anybus provides many modules such as Modbus RTU, Modbus TCP, Ethernet IP, Profinet and etc.to match with your plant existing protocol.

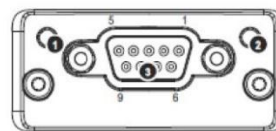
Now, the control unit supplied by Tai & Chyun is equipped with anti-coincident function for rapping system. That just requires additional Modbus TCP.



Sample of Anybus Connector



A Ethernet style RJ45 jack



9 pin D connector

TAI & CHYUN

台 耘 工 業 股 份 有 限 公 司
TAI & CHYUN ASSOCIATES INDUSTRIES, INC.

TAI & CHYUN ASSOCIATES INDUSTRIES, INC.

Contact Information
Taipei: +886-(0)2-8752-5119
Manila: +63-(0)2-855-6987
Bangkok: +66-(0)2-576-1061
Email: info@taichyun.com.tw

International Technical Support Number
Indonesia : + 62-(0) 811-8160-856
Malaysia : + 60-(0) 17-7578328
Vietnam : + 84-(0) 90-773-2906
http://www.taichyun.com.tw



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Cement Manufacturing Course Volume 5



Introduction	Materials Technology I	Materials Technology II	Process Technology I	Process Technology II	Process Technology III	Engineering
--------------	------------------------	-------------------------	----------------------	-----------------------	------------------------	-------------

Electrostatic Precipitator (EP)

Our companies, and thousands more throughout the world, faced with a substantial environmental challenge over the next few years. Increased governmental regulation and enforcement of clean air laws will require your air pollution control equipment to consistently meet rigid performance standards. And with an electrostatic precipitator that is *always* a challenge.

1. HOW DOES AN EP WORK?

Fig. 3 shows a schematic drawing of an electrostatic precipitator. An industrial precipitator has a number of passages through which the gases pass at a velocity of about 1 m/s. The passages are formed by two parallel rows of vertically mounted collecting plates and a number of discharge electrodes vertically suspended between the collecting plates.

Normally the spacing of the discharge and collecting electrodes varies between 125 and 200 mm and the voltage applied between them is 35 to 110 kV negative DC according to spacing, gas and dust conditions.

The high negative voltage applied to the electrically insulated discharge electrodes creates a strong electrical field between the discharge electrodes and the earthed collecting plates. The highest strength occurs near the discharge electrodes. As the voltage is raised, electrical breakdown of the gas close to the electrode surface takes place. This breakdown, called "corona", appears as a bluish glow extending into the gas a short distance beyond the surface of the discharge electrode.

The corona produces large numbers of gas ions, the positive ions being immediately attracted to the discharge electrodes while the negative ions migrate towards the collecting plates.

Some of the moving ions attach themselves to dust particles suspended in the gas between the electrodes. Dust particles are charged either by bombardment by the ions moving under the influence of the electrical field, or by ion diffusion, both types of charging taking place simultaneously. The particle size determines which type of charging is predominant, ion diffusion being the prevailing mechanism for particle sizes below 1 micron.

Through the influence of the electrical field, the negatively charged particles migrate towards the collecting plate to which they adhere while being electrically discharged.

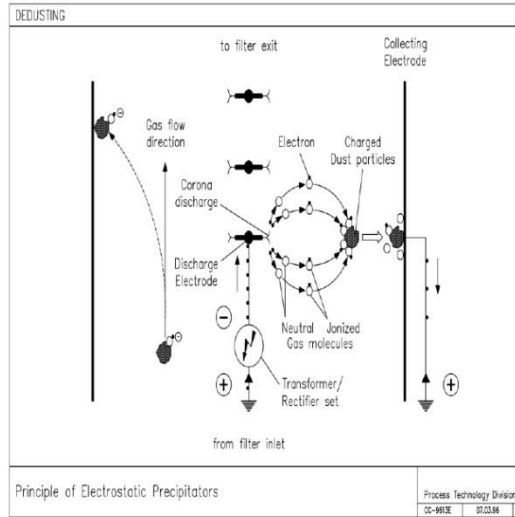
These particles build up a layer of dust on the plate surface which is dislodged by rapping.

The dislodged particles fall by gravity towards the bottom of the precipitator, ending up in the bottom hopper from where the dust is extracted by either mechanical conveyor (drag chain or screw conveyor) or pneumatic type system.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Figure 1 How electrostatic precipitators work



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. HOW EP EFFICIENCY IS DETERMINED

There have been many attempts over the years to develop satisfactory equations based on fundamental theories in order to enable the efficiency of a precipitator to be forecast. They are contained in a large number of technical papers, which are conveniently summarized in H.E. White's book entitled "Industrial Electrostatic Precipitation". Generally the performance of EPs can be expressed by the following Deutsch formula:

$$\eta_{EP} = 1 - e^{\left(\frac{-\omega L}{v s}\right)} \quad 2)$$

or

$$\eta_{EP} = 1 - e^{\left(\frac{-\omega A}{Q}\right)} \quad 3)$$

where

- η = Efficiency of the electrical precipitator
- ω = Particle migration velocity (m/s)
- A = Total projected collecting area (m²)
- Q = Gas flow (m³/s)
- L = Field length (m)
- v = Gas velocity (m/s)
- s = Distance between collecting and discharge electrodes (m)

From equation 3 it follows that the dedusting efficiency of a precipitator depends on:

- I the migration velocity w (m/s)
- II the total projected collecting area A (m²)
- III the gas flow Q (m³/s)

3. HOW EP CLEAN GAS DUST CONTENT IS DETERMINED

If equations 1 and 3 are combined then one can describe the clean gas dust content r in function of

- R the raw gas dust content (g/m³)
- ω the migration velocity (cm/s)
- A the total projected collecting area (m²)
- Q the gas flow (m³/h)

$$r = R \cdot e^{\left(\frac{-A \omega}{Q}\right)} \quad [\text{mg/m}^3] \quad 4)$$

Hak Cipta :

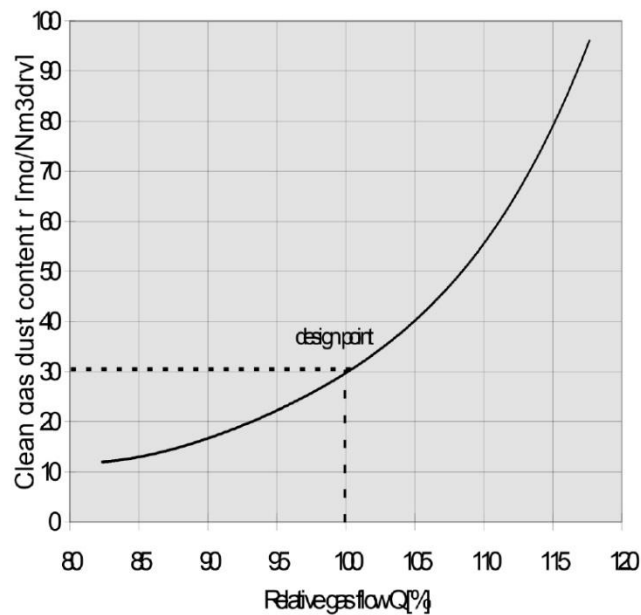
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



3.2 Clean Gas Dust Content (r) in Function of the Gas Flow (Q)

The equation 4 shows that r is an exponential function of the inverse gas flow (Q). However, the migration velocity (ω) is also influenced by the gas flow. Therefore, the correlation of r and Q is not exactly according to the equation 4 with $\omega = \text{constant}$.

Figure 3 Example of a correlation between gas flow Q and clean gas dust content r for a modern kiln EP during compound operation



At relative gas flows above 100%, r is increasing exponentially because of the exponential correlation of r and Q (equation 4) and the amplifying effect of turbulence and dust re-entrainment from the collecting plates.

The latter is overlaid by other effects mainly based on physical and chemical changes of the particulates caused by the lower clean gas dust content (r).

At this point we already realize that the calculation of r is very complex because, unfortunately, migration velocity ω is not constant but a function of R , Q and other variables.

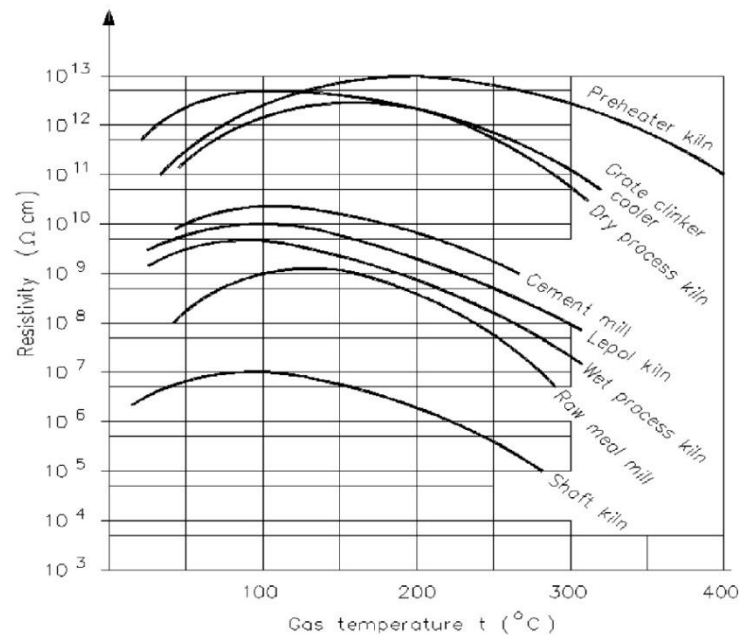
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.4.1.1 Electrical Resistivity of Dust

The electrical resistivity of the dust particles plays a very important part in the precipitation process and depends mainly on the type of the dust, the gas temperature and the gas humidity.

Figure 6 Dust resistivity in function of temperature and dust source



Three ranges of electrical resistivity can be distinguished:

- ♦ less than $10^4 \Omega \text{ cm}$
- ♦ 10^4 to $10^{11} \Omega \text{ cm}$
- ♦ more than $10^{11} \Omega \text{ cm}$

For particles having a resistivity of less than $10^4 \Omega \text{ cm}$ the electrical conductivity is so high that although they are charged in the normal manner and move normally under the influence of the electrical field, the attainable dedusting efficiency is poor. The reason thereof is that as soon as they reach the collecting electrodes, the electric charge leaks away so rapidly that the particles are repelled into the gas stream and most likely escape with the outlet gases.

Hak Cipta :

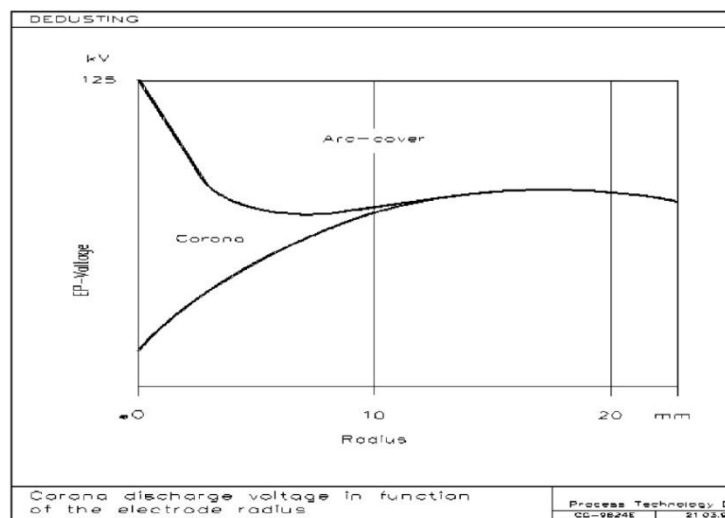
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Electrode design

The electrodes have two duties. First emission of electrons (discharge electrode) and second the collection of the dust (collecting plate).

The energization of the fields or in other words the supply with voltage and current is influenced by the discharge electrode design. Various electrode designs to achieve optimum voltage or / and current are employed by the suppliers. An important factor is the corona onset voltage which depends mainly on the radius of the electrode (plan strips) or the radius of spike peaks. The corona onset voltage is increasing with the above mentioned radius.

Figure 15 Corona discharge voltage in function of the discharge electrode radius



In applications, where a high current is required (high dust load, low resistivity), the electrode radius should be small. In situations, where current must be reduced and voltage increased (high resistivity dust -> back corona) electrodes with larger radius (without peaks) can improve the efficiency.

Since corona discharge is also greatly affected by dust settling, the discharge electrodes need rapping, which means that their oscillation behaviour is of utmost importance. Best results have been obtained with rigid frame-mounted electrodes or rigid electrodes.

For maximum collection efficiency, the collecting plates must be rigid to maintain the critical spacing between the different electrodes and withstand bowing during operation. At the same time, they must facilitate the efficient transfer of rapping energy for effective cleaning. Not optimum cleaning can amplitude back corona effects and generally reduce the EP efficiency.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6 Personalia Tugas Akhir

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Nama Lengkap | : Diego Dwi Sakti |
| 2. NIM | : 2202315020 |
| 3. Program Studi | : Teknik Mesin |
| 4. Jenis Kelamin | : Laki-laki |
| 5. Tempat, Tanggal Lahir | : Cilacap, 13 April 2023 |
| 6. Nama Ayah | : Setiyanto |
| 7. Nama Ibu | : Kartijah |
| 8. Alamat | : Jalan Bawean RT.003 RW.001 Cilacap |
| 9. E-mail | : diegodwi.evel18@gmail.com |
| 10. Pendidikan | |
| SD (2007-2013) | : SD Negeri Gunung Simpang 1 Cilacap |
| SMP (2013-2016) | : SMPN 8 Cilacap |
| SMA (2016-2019) | : SMKN 2 Cilacap |
| 11. Pengalaman Proyek | : Rancang Bangun Frame Mobile Pakcrete |

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**