

SKRIPSI

PRESENTASE TINGKAT KEANDALAN PERALATAN BOILER TURBIN
GENERATOR POWER PLANT PADA *AVERAVE PLU GAS*



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025

SKRIPSI

PRESENTASE TINGKAT KEANDALAN PERALATAN BOILER TURBIN GENERATOR POWER PLANT PADA AVERAGE PLUGAS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik



105821112618

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Amru Aras dengan nomor induk Mahasiswa 105821112618, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0005/SK-Y/22201/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 23 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST.,MT.,IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Israh Ramli, S.T., M.T.,ASEAN,Eng

1. Rabbiul Akhir 1447 H

23 Agustus 2025 M

2. Pengudi

a. Ketua : Prof.Dr Ir. Hj. Hafsa Nirwana, MT

b. Sekertaris : Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

3. Anggota

1. Dr. Eng. Ir. H. Zulfairi Basri Hasanuddin, M.Eng

2. Dr. Umar Katu, ST.,MT

3. Anugrah, ST.,MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T.

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Dekan



Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT.

NBM : 975 288

HALAMAN PENGESAHAN

Gedung Menara Iqra Lantai 3
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221
Web: <https://teknik.unismuh.ac.id/>, e-mail: teknik@unismuh.ac.id





MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO



HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat-syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : PERSENTASE TINGKAT KEANDALAN PERALATAN BOILER TURBIN GENERATOR POWER PLANT PADA AVERAGE PLU GAS

Nama : 1. Amru Aras

Stambuk : 1. 10582.11126.18

Makassar, 12 Agustus 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing II

Pembimbing I

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T.

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro

Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

NBM : 1044 202

HALAMAN PERSETUJUAN





**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl. Sultan Alauddin No.259 Makassar 90221 Tlp.(0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Amuru Aras

Nim : 105821112618

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	3%	10 %
2	Bab 2	23%	25 %
3	Bab 3	2%	10 %
4	Bab 4	6%	10 %
5	Bab 5	0%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 19 Agustus 2025

Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,


Nursinali, S.Hum.,M.I.P
NBM. 964 591

Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588
Website: www.library.unismuh.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

ABSTRAK

Amru Aras (2025) Persentase Tingkat Keandalan Peralatan Boiler Turbin Generator Power Plant Pada *Average Plu Gas* dibimbing oleh DR. Ir Zahir Zainuddin, M.Sc., Rizal A Duyo, S.T., M.T. Adapun tujuan dari pada penelitian ini adalah Menganalisa presentase rata-rata gas buang yang dihasilkan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Menjelaskan komponen-komponen elektronik yang terdapat pada elektrostatik precipitator. Menjelaskan sistem pengontrolan dengan menggunakan Central Processing Unit cabinet. Metode yang dipergunakan pada penelitiann ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di Pabrik PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkep. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. Hasil perhitungan keandalan pada sistem penangkap debu Elektrostatik precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa Pangkep adalah memenuhi syarat keandalan (Effeciency) yakni $> 98\%$ yang telah distandarisasikan oleh perusahaan pembuat EP ini. Elektrostatik menggunakan power supply tegangan tinggi, yang menyebabkan terjadinya proses ionisasi di Elektrostalik precipitator sehingga Elektrostatik precipitator dapat berfungsi sebagai penangkap debu dimana ion positif dan negatif akan tarik-menarik. Dan cara kerja dari Elektrostatik precipitator menggunakan si stem loop tertutup yang pengontrolannya menggunakan CPU yang ada dikontrol cabinet.

Kata Kunci; Boiler, Turbin, Generator dan Gas

ABSTRAK

Ferry ports play an important role in supporting community mobility and distribution of goods in archipelagic areas, such as in Central Maluku. However, port architectural designs often do not take into account the characteristics of tropical climates, such as high temperatures, high rainfall and the intensity of solar radiation. This research aims to explore a tropical architectural approach in designing a climate-responsive ferry port in Central Maluku that increases energy efficiency and thermal comfort while reducing dependence on mechanical cooling. The main goal is to integrate passive cooling techniques, such as natural ventilation, shading devices and the use of energy-saving materials, to create environmentally and economically sustainable infrastructure. This approach is focused on aspects of heat management and solar radiation, water and humidity management, energy efficiency and natural lighting and integration with nature, social and cultural adaptation, thermal performance of buildings. The research method used was literature study, location analysis and case evaluation in ferry port design in Central Maluku. It is hoped that the results of this research can provide recommendations for port designs that are environmentally friendly, comfortable for users and energy efficient. In this way, this research contributes to the development of architecture that is in harmony with the needs of local communities and

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah pensyaratan akademik yang harus ditempuhdalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah : “Percentase Tingkat Keandalan Peralatan Boiler Turbin Generator Power Plant Pada Average Plus Gas”

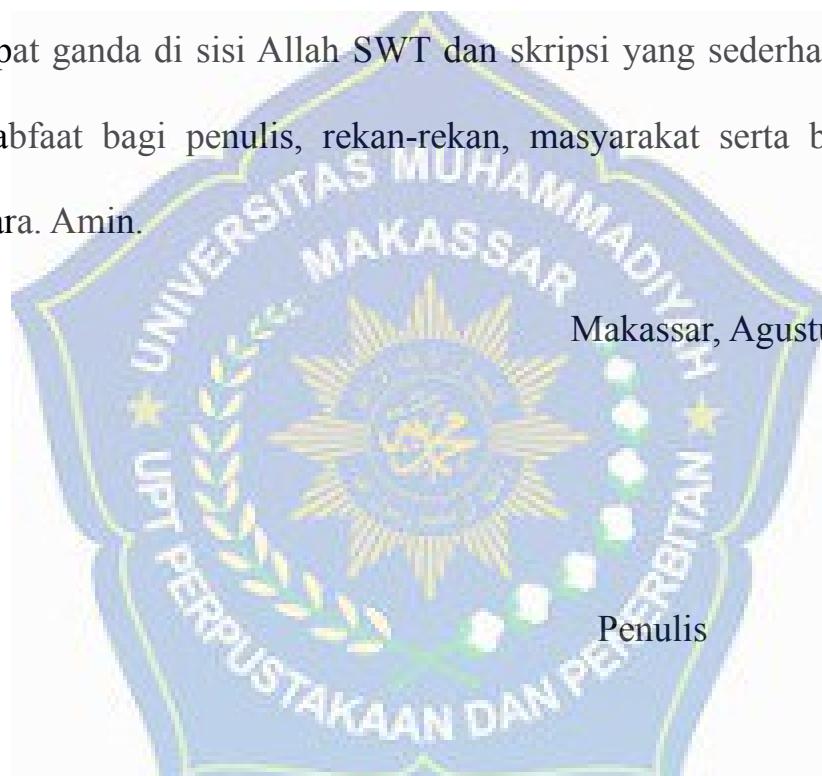
Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini sdisebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi tehnis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Ir. Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T., IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc, Selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih saying, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.

6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2018 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhan ini dapat bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	1
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	2
E. Manfaat Penelitian.....	2
F. Metode Penulisan.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Elektrostatik.....	4
B. Medan Magnet.....	7
C. Teori Dasar Sistem Precipitator.....	9
D. Teori Keandalan.....	15
BAB III.....	24
METODOLOGI PENELITIAN.....	24
A. Waktu dan Tempat.....	24
B. Metode Penulisan.....	24
BAB IV.....	26
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	26
A. Prinsip Kerja Alat.....	26

B.	Prinsip Kerja Transformator.....	26
C.	Prinsip Kerja Dioda.....	27
D.	Prinsip Kerja Silicon Controlled Rectifier (SCR).....	27
E.	Kontrol PIACS DC (Precipitator Integrated Automatic Control System - Direct Current).....	27
F.	Prinsip Kerja Display.....	33
G.	Rapping System.....	33
H.	Gas Monitoring Unit (GMU).....	35
I.	Sensor System.....	36
J.	Control Panel.....	37
K.	Chamber.....	37
L.	Proses Penangkapan Debu.....	38
M.	Perhitungan Indeks Keandalan.....	47
N.	Analisis Keadaan Sistem Perangkap Debu Elektrostatik Precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa.....	61
BAB V	64
PENUTUP	64
A.	Kesimpulan.....	64
B.	Saran-saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4. 1 Uraian Kegiatan/Gangguan.....	40
Tabel 4. 2 Presentase Average Flue Gas (Gas Buang Rata-rata)	47
Tabel 4. 3 Data Hasil Perhitungan Bilangan Studi Keandalan Sistem Penangkap Debu Electrostatic Precipitator Pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa.....	62



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Muatan Gaya.....	5
Gambar 2. 2 Arah medan listrik.....	6
Gambar 2. 3Medan Magnet pada lingkaran Tunggal.....	8
Gambar 2. 4 Medan Magnet Pada Inti Kumparan.....	8
Gambar 2. 5 tipe inti dan tipe cangkang sebuah transformator.....	10
Gambar 2. 6 Dioda Semi Konduktor.....	11
Gambar 2. 7 Penyearah setengah - gelombang Satu - fase.....	12
Gambar 2. 8 Silicon controlled rechifiers.....	14
Gambar 2. 9 Karakteristik SCR.....	14
Gambar 2. 10 Karakteristik laju kegagalan terhadap waktu.....	17
Gambar 2. 11 Diagram Ruang Keadaan Komponen Tunggal.....	22
Gambar 4. 1Blok Diagram Electrostatic Precipitator.....	26
Gambar 4. 2 Keyboard PIASC DC.....	33
Gambar 4. 3 Proses Penangkapan Debu.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan-kemajuan besar dalam bidang industri dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam industri kelistrikan yang menggunakan bahan bakar sering menimbulkan polusi, diantaranya PLTU dan PLTD. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa menggunakan bahan bakar batu bara. Pembakaran batu bara tersebut menimbulkan debit sebagai limbah atau gas buangan yang dapat mencemarkan lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan. Untuk meminimalkan kadar debu yang dihasilkan PLTU PT. Semen Tonasa maka digunakan alat penangkap debu Electrostatic Precipitator (EP).

Hal inilah yang mendorong penulis mengadakan penelitian Tugas Akhir dengan Judul : " **Persentase Tingkat Keandalan Peralatan Boiler Turbin Generator Power Plant Pada Average Plu Gas** ".

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka dapat dirumuskan permasalahan yang timbul pada elektrostalik precipitator, adalah :

1. Bagaimana prinsip kerja elektrostalik precipitator
2. Komponen apa saja terdapat pada elektrostalik precipitator .

3. Apakah alat tersebut dapat memenuhi standar keandalan dalam pengoperasiannya.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa presentase rata-rata gas buang yang dihasilkan sesuai dengan standar yang ditetapkan
2. Menjelaskan komponen-komponen elektronik yang terdapat pada elektrostatisik precipitator
3. Menjelaskan sistem pengontrolan dengan menggunakan Central Processing Unit cabinet.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Pengenalan komponen-komponen elektronik yang terdapat dalam Elektrostalik precipitator
2. Penjelasan prinsip kerja elektrostalik precipitator .
3. Menghitung tingkat keandalan elektrostalik precipitator pada setiap bulannya dalam 1 tahun.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan pada penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat mengatasi dampak lingkungan disekitar pabrik PT. Semen Tonasa

2. Pemanfaatan alat penangkap debu listrik statis Precipitator gasil Pembakaran batu bara yang menimbulkan debit sebagai limbah atau gas buangan yang dapat mencemarkan lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan
3. Untuk meminimalkan kadar debu yang dihasilkan PLTU PT. Semen Tonasa .

F. Metode Penulisan

Penulis menggunakan metode sebagai berikut :

1. Studi literatur/pustaka yang berhubungan dengan masalah yang diteliti yang erat kaitannya dengan EP.
2. Studi lapangan (Observasi) yaitu meninjau langsung dan mengambil data lapangan untuk memperoleh data, daya ini merupakan hal yang penting dalam penyusunan proyek akhir ini.
3. Mengadakan interview yaitu tanya jawab secara langsung kepada teknisi yang telah ditunjuk oleh perusahaan sebagai pembimbing dan kepada dosen-dosen pembimbing.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Elektrostatik

Kajian tentang listrik dibagi atas 2 bagian, yaitu listrik statik (electrostatic) dan listrik dinamik (electrodynamics). Listrik mempelajari muatan listrik yang berada dalam keadaan diam, sedangkan listrik dinamik mempelajari muatan listrik yang bergerak.

Medan yang mengelilingi proton dan elektron dikenal sebagai medan elektrostatik, ketika partikel yang bermuatan negatif dilewatkan dalam medan listrik maka menyebabkan partikel yang bermuatan negatif akan berpindah menuju potensial yaitu berlawanan. Hukum Coulomb menyatakan bahwa : (a) Hanya ada dua macam muatan listrik saja, yang sekarang dikenal sebagai muatan positif dan negatif. (b) Qua muatan titik saling melakukan gaya yang bekerja di sepanjang garis hubung kedua muatan itu dan besarnya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut. (c) Gaya ini juga sebanding dengan hasil kali muatan tersebut , bersifat menolak muatan yang sejenis dan bersifat menarik muatan yang berlawanan. Hukum Coulomb untuk muatan titik dapat dirumuskan secara singkat dalam lambang vektor sebagai.

Dengan F_1 adalah gaya pada muatan q^1 , r_{12} vektor ke arah q^1 dari q^2
 r_{12} harga vektor r_{12} dan C adalah tetapan kesebandingan

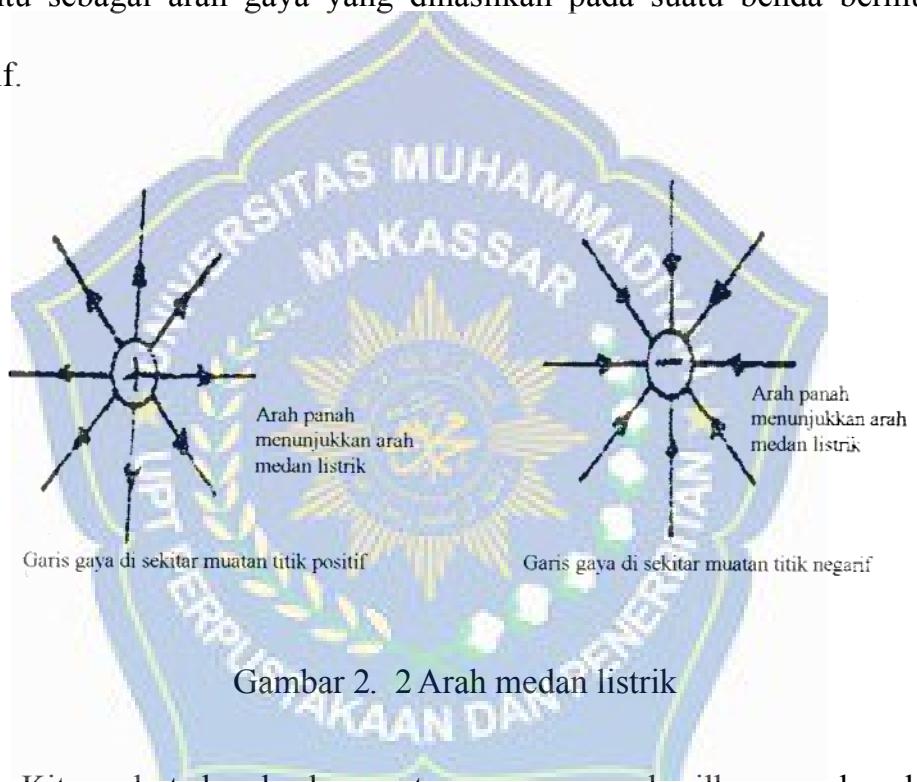
Dalam ruang di sekitar benda bermuatan listrik A kita jumpai beberapa gejala. Sebagai contoh, benda bermuatan lain B dapat bergerak menjauhi atau mendekati A (Gambar 2 1) gejala ini menyebabkan bekerjanya suatu gaya pada benda bermuatan apa saja yang diletakkan dalam ruang di sekitar benda bermuatan A. Kita sebut gejala dalam ruang di sekitar suatu benda bermuatan listrik ini medan listrik. Jadi, medan listrik adalah ruang disekitar benda bermuatan listrik dimana benda-benda bermuatan listrik lainnya dalam ruang ini akan merasakan atau mengalami gaya listrik.



Gambar 2. 1 Muatan Gaya

1. Arah Medan Listrik

Seperti pada gambar 2.1 arah gaya yang bekerja pada benda bermuatan B yang diletakkan dalam pengaruh medan listrik yang dihasilkan benda A dapat menjauhi atau mendekati benda A, bergantung pada jenis (tanda) muatan B kita mendefinisikan arah medan listrik pada sifat tempat tertentu sebagai arah gaya yang dihasilkan pada suatu benda bermuatan positif.



Gambar 2. 2 Arah medan listrik

Kita sebut benda bermuatan yang menghasilkan medan listrik sebagai muatan sumber sesuai dengan definisi, maka arah gaya yang dihasilkan muatan sumber positif (P) pada benda bermuatan (+) radial keluar menjauhi muatan sumber P (Gambar 2.2a). Sedangkan arah gaya yang dihasilkan muatan sumber negatif (N) pada benda bermuatan (+) adalah radial ke dalam mendekati muatan sumber N (Gambar 2.2b).

Medan listrik dapat kita gambar dengan garis-garis khayal yang dinamakan garis-garis medan (atau garis-garis gaya). Dapat anda lihat pada gambar 22 bahwa garis-garis medan radial keluar menjauhi muatan positif dan radial ke dalam mendekati muatan negatif.

B. Medan Magnet

Sebuah elektron dalam keadaan diam mempunyai suatu medan gaya electrostatic negatif yang mengelilinginya. Apabila pada suatu elektron diberikan energi untuk menggerakkannya maka akan terjadi jenis medan barn disekitarnya, yang tegak lurus terhadap medan elektrostatik. Kalau garis gaya elektrostatik memancar keluar dari sebuah elektron, maka medan elektromagnetik gaya yang berbentuk cincin disekeliling elektron bergerak, dongen sudut tegak lurus pada lintasan elektron.

Elektron yang mengorbit disekitar inti atom akan menghasilkan medan elektromagnetik disekitar lintasan geraknya. Pada kebanyakan peristiwa, medan magnetik mi disetimbangkan alau dinetralkan oleh efek magnetik dari gerakan proton didalam ini atau gerakan elektron dari suatu orbit ditawan oleh elektron orbit lain yang berputar dalam arah yang berlawanan.

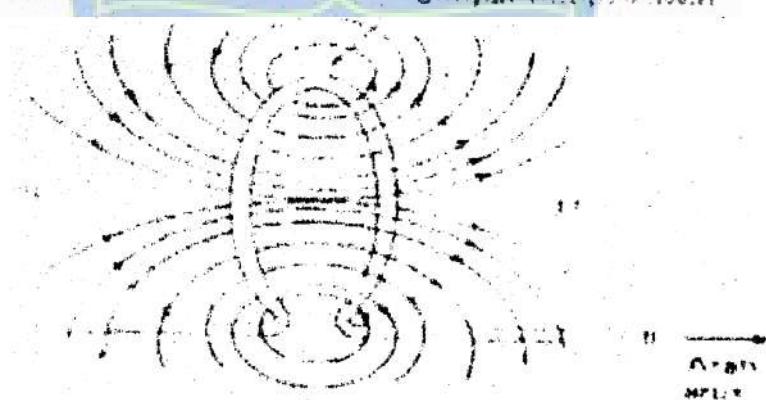
Pada banyak rangkaian listrik, arus mengalir melalui suatu kumparan yang terdiri atas beberapa lilitan kawat. Gambar 2.3 menggambarkan medan magnetik yang terbentuk di sekeliling suatu lingkaran tunggal. Perhatikan

arah medannya sesuai dengan aturan tangan kiri dan konsentrasi garis gaya terbesar berada di tengah-tengah.



Gambar 2. 3Medan Magnet pada lingkaran Tunggal

Bila beberapa lilitan kawat dibentuk menjadi sebuah kumparan, maka garis gaya di tiap-tiap lilitan akan menembuskan pada medan dan lilitan yang lain dan menghasilkan medan magnetik yang lebih terkonsentrasi pada inti kumparan seperti gambar 2.4



Gambar 2. 4 Medan Magnet Pada Inti Kumparan

Pada salah satu ujung kumparan jenis medan keluar, dan pada ujung satunya garis tersebut masuk. Bila sebuah kumparan mempunyai garis gaya yang keluar pada salah satu ujungnya, maka ujung tersebut dikatakan mempunyai polaritas utara, sedangkan ujung tempat garis gaya masuk merupakan kutub selatan. Tetapi, setiap garis gaya sebenarnya merupakan simpul atau loop yang lengkap dan tidak mempunyai titik utara atau titik selatan.

Istilah "utara" dan "selatan" menunjukkan polaritas magnetik, mirip seperti "negatif" dan "positif" yang menunjukkan polaritas elektrostatik.

C. Teori Dasar Sistem Precipitator

1. Transformator

Salah satu komponen yang banyak digunakan dalam bidang listrik dan elektronika adalah transformator. Jika dilihat dari namanya sendiri menunjukkan bahwa alat tersebut digunakan untuk mentransformasi, atau mengubah suatu tegangan atau menaikkan (step up) dan menurunkan (step down) tegangan AC, untuk mengubah AC tegangan tinggi arus rendah menjadi AC tegangan rendah arus tinggi atau sebaliknya, atau untuk mengubah impedansi rangkaian yang berbeda agar diperoleh pengalihan (transfer) energi yang lebih baik dari sumber ke beban.

Bentuk yang paling sederhana dari sebuah transformator terdiri atas kawat primer dan kawat sekunder. Transformator digunakan secara luas,

baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang (lihat gambar 2.5).



Gambar 2. 5 tipe inti dan tipe cangkang sebuah transformator.

2. Dioda

Dioda merupakan komponen yang hanya dapat menghantarkan aliran listrik ke satu arah saja. Oleh karena itu, maka dioda dapat dipergunakan sebagai alat merubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Ada bermacam-macam bentuk dan jenis dioda.

Dioda sambungan PN memungkinkan arus melewati satu arah (terminal sumber positif dihubungkan dengan anoda) dan menghalangi arus pada arah yang lain (terminal sumber negatif dihubungkan pada katoda) (gambar 2.6),



Gambar 2. 6 Dioda Semi Konduktor

Penyearah adalah proses pengubahan arus bolak-balik menjadi arus searah. Oleh karena dioda memungkinkan arus mengalir hanya pada satu arah, dioda digunakan sebagai penyearah. Gambar 2.6 menunjukkan skema untuk rangkaian penyearah satu-fase setengah gelombang. Selama setengah siklus positif gelombang input ac, sisi noda dari dioda adalah positif. Dioda kemudian diberi bias \ maju, kemungkinan dioda menghantarkan arus mengalir pada beban! Sebab dioda bertindak sebagai saklar tertutup selama waktu tersebut, siklus setengah positif dibangkitkan pada beban. Selama

setengah siklus negatif gelombang input ac sisi anoda dari dioda adalah negatif. Dioda sekarang diberi bias terbalik; akibatnya tidak ada arus yang dapat mengalir melaluiinya. Dioda bertindak sebagai saklar terbuka selama waktu tersebut sehingga tidak ada tegangan yang dihasilkan pada beban. Jadi, dengan pernberian tegangan ac konstan menghasilkan tegangan dc berpulsa pada beban.



Gambar 2. 7 Penyearah setengah - gelombang Satu - fase

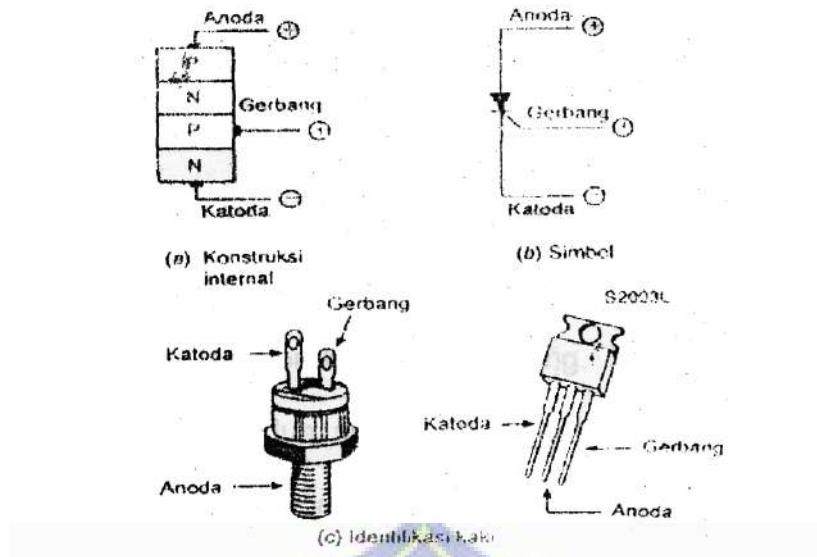
Jenis penyearah satu-fase setengah gelombang adalah dioda schottky yang tersusun dengan chip silicon jenis N yang diikat pada platina. Kombinasi tersebut mengaktifkan dioda dan mematikan lebih cepat dibandingkan dengan dioda sambungan PN. Dioda schottky digwnakan pada rangkaian saklar kecepatan tinggi.

Karena penyearah setengah gelombang hanya menggunakan setengah dari gelombang input ac, maka penggunaannya terbatas pada aplikasi daya - rendah. Pulsa yang kecil dan arus searah harga rata-rata yang lebih tinggi dapat dihasilkan dengan penyearahan kedua tegangan siklus dari gelombang input ac. Rangkaian penyearah seperti itu disebut penyearah gelombang-penuh.

3. Silicon Controlled Rectifiers

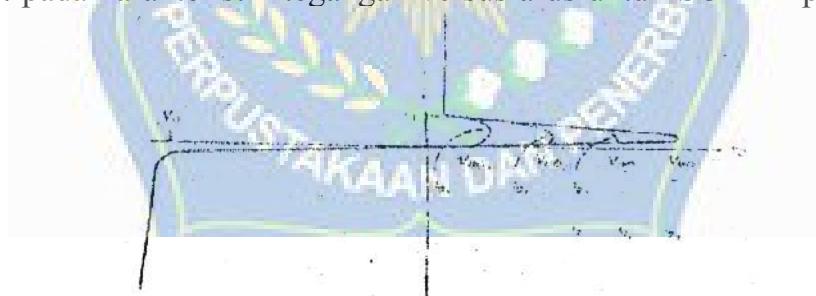
Silicon controlled rectifiers adalah alat semi konduktor empat lapis (PNPN) yang menggunakan tiga kaki yaitu anoda, katoda, dan gerbang. Untuk operasinya (gambar 2.8). tidak seperti pada transistor, operasi SCR tidak dapat memperkuat sinyal. SCR tepat digunakan sebagai saklar solid state dan dikategorikan menurut jumlah arus yang dapat beroperasi. SCR arus rendah dapat bekerja dengan arus anoda kurang dari 1 A. SCR arus tinggi dapat menangani arus beban ribuan ampere. Sebagian besar SCR mempunyai perlengkapan untuk penyerapan berbagai jenis panas untuk mendisipasi panas internal.

Simbol skematis untuk SCR mirip dengan simbol penyearah dioda. Pada kenyataannya, SCR mirip dengan dioda karena SCR menghantarkan hanya pada satu arah. Dengan perkataan lain SCR harus diberi bias maju dari anoda ke katoda untuk konduksi arus. Tidak seperti pada dioda, ujung gerbang yang digunakan berfungsi untuk menghidupkan alat.



Gambar 2. 8 Silicon controlled rectifiers

Adapun karakteristik SCR ini sama seperti thyristor, hanya di sini tegangan penyalaannya dapat diubah-ubah sesuai dengan besarnya arus yang diberikan pada gerbang (gate) dari SCR tersebut. Makin besar arus yang diberikan, makin besar pula tegangan penyalaannya. Hal ini dapat dilihat pada karakteristik tegangan versus arus untuk SCR ini pada gambar 2.9



Gambar 2. 9 Karakteristik SCR

4. Motor Sinkron

Telah diketahui bahwa pada motor induksi tidak terdapat kumparan medan, sehingga sumber pembangkit fluks hanya diperoleh dari daya masuk, stator Daya masuk untuk pembangkit fluks merupakan daya induktif. Oleh karenanya motor induksi bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sedangkan pada motor sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak-balik (AC) pada stator dan arus searah (DC) pada rotor. Bila arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks (ggm) yang diperlukan motor, maka stator tidak perlu memberikan arus pemagnetan atau daya reaktif dan motor bekerja pada faktor kerja = 1.0. Kalau arus medan pada rotor kurang (penguat berkurang), stator akan menarik arus pemagnetan dari jala-jala, sehingga motor bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sebaliknya bila arus medan pada rotor lebih (penguat berlebih), kelebihan fluks (ggm) ini harus diimbangi, dan stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala; dan karenanya motor bekerja pada faktor kerja terdahulu. Dengan demikian, jelas bahwa faktor kerja motor sinkron dapat diukur dengan mengubah-ubah harga arus medan.

D. Teori Keandalan

1. Pengertian Keandalan

Keandalan adalah kemungkinan (Probability) suatu komponen atau sistem bekerja sesuai dengan fungsinya untuk jangka waktu dan kondisi

tertentu, berdasarkan pengertian di atas diuraikan bahwa keandalan suatu sistem atau komponen terdiri dari empat unsur yaitu :

- a. Kemungkinan (Probability), perhitungan keandalan berdasarkan prinsip-prinsip teori kemungkinan
- b. Bekerja sesuai dengan fungsinya atau berdaya guna, hal ini berhubungan dengan pandangan teknis, yang membutuhkan penyelidikan khusus dari kegagalan bagi masing-masing komponen atau sistem itu sendiri.
- c. Periode time (waktu), yang menunjukkan bahwa semakin lama suatu peralatan atau suatu komponen digunakan, makin banyak pula kegagalan yang terjadi.
- d. Operating condition (kondisi operasi), menyatakan bahwa lingkungan kerja dari komponen yang ditempatkan pada suatu sistem laju kegagalan akan meningkat pada saat cuaca buruk bila komponen tersebut diletakkan di udara terbuka atau udara bebas. Dengan kata lain laju-kegagalan sangat erat hubungannya dengan kondisi lingkungan tempat komponen tersebut berada.

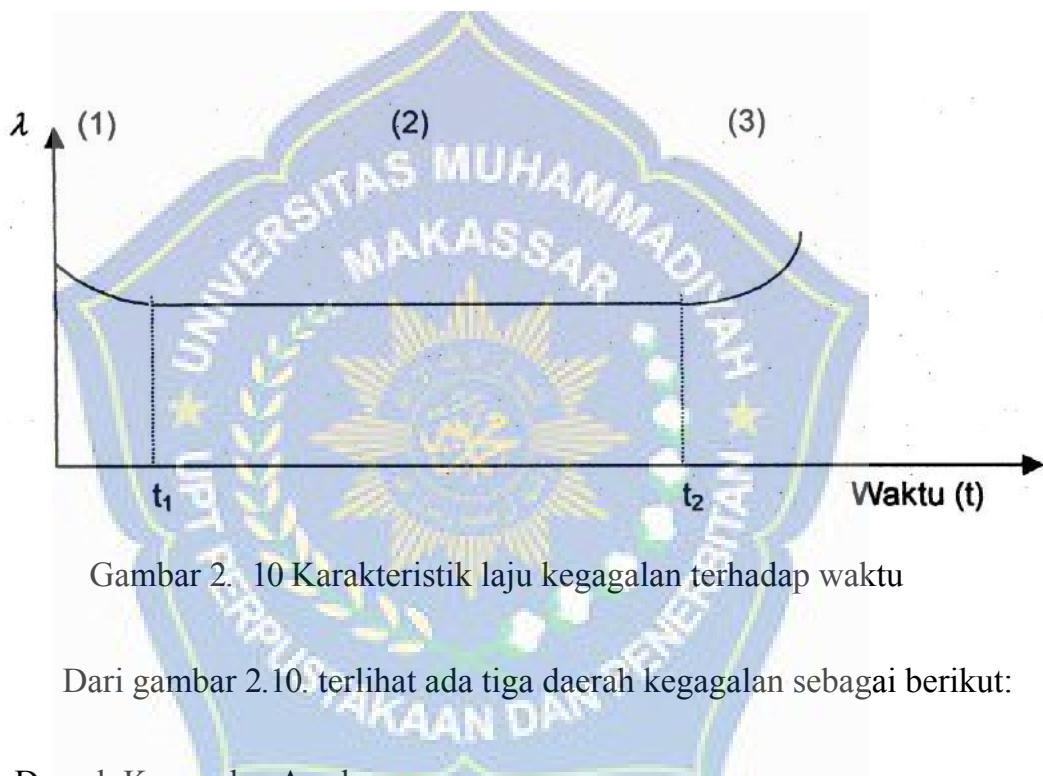
2. Laju Kegagalan

Laju kegagalan didefinisikan sebagai banyaknya kegagalan yang terjadi persatuan waktu, pada selang waktu pengamatan tertentu dapat disimbolkan sebagai A. Satuan yang digunakan adalah kegagalan perbulan, jadi laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \dots \quad (2.3)$$

Perubahan harga laju pada kegagalan terhadap umur suatu sistem atau komponen pada kenyataannya dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut:

Laju kegagalan



Gambar 2. 10 Karakteristik laju kegagalan terhadap waktu

Dari gambar 2.10 terlihat ada tiga daerah kegagalan sebagai berikut:

a. Daerah Kegagalan Awal

Pada daerah ini sistem atau peralatan mulai bekerja atau dioperasikan. Kegagalan ini terjadi seiring dengan bertambahnya waktu.

b. Daerah Kegagalan Normal

Pada daerah ini angka kegagalan rata-ratanya dapat dikatakan konstan.

Setelah melalui daerah kegagalan awal maka kemungkinan terjadinya kegagalan tidak tergantung lagi terhadap waktu, karena sistem atau peralatan tersebut masih berada dalam unsur ekonomisnya.

c. Daerah Kegagalan Akhir

Laju kegagalan pada daerah ini akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya waktu, hal ini disebabkan karena lamanya atau umur dari suatu sistem atau peralatan.

Pada pembahasan selanjutnya diasumsikan bahwa laju kegagalan konstan terhadap unsur sesuai dengan daerah kegagalan normal pada gambar 2.1.0.

3. Waktu Perbaikan

Waktu perbaikan adalah lama waktu dari terjadinya kegagalan pada suatu sistem atau peralatan tersebut dapat beroperasi lagi secara normal.

Waktu perbaikan tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut.

- Waktu yang dibutuhkan untuk menentukan letak gangguan atau kegagalan suatu komponen atau peralatan.
- Waktu yang dibutuhkan untuk mencari komponen atau peralatan yang rusak.
- Waktu yang diperlukan untuk memperbaiki atau mengganti peralatan yang rusak.
- Waktu yang dilakukan mulai dari keadaan star sampai peralatan normal kembali.

4. Fungsi Umum Keandalan

Dalam evaluasi keandalan bukan berdasarkan peluang kegagalan, melainkan peluang yang masih beroperasi atau sukses pada suatu periode waktu. Nilai peluang ini merupakan komplemen sehingga menimbulkan suatu fungsi yang masih beroperasi $R(t)$. Hubungan antara fungsi yang beroperasi adalah:

$$R(t) = 1 - Q(t). \quad \dots \dots \dots \quad (2.4.)$$

dengan : $R(t)$ = Fungsi operasi

$Q(t)$ = Fungsi kegagalan

Dari fungsi distribusi kegagalan $Q(t)$, yang merupakan fungsi waktu t , jika didefrensialkan terhadap t akan menghasilkan suatu fungsi baru yang dikenalkan dengan fungsi **kepadatan kegagalan** $f(t)$, yaitu :

$$f(t) = \dots \quad (2.5)$$

Berikut ini adalah persamaan matematika sehubungan dengan fungsi dalam keandalan yang dapat digunakan untuk suatu kemungkinan. Diasumsikan dalam bagian ini ada sejumlah No peralatan yang identik yang diuji untuk waktu t , maka diperoleh:

dengan :

No = Peralatan yang diuji pada waktu t

$N_s(t)$ = Jumlah komponen yang masih beroperasi pada waktu t

Nf(t) = Jumlah komponen gaga! pada waktu t

Keandalan pada waktu t diberikan oleh :

$$R(t) = =$$

= 1-(2.7)

Dengan cara yang sama diperoleh distribusi kegagalan komulatif Q(t)

$$Q(t) = \dots \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) untuk dt diperoleh

$$Q(t) = \dots \quad (2.9)$$

Diasumsikan laju kegagalan sesaat pada waktu t sebagai X_t adalah

$$\lambda(t) =$$

$$\lambda(t) =$$

Dari persamaan (2.10) sehingga diperoleh :

Dari persamaan (2.10) menunjukkan bahwa (t) merupakan fungsi kepadatan kegagalan $f(t)$ dan keandalan $R(t)$. Selanjutnya persamaan (2.11) diintegarkan terhadap waktu t

$$\lambda(t) = -$$

$$dR(t) =$$

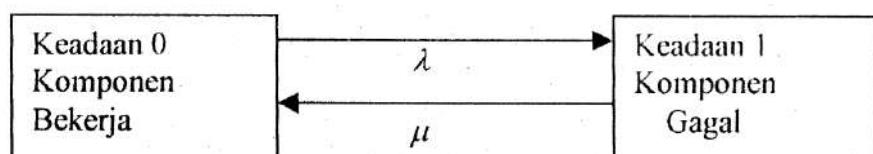
$$\ln R(t) =$$

$$R(t) = e^{-\lambda(t)dt}$$

BTG Power Plant sebagai pihak yang menggunakan EP mengharapkan agar peralatan tersebut mencapai tingkat keandalan yang dipersyaratkan yaitu >98 % yang telah distandarisasi oleh perusahaan pembuat EP, sedangkan menutu standar ISO (ISO lingkungan) gas buang rata-rata yang diperolehkan adalah 0-75 % mg/m³.

5. Metode Frekuensi dan waktu

Suatu sistem yang diwakili oleh model dua keadaan yaitu keadaan "bekerja" atau "keadaan" gagal. Model keadaan tersebut dapat digambarkan dalam ruang, seperti diperlihatkan dalam gambar 2.11 , sebagai berikut :



Gambar 2. 11 Diagram Ruang Keadaan Komponen Tunggal

Untuk menentukan peluang sukses dan gagal suatu komponen tunggal dapat di lihat pada gambar 2.11, dan berdasarkan gambar tersebut dengan proses Markov diperoleh :

$$Po = \dots \quad (2.13)$$

$$P_1 = \dots \quad (2.13)$$

dengan :

Po = Peluang komponen keadaan khusus

P_1 = Peluang komponen gagal

λ = Laju kegagalan

μ = Laju perbaikan

dari rumus tersebut terlihat bahwa jumlah peluang sukses dan peluang gagal sama dengan satu dapat dituliskan ;

dengan :

$P_0 = A = \text{Ketersediaan}$

$P_1 = u = \text{Ketidak tersediaan}$

Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

$$U = \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

Jika suatu bagian (sistem perangkat, komponen peralatan) tidak mampu memenuhi fungsi yang diharapkan dengan baik, maka dapat dikatakan bahwa peralatan dalam kondisi kegagalan.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Agustus 2024 sampai dengan Desember 2024 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di BTG Power Plant PT. Semen Tonasa.

B. Metode Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir, metode yang digunakan adalah:

1. Penelitian Pustaka (Library Research)

Yaitu penelitian atau pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang penulis peroleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berhubungan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir.

2. Penelitian Lapangan (Field Research)

Yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian, yaitu kajian keandalan system penangkap debu listrik statis precipitator pada BTG Plant PT. Semen Tonasa

a. Observasi (Pengamatan Langsung)

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mengumpulkan data-data,

b. Interview (Wawancara)

Penulis melakukan tanya jawab secara langsung untuk memperoleh data-data dengan pihak-pihak yang memahami permasalahan ini.

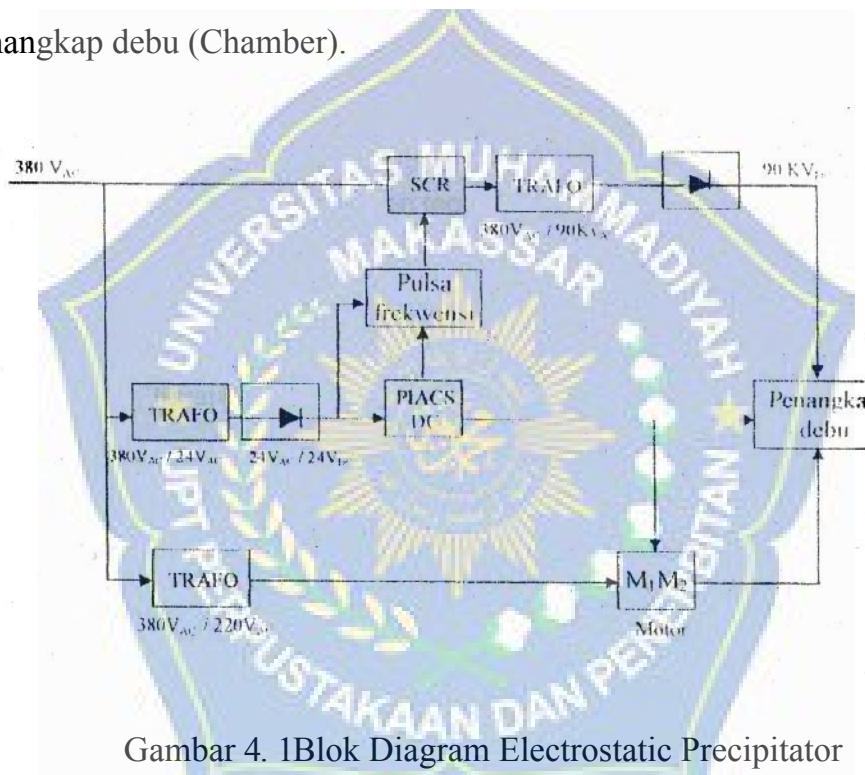


BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Prinsip Kerja Alat

Komponen-komponen utama dari alat ini adalah terdiri dari Transformator, Dioda, SCR, PIACS DC, Pulsa frekwensi, motor rapping, penangkap debu (Chamber).



Gambar 4. 1Blok Diagram Electrostatic Precipitator

B. Prinsip Kerja Transformator

Transformator digunakan untuk menaikkan (Sfep Up) dan menurunkan (Sfep Down) tegangan AC, yaitu untuk mengubah AC tegangan tinggi ams rendah dan AC tegangan rendah arus tinggi.

Kerja transformator berdasarkan induksi magnetik yang dihubungkan antara rangkaian primer dan sekunder. Rangkaian primer

mempunyai tegangan 380 Vac yang berasal dari power suplay sedangkan pada rangkaian sekunder menghasilkan tegangan 90-70 KVac yang kernudian dihubungkan ke dioda. Sedangkan pada transformator yang dihubungkan pada motor rapping tegangan primernya 380 Vac dan pada rangkaian sekunder menghasilkan tegangan 220 Vac.

C. Prinsip Kerja Dioda

Prinsip kerja dioda pada electrostatic precipitator adalah untuk meregulasi tegangan yang berasal dari transformator sehingga menghasilkan tegangan dan arus searah.

D. Prinsip Kerja Silicon Controlled Rectifier (SCR)

Pada SCR tegangan dapat diatur dengan mengatur sudut penyalaan pada gate SCR. SCR akan On jika diberi arus berupa pulsa. PIACS DC sebagai kontrol sistem berfungsi untuk menentukan sudut penembakan yang optimal ke gafe SCR dalam setiap setengah periode dari frekuensi line. Penembakan ditransmisikan melalui sinyal yang akan diubah kedalam bentuk pulsa. SCR On maka tegangan 380 Vac akan dilewatkan.

E. Kontrol PIACS DC (Precipitator Integrated Automatic Control System - Direct Current)

- Kontrol Power Supply Tegangan Tinggi
- Kontrol Power Supply m Unit Kontrol

a. Kontrol Power Supply Tegangan Tinggi

PIACS DC (Precipitator Integrated Automatic Control System - DC) merupakan unit dari Mikroprosesor yang digunakan untuk mengontrol secara otomatis power supply tegangan tinggi dan rapping system pada electrostatic precipitator

Berikut ini fungsi utama dari power supply tegangan tinggi :

1) Kontrol Kabinet merupakan tempat unit kontrol PIACS DC

- Energy Control (EC) adalah merupakan kontrol energi tegangan tinggi.
- Measurement of the peak (pengukuran puncak), adalah untuk mengukur nilai tertinggi, rata-rata dan akhir dari tegangan precipitator.
- Detector Corona, adalah alat untuk mendeteksi munculnya corona.
- Reduced Current Operation Function (RCO -Function), berfungsi sebagai pembatas arus maksimum pada power supply dan rapping system.
- Power of Rapping - Function (FOR - Function) atau Daya Penumbukan berfungsi untuk membatasi besarnya tegangan maksimum di electrostatic precipitator.
- Voltage Limitation - Function (VOL - Function) atau Fungsi Pembatas Tegangan berfungsi untuk membatasi besarnya tegangan maksimum di electrostatic precipitator.

- I DC Limit (batas arus DC), untuk memberikan efisiensi pada collecting dengan cara menormalkan arus yang besar di inlet sehingga lebih kecil dari arus di outlet precipitator. Nilai set normal dari / DC Limit adalah 250 - 450 mA, dimana nilai / DC Limit 1000 mA. Untuk menghitung besarnya daya pada precipitator digunakan persamaan sebagai berikut:

Dengan :

- a) Vdc maks adalah nilai tertinggi dari tegangan precipitator
 - b) Vdc adalah nilai rata-rata dari tegangan precipitator
 - c) Idc adalah nilai rata-rata dari arus precipitator
 - d) pc adalah nilai daya precipitator
 - Set - back menentukan batas arus terendah pada electrostatic precipitator setelah spark, arus menjadi kecil sesudah terjadi spark dan penunjukannya dalam miliampere (mA)
 - Fast Ramp Mode - Function (FRM - Function) berfungsi untuk menaikkan nilai arus precipitator dengan cepat pada saat diset. Fungsi FRM dapat menaikkan setiap saat jika waktu fast ramp diset 10 detik maka arus akan mengalami kenaikan selama 10 detik.
 - Spk Set Rt (Pengaturan Nilai Spark), selama pengoperasian arus tanpa adanya corona maka spark yang kecil sudah cukup. Jika

keadaan di precipitator ingin disesuaikan dengan kebutuhan maka dapat diset ke nilai yang lebih besar. Bila efisiensi pada collecting sudah tercapai maka proses penangkapan debu dapat berlangsung.

- t - Recovery merupakan waktu pemulihan setelah spark yaitu waktu yang diperlukan oleh tegangan dan arus untuk mencapai keadaan normalnya kembali. f-Recovery set normalnya adalah 50 ms.
- 2) Tangki tegangan tinggi mengandung minyak pendingin, trafo penyebar tegangan tinggi.

b. Kontrol HV Power Supply

- 1) HV Power Supply

Tegangan precipitator dimulai ketika kontaktor utama di"On"kan selama satu atau dua detik setelah itu tegangan electrostatic precipitator diperbesar dari nilai tegangan saat star dimulai selama setengah putaran dari frekuensi line kemudian arus DC ditambahkan sampai 200%.

- 2) Current Setback (Penurunan Arus)

Spark menyebabkan pengurangan arus DC dari penurunan arus sesuai dengan besar kecilnya spark, saat diset sampai arus DC mencapai nilai terendahnya (20 mA) kemudian tegangan precipitator

diatur untuk menghindari spark yang tidak sesuai dengan waktu yang ditentukan.

- 3) Laju Arus Setelah Spark Terjadi Laju dari kenaikan arus dihitung oleh PIACS DC secara internal dan sesuai dengan perkalian dari nilai arus dan spark, dengan rumus :

$$\text{Set - Back} \times \text{Spk Set Rt}$$

Pada saat spark, pulsa, penyulut terblok atau terhambat, bila tegangan turun dibawah nilai tegangan terendah saat diset. Kemudian arus dinaikkan pada laju kenaikan arus dihitung secara internal. Jika tidak terjadi spark maka nilai arus tetap berada pada batas maksimum arus yang telah ditentukan, yaitu 250 - 450 mA.

- 4) Fast Current Rise (Kenaikan arus Dengan Cepat)

Spark yang terjadi di electrostatic precipitator dapat menyebabkan turunnya nilai arus. Oleh karena itu nilai kontrol otomatis harus mengikuti sertakan FRM- Function untuk menaikkan arus precipitator dengan cepat hingga mencapai nilai yang ditentukan, jika dalam chamber tidak terjadi spark yang melebihi spark set rate.

- 5) Pengukuran Arus

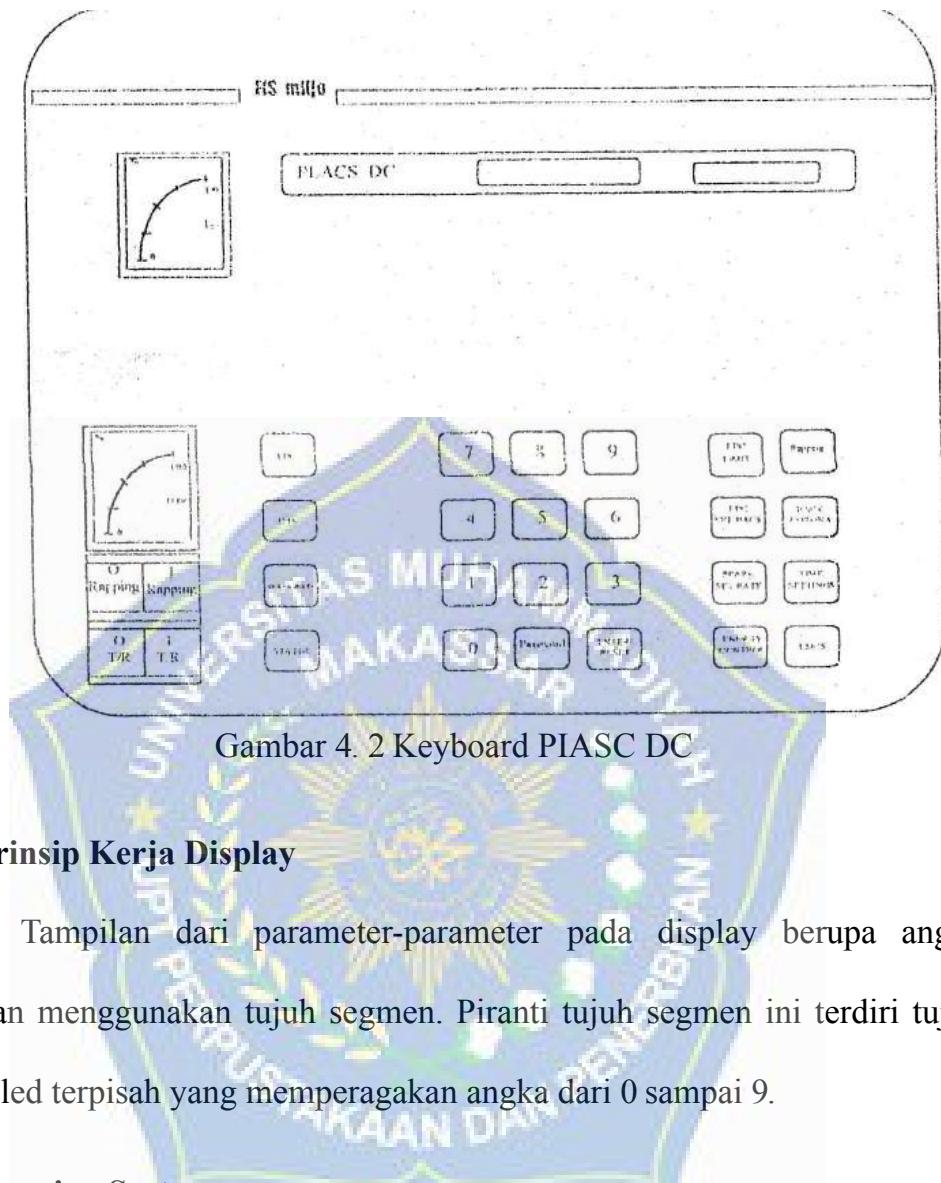
Nilai spark dapat diatur sampai 12 spark/menit (parameter 'Spk Set Rt') agar nilai tidak melebihi spark maka pengurangan arus dilakukan secara otomatis oleh unit kontrol. Arus dinaikkan ke nilai

normal jika waktu interval antara spark lebih kecil dari 0,5 detik dan arus diturunkan ke nilai normal jika waktu interval antara dua spark lebih besar dari 0,5 detik.

c. Unit Kontrol

Unit kontrol digunakan untuk meregulasi hasil rata-rata dari arus precipitator dalam kontrol sistem. SCR pada electrostatic precipitator sebagai saklar yang digunakan untuk mengendalikan tegangan AC pada transformator tegangan tinggi (transformator step up). Tegangan sekunder Dari transformer diserahkan pada jembatan penyearah dan kemudian dihubungkan langsung ke electrostatic precipitator dengan polaritas negatif pada discharge dan prioritas positif pada collecting.

Salah satu fungsi paling penting dari PIACS DC adalah mendeteksi keamanan setelah spark dengan menutup cepat level tegangan tanpa perlu membloking arus precipitator agar tidak terjadi multi spark atau spark yang berlipat ganda. Spark ini timbul akibat dari kondisi kelembaban electrostatic atau perubahan jarak collecting dan dischage pada electrostatic precipitator



F. Prinsip Kerja Display

Tampilan dari parameter-parameter pada display berupa angka dengan menggunakan tujuh segmen. Piranti tujuh segmen ini terdiri tujuh buah led terpisah yang memperagakan angka dari 0 sampai 9.

G. Rapping System

Unit rapping merupakan komponen utama dari peralatan Electrostatic Precipitator (EP) dimana rapping system merupakan peralatan yang sangat menentukan tingkat keberhasilan dari Electrostatic Precipitator (EP) pada proses penangkapan debu. Karena apabila unit rapping tidak bekerja dengan baik sebagaimana mestinya maka akan mengakibatkan terganggunya proses penangkapan debu, sehingga akan terjadi penumpukan

partikel debu di collecting plat yang akan mengakibatkan banyak debu keluar dari cerobong asap, karena kemampuan collecting plat untuk menangkap debu dipermukaan plat berkurang akibat banyaknya debu yang menempel. Untuk menghilangkan debu yang menempel pada permukaan collecting plat tersebut maka harus dilakukan penumbukan. Penumbukan ini dilakukan oleh rapping yang dilengkapi oleh hammer. Hammer pada sebuah electrostatic precipitator ditempatkan pada sisi collecting yang digerakkan oleh motor sinkron. Sedangkan pada bagian atas discharge terdapat motor sinkron yang dilengkapi oleh hammer yang dikontrol waktu penumbukannya oleh unit kontrol.

Adapun komponen utama dari Rapping System meliputi:

- a. Rapping Control Relay
- b. Kontaktor (saklar)
- c. Motor Penggerak Rapping
- d. Hammer

Pada unit rapping contactor atau saklar yang digunakan, dioprasikan dengan menggunakan dua macam cara yaitu :

- a. Saklar yang melakukan kontak dengan cara dikontrol langsung dari pusat pengendali yang bekerja secara otomatis.
- b. Saklar yang pengoprasiannya secara manual atau dapat di putuskan secara lokal. Saklar ini dapat digunakan apabila di lapangan terjadi

kerusakan maka untuk meng'off kan sementara unit rapping digunakan kontrol manual atau saklar lokal.

H. Gas Monitoring Unit (GMU)

Probe gas mempunyai panjang 700 mm, terbuat dari bahan baja yang tahan terhadap asap yang berkualitas tinggi dan dapat bekerja hingga suhu 4000°C . Berisi pipa baja dengan ujung filter pengering terbuat dari keramik terletak di dalam ruangan yang disensor. Dengan pipa baja untuk keluaran terdapat filter proteksi terhadap aliran partikel gas. Filter ini dibersihkan secara berkala dengan tekanan udara. Dari unit probe lalu diantarkan ke Gas Monitoring Unit melalui ruang sampel. Injektor penekanan udara memompa ke Gas Monitoring Unit, lalu menambah alirannya menjadi cepat dengan mempertahankan respon waktu terhadap sistem sesingkat mungkin. Setelah memasuki Gas Monitoring Unit sampel didinginkan sampai 5°C oleh kompressor pendingin, kemudian hasilnya dipindahkan. Proporsi dari gas kemudian dialirkan ke pompa analisis instrument, kemudian gas keluar melalui pompa.

GMU juga menggunakan PLC untuk mengontrol, valve untuk kalibrasi dan monitor dengan alarm untuk aliran, tekanan udara dan alarm lainnya. Alarm dilengkapi dengan lampu tanda sebagai tanda bahwa alat bekerja. Lampu pada GMU ditempatkan di depan panel lalu sinyal

disampaikan ke ruang kontrol. Dalam pengiriman sinyal langsung dihasilkan untuk menghentikan tegangan ke'EP.

I. Sensor System

Dalam pengoperasian elektrostatic precipitator digunakan beberapa jenis sensor. Yang terdiri atas :

- Sensor Oksigen dan CO
- Sensor Suhu

a. Sensor Oksigen dan CO

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi kadar oksigen yang terdapat dalam elektrostatic precipitator. Kandungan oksigen yang berbeda konsentrasi ion-ion oksigennya akan menghasilkan arus listrik.

Sensor CO merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO dalam electrostatic precipitator. Jika kandungan CO yang diukur-terlalu tinggi (melebihi 2%) maka dapat mempengaruhi kerja electrostatic precipitator sehingga dapat mengakibatkan ledakan. Untuk mencegah terjadinya ledakan pada electrostatic precipitator maka digunakan sensor gas CO-yang berfungsi untuk menghentikan atau mentripkan electrostatic Precipitator gas CO melebihi setting yang ditetapkan sehingga electrostatic precipitator tidak berfungsi lagi dalam proses penangkapan debu.

Apabila kandungan gas CO dalam gas buangan tinggi dan sensor tidak merespon dengan baik sehingga electrostatic precipitator tidak trip maka akan terjadi ledakan karena gas CO tersebut terbakar oleh spark yang terjadi dalam elektrostatic precipitator.

b. Sensor Suhu

Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi perubahan temperatur yang terjadi pada electrostatic precipitator. Apabila temperatur melebihi setting maka akan terjadi ledakan, sehingga perlu diaktifkan sensor suhu. Akibat kenaikan suhu didalam electrostatic precipitator lebih dari 150°C dan atau kurang dari 90°C maka akan terjadi proses penangkapan yang kurang baik.

J. Control Panel

Control Panel terdiri atas :

- a. Sistem Key Switch
- b. Saklar-saklar tombol penekan untuk mengontrol (saklar lokal)
- c. Petunjuk-petunjuk Tegangan dan Arus
- d. Kontrol Daya

K. Chamber

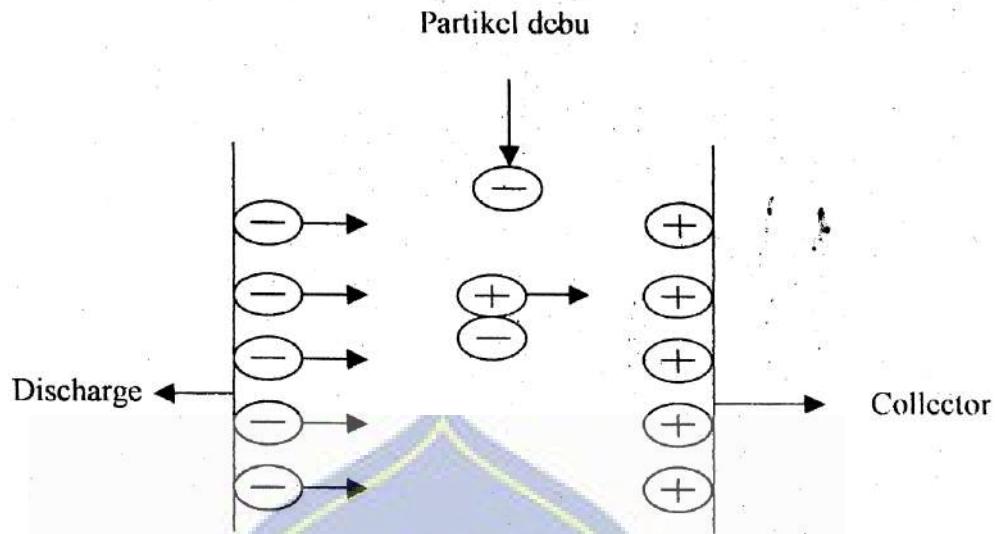
Chamber adalah tempat penampungan debu dari proses penangkapan debu dalam electrostatic precipitator yang di-lengkapi oleh :

- a. Discharge
- b. Collecting plate
- c. Hammer
- d. Sensor suhu
- e. screw Conveyor

L. Proses Penangkapan Debu

Proses penangkapan debu yang terjadi di electrostatic precipitator menggunakan sistem loop tertutup. Pengontrolan dilakukan oleh CPU yang berada dikontrol kabinet dengan umpan balik berupa tegangan dan arus yang terjadi di electrostatic precipitator. proses selanjutnya dilakukan oleh unit kontrol yang mengikuti sertakan parameter-parameter setting dan sistem pengamanan berupa sensor.

Ketika partikel debu melewati collecting plate dan discharge sehingga akan terionisasi menjadi ion negatif dan discharge akan mendorong partikel debu yang bermuatan negatif menuju ke collector yang bermuatan positif. Proses penangkapan debu dapat ditunjukkan pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 4. 3 Proses Penangkapan Debu

Proses penangkapan debu ini akan terjadi secara kontinyu sehingga partikel debu akan terkumpul pada collector. Pada collecting plate yang dilengkapi dengan hammer yang decoupling langsung dengan as motor rapping dan secara periodik hammer akan menumbuk collecting plate sehingga debu akan jatuh ke bawah dan akan ditransportasikan ke tempat penampungan. Sedangkan, gas debu buangan akan ke udara bebas dan diusahakan agar gas buangan tersebut sesedikit mungkin. Diharapkan 100 % partikel debu hasil pembakaran yang akan dibuang ke udara bebas 95 % diantaranya yang dapat ditangkap oleh electrostatic precipitator dan 5 % sisanya yang terlewatkan.

Tabel 4. 1Uraian Kegiatan/Gangguan

NO	Bulan	Gangguan	Kegiatan	LG (menit)
1	21-01-2023	Persiapan EP 1 dan II start STA. Tamper, Megger Hioki, Vibralog Trafo 2	Check EP dan GMU Check; Temperatur tinggi, turunkan setting tegangan	30
	26-01-2023			15
2	05-02-2023	Trafo III alarm dan GMU Trip	Reset KCO, reset trafo III dan start kembali	7
3	02-03-2023	Program overhaull	Bersama personel PEN rekalibrasi indikator EP line 1	10
	09-03-2023	PMC MCC EP	Pengecekan, pengencangan baut.	120

			dan pembersihan panel	
	14-03-2023	M 1 coll tidak mau start	Reset OL dan test (masih trip, motor berat berputar karena material masih banyak)	15
	16-03-2023	Ml coll tidak mau start	Reset OL dan lest (OK) Indikasi OL di CCR tidak man bilang	15
			Check kontrol	10
			Kabel di cp 3 ACC 2#8	10
			terinduksi	10
			M 2 emit kabelnya juga terinduksi (p5	10

	18-03-2023 21-03-2023 27-03-2023	Motor coll 1 dan motor emit2 trip Lanjutan kabel induksi trip ml coll dan m2 emit Motor coll Rapper bergetar dan banyak oli menetes	Reset OL Check kontrol kabel, Lampu indikator run. ganti kabel 'space Install kabel roll	15 15 10
4	15-04-2023	Preparation start EP I	Onkan breaker trafo I, III dan rapper Jumper	5
		-	fuse Power incoming	5

			TrafoII Start	3
5	03-05-2023	EP II trip, Hopper III Alarm	Hopper I, II dan III penuh	10
6	07-07-2023 20-07-2023 24-07-2023	Motor colllapping trip Indikasi alarm trafo trip, menyala tapi tidak trip Chamber 1 EP 1 alarm	Reset OL Check SA3 rusak tidak bisa on-off benahi kontak switchnya Reset alarm, beri label full	15 30 15

7	04-08-2023 07-08-2023 16-08-2023 23-08-2023 29-08-2023	Induksi M call rapping PMC rutine Preparation start EP2 Meal I rapping trip Persiapan start EP2	Reset Olnya Pembersihan panel panel kontrol Lepas fan panel EP yang terbakar onkan panelnya Check dan reset GMV Start EP untuk operasi Reset OL Onkan powernya dan reset KCO Start oleh operator	15 10 2,5 2.5 15 5 15 10 10
---	--	---	--	---

8	2-11-2023 3-11-2023 29-11-2023	Mcoll EP lit rip Mcoll rapping trip Check Mcoll rappling! Layani mek	Reset OL Reset OL Check OL dan test 1 Ukur ampermeter 0,9- 1 A Kemungkinan trip karena material banyak Install lampu penerangan	15 15 20 7 18 10
---	--------------------------------------	--	--	---------------------------------

9	05-12-2023	Layani perintah personil	Amankan power untuk trip EP Connect kabel roll	7
	06-12-2023	Order generator CCR	Siapkan power EP Onkan powernya	4 5
	09-12-2023	MAPPING EP2 tidak mau start	Reset	5
	12-12-2023	Induksi Mcoll	Reset OL trip.	7
	14-12-2023	rapping Mcoll2 OL	kemungkinan material menumpuk (lepas fuse kontrol)	15
	15-12-2023	Mcoll trip	Reset OL	15
		Rapper J trip	Reset OL dan test	
	17-12-2023	Rapper coll tidak mau start	Check dan reset OL	18
	27-12-2023			17

Tabel 4. 2 Presentase Average Flue Gas (Gas Buang Rata-rata) pada Tahun 2023

No.	Bulan	% Average (nig / m ³)
1.	Januari	45,6
2.	Februari	37,3
3.	Maret	54,9
4.	April	56,1
5.	Mei	64,7
6.	Agustus	74,8
7.	September	75,3
8.	November	74,5
9.	Desember	70,8

M. Perhitungan Indeks Keandalan

1. Bulan Januari 2023

Dengan menggunakan persamaan 2.3 maka didapat rumus :

- Laju kegagalan (A.)

$$\lambda =$$

$$=$$

= 2 kegagalan perbulan

- Waktu kegagalan perbulan (r)

$$r = 45 \text{ menit}$$

= 0,75 jam kegagalan perbulan

- Waktu perbaikan

$$t =$$

=

$$= 0,375 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi $24 \text{ jam} \times 31 \text{ hari} = 744 \text{ jam}$

- % Ketidaktersediaan

Dengan menggunakan persamaan 2.17 maka didapat rumus ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000504 x 100\%$$

$$= 0,0504\%$$

- % ketersediaan

Dengan menggunakan persamaan 2.16 maka didapat % ketersediaan :

$$P_2 = A = (1 - U) \times 100\%$$

$$= (1 - 0,000504) \times 100\%$$

$$= 0,999496 \times 100\%$$

$$= 99,9496\%$$

- % Keandalan Dengan menggunakan persamaan 2.12 maka didapat % keandalan :

$$R(t) = e^{-u} \times 100\%$$

$$= e^{-0,000504} \times 100\%$$

$$= 0,999496 \times 100\%$$

$$= 99,9496\%$$

2. Bulan Februari 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan,

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 1 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 7 \text{ menit}$$

$$= 0,116 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,116 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam x 28 hari = 672 jam

- % Kelidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000173 x 100\%$$

$$= 0,0173\%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1 - U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000173) x 100\%$$

$$= 0,999827 x 100\%$$

$$= 99,9827\%$$

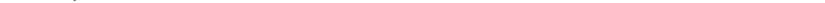
- % Keandalan

$$R(t) = e^{-ut} x 100\%$$

$$= e^{-0,000173} x 100\%$$

$$= 0,999827 x 100\%$$

$$= 99,9827\%$$



3. Bulan Maret 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 7 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 240 \text{ menit}$$

$$= 4 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,571 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam x 31 hari = 744 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000768 x 100\%$$

$$= 0,0768 \%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1 - U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000768) x 100\%$$

$$= 0,999232 x 100\%$$

$$= 99,9232\%$$

- %Keandalan

$$R(t) = e^{-ut} x 100\%$$

$$= e^{-0,000768} \times 100\%$$

$$= 0,999232 \times 100\%$$

$$= 99,9232\%$$

4. Bulan April 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 1 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 13 \text{ menit}$$

$$= 0,2 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,2 \text{ jam}$$



Sistem beroperasi 24 jam x 30 hari = 720 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000278 \times 100\%$$

$$= 0,0278 \%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1 - U) \times 100\%$$

$$= (1 - 0,000278) \times 100\%$$

$$= 0,999722 \times 100\%$$

$$= 99,9722\%$$

- % Keandalan

$$R_{(t)} = e^{-u} \times 100\%$$

$$= e^{-0,000278} \times 100\%$$

$$= 0,999722 \times 100\%$$

$$= 99,9722\%$$

5. Bulan Mei 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 1 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 10 \text{ menit}$$

$$= 0,166 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$



$$= 0,166 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam \ 31 hari = 744 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000223 x 100\%$$

$$= 0,0223\%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1 - U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000223) x 100\%$$

$$= 0,999777 x 100\%$$

$$= 99,9777\%$$

- % Keandalan

$$R(t) = e^{-u} x 100\%$$

$$= e^{-0,000223} x 100\%$$

$$= 0,999777 x 100\%$$

$$= 99,9777\%$$

6. Bulan Juli 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

= 3 kegagalan perbulan

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 60 \text{ menit}$$

= 1 jam kegagalan perbulan 1

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,333 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam x 31 hari = 744 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000447 x 100\%$$

$$= 0,0447\%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1-U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000447) x 100\%$$

$$= 0,999553 x 100\%$$

$$= 99,9553\%$$

- % Keandalan

$$R(t) = e^{-u} x 100\%$$

$$= e^{-0,000447} \times 100\%$$

$$= 0,999553 \times 100\%$$

$$= 99,9553 \%$$

7. Bulan Agustus 2023

- Laju kegagalan (λ), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 5 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 85 \text{ menit}$$

$$= 1,417 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,2834 \text{ jam}$$



Sistem beroperasi 24 jam x 31 hari = 744 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000381 \times 100\%$$

$$= 0,0381 \%$$

- % ketersediaan

$$\begin{aligned}
 P_2 = A &= (1 - U) \times 100\% \\
 &= (1 - 0,000381) \times 100\% \\
 &= 0,999619 \times 100\% \\
 &= 99,9619\%
 \end{aligned}$$

- %Keandalan

$$R(t) = e^{-ut} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= e^{-0,000381t} \times 100\% \\
 &= 0,999619 \times 100\% \\
 &= 99,9619\%
 \end{aligned}$$

8. Bulan September 2023

- Laju kegagalan (A,), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

$$= 3 \text{ kegagalan perbulan}$$

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 85 \text{ menit}$$

$$= 1,417 \text{ jam kegagalan perbulan}$$

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,4723 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam x 30 hari = 720 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000656 x 100\%$$

$$= 0,0656\%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1 - U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000656) x 100\%$$

$$= 0,999344 x 100\%$$

$$= 99,9344\%$$

- % Keandalan

$$R(t) = e^{-u} x 100\%$$

$$= e^{-0,000656} x 100\%$$

$$= 0,999344 x 100\%$$

$$= 99,9344 \%$$

9. Bulan Oktober 2023

- Laju kegagalan (A,), satuan yang digunakan adalah perbulan

$$\lambda =$$

$$=$$

= 8 kegagalan perbulan

- Waktu kegagalan perbulan (r) lama gangguan (menit)

$$r = 93 \text{ menit}$$

= 1,55 jam kegagalan perbulan

- Waktu perbaikan

$$t =$$

$$=$$

$$= 0,1937 \text{ jam}$$

Sistem beroperasi 24 jam x 31 hari = 744 jam

- % Ketidaktersediaan

$$P_1 = U = x 100\%$$

$$= x 100\%$$

$$= 0,000260 x 100\%$$

$$= 0,0260 \%$$

- % ketersediaan

$$P_2 = A = (1-U) x 100\%$$

$$= (1 - 0,000260) x 100\%$$

$$= 0,999740 \times 100\%$$

$$= 99,9740\%$$

- % Keandalan

$$R(t) = e^{-u} \times 100\%$$

$$= e^{-0,000260} \times 100\%$$

$$= 0,999740 \times 100\%$$

$$= 99,9740 \%$$

N. Analisis Keadaan Sistem Perangkap Debu Elektrostatik

Precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa

Hasil perhitungan dari sub Bab 4.2 menunjukkan kondisi dari sistem peningkatan debu elektrostatik Precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa.

BTG Power Plant sebagai pihak yang menggunakan electrostatic precipitator mengharapkan agar peralatan tersebut mencapai tingkat keandalan yang dipersyaratkan yaitu $> 98\%$, namun demikian kenyataan yang sering ditemui di lapangan seringkali berbeda dari target yang diharapkan. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor antara lain :

- Peralatan / komponen, misalnya : Penuaan peralatan / komponen, suku cadang dan lain-lain,
- Lingkungan, misalnya pengaruh perubahan suhu,
- Metode dan prosedur penanggulangan dan pencegahan gangguan.

Berdasarkan data hasil operasi selama satu tahun terakhir (Januari

- Desember 2023) diadakan perhitungan indeks keandalan untuk sistem tersebut di atas (dapat dilihat pada tabel 4.3)

Tabel 4. 3 Data Hasil Perhitungan Bilangan Studi Keandalan Sistem Penangkap Debu Electrostatic Precipitator Pada BTG Power Plant PT.

Semen Tonasa

No	Bulan	U (%)	A (%)	R (%)
1.	Januari	0.0504	99.9469	99.9469
2.	Februari	0.0173	99.9827	99.9827
3.	Maret	0.0768	99.9232	99.9232
4.	April	0.0278	99.9722	99.9722
5.	Mei	0.0223	99.9777	99.9777
6.	Juli	0.0447	99.9553	99.9553
7.	Agustus	0.0381	99.9619	99.9619

8.	September	0.0656	99.9344	999344
9.	Oktober	0.0260	99.9740	99.9740



- U = Ketidaktersediaan (%)
- A = Ketersediaan (%)
- R = Keandalan (%)

Dari tabel 3.3 terlihat bahwa tingkat keandalan sistem penangkap debu electrostatic precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa telah memenuhi syarat keandalan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Untuk meningkatkan keandalan dari sistem penangkap debu, maka perlu diambil tindakan atau kebijaksanaan guna menunjang tercapainya target yang diharapkan agar gangguan / kerusakan yang terjadi harus diatasi secepat mungkin dengan menyiagakan petugas teknisi yang terampil, cekatan dan siap siaga. Juga menyediakan peralatan lain yang dibutuhkan dalam penanggulangan gangguan / kerusakan.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Hasil perhitungan keandalan pada sistem penangkap debu Elektrostatik precipitator pada BTG Power Plant PT. Semen Tonasa Pangkep dari bulan Januari sampai Desember 2023, ternyata memenuhi syarat keandalan (Effeciency) yakni $> 98\%$ yang telah distandarisasikan oleh perusahaan pembuat EP ini.
2. Elektrostatik menggunakan power supply tegangan tinggi, yang menyebabkan terjadinya proses ionisasi di Elektrostalik precipitator sehingga Elektrostatik precipitator dapat berfungsi sebagai penangkap debu dimana ion positif dan negatif akan tarik-menarik. Dan cara kerja dari Elektrostatik precipitator menggunakan sistem loop tertutup yang pengontrolannya menggunakan CPU yang ada dikontrol cabinet.
3. Komponen-komponen utama dari EP adalah ;
 - Trafo digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC
 - Dioda digunakan untuk meregulasi tegangan trafo sehingga menghasilkan tegangan dan arus searah.
 - SCR berfungsi sebagai saklar untuk mengatur tegangan AC pada trafo Step Up
 - PIACS DC berfungsi sebagai kontrol sistem

- Pulsa frekwensi berfungsi sebagai pemicu untuk meng”on”kan SCR
- Motor rapping digunakan untuk menggerakkan hammer
- Penangkap debu (chamber) berfungsi sebagai tempat penampungan debu dari proses penangkapan debu di EP.

B. Saran-saran

- Mengingat dari sekian banyak gangguan EP yang ada pada tabel 3.1 disebabkan oleh over load karena debu mekanis dan short circuit, maka sebaiknya saat pembakaran batu yang meningkat akibat kebutuhan daya yang besar, setting waktu untuk motor yang menggerakkan hammer dipercepat.



DAFTAR PUSTAKA

Hamzah Berahim, Ir. Pengantar Teknik Tenaga Listrik. Andi Offset Yogyakarta, 2021.

Iskandar, ST. Sistem Pembangkit pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran, 2021.

Instalasi Listrik Arus Kuat, Bina Cipta Bandung, 2021

Moh. Taib Sutan Sa'ti. Fisika. CV. Mandar Maju. Peraturan Umum Instalasi Listrik, LIPI, Jakarta 2021.

Maryadi,2021. Kajian Kondisi Permukaan Solar Cell Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan, laporan Akhir, Palembang.

Markori,2021 .Bahan ajar Pembangkit Tenaga Listrik. Palembang.

Petunjuk Pengoperasian Menara Suar. Sub Direktorat Perambuan dan Penerangan Pantai. Direktorat Navigasi. 2021

Petruzella, Frank D. 2022. Elektronik Industri (Terjemahan). Yogyakarta : Andi Yogyakarta.

Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. 2021 Mesin Konversi Energi. Andi.Yogyakarta

Reitz, Milford, Christy.2022. Dasar Teori Listrik Magnet. Bandung : ITB

Robert L. Shader. 2022. Komunikasi Elektronika. Jakarta : Erlangga

Supranto J. 2022. Statistik Teori dan Aplikasi. Jakarta : Erlangga.

Zuhal. 1993. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama

Van Harten, P, & Setiawan E, Ir. Instalasi Listrik Arus Kuat I, Bina Cipta Bandung, 2020

Wahida,2021.Studi Iluminansi Cahaya Untuk Membangkitkan Energi Listrik Menggunakan Solar Cell (Studi Kasus Di laboratorium Teknik Listrik), Laporan Akhir, Palembang.



LAMPIRAN

