

Sistem Kerja *Electrostatic Precipitator* (ESP) Untuk Menangkap Abu Hasil Proses Pembakaran di PLTU PT. Dian Swastatika Sentosa Serang *Power Plant*

Mohammad Nandi Rofandi^{1✉}, Irwanto²

^{1,2} Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 30-09-2022

Direvisi : 10-10-2022

Diterima : 15-10-2022

ABSTRAK

PT. Dian Swastatika Sentosa (DSS) Serang *Power Plant* menyediakan listrik yang di suplai ke PT. Indah Kiat yang merupakan anak perusahaan Sinar Mas Grup. Saat ini menggunakan pembangkit listrik bertenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar berupa batu bara yang juga dapat menghasilkan polusi apabila emisi gas buangnya tidak diatasi. Alat paling efektif dan umum digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang digunakan adalah *Electrostatic Precipitator* (ESP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem kerja ESP menangkap abu hasil pembakaran batu bara di PT. DSS. Metode yang dilakukan adalah metode penelitian deskriptif, yaitu melakukan survei langsung dan melakukan wawancara. Penangkapan abu dengan ESP didasarkan atas gaya elektrostatis, di mana gas bersamaan dengan abu akan mengalir melalui medan elektrostatis di antara dua elektrode yang bermuatan. Ketika partikel abu melewatinya, mereka menjadi memiliki muatan listrik, sehingga abu akan menempel pada elektrode. Abu yang terkumpul kemudian dijatuhkan menggunakan *rapping system* untuk selanjutnya ditampung dalam *hopper*, sedangkan gas buang yang telah menjadi bersih akan dialirkan keluar ke atmosfer.

Kata Kunci:

Electrostatic Precipitator (ESP), Elektrode, Elektrostatis, PLTU.

Keywords :

Electrostatic Precipitator (ESP), Electrode, Electrostatic, steam power plant.

ABSTRACT

PT. Dian Swastatika Sentosa (DSS) Serang *Power Plant* provides electricity which is supplied to PT. Indah Kiat which is a subsidiary of the Sinar Mas Group. Currently using a steam power plant (PLTU) with coal fuel which can be a source of pollution if gas emissions are not handled. The most effective and commonly used tool to reduce air pollution is *Electrostatic Precipitator* or (ESP). This study aims to determine the working system of *Electrostatic Precipitator* to capture coal burning ash at PT. DSS. The method used is descriptive research method, namely conducting direct surveys and conducting interviews. The capture of ash with ESP works based on the electrostatic force where the smoke passes through a static electric field between two charged electrodes. The ash particles will burden when passing through, so the ash will stick to the electrodes. The ash which is collected will be dropped use a *rapping system* and be accommodated in a *hopper*, while the clean gas will flow out into the atmosphere.

Corresponding Author :

Mohammad Nandi Rofandi

Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Jl. Ciwaru Raya No.25 Kota Serang, Banten 42117.

Email: 2283180018@untirta.ac.id

PENDAHULUAN

Pembangkitan listrik tenaga uap (PLTU) yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap air untuk memproduksi listrik (Yuniarti & aji, 2019). Pada prinsipnya, PLTU diciptakan untuk menggunakan sumber panas yang kemudian diubah menjadi bentuk uap yang dimanfaatkan sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan energi listrik. PLTU dioperasikan pada siklus yang telah dimodifikasi supaya dapat mencakup beberapa proses yaitu, proses pemanasan lanjutan, proses pemanasan air untuk pengisian boiler dan juga proses pemanasan ulang dari uap yang telah keluar dari turbin bertekanan tinggi (Abimanyu, Gaffar, & Pranoto, 2021). Prinsip dari PLTU secara sederhana yaitu air yang dipompa ke *boiler*, didalam *boiler* kemudian air akan diubah menjadi brentuk uap panas. Uap panas yang bertekanan akan dialirkan ke turbin, kemudian uap tersebut dipakai sebagai energi pemutar turbin untuk mendapatkan energi mekanik dari putaran turbin (Murti, Manuaba, & Arjana, 2020).

Proses pembakaran di PLTU menghasilkan abu yang mengandung bahan kimia yang berbahaya untuk lingkungan sekitar. Maka untuk itu, sistem pembuangan gas adalah bagian yang sangat penting. *Electrostatic precipitator* (ESP) adalah alat yang digunakan sebagai alat penangkapan abu (*Ash collection*) di industri yang digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara (Afrian, Firdaus, & Ervianto, 2015). Pada dasarnya *Electrostatic Precipitator* (ESP) ada 3 sistem utama yang bekerja. Pertama proses ionisasi abu yang terkandung dalam gas buang, selanjutnya proses *collection* abu yang telah terionisasi dan terakhir proses *rapping* abu yang menempel pada *collecting plate* agar jatuh ke area *hopper* (Winarno, 2020). Berikut proses terjadinya medan elektrostatis pada ESP; 1). Pada ESP ada dua jenis elektrode, yaitu *discharge electrode* (DE) berupa kawat baja yang diberi muatan negatif dan *collecting electrode* (CE) berupa plat pengumpul yang diberi muatan positif. 2). *Discharge electrode* ditempatkan antara plat pengumpul atau *collecting electrode* (CE). 3). Pada *Discharge electrode* diberi arus listrik searah (DC) dengan muatan negatif, pada tingkat tegangan diantara 55–75 KvDC. (sumber listrik yang pada awalnya 380V AC, dinaikkan pada trafo menjadi sekitar 55–75 KvDC dan disearahkan menjadi arus DC menggunakan *rectifier*, lalu hanya diambil potensial negatif saja). 4). Plat pengumpul di-*grounding* supaya memiliki muatan positif. 5). Dengan demikian, pada saat *discharge electrode* diberi arus DC maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai elektroda tersebut dan partikel debu akan tertarik pada pelat tersebut (Sepfitrah & Rizal, 2015).

Di era sekarang, perkembangan teknologi akan semakin meningkat pesat. Hal ini tidak terlepas dengan kebutuhan dan penggunaan dari energi listrik yang juga meningkat. Pengguna terbesar energi listrik berasal dari sektor industri. Industri akan menggunakan energi listrik untuk dapat menjalankan produksi dan untuk penggunaan lain. Energi listrik yang kebanyakan industri gunakan berasal dari PT. PLN. Masih sedikit perusahaan yang memiliki pembangkit sendiri sebagai pemasok kebutuhan energi listriknya. PT. Dian Swastatika Sentosa Tbk. (DSS) Serang *Power Plant* bergerak dalam bidang penyedia listrik (*Electrical Energy*) yang beroperasi pada pembangkit listrik. Pembangkit listrik yang digunakan disini adalah pembangkit listrik dengan tenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara. Berhubungan dengan hal itu, sudah sewajarnya dampak pada lingkungan harus tetap diperhatikan, karena pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar berupa batu bara bisa menjadi sumber polusi udara apabila tidak ditangani secara tepat. Dengan adanya abu-abu yang tersisa hasil pembakaran yang dapat mencemari lingkungan ini tentu saja memerlukan alat yang dapat mengontrolnya. Alat yang paling efektif dan umum digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang juga digunakan di PT. Dian Swastatika Sentosa Serang *Power Plant* adalah *Electrostatic Precipitator* (ESP).

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan teknik deskriptif untuk mendeskripsikan apa saja gejala atau peristiwa yang terjadi pada masa sekarang atau yang sedang berlangsung pada saat penelitian dilakukan. Penelitian mengenai sistem kerja *electrostatic precipitator* (ESP) dilakukan melalui teknik pengumpulan data dalam penelitian yaitu melalui tahapan observasi, wawancara, dan studi dokumentasi tentang bagaimana sistem kerja yang

dilakukan oleh electrostatic precipitator (ESP) untuk menangkap abu hasil proses pembakaran di PT. DSS.

- 1) Observasi, pada penelitian kali ini cara observasi yang dilaksanakan adalah dengan cara melalui pengamatan. Pengamatan dilaksanakan secara *nonparticipant observation*.
- 2) Wawancara, dilakukannya wawancara pada penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui, melengkapi data-data dan upaya supaya mendapatkan data-data akurat yang bersumber dari sumber yang tepat. Peneliti mempergunakan teknik *sampling purposive* sebagai upaya menentukan informan didalam penelitian. Teknik *sampling purposive* merupakan cara untuk menentukan informan dengan cara memilih informan yang cocok dengan kriteria, keperluan atau kebutuhan data.
- 3) Studi Dokumentasi, studi dokumentasi dalam penelitian ini diperlukan untuk mempertajam analisis penelitian yang berkaitan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. Dian Swastatika Sentosa Serang *Power Plant* mempunyai 4 unit *boiler*, dimana tiap unitnya terdapat turbin generator pembangkit diantaranya 3 turbin generator dengan merk Dong Fang China dan 1 turbin generator pembangkit merk ABB (*Asea Brown Boveri*). *Boiler* dan turbin dibangun dan dioperasikan dengan spesifikasi teknis, jenis, dan kapasitas terpasang pada *boiler* berbasis *pulverized coal* untuk menjalankan produksi, dijelaskan pada tabel di bawah.

Tabel 1. Kapasitas Terpasang Steam Boiler

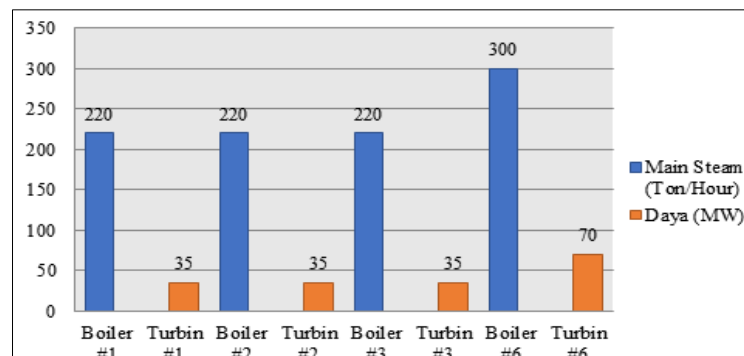
Nama	Jenis	Main Steam (Ton/Hour)
Boiler #1	Dong Fang China Pulverized Coal Boiler	220
Boiler #2	Dong Fang China Pulverized Coal Boiler	220
Boiler #3	Dong Fang China Pulverized Coal Boiler	220
Boiler #6	Formosa Pulverized Coal Boiler	300
TOTAL		960

Spesifikasi teknis yang kapasitas terpasang daya turbin dan generator pada turbin unit 1-3 dan unit 6 yang digunakan untuk menjalankan produksi listrik dijelaskan pada tabel dibawah.

Tabel 2. Kapasitas Terpasang Daya Turbin dan Generator

Nama	Jenis	Daya (MW)
Turbin #1	Dong Fang One Stage Regulating Exctraction Condensing	35
Turbin #2	Dong Fang One Stage Regulating Exctraction Condensing	35
Turbin #3	Dong Fang One Stage Regulating Exctraction Condensing	35
Turbin #6	ABB Two Stage Regulating Exctraction Condensing	70
TOTAL		175

Adapun kapasitas terpasang *Boiler* dan kapasitas daya turbin generator yang digunakan untuk menjalankan produksi di PT. DSS tersaji pada gambar diagram batang di bawah ini.



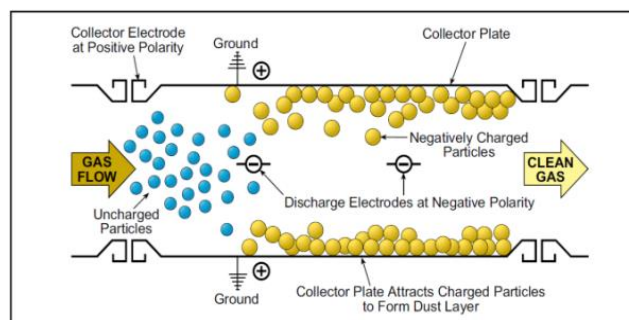
Gambar 1. Diagram Batang Perbandingan Kapasitas Boiler dan Daya Turbine Generator

Keunggulan menggunakan pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar batu bara yaitu dapat bekerja dalam jangka waktu yang panjang selama masih ada ketersediaan bahan bakar (Abbas, Jamaluddin, Arif, & Amiruddin, 2019). Pembangkitan listrik menggunakan batu bara disini, selain dari keunggulannya sebagai sumber energi dari pembangkit, pembakaran batu bara juga menghasilkan limbah berupa abu yang jika tidak kita tangani akan menyebabkan pencemaran pada lingkungan. Limbah abu tersebut ada dua jenis, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Limbah abu ini apabila ditimbun lalu dibiarkan begitu saja dan tidak dikelola maka limbah akan menimbulkan produksi gas metana (CH_4) yang berbahaya, yang dapat mudah terbakar ataupun meledak dengan sendirinya. Limbah ini juga berbahaya bagi kesehatan, khususnya pada sistem pernafasan dan kulit. Oleh karena itu, maka limbah *fly ash* dan *bottom ash* ini dikategorikan dalam limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) (Lasryza & Sawitri, 2012). Abu pembakaran batu bara mempengaruhi pada kesehatan, yaitu dapat menimbulkan penyakit pada saluran pernafasan kronik dan infeksi nonspesifik, pneumokoniosis, dan meracuni saraf-saraf, dan juga dapat menjadi sumber pencemaran udara. Paparan abu sisa pembakaran pada intensitas yang tinggi, dan dalam waktu yang relatif lama dan ditambah faktor lain seperti kebersihan personal (*personal hygiene*) dari para pekerja yang kurang dan apalagi jika adanya riwayat penyakit kulit yang mungkin pernah diderita para pekerja maka akan menyebabkan timbulnya gejala dermatitis kontak (peradangan atau ruam pada kulit akibat dari terpapar zat tertentu yang menimbulkan iritasi dan alergi) (Apriyantri, Tarwaka, & Astuti, 2015).

Electrostatic precipitator (ESP) di PT. Dian Swastatika Sentosa

Penangkap abu terbang (*fly Ash*) di PLTU PT. Dian Swastatika Sentosa dilakukan menggunakan *electrostatic precipitator* (ESP) yang operasinya didasarkan pada gaya elektrostatis yang memiliki 3 sistem dasar yang bekerja. Pertama, proses pemberian muatan (*charging*) kepada partikel abu proses ini disebut juga sebagai ionisasi, dimana gas yang masih mengandung abu dilewatkan melalui medan elektrostatis yang terdapat di antara dua jenis elektrode. ESP tersusun atas dua jenis elektrode yaitu, elektrode pelepasan (*discharge electrode*) berbentuk kawat berbahan besi baja dan elektrode pengumpul (*collecting electrode*) berbentuk pelat besi baja yang juga disebut sebagai *collecting plate*. *Discharge electrode* (DE) memiliki muatan listrik negatif, DE memproduksi elektron bebas yang dipergunakan sebagai pemberi muatan pada partikel abu yang melewatinya. Kedua, proses selanjutnya *collection* abu atau pengumpulan abu yang telah terionisasi. *Collecting electrode* (CE) digunakan untuk menarik partikel-partikel abu yang telah diberi muatan oleh DE sehingga partikel abu akan tertarik dan menempel sehingga terkumpul pada plat pengumpul (*Collecting electrode*). Ketiga, abu yang terkumpul akan dijatuhkan dengan menggunakan getaran yang dihasilkan menggunakan pemukulan dari *Rapper system* dengan yang di setting otomatis, sehingga debu tersebut jatuh ke dalam penampung (*Hopper*).

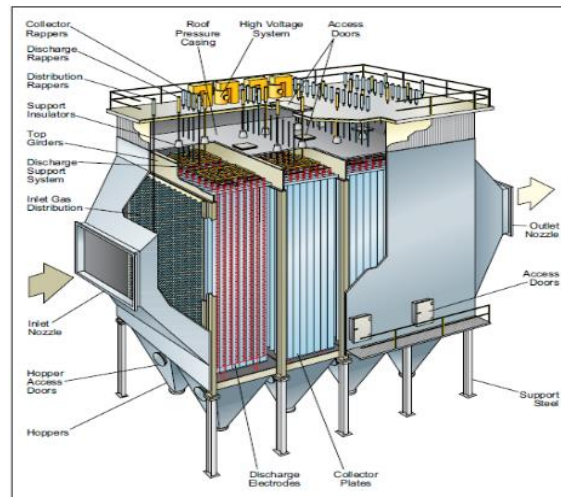
Sistem ini memiliki prinsip utama yaitu menarik atau mengikat partikel abu yang keluar dari sistem pembakaran dengan cara memberi arus listrik bertegangan tinggi menggunakan kawat-kawat elektrode yang bermuatan negatif hingga partikel abu akan termuati. Kemudian abu hasil pembakaran akan tertarik dan terikat pada pelat baja pengumpul yang memiliki muatan positif (Muttaqim, Trimulyono, & Hadi, 2015).



Gambar 2. Prinsip *Electrostatic Precipitator* memisahkan abu dari aliran gas buangan menggunakan medan tegangan tinggi

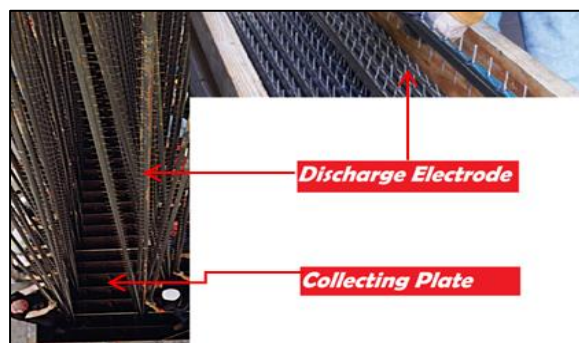
Adapun komponen - komponen yang menyusun ESP yang berfungsi untuk menangkap abu hasil proses pembakaran di PLTU di PT. Dian Swastatika Sentosa diantaranya adalah:

- a) Pelat pangumpul yang juga disebut sebagai *collecting plate* atau *collecting electrode* merupakan komponen utama ESP berupa pelat baja paralel vertikal yang membentuk saluran gas, yang ditanahkan (*grounding*) agar bermuatan positif. *Collecting plate* berfungsi menarik partikel abu bermuatan sehingga abu akan menempel pada pelat. Pelat diproduksi di bawah standar ketat, memiliki ukuran panjang hingga 12,8m.



Gambar 3. Komponen-Komponen *Electrostatic Precipitator* (ESP)

- b) *Discharge electrode* (DE) merupakan bagian dari ESP yang berbentuk elemen-elemen yang diluruskan dan digantung pada sebuah *frame*, diletakkan diantara *collector plate*. DE akan diberi arus listrik searah (DC) bermuatan negatif dengan tegangan yang tinggi, yaitu 72 KvDC. DE memiliki muatan negatif yang dipakai untuk menyebarkan elektron bebas yang berfungsi memberi muatan (*charging*) kepada partikel abu.



Gambar 4. Pemasangan *Discharge Electrode* tipe *Rigid Discharge Electrode* (RDE)

Pada ESP unit 1-3 menggunakan *Discharge Electrode* tipe *Rigid Discharge Electrode* (RDE) dan pada unit 6 menggunakan tipe Spiral. *Rigid Discharge Electrode* memiliki kelebihan kuat secara mekanis tidak mudah putus, efisien untuk melakukan *discharge* dari ujung-ujung yang runcing pada sepanjang batang elektroda ini.



Gambar 5. *Discharge Electrode* tipe spiral

Pada *Discharge Electrode* tipe spiral di unit 6 memberikan *discharge* yang lebih besar, tetapi karena berbentuk pegas dan instalasinya dengan cara dibentangkan dari panjang spiral awal sekitar 40 cm. kemudian dibentang hingga 2m. Maka bila selama operasinya terpapar dengan *stress* yang cukup berat secara mekanis, panas dan elektrik, maka elektroda ini bisa putus dan dapat mengganggu operasi ESP itu sendiri.

- c) Peralatan tegangan tinggi, peralatan-peralatan ini digunakan sebagai suplai dan sebagai kontrol dari seberapa kuat medan listrik yang akan dibangkitkan diantara kedua buah elektrode yang ada. Peralatan-peralatan tegangan tinggi ini terdiri atas: transformator bertegangan tinggi, penyearah (*rectifier*) tegangan tinggi, serta peralatan kontrol dan juga alat pengukuran. Suplai listrik ke trafo yang pada awalnya 380V AC, dinaikkan di trafo menjadi sekitar 55–75 Kilo volt dan kemudian diubah menjadi arus listrik searah (DC) oleh *rectifier*, lalu diambil hanya potensial negatif saja. Kesatuan dari seluruh peralatan disini disebut sebagai “TR Set” (*Transformer Rectifier Set*).
- d) *Rapper/rapping system*, digunakan sebagai alat pemukul atau pembuat getaran, setelah abu menempel pada plat pengumpul selanjutnya dilakukan pemukulan menggunakan *rapper*, dengan adanya motor penggerak yang dihubungkan dengan poros mekanis yang masing-masing poros dipasang palu (*hammer*), dengan waktu yang sudah diatur maka akan dilakukan pemukulan sehingga abu yang menempel akan jatuh kedalam *hopper*. *Rapping control system* yang mengontrol motor penggerak palu (*hammer*) atau pemukul di PT. DSS menggunakan *Programmable Logic Controllers* (PLC).



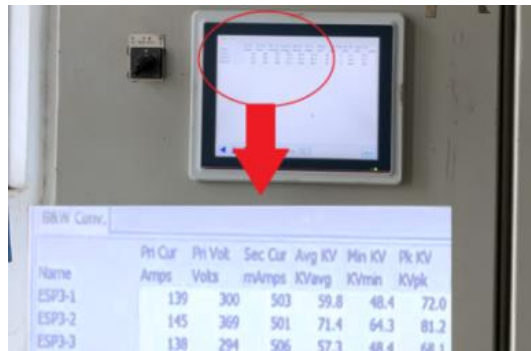
Gambar 6. Panel Rapping Control PT. DSS menggunakan PLC Mitsubishi

- e) *Hopper*, *Hopper* disini digunakan untuk menampung partikel abu yang telah dijatuhkan oleh *rapping system*, setelah itu dari *hopper* ini ash akan di transport menggunakan pipa-pipa *fly ash handling system* untuk dibawa ke penampungan terakhir.
- f) Sistem Kontrol ESP di PT. Dian Swastatika Sentosa dilengkapi dengan AVC (*Automatic Voltage Control*) yang berfungsi untuk mengatur besarnya kuat arus listrik yang digunakan dalam pengoperasian *transformator rectifier*. Setiap AVC memiliki besaran setting kuat arus yang berbeda-beda. Hal ini bergantung pada pola pengoperasian dan ada atau tidaknya gangguan atau kerusakan pada ESP. AVC yang digunakan di PT. DSS yaitu berjenis SQ-300®i *Hybrid automatic voltage controller*.



Gambar 7. SQ-300®i Hybrid automatic voltage controller

Adapun dibawah ini merupakan control cabinet dari ESP di PT. DSS yang menampilkan besarnya kuat arus yang digunakan pada pengoperasian ESP 1-3.

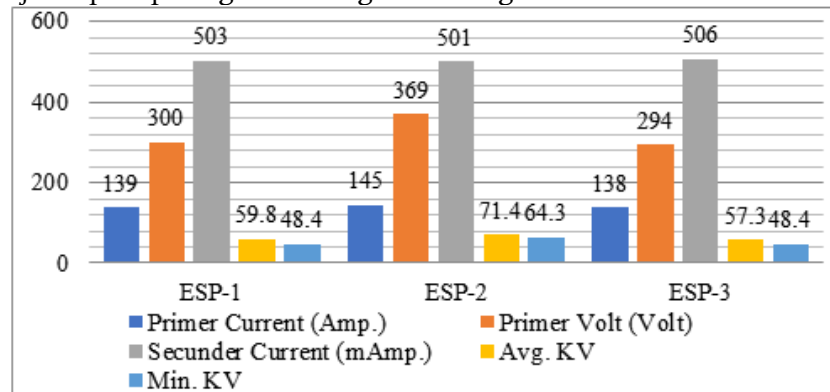
Gambar 8. Kontrol panel *Electrostatic Precipitator*

Besarnya tegangan dan kuat arus listrik yang digunakan dalam pengoperasian pada ESP 1-3 yang ditampilkan pada control panel dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 3. Data pengoperasian pada ESP 1-3

Nama	Primer Current (Amp.)	Primer Volt (Volt)	Secunder Current (mAmps.)	Avg. KV	Min. KV	Peak KV
ESP-1	139	300	503	59.8	48.4	72.0
ESP-2	145	369	501	71.4	64.3	81.2
ESP-3	138	294	506	57.3	48.4	68.1

Besarnya tegangan dan arus yang digunakan pada pengoperasian ESP unit 1-3 yang ada pada pada tabel, disajikan pula pada gambar diagram batang dibawah.



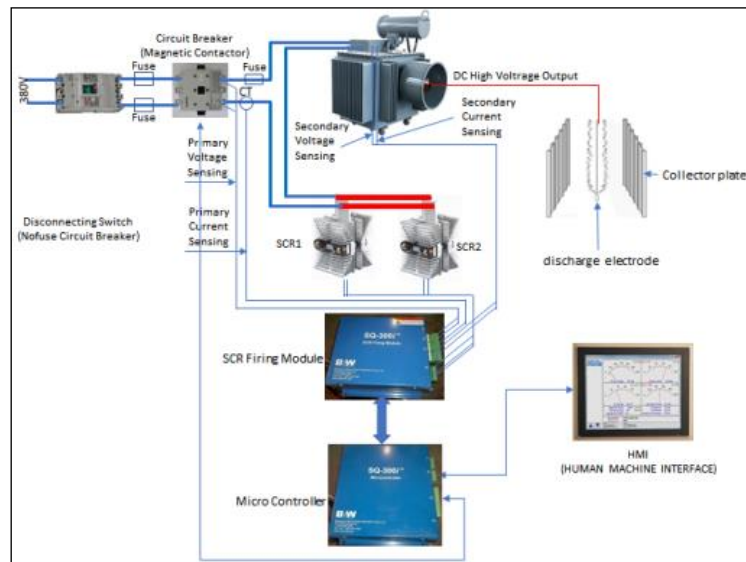
Gambar 9. Diagram batang data pengoperasian pada ESP 1-3

Perancangan sistem *Electrostatic Precipitator* (ESP) supaya efisien untuk penangkapan abu tidak terlepas dari parameter-parameter seperti kecepatan aliran gas, tegangan elektrode, ukuran elektroda, potensial yang dikenai pada elektroda, jarak antar elektrode, ukuran partikel dan parameter lain. Hubungan efisiensi dengan variasi tegangan pada saat debit limbah gas masuk yaitu; efisiensi akan naik saat tegangan dinaikkan. Hal ini dikarenakan kenaikan tegangan menyebabkan kenaikan kuat medan listrik juga. Kontrol medan listrik pada ESP dilakukan dengan cara mengatur tegangan trafo. Semakin besar tegangan semakin besar efisiensinya, sedangkan semakin rendah debit limbah masuk semakin besar pula efisiensinya, begitu pula sebaliknya. Faktor yang paling mempengaruhi pada saat proses penangkapan partikel abu yaitu besar kecepatan *drift* (kecepatan partikel abu untuk segera menempel pada elektrode setelah terionisasi). Besar kecepatan ini bergantung dari besarnya medan listrik dan besar muatan pada permukaan partikel abu. Tegangan tinggi tidak hanya membentuk medan listrik saja. Namun juga untuk menghasilkan ion-ion pada sekitar elektrode, ion inilah yang berfungsi memuat partikel abu. ESP memiliki efisiensi yang tinggi jika dibandingkan dengan penyaring jenis lain, umumnya efisiensinya lebih dari 90%, dan mudah dalam perawatannya. Perancangan ESP yang baik perlu mempertimbangkan beberapa hal agar didapatkan efisiensi yang tinggi pula. Jadi, efisiensi ESP sangat dipengaruhi pada tegangan elektroda di ESP dan dipengaruhi oleh kecepatan partikel *drift* pada ESP. Semakin besar tegangannya semakin besar pula efisiensi yang

didapatkan. Semakin besar debit udara masuk semakin rendah efisiensi yang didapatkan, ataupun sebaliknya. Untuk kita dapat mengetahui efisiensi sistem ESP, kita dapat membandingkan gas yang masuk dan gas yang keluar (Wiranata, Muntini, & Anggoro, 2017).

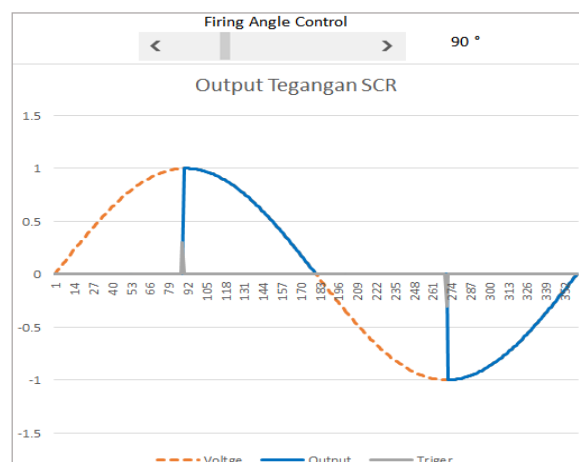
Silicon Controlled Rectifier (SCR) Sebagai Pengatur Tegangan Masukan ESP

Pada saat *Electrostatic Precipitator* bekerja, pengaturan pada tegangan dan arus yang bekerja sangatlah penting, karena apabila tegangan dan arus tidak dibatasi maka akan menjadikan kerja ESP tidak handal, dan akan mempengaruhi pada efisiensi penangkapan abu dari ESP. *Silicon Controlled Rectifier* (SCR) adalah alat semi konduktor yang merupakan *thyristor* yang sering dipergunakan dan dapat juga digunakan untuk penyaklaran pada arus besar.



Gambar 10. ESP Control System

Silicon Controlled Rectifier (SCR) memiliki empat lapisan yaitu (PNPN) yang pada operasinya memiliki tiga kaki yaitu anoda, katoda, dan gerbang (*gate*). SCR dibuat dari bahan silikon, silikon untuk bahan dasar pembuatan SCR dipilih karena tingkat ketahanannya pada temperatur tinggi dan mampu untuk dapat menangani daya listrik yang besar, karena arus listrik pada ESP harus tinggi untuk mendapatkan kinerja pengumpulan abu yang tinggi juga.. SCR disini berfungsi menghubungkan arus dari sumber AC ke beban. Dikarenakan SCR merupakan sebuah alat penyearah, maka dari itu SCR hanya akan menghantarkan setengah gelombang dari satu gelombang penuh dari sumber AC. Maka dari itu, output gelombang tegangan maksimum yang akan dikeluarkan adalah sebesar 50% sehingga bentuk outputnya adalah bentuk gelombang searah (DC). Pada ESP di PT. DSS menggunakan 2 SCR, maka output bisa dikontrol penuh yakni 0%-100%. Besar tegangan dapat diatur dengan mengatur arus *gate* dari SCR.



Gambar 11. Output Tegangan SCR 50%

Untuk mengatur tegangan masukan ESP, yakni dengan mengatur nilai SCR yang diinginkan. *Firing Angle* adalah sudut yang mengatur berapa tegangan yang diinginkan. Contohnya, operator menginginkan tegangan masukan ESP sebesar 50% dari 72 kV, karena posisi debu yang tidak terlalu banyak. Dengan menggunakan 2 SCR, maka tegangan dapat diatur dari 0% - 100%. Operator akan mengatur *Firing Angle* berada di titik 90°, karena untuk penuh setengah gelombang yakni 180°. Jadi, kontrol ESP pada prinsipnya adalah menjaga arus sekunder dari trafo agar selalu sesuai harapan (*Set point*). Di PT. DSS proses kontrol ini akan berkerja secara otomatis. Jika *controller* menerima informasi arus masih lebih rendah dari harapan (*Set point*), maka kontroler akan mengatur sudut penyalaan SCR menjadi lebih kecil, demikian sebaliknya. Perubahan nilai arus sekunder dipengaruhi oleh beberapa hal: 1) Karakteristik debu, *high resistance* atau *low resistance*. 2) Kondisi ketebalan debu pada *collecting plate* dan *discharge electrode*. 3) Jarak antara *collecting plate* dan *discharge electrode*, yang dapat berubah sewaktu-waktu karena pengaruh aliran gas buang.

Penentuan nilai harapan (*Set point*) dari arus sekunder ditentukan pada awal ketika ESP akan di operasikan dan selanjutnya bisa di rubah setiap saat sesuai kebutuhan. Parameter lain seperti tegangan sekunder dan arus primer lebih digunakan sebagai batasan, ketika secara otomatis kontrol melakukan penyesuaian arus sekunder agar selalu sesuai dengan nilai *set point*. Jika kontrol meningkatkan arus sekunder maka tegangan primer akan dinaikan dan diikuti dengan kenaikan arus primer. dalam beberapa kondisi kenaikan tegangan yang tinggi dapat mengakibatkan lompatan arus listrik dan mengakibatkan penyerapan arus listrik yang sangat besar pada sisi sekunder, sehingga kontrol akan membatasi dengan kembali menurunkan tegangan primer trafo, dan kemudian kontrol akan mencoba menaikan kembali tegangan primer secara bertahap sampai konsisi arus sekunder mendekati *set point*. Dalam kondisi yang tidak memungkinkan, misalnya karena kondisi internal ESP seperti dikemukakan sebelumnya, maka kontrol akan membatasi kenaikan arus sekalipun belum sesuai dengan nilai *set point*. Dalam kondisi seperti ini umumnya kontrol akan memberikan informasi terkait dengan gangguan yang ada seperti;

- a) *Spark Limit* (artinya saat tegangan dinaikan terjadi lompatan arus yang terus menerus)
- b) *Secondary Voltage Limit* (Artinya tegangan sekunder mencapai batas tertinggi namun arus sekunder belum mencapai *set point*, biasanya karena debu yang *high resistance*)
- c) *Primary Current Limit* (artinnya, bahwa kontrol tidak bisa menaikan arus sekunder karena arus primer trafo telah mencapai batas tertingginya)
- d) *Primary Voltage Limit* (artinya kontrol tidak dapat menaikan arus karena tegangan primer sudah mencapai *limit*).

Perlakuan jika terjadi masalah tersebut diatas "*Spark Limit*" yang terus menerus, lebih dari 10 *Spark* per menit, operator akan melakukan; 1). Penurunan debu yang terkumpul lebih sering secara manual dengan pengoperasikan *rapping* secara terus-menerus dalam beberapa waktu. 2). Memastikan proses transfer debu dari *hopper* ESP ke tempat penimbunan (*Ash Silo*) lancar dan tidak terhambat. 3).Meningkatkan waktu proses transfer debu ke tempat *Ash Silo*.

Dalam kondisi sangat buruk bisa saja terjadi kegagalan karena penumpukan debu menyentuh *discharge electrode*, maka *field* ESP yang terganggu akan trip dengan pesan dari controller "*DC Voltage Low*". Hal tersebut dikarenakan penyerapan arus yang sangat besar pada sisi sekunder maka kontroler akan merespon dengan menurunkan tegangan primer hingga pada suatu kondisi menyentuh batas bawah tegangan sekunder. Jika hal buruk ini terjadi, langkah awal menurunkan tumpukan debu yang menggumpal didalam mulut *hopper* dengan merojok menggunakan tongkat besi, pekerjaan ini perlu kehati-hatian karena di atas *hopper* ada *system high voltage*, sehingga harus dipastikan tongkat besi tidak akan menyentuh area ini. Jika usaha ini tidak berhasil maka hanya dapat dilakukan saat ESP berhenti beroperasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses kerja dari *electrostatic precipitator* (ESP) yang digunakan di PT. Dian Swastatika Sentosa memiliki 3 sistem dasar yang bekerja yaitu: (1) Proses Ionisasi, gas buangan (*flue gas*) dari hasil pembakaran dari *boiler* dilewatkan ke dalam ESP, lalu di dalam ESP *flue gas* akan melewati suatu medan elektrostatis yang dibentuk diantara *discharge electrode* dan *collecting electrode*, *flue gas* yang memiliki kandungan abu yang pada awalnya abu tidak memiliki muatan lalu pada saat dilewatkan ke medan elektrostatis, partikel abu menjadi terionisasi hingga partikel abu tersebut akan memiliki muatan negatif (-); (2) Proses *Collection*, partikel abu yang telah bermuatan negatif (-) lalu akan tertarik dan terikat pada *collecting electrode* atau pelat pengumpul (*collecting plate*); (3) *Rapping*, abu yang terkumpul akan dijatuhkan dengan menggunakan getaran yang dihasilkan menggunakan pemukulan dari *Rapper system* dengan yang di setting otomatis, sehingga debu tersebut jatuh ke dalam penampung (*Hopper*).
2. Komponen utama pada *Electrostatic Precipitator* (ESP) yang digunakan di PT. DSS terdiri dari: (1) *collecting plate* yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif sehingga partikel debu dalam gas akan menempel pada platnya; (2) *discharge electrode* digunakan untuk menyebarkan elektron bebas yang berfungsi memberikan muatan (*charging*) pada partikel abu. Pada ESP unit 1,2,3 di PT. DSS menggunakan *Discharge Electrode* tipe *Rigid Discharge Electrode* (RDE) dan pada ESP unit 6 menggunakan tipe Spiral; (3) *rapper* digunakan sebagai alat untuk pemukulan atau pembuat getaran untuk menjatuhkan partikel abu yang sebelumnya telah menempel pada *collecting plate*; (4) *hopper* digunakan untuk menampung partikel abu yang terjatuh karena hasil pemukulan dari *rapper* dan; (5) peralatan listrik berupa *Transformer Rectifier* yang digunakan untuk menghasilkan rangkaian tegangan tinggi dan sistem kontrol untuk mengendalikan rangkaian tegangan tinggi.
3. Sistem kerja Penangkap abu dengan cara *electrostatic precipitator* (ESP) yang digunakan di PT. Dian Swastatika Sentosa didasarkan pada gaya elektrostatis yang mana pada gas buang (*flue gas*) yang memiliki kandungan abu yang berbahaya bagi lingkungan akan melewati medan elektrostatis yang memiliki tegangan tinggi hingga 72Kv yang terdapat diantara dua jenis elektrode bermuatan. Partikel-partikel abu yang melewatinya akan mendapat muatan pada saat melewati medan listrik ini, sehingga partikel abu yang telah memiliki muatan akan tertarik dan menempel pada *collecting electrode* atau pelat pengumpul (*collecting plate*).
4. Prinsip kontrol ESP adalah menjaga arus sekunder dari trafo agar selalu sesuai harapan (*Set point*). Pada ESP di PT. DSS proses kontrol ini akan berkerja secara otomatis. Jika *controller* menerima informasi arus masih lebih rendah dari *Set point*, maka kontroler akan mengatur sudut penyalan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) menjadi lebih kecil, demikian sebaliknya.

Saran

Dari hasil penelitian telah dilaksanakan di PT. Dian Swastatika Sentosa, saran yang diusulkan adalah: 1) Pemeliharaan (*maintenance*) rutin pada setiap komponen *Electrostatic precipitator* (ESP) dan sistem kontrolnya sangat diperlukan supaya ESP dapat tetap selalu bekerja dengan lancar tanpa adanya kendala. 2) PT. Dian Swastatika Sentosa dalam usaha memberikan pelayanan hendaknya selalu meningkatkan mutu pelayanan kepada pelanggan dan terus mengadakan inovasi dan strategi yang jauh lebih baik.

REFERENSI

- Abbas, H., Jamaluddin, Arif, M., & Amiruddin. (2019). Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap di PLTU. *ILTEK*, 14(1), 2024-2028.
- Abimanyu, Gaffar, A., & Pranoto, S. (2021). Analisis Baterai Dalam Mempertahankan Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Punagaya 2x100 Mw. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)* (pp. 185-191). Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Afriani, N., Firdaus, & Ervianto, E. (2015). Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (Esp) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC Yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi Di Power Boiler Industri Pulp And Paper. *Jom FTEKNIK*, 2(2), 1-12.
- Apriyantri, A. P., Tarwaka, & Astuti, D. (2015). *Pengaruh Abu Terbang Batubara Terhadap Timbulnya Gejala Dermatitis Kontak Pada Karyawan Bagian Boiler Di PT. Indo Acidatama Tbk, Kemiri, Kebakkramat, Karanganyar*. Dipetik Oktober 11, 2022, dari Universitas Muhammadiyah Surakarta: <http://eprints.ums.ac.id/38828/>
- Lasryza, A., & Sawitri, D. (2012). Pemanfaatan Fly Ash batubara sebagai Absorben Emisi gas CO Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1-6.
- Murti, A., Manuaba, I., & Arjana, I. (2020). Optimasi Unit Pltu Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Metode *Lagrange* Di PT. Indonesia Power Up Suralaya. *Jurnal Spektrum*, 7(1), 76-82.
- Muttaqim, L. M., Trimulyono, A., & Hadi, E. S. (2015). Analisa Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Exhaust Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang Main Engine kapal Latih BIMASAKTI. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(1), 102-109.
- Sepfitrah, & Rizal, Y. (2015). Analisis *Electrostatic Precipitator* (Esp) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler. *JURNAL APTEK*, 7(1), 53-64.
- Winarno. (2020). Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus Transformator di PT. PJB UBJOM PLTU Paiton. *Jurnal EECCIS*, 14(2), 45-57.
- Wiranata, R. A., Muntini, M. S., & Anggoro, D. (2017). *Rancang Bangun Electrostatic Precipitator Sebagai Salah Satu Subsistem Dalam Penangkapan Hasil Partikel Spray Pyrolysis*. Dipetik Oktober 11, 2022, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember: https://repository.its.ac.id/44382/1/1113100036-Undergraduate_Theses.pdf
- Yuniarti, N., & aji, i. w. (2019). *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: UNY.