

**Analisa Kinerja *Electrostatic Precipitator* (ESP)
Berdasarkan Besar Arus Sekunder Trasformer
di PLTU Tanjung Jati B Unit 3**

Ivan Ade Pradipta^{1*}; Gunawan^{1*}; Eka Nuryanto Budisusila^{1*}

1. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112, Indonesia

*Email: ivanadepra@gmail.com; gunawan@unissula.ac.id; ekanbs@unissula.ac.id

Received: 16 Februari 2023 | Accepted: 7 Januari 2024 | Published: 8 Januari 2024

Abstract

The air from burning coal at the CFPP has the potential to cause pollution because it contains solid particles in the form of dust, smoke and odors. In order to capture fly ash from combustion in the boiler so that the air coming out of the chimney is clean air, an Electrostatic Precipitator (ESP) is needed. Tanjung Jati B Unit 3 CFPP is one of the generators that applies ESP to its unit. The method used is the measurement of the transformer secondary current against the electrical field strength. The purpose of the analysis is to find the effect of secondary current on transformers to get ESP efficiency. Based on the measurements and analysis, it was found that the relationship between the initial secondary current setting of 398.33mA when it was increased to 712.50mA had an effect on the increase in electric field strength from 180,042V/m to 243,406V/m. Transformer usage power from 16.84kW or 404.16kWh to 34.23kW or 851.52kWh, and ESP efficiency from 72.62% to 90.66%. The ESP performance with the highest actual efficiency occurred on 8/12/2022 at 76.38% with particulate matter of 8.84mg/Nm³. Meanwhile, the lowest efficiency was on 12/26/2022 at 68.47% with particulate matter of 18.75mg/Nm³.

Keywords: ESP, Efficiency, Secondary Current

Abstrak

*Udara hasil pembakaran batubara pada PLTU berpotensi menimbulkan pencemaran karena memiliki kandungan partikel benda padat berupa debu, asap, dan bau. Guna menangkap abu terbang hasil pembakaran pada boiler agar udara yang keluar menuju chimney merupakan udara bersih maka diperlukan alat *Electrostatic Precipitator* (ESP). PLTU Tanjung Jati B Unit 3 adalah salah satu pembangkit yang menerapkan ESP pada unitnya. Metode yang digunakan adalah pengukuran arus sekunder transformer terhadap kuat medan listrik. Tujuan analisa yaitu mencari pengaruh arus sekunder pada transformer untuk mendapatkan nilai efisiensi ESP. Berdasarkan pengukuran dan analisis yang dilakukan didapatkan hubungan antara setting arus sekunder awal sebesar 398,33 mA ketika dinaikkan menjadi 712,50 mA berpengaruh pada kenaikan kuat medan listrik dari 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m. Daya pemakaian transformer dari 16,84 kW atau 404,16 kWh menjadi 34,23 kW atau 851,52 kWh, dan efisiensi ESP dari 72,62% menjadi 90,66%. Performa ESP dengan Efisiensi aktual tertinggi terjadi pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dengan partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³.*

Kata kunci: ESP, Efisiensi, Arus Sekunder

1. PENDAHULUAN

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. PLTU menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batubara [1]. Mengingat bahan bakar yang digunakan adalah batubara, sisa hasil pembakaran berupa gas asap dibuang ke udara lepas. Hal ini dapat mengakibatkan polusi (pengotoran) udara terhadap lingkungan dengan kadar pencemaran yang tinggi serta dapat membahayakan makhluk hidup di sekitarnya [2]. Batubara yang dibakar pada PLTU memancarkan sejumlah polutan seperti NO_2 dan SO_2 , kontributor utama dalam pembentukan hujan asam dan polusi partikel halus ($\text{PM}_{2.5}$). Batubara juga memancarkan bahan kimia berbahaya dan mematikan seperti merkuri dan arsen [3]. Maka dari itu, pada unit PLTU diperlukan adanya *Electrostatic Precipitator*.

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah alat penangkap *fly ash* dari hasil pembakaran boiler yang menggunakan prinsip elektrostatis. *Fly ash* yang masuk ke ESP akan diberi muatan negatif oleh *discharge electrode*. Lalu partikel yang bermuatan negatif tersebut akan menempel pada *collecting plate* yang memiliki muatan positif dan akhirnya digetarkan oleh *rapper* yang kemudian menuju *fly ash silo*. Sehingga udara yang keluar menuju cerobong asap (*chimney*) merupakan udara bersih (*clean gas*) [4]. Pada Unit PLTU, kinerja ESP sangat penting digunakan dalam pengendalian emisi gas buang boiler. Namun pada aplikasinya, kinerja ESP di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 belum sepenuhnya maksimal dikarenakan kurang diketahuinya efisiensi ESP dengan setting arus sekunder yang ada saat ini.

Pada penelitian ini membahas tentang kinerja ESP yang berkaitan dengan efisiensi ESP berdasarkan setting arus sekunder transformer dimana akan ditentukan nilai-nilai yang berpengaruh pada kinerja ESP meliputi kuat medan listrik, luas permukaan pelat pengumpul, luas spesifik pelat pengumpul, aspek rasio, kecepatan migrasi partikel, serta efisiensi pengumpulan partikel [5]. Data-data tersebut kemudian dihitung dan di analisa untuk mencari setting arus sekunder transformer yang sesuai.

Penelitian sebelumnya oleh Winarno [6] menunjukkan bahwa semakin besar arus, semakin besar kuat medan magnetnya sehingga semakin besar juga nilai efisiensi ESP. Penelitian oleh Ardy Fitrianto [7] menunjukkan bahwa setelah melakukan setting tegangan transformer, tegangan masukan berturut-turut 40 kV DC, 60kV DC, dan 70 kV DC didapatkan efisiensi berturut-turut sebesar 81,98%, 98,23%, dan 96,95%. Sepfitrah [8] menunjukkan bahwa kecepatan partikel melewati ESP mempengaruhi efisiensi penangkapan gas buang oleh pelat pengumpul.

Tujuan penelitian kali ini adalah untuk menentukan setting arus sekunder yang sesuai pada transformer ESP agar efisiensi ESP dapat maksimal serta mencari perbandingan kWh transformer sebelum dan sesudah setting arus sekunder transformer.

2. LANDASAN TEORI

Perhitungan kinerja ESP kali ini meliputi beberapa parameter, yaitu

a. Perhitungan Kuat Medan Listrik

Dalam ESP, besarnya kuat medan listrik berpengaruh pada kuat medan *precipitator* atau bisa dinyatakan bahwa kuat medan listrik besarnya sama dengan kuat medan *precipitator*.

Dalam hal ini dapat kita jelaskan dengan persamaan (1) yaitu:

$$E = \frac{V}{d} \quad (1)$$

Dimana:

E = Kuat medan listrik (V/m)

V = Tegangan output transformer (V)

d = Jarak antara *discharge electrode* dengan *collecting plate* (m)

b. Perhitungan Luas *Collecting Plate*

Perhitungan luas satu permukaan *collecting plate* dirumuskan oleh persamaan:

$$A = p \times l \times 2 \text{ (permukaan)} \quad (2)$$

Dimana:

A = Luas efektif *collecting plate* (m²)

p = Panjang pelat (m)

l = Lebar pelat (m)

Sehingga untuk mencari luas *collecting plate* dirumuskan menggunakan persamaan:

$$A = \text{Luas permukaan} \times \text{Jumlah collecting plate} \quad (3)$$

c. Perhitungan Luas Spesifik *Collecting Plate (Specific Collecting Area)*

Perhitungan luas spesifik *collecting plate* dirumuskan oleh persamaan:

$$SCA = \frac{\text{Jumlah luas permukaan collecting plate (m}^2\text{)}}{\text{Kapasitas aliran gas buang } (\frac{\text{m}^3}{\text{h}})} \quad (4)$$

d. Perhitungan Aspek Rasio

Perhitungan nilai aspek rasio dirumuskan oleh persamaan:

$$AR = \frac{\text{Panjang efektif pelat pengumpul (m)}}{\text{Tinggi efektif pelat pengumpul (m)}} \quad (5)$$

e. Perhitungan Kecepatan Migrasi Partikel [9]

Kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2 K_0 p a E_c E_p}{3 \mu} \quad (6)$$

Dimana:

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

K_0 = *Permittivity* ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)

p = Tekanan (1 atm)

a = Jari-jari partikel (m)

$E_c = E_p = E$ = Kuat medan listrik (V/m)

μ = Viskositas gas

Adapun persamaan lain untuk mencari kecepatan migrasi, yaitu:

$$\omega = -\frac{Q}{A} \times \ln(1 - \eta) \quad (7)$$

f. Perhitungan Efisiensi ESP

Efisiensi pengumpulan partikel dari sebuah ESP atau dikenal sebagai persamaan Deutsch-Anderson [9] sebagai berikut:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{wA}{Q}\right)} \quad (8)$$

Dimana:

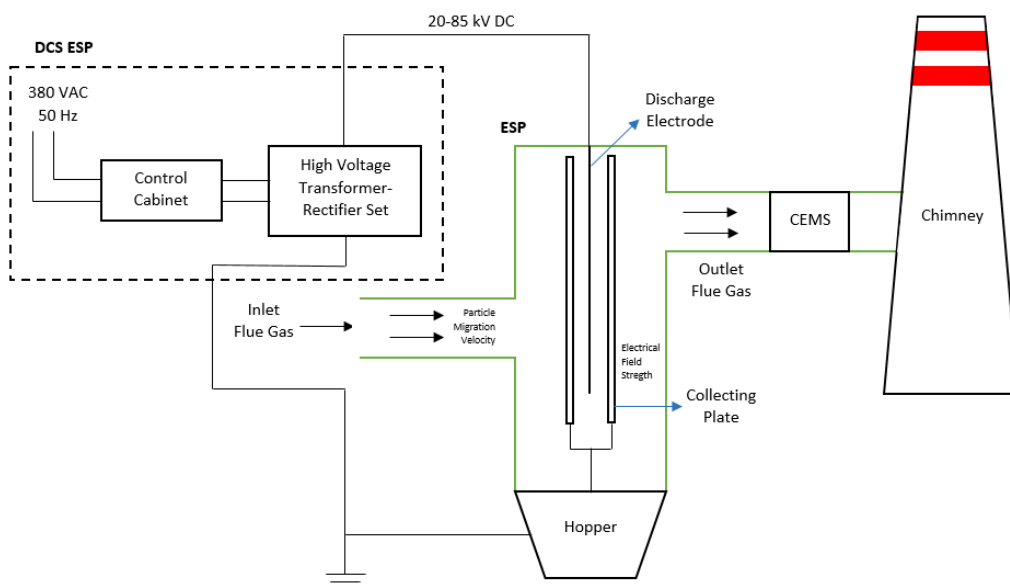
η = Efisiensi ESP (%)

- e = Bilangan napier
 ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)
 A = Luas media penangkapan (m^2)
 Q = Laju aliran gas (m^3/s)

3. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

a. Model Penelitian

Penelitian diawali dengan menentukan lokasi penelitian, observasi lapangan, kemudian pengumpulan data. Terdapat dua data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data aktual yang didapat dari lokasi penelitian secara langsung, sedangkan data sekunder merupakan pengumpulan data-data dari buku, jurnal, ataupun penelitian yang pernah dilakukan mengenai ESP. Model penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

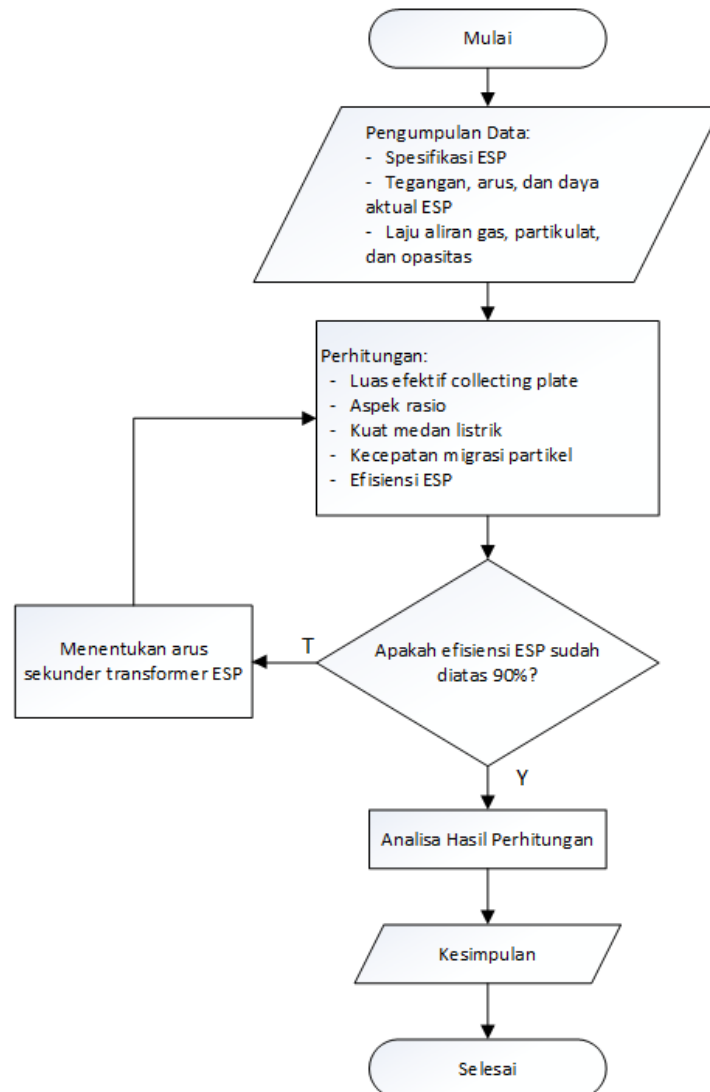


Gambar 1. Model Penelitian

Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa *inlet flue gas* menuju ke dalam ESP yang terdapat *discharge electrode* dan *collecting plate*. *Discharge electrode* diberi tegangan oleh *transformer* yang diatur oleh DCS ESP. Pada penelitian kali ini akan ditentukan setting arus sekunder pada *transformer* agar efisiensi yang dihasilkan berada diatas 90%. Setelah didapat efisiensi kemudian dilakukan perbandingan terhadap parameter pada CEMS yaitu partikulat dan opasitas untuk dicari hubungan antara keduanya.

b. Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini menjelaskan tentang tahap-tahap penelitian mulai dari pengambilan data meliputi data-data primer dan sekunder seperti spesifikasi ESP, parameter transformer ESP, dan CEMS. Lalu perhitungan untuk mencari kinerja ESP dan dapat ditentukan setting arus sekunder yang sesuai agar efisiensi ESP bisa berada diatas 90%. Untuk lebih jelas diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan yang diuraikan pada penelitian kali ini merupakan hasil perhitungan parameter-parameter ESP berdasarkan desain yang kemudian akan dihitung nilai efisiensi secara aktual. Hasil dan pembahasan penelitian kali ini meliputi:

a. Perhitungan Luas Efektif *Collecting Plate*

Untuk mencari luas efektif *collecting plate*, perlu dicari luas satu permukaan *collecting plate* terlebih dahulu yang dapat dihitung melalui persamaan (2) yaitu:

Diketahui:

$$\text{Panjang } collecting \text{ plate} = 15,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } collecting \text{ plate} = 4,48 \text{ m}$$

Sehingga:

$$A = 15,05 \times 4,48 \times 2$$

$$A = 134,85 \text{ m}^2$$

Jadi luas satu permukaan *collecting plate* adalah $134,85 \text{ m}^2$. Sehingga luas efektif *collecting plate* dapat dihitung melalui persamaan (3) yaitu:

Diketahui:

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah collecting plate} = 640$$

Maka:

$$A = p \times l \times 2 \text{ (permukaan)}$$

$$A = 134,85 \times 640$$

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

Jadi luas efektif *collecting plate* adalah 86.304 m^2 .

b. Perhitungan Luas Spesifik *Collecting Plate*

Luas spesifik *collecting plate* dapat dihitung menggunakan persamaan (4) yaitu:

Diketahui:

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

$$Q = 3.840.448 \text{ m}^3/\text{h} = 1.066,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka:

$$SCA = \frac{\text{Jumlah luas permukaan pelat pengumpul (m}^2\text{)}}{\text{Kapasitas aliran gas buang (m}^3/\text{h)}}$$

$$SCA = \frac{86.304 \text{ (m}^2\text{)}}{1067 \text{ (m}^3/\text{h)}}$$

$$SCA = 80,88 \text{ (m}^2\text{)/ (m}^3/\text{h)}$$

Nilai SCA untuk ESP masih dalam kategori desain SCA secara umum yaitu $19 - 95 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{h})$.

c. Perhitungan Aspek Rasio

Aspek rasio dapat dihitung melalui persamaan (5) yaitu:

Diketahui

$$\text{Panjang efektif collecting plate} = 8,24 \times 2 = 16,48 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif collecting plate} = 15,45 \text{ m}$$

Maka:

$$AR = \frac{\text{Panjang efektif collecting plate (m)}}{\text{Lebar efektif collecting plate (m)}}$$

$$AR = \frac{16,48}{15,45}$$

$$AR = 1,06$$

Dari perhitungan Aspek Rasio-nya adalah 1,06 masih berada dalam kategori desain ESP yaitu $0,5 - 2,0$.

d. Perhitungan Kecepatan Migrasi Partikel

ESP pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3 dirancang untuk efisiensi 99,18%, maka kecepatan migrasi partikelnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) yaitu:

Diketahui:

$$Q = 1.067 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

Maka:

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta)$$

$$\omega = -\frac{1.067}{86.304} \ln(1 - 0,9918)$$

$$\omega = 0,05938 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan migrasi partikel berdasarkan desain adalah 0,0594 m/s.

e. Perhitungan Kuat Medan Listrik

Perhitungan kuat medan listrik yang dibutuhkan dengan kecepatan migrasi partikel sebesar 0,0594 m/s dapat menggunakan persamaan (6) yaitu:

Diketahui:

$$\omega = 0,0594 \text{ m/s}$$

$$\mu = 1,8 \times 10^{-5}$$

$$K_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$p = 1 \text{ atm}$$

$$a = 1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Maka:

$$E^2 = \frac{3\omega\mu}{2K_0pa}$$

$$E^2 = \frac{3 \times 0,0594 \times (1,8 \times 10^{-5})}{2 \times (8,85 \times 10^{-12}) \times (1 \times 10^{-6})}$$

$$E = \sqrt{181.220.338.983,051}$$

$$E = 425.700 \text{ V/m}$$

Maka besar tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan kuat medan listrik seperti diatas dapat dihitung dengan persamaan (1) yaitu:

Diketahui:

$$E = 425.700 \text{ V/m}$$

$$d = 0,2 \text{ m}$$

Maka:

$$V = E \times d$$

$$V = 425.700 \times 0,2$$

$$V = 85.140 \text{ V} = 85,14 \text{ kV}$$

Jadi kuat besar tegangan yang diperlukan untuk menimbulkan kuat medan listrik agar ESP dapat bekerja maksimal berdasarkan desain adalah 85,14 kV.

f. Perhitungan Efisiensi ESP

Untuk menghitung efisiensi berdasarkan desain dapat menggunakan persamaan (8) yaitu:

Diketahui:

$$e = 2,7183$$

$$\omega = 0,0594 \text{ m/s}$$

$$A = 86.304 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.067 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{Q}\right)}$$

$$\eta = 1 - (2,7183)^{-\left(\frac{0,0594 \times 86.304}{1.067}\right)}$$

$$\eta = 1 - (2,7183)^{-(4,805)}$$

$$\eta = 0,9918$$

$$\eta = 99,18\%$$

Jadi efisiensi ESP PLTU Tanjung Jati B didapat sebesar 99,18% sesuai dengan desain. Setelah didapat parameter kinerja ESP berdasarkan desain, selanjutnya dicari nilai parameter kinerja ESP berdasarkan kondisi aktual dimana sebelumnya telah diambil data aktual transformer ESP selama 30 hari berupa arus sekunder, tegangan sekunder dan daya transformer.

Untuk mengetahui hasil perhitungan kuat medan listrik, kecepatan migrasi partikel, dan efisiensi ESP pada kondisi aktual dapat dilihat pada Tabel 1. dengan diketahui $e = 2,7183$, $A = 86.304 \text{ m}^2$, $K_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, $a = 10^{-6} \text{ m}$, dan $\mu = 1,8 \times 10^{-5}$.

Tabel 1. Data Transformer dan Efisiensi ESP Sebelum Setting Arus Sekunder

No	Tanggal	Transformer ESP						
		Arus Sekunder (mA)	Tegangan Sekunder (kV)	Daya (kW)	Q (m ³ /s)	EP (V/m)	ω (m/s)	η (%)
1	23/11/22	375,00	34,56	16,69	718,94	172.813	0,00998	69,84%
2	26/11/22	387,50	36,50	16,94	715,08	182.500	0,01114	73,92%
3	28/11/22	387,50	37,19	17,25	718,73	185.938	0,01156	75,04%
4	29/11/22	390,63	37,38	16,50	728,34	186.875	0,01168	74,93%
5	30/11/22	375,00	35,88	15,50	699,63	179.375	0,01076	73,47%
6	01/12/22	390,63	36,44	16,06	698,23	182.188	0,01110	74,63%
7	02/12/22	387,50	35,69	15,63	717,33	178.438	0,01065	72,22%
8	05/12/22	371,88	36,31	15,13	706,21	181.563	0,01102	73,99%
9	06/12/22	396,88	36,38	17,00	707,50	181.875	0,01106	74,05%
10	07/12/22	393,75	36,56	17,19	726,48	182.813	0,01117	73,48%
11	08/12/22	409,38	38,00	17,75	721,86	190.000	0,01207	76,38%
12	09/12/22	406,25	36,69	18,25	731,50	183.438	0,01125	73,48%
13	12/12/22	403,13	33,31	17,13	689,10	166.563	0,00928	68,70%
14	13/12/22	396,88	35,88	16,50	732,13	179.375	0,01076	71,86%
15	14/12/22	378,13	36,31	16,56	744,83	181.563	0,01102	72,11%
16	15/12/22	409,38	36,81	17,44	736,58	184.063	0,01133	73,48%
17	16/12/22	412,50	37,69	18,31	747,90	188.438	0,01187	74,59%
18	17/12/22	384,38	36,50	16,06	727,62	182.500	0,01114	73,31%
19	18/12/22	368,75	34,69	15,81	703,96	173.438	0,01006	70,86%
20	20/12/22	381,25	35,31	16,44	714,41	176.563	0,01042	71,61%
21	21/12/22	393,75	36,63	16,69	721,42	183.125	0,01121	73,85%
22	22/12/22	415,63	35,94	17,06	730,48	179.688	0,01079	72,07%
23	23/12/22	418,75	35,75	17,63	736,32	178.750	0,01068	71,41%
24	24/12/22	406,25	34,69	16,88	726,13	173.438	0,01006	69,74%
25	26/12/22	403,13	33,94	16,31	719,76	169.688	0,00963	68,47%
26	27/12/22	412,50	35,56	16,81	724,29	177.813	0,01057	71,62%
27	28/12/22	415,63	36,00	17,06	730,47	180.000	0,01083	72,19%
28	29/12/22	421,88	35,88	17,19	726,36	179.375	0,01076	72,14%
29	30/12/22	431,25	35,81	17,69	734,73	179.063	0,01072	71,61%
30	31/12/22	425,00	36,00	17,75	700,60	180.000	0,01083	73,67%
Rata-rata		398,33	36,01	16,84	721,23	180.042	0,01085	72,62%

Pada Tabel 1 diatas, didapat dilihat bahwa dengan nilai arus sekunder rata-rata sebesar 398,33 mA, tegangan sekunder sebesar 36,01 kV, daya sebesar 16,84 kW, dan laju aliran gas sebesar 721,23 m³/s didapat nilai parameter kinerja ESP yaitu kuat medan listrik sebesar 180.042 V/m, kecepatan migrasi partikel sebesar 0,01085 m/s dan efisiensi rata-rata

sebesar 72,62%, dimana efisiensi tersebut masih jauh dari desain ESP sebesar 99,18%, maka dari itu akan diberi setting arus sekunder yang sesuai agar efisiensi berada diatas 90% atau mendekati maksimal.

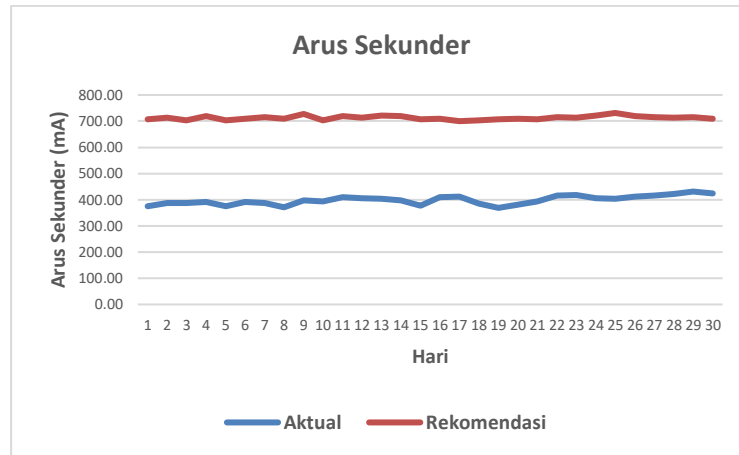
Setelah dilakukan setting arus sekunder, parameter-parameter untuk mencari efisiensi ESP dihitung ulang dan hasilnya pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Transformer dan Efisiensi ESP Setelah Setting Arus Sekunder

No	Tanggal	Transformer ESP						
		Arus Sekunder (mA)	Tegangan Sekunder (kV)	Daya (kW)	Q (m ³ /s)	EP (V/m)	ω (m/s)	η (%)
1	23/11/22	706,25	48,88	33,88	718,94	244.375	0,01997	90,90%
2	26/11/22	712,50	48,81	34,06	715,08	244.063	0,01992	90,96%
3	28/11/22	703,13	48,75	33,69	718,73	243.750	0,01986	90,79%
4	29/11/22	718,75	48,94	34,63	728,34	244.688	0,02002	90,67%
5	30/11/22	703,13	47,81	33,69	699,63	239.063	0,01911	90,53%
6	01/12/22	709,38	47,81	34,06	698,23	239.063	0,01911	90,57%
7	02/12/22	715,63	47,94	34,50	717,33	239.688	0,01921	90,08%
8	05/12/22	709,38	48,19	33,81	706,21	240.938	0,01941	90,67%
9	06/12/22	728,13	48,31	35,13	707,50	241.563	0,01951	90,74%
10	07/12/22	703,13	48,69	33,69	726,48	243.438	0,01981	90,50%
11	08/12/22	718,75	48,81	34,63	721,86	244.063	0,01992	90,75%
12	09/12/22	712,50	48,63	34,63	731,50	243.125	0,01976	90,29%
13	12/12/22	721,88	47,75	34,75	689,10	238.750	0,01906	90,81%
14	13/12/22	718,75	49,31	34,38	732,13	246.563	0,02033	90,89%
15	14/12/22	706,25	48,81	34,19	744,83	244.063	0,01992	90,05%
16	15/12/22	709,38	49,13	33,94	736,58	245.625	0,02017	90,59%
17	16/12/22	700,00	49,44	33,56	747,90	247.188	0,02043	90,53%
18	17/12/22	703,13	49,06	33,75	727,62	245.313	0,02012	90,80%
19	18/12/22	706,25	48,31	33,88	703,96	241.563	0,01951	90,85%
20	20/12/22	709,38	48,56	34,13	714,41	242.813	0,01971	90,76%
21	21/12/22	706,25	48,69	33,69	721,42	243.438	0,01981	90,65%
22	22/12/22	715,63	49,06	34,19	730,48	245.313	0,02012	90,72%
23	23/12/22	712,50	49,25	34,13	736,32	246.250	0,02027	90,71%
24	24/12/22	721,88	49,00	34,69	726,13	245.000	0,02007	90,79%
25	26/12/22	731,25	48,88	35,31	719,76	244.375	0,01997	90,87%
26	27/12/22	718,75	48,69	34,38	724,29	243.438	0,01981	90,57%
27	28/12/22	715,63	48,94	34,81	730,47	244.688	0,02002	90,61%
28	29/12/22	712,50	49,00	34,13	726,36	245.000	0,02007	90,79%
29	30/12/22	715,63	48,75	34,44	734,73	243.750	0,01986	90,30%
30	31/12/22	709,38	48,25	34,13	700,60	241.250	0,01946	90,90%
Rata-rata		712,50	48,68	34,23	721,23	243.406	0,01981	90,66%

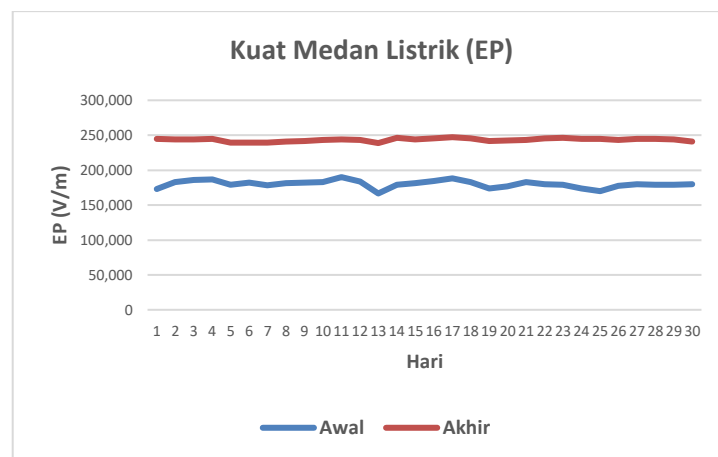
g. Analisa

Berdasarkan data pada Tabel 1, didapat bahwa efisiensi ESP aktual masih jauh dari desain (99,18%). Maka dari itu diperlukan setting arus sekunder yang baru agar efisiensi ESP berada diatas 90%. Setting arus sekunder awal sebesar 398,33 mA kemudian dinaikkan menjadi 712,50 mA atau naik sebesar 178,87% seperti dapat dilihat pada Gambar 3.



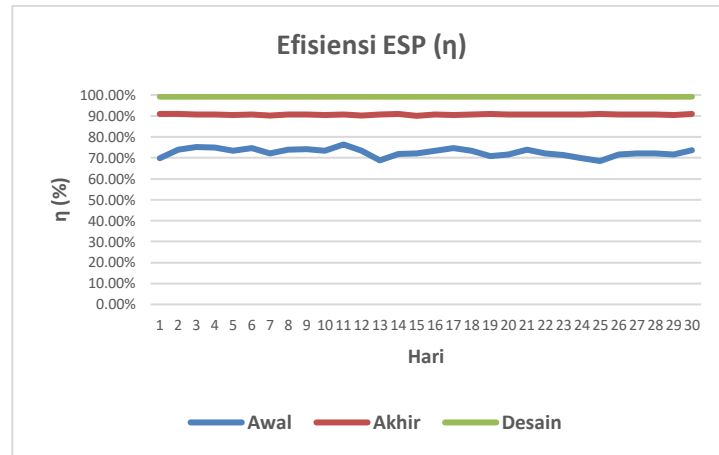
Gambar 3. Setting Arus Sekunder Aktual dan Rekomendasi

Dengan menaikkan setting arus sekunder maka akan naik pula nilai kuat medan listrik dimana yang semula 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m seperti dapat dilihat pada Gambar4.



Gambar 4. Kuat Medan Listrik Awal dan Akhir

Kuat medan listrik yang naik akan berpengaruh langsung terhadap kenaikan efisiensi ESP. Efisiensi ESP awal sebesar 72,62% berhasil dinaikkan menjadi rata-rata 90,66% seperti dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Efisiensi ESP Awal, Akhir, dan Berdasarkan Desain

Usia transformer yang sudah cukup berumur menjadi salah satu faktor yang menyebabkan efisiensi tidak optimal. Dengan menaikkan setting arus sekunder, maka efisiensi ESP mejadi 90,66% diharapkan dapat mengejar efisiensi ESP berdasarkan desain sehingga transformer ESP masih dapat bekerja dengan optimal.

Daya transformer ESP yang dihasilkan juga berbanding lurus dengan setting arus sekundernya. Dapat dilihat bahwa daya transformer ESP awal sebesar 16,84 kW naik menjadi 34,23 kW. Karena transformer beroperasi selama 24 jam, maka untuk pemakaian kWh adalah:

Daya kWh awal : $16,84 \times 24 = 404,16$ kWh

Daya kWh akhir : $34,23 \times 24 = 851,52$ kWh

Maka semakin tinggi setting arus sekunder maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan oleh transformer ESP.

Efisiensi ESP juga berhubungan dengan nilai emisi pada gas buang yang keluar melalui chimney seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Efisiensi Dengan Emisi

No	Tanggal	Partikulat (mg/Nm ³)	Opasitas (%)	η (%)
1	23/11/22	16,42	6,60%	69,84%
2	26/11/22	10,59	6,38%	73,92%
3	28/11/22	8,28	7,35%	75,04%
4	29/11/22	9,38	7,26%	74,93%
5	30/11/22	9,36	6,49%	73,47%
6	01/12/22	8,89	6,95%	74,63%
7	02/12/22	11,21	7,51%	72,22%
8	05/12/22	9,46	7,59%	73,99%
9	06/12/22	9,50	7,50%	74,05%
10	07/12/22	10,47	7,68%	73,48%
11	08/12/22	8,84	8,94%	76,38%
12	09/12/22	10,20	7,88%	73,48%
13	12/12/22	17,19	7,53%	68,70%
14	13/12/22	14,33	7,58%	71,86%
15	14/12/22	11,22	7,55%	72,11%
16	15/12/22	10,57	7,54%	73,48%
17	16/12/22	9,25	8,33%	74,59%
18	17/12/22	10,38	7,00%	73,31%
19	18/12/22	15,09	7,18%	70,86%
20	20/12/22	14,22	7,06%	71,61%

21	21/12/22	11,82	7,08%	73,85%
22	22/12/22	14,72	7,56%	72,07%
23	23/12/22	15,06	7,19%	71,41%
24	24/12/22	16,44	7,78%	69,74%
25	26/12/22	18,75	7,65%	68,47%
26	27/12/22	14,74	7,79%	71,62%
27	28/12/22	13,64	7,45%	72,19%
28	29/12/22	12,31	7,72%	72,14%
29	30/12/22	12,77	7,52%	71,61%
30	31/12/22	11,93	7,54%	73,67%
Rata-rata		12,23	7,44%	72,62%

Dari Tabel 3 diatas didapatkan bahwa semakin tinggi efisiensi, maka semakin rendah nilai partikulat. Dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan nilai partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi ESP terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dan nilai partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³. Nilai partikulat yang cenderung tinggi (ditandai dengan angka tercetak tebal) merupakan akibat dari efisiensi ESP yang rendah. Maka dengan menaikkan efisiensi ESP akan mampu mengurangi partikulat atau pencemaran udara akibat debu.

5. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian ini yaitu

1. Nilai efisiensi ESP di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 tergantung besarnya arus pada transformer ESP. Pada kondisi awal nilai efisiensi ESP 72,62% dan setelah di setting arus sekunder yang baru menjadi 90,66%.
2. Setting arus sekunder pada kondisi awal yaitu 398,33 mA dinaikkan menjadi 712,50 mA agar nilai efisiensi ESP yang baru bisa berada diatas 90%.
3. Kenaikan setting arus sekunder berpengaruh juga terhadap kenaikan kuat medan listrik yang semula 180.042 V/m menjadi 243.406 V/m.
4. Daya transformer juga mengalami kenaikan yang semula 16,84 kW menjadi 34,32 kW. Sedangkan daya kWh awal sebesar 404,16 kWh menjadi 851,52 kWh.
5. Efisiensi ESP juga berpengaruh terhadap emisi udara dimana efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 8/12/2022 sebesar 76,38% dengan nilai partikulat sebesar 8,84 mg/Nm³. Sedangkan efisiensi ESP terendah yaitu pada tanggal 26/12/2022 sebesar 68,47% dan nilai partikulat sebesar 18,75 mg/Nm³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT KPJB PLTU Tanjung Jati B Unit 3, kepada Dosen Pembimbing, serta kepada rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel sehingga artikel ini dapat selesai dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Abbas, "Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di Pltu," ILTEK J. Teknol., vol. 15, no. 2, pp. 103–106, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i2.528.
- [2] B. S. Wicaksono, "Emisi PLTU Membahayakan Kesehatan, Apa Saja Zat yang Dihasilkan?," Kompas.com, 2018. <https://pemilu.kompas.com/read/2018/07/19/200900523/emisi-pltu-membahayakan-kesehatan-apa-saja-zat-yang-dihasilkan-> (accessed Dec. 28, 2021).

- [3] K. Thofu, "PLTU: Energi Kotor yang dihasilkan Produksi Listrik Batubara (Hulu dan Hilir)," 2018. <https://www.lbhbali.or.id/berita/read/121/PLTU:-ENERGI-KOTOR-YANG-DIHASILKAN-PRODUKSI-LISTRIK-BATUBARA--HULU-DAN-HILIR-.html> (accessed Mar. 24, 2022).
- [4] Fahrizal, "Kinerja Operasi Electrostatic Precipitator Sebagai Alat Penangkap Debu Boiler Berdasarkan Tegangan Dan Laju Debu," 2017.
- [5] K. P. Shah, "Construction , Working , Operation and Maintenance of Electrostatic Precipitators (ESPs)," no. January, pp. 1–91, 2017, [Online]. Available: www.practicalmaintenance.net.
- [6] Winarno, "Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus di PT PJB UBJOM PLTU Paiton," vol. 14, no. 2, pp. 45–57, 2020.
- [7] A. Fitrianto, "Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Hasil Perubahan Emisi pada Power Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus di PLTU Lestari Banten Energy)," 2018.
- [8] Sepfitrah, "Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler," J. APTEK, vol. 7, 2015.
- [9] L. K. Wang, N. C. Pereira, and Y.-T. Hung, Air Pollution Control Engineering, vol. 1. New Jersey: Humana Press, 2004.