

ANALISIS KERUSAKAN SPIRAL WIRES PADA ELECTROSTATIC PRECIPITATOR DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Arif Purnomo Aji¹, Catur Rakhmad Handoko¹, Mohammad Basuki Rahmat¹, Purwidi Asri¹

¹Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email korespondensi: arif.aji@gmail.com

ABSTRAK

Batu bara adalah salah satu elemen terpenting pada proses produksi energi listrik di pembangkit listrik tenaga uap. Proses pembakaran batu bara pada PLTU menghasilkan residu berupa abu. Teknologi Electrostatic Precipitator (ESP) digunakan untuk menangkap abu sisa proses pembakaran sebelum dibuang ke cerobong asap. Mekanisme kerja dari ESP terdiri dari proses charging, collecting, rapping, dan transporting. Proses charging adalah proses pemberian muatan listrik negatif pada partikel abu melalui discharge electrode (DE). Setting arus dilakukan oleh teknisi guna mengatur arus yang mengalir pada DE. Pada PLTU paiton unit 9 pengaturan tersebut dilakukan secara manual. Setting arus yang diberikan dilakukan tanpa adanya acuan. Fakta menunjukkan, pada 3 bulan terakhir terjadi kerusakan discharge electrode sebesar 0.34% di internal ESP. Jenis DE yang digunakan di PLTU paiton 9 adalah spiral wires. Metode yang digunakan adalah observasi dan perbandingan berdasarkan data data yang telah diperoleh selama operasional 3 bulan. Pada proses identifikasi ditemukan penyebab rusaknya spiral yaitu, electrical problem, mechanical problem & human error. Electrical problem berkaitan dengan setting arus yang terlalu besar hingga mencapai 1800 mA. Mechanical problem berupa lepasnya collecting plate sehingga jarak antar elektrode 3 field ESP sebesar 100 mm, 128 mm dan 150 mm. Dan human error berkaitan dengan kesalahan pemeliharaan yang tidak sesuai dengan manual book. Berdasarkan analisa data yang dilakukan juga diketahui korelasi setting arus terhadap efisiensi dan kerusakan wires.

Kata kunci: Electrostatic Precipitator, Spiral wires, Setting arus

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PLTU Paiton unit 9 adalah salah satu pembangkit listrik dipulau Jawa dengan kapasitas produksi 1x660 MW. Listrik dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang

dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar boiler. PLTU Paiton menggunakan bahan bakar batubara. Batubara merupakan sumber utama energi di dunia. 60% pasokan listrik dunia masih bertumpu pada PLTU berbahan bakar batubara. Secara garis besar tahapan yang terjadi di PLTU meliputi tahapan berikut ini: Penanganan dan pemindahan bahan baku, Tahap pembakaran, Tahap pengubahan air menjadi uap

kering, Tahapan pemanfaatan uap kering menjadi energi listrik.

Tahap pembakaran bahan bakar menghasilkan residu berupa abu. Abu adalah material padat yang tersisa setelah proses pembakaran. Teknologi *Electrostatic Precipitator* (ESP) digunakan untuk menangkap abu hasil proses pembakaran. *Discharge Electrode* adalah salah satu komponen penting pada ESP untuk mengumpulkan abu. Jenis discharge electrode yang dipakai adalah *Spiral wire type SS316*. Fakta menunjukkan pada 3 bulan terakhir terdapat beberapa kerusakan pada internal ESP berupa spiral wires yang putus. Jika spiral wires putus maka dapat menyebabkan short circuit sehingga ESP tidak dapat beroperasi. Penyebab spiral wires putus antara lain adalah *lifetime*, tingkat keausan pada spiral wires serta getaran pada spiral penghantar yang dihasilkan karena setting arus pada Panel ESP. Besar setting arus pada ESP dilakukan tanpa memiliki acuan dan hanya mengandalkan perasaan para teknisi. Besar setting arus yang diberikan berkisar antara 0 sampai 2000 mA. Hal tersebut menjadi salah satu sebab spiral putus sehingga mengakibatkan kinerja ESP tidak optimal jika dilakukan secara terus menerus.

Penelitian pada Tugas Akhir (TA) ini dilakukan analisis penyebab kerusakan *spiral wires* pada ESP guna mengurangi serta mencegah jumlah *spiral wires* yang putus. Metode yang digunakan adalah observasi dan perbandingan berdasarkan data data yang sudah didapat. Data yang digunakan adalah data operasional ESP, jumlah kerusakan spiral wires selama 3 bulan serta spesifikasi teknis seluruh peralatan yang berkaitan dengan kerusakan spiral yang mengacu pada *manual book*. Berdasarkan data yang diperoleh nantinya juga dilakukan analisa tentang korelasi setting arus terhadap jumlah kerusakan *spiral wires* & efisiensi ESP.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui *Penyebab* kerusakan *spiral wires* pada *Electrostatic Precipitator* di PLTU Paiton 9 berdasarkan data operasional selama 3 bulan, penentuan besar arus injeksi yang aman bagi *Electrostatic Precipitator* guna mengurangi kerusakan spiral wires, mengetahui korelasi antara setting arus terhadap jumlah kerusakan spiral wires & efisiensi ESP di PLTU paiton.

Berdasarkan penulisan penelitian ini diharapkan memberi manfaat menambah wawasan tentang kerja dan fungsi peralatan yang ada di PLTU Paiton bagi mahasiswa penyusun/penggagas penelitian berikutnya, bahan pertimbangan dalam melakukan setting arus dan pemilihan type spiral wire untuk ESP bagi perusahaan, menjadi referensi dalam mengembangkan metode pembelajaran di jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS.

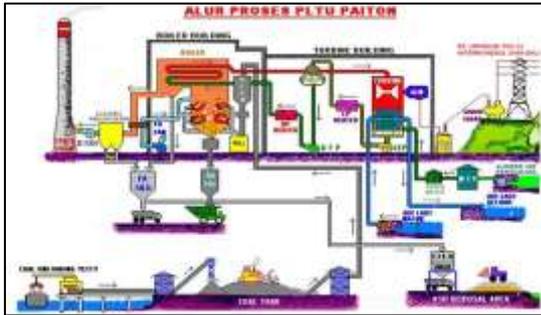
Dalam sebuah penelitian hendaknya memiliki sebuah batasan penelitian. Supaya pembahasan tidak terlalu jauh dari topik yang dibahas maka pembahasan topik ini dibatasi, yaitu *Electrostatic Precipitator* (ESP) yang menjadi objek adalah jenis ESP yang digunakan di PLTU Paiton unit 9 dengan penggunaan collecting electrode berupa spiral wires type SS316, data operasional yang akan digunakan sebagai bahan analisa diambil selama proses On The Job Training, penentuan besar arus injeksi yang aman diasumsikan bahwa semua ESP dapat beroperasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Proses Dasar PLTU

Prinsip kerja PLTU Paiton secara umum adalah pembakaran batubara pada boiler untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet di generator. Sistem Pengaturan yang digunakan pada power plant ini menggunakan sistem pengaturan Loop tertutup, dimana air yang

digunakan untuk beberapa proses merupakan putaran air yang sama, hanya perlu ditambahkan jika memang level yang ada kurang dari set pointnya. Bentuknya saja yang berubah, pada level tertentu berwujud air, tetapi pada level yang lain berwujud uap.



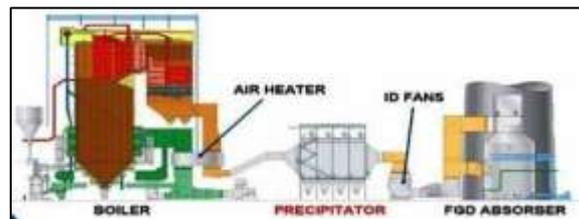
Gambar 1. Diagram Alir PLTU Paiton

Proses Pembakaran Bahan Bakar

Ada empat syarat pembakaran yaitu bahan bakar, oksigen, panas dan reaksi kimia. Akan tetapi untuk pembakaran di Boiler perlu adanya syarat tambahan agar pembakaran di dalam Boiler bekerja dengan efisien yaitu turbulensi dan waktu. Waktu yang cukup harus diupayakan agar campuran yang mudah terbakar dapat terbakar seluruhnya. Aliran bahan bakar dalam Boiler harus cukup lambat untuk memberikan cukup waktu untuk pembakaran sempurna, kalau tidak bahan yang mudah terbakar akan terkumpul dalam ketel atau cerobong dan menimbulkan bahaya ledakan. Bahaya ledakan dicegah dengan perancangan Boiler yang tepat, Boiler harus cukup besar untuk memperlambat aliran udara, sehingga sebelum meninggalkan Boiler bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna. Pada proses pembakaran terdapat alat pendukung berupa *Electrostatic Precipitator* (ESP) yang berguna menangkap abu hasil pembakaran sebelum dialirkan menuju cerobong asap.

Electrostatic Precipitator (ESP)

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk menangkap abu hasil proses pembakaran batubara dengan memberi muatan listrik pada alat ini. Alat ini terletak sesudah proses pembakaran pada boiler dan sebelum *ID fan*. Prinsip kerja ESP yaitu dengan memberi muatan negatif kepada abu-abu tersebut melalui beberapa elektroda (biasa disebut *discharge electrode*). Jika abu tersebut dilewatkan lebih lanjut ke dalam sebuah kolom yang terbuat dari plat yang memiliki muatan lebih positif (biasa disebut *collecting electrode*), maka secara alami abu tersebut akan tertarik oleh plat-plat tersebut. Setelah abu terakumulasi pada plat tersebut, sebuah sistem *rapper* khusus akan membuat abu tersebut jatuh ke bawah dan keluar dari sistem ESP.



Gambar 2. Letak ESP pada PLTU

Mekanisme Kerja *Electrostatic Precipitator*

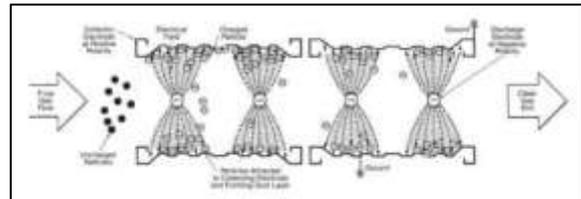
Proses-proses yang terjadi pada ESP sehingga abu (fly ash) dapat terkumpul adalah sebagai berikut:

1. **Charging.** ESP menggunakan listrik DC sebagai sumber dayanya, dimana *collecting electrode* (CE) terhubung dengan kutub positif dan ter-*grounding*, sedangkan untuk *discharge electrode* terhubung dengan kutub negatif yang bertegangan 55-72 kilovolt DC. Medan listrik terbentuk diantara DE dan CE, pada kondisi ini timbul fenomena korona listrik yang berpendar pada sisi DE. Pada saat gas buang batubara melewati medan listrik ini, fly ash akan terkena muatan negatif yang dipancarkan oleh kutub negatif pada DE. Proses pemberian muatan negatif pada abu tersebut dapat terjadi secara difusi atau induksi, tergantung dari

ukuran abu tersebut. Beberapa partikel abu akan sulit dikenai muatan negatif sehingga membutuhkan medan listrik yang lebih besar. Ada pula partikel yang sangat mudah dikenai muatan negatif, namun muatan negatifnya juga mudah terlepas, sehingga memerlukan proses charging kembali

2. **Pengumpulan.** Abu yang sudah bermuatan negatif, akan tertarik untuk menuju ke CE atau bergerak menurut aliran gas yang ada. Kecepatan aliran gas buang mempengaruhi proses pengumpulan abu pada CE. Kecepatan aliran gas yang rendah akan memperlambat gerakan abu untuk menuju CE. Sehingga umumnya desain ESP biasanya digunakan beberapa seri CE dan DE yang diatur sedemikian rupa sehingga semua abu yang terkandung di dalam gas buang boiler dapat tertangkap.
3. **Rapping.** Lapisan abu yang terkumpul pada permukaan CE harus secara periodik dirontokan. Metode yang paling umum digunakan adalah dengan jalan memukul bagian CE dengan sebuah sistem mekanis. Sistem rapper mekanis ini terdiri dari sebuah *hammer*, motor penggerak, serta sistem *gearbox* sederhana yang dapat mengatur gerakan memukul agar terjadi secara periodik. Sistem rapper tidak hanya terpasang pada sisi CE, pada DE juga terdapat sistem rapper. Hal ini karena ada sebagian kecil dari abu yang akan bermuatan positif karena ia tercharging oleh CE yang bermuatan positif.
4. **Transporting.** Abu yang rontok dari CE akan jatuh dan terkumpul di hopper yang terletak di bawah

sistem CE dan DE. Hopper ini harus didesain dengan baik agar abu yang sudah terkumpul tidak masuk kembali ke dalam kompartemen ESP. Selanjutnya dengan menggunakan udara bertekanan, kumpulan abu dipindahkan melewati pipa-pipa ke tempat penampungan yang lebih besar, pemindahan tersebut dikenal dengan istilah *transporting*.



Gambar 3. Prinsip Kerja Electrostatic Precipitators

Sistem Electrostatik

Listrik statik merupakan proses electrostatic precipitator elektrifikasi terhadap suatu benda sehingga benda tersebut mempunyai muatan potensial listrik electrostatic. Pada dasarnya daya listrik menurut prinsipnya dibagi atas beberapa bagian, yaitu:

- Sumber daya gesekan yang menimbulkannya, disebut Electrostatic
- Sumber daya magnet yang menimbulkannya, disebut Electromagnetis
- Sumber daya proses kimia yang menimbulkannya, disebut Electrochemical
- Sumber daya proses panas yang menimbulkannya, disebut Electrothermis

Sistem elektrostatis pada proses ESP, melewati gas buang boiler pada kamar yang berisi plat-plat elektroda, yang terbuat dari tembaga, kuningan ataupun arang. Elektroda yang terpasang pada konstruksi precipitator diberi arus listrik searah (DC) dengan muatan positif dan negatif. Antara batang-batang elektroda yang bermuatan negatif dan plat-plat pengumpul debu yang bermuatan positif dialirkan arus dengan tegangan 50-72 KV DC. Butiran-butiran debu yang melewati batang-batang elektroda akan terinduksi oleh muatan negatif. Butiran-butiran debu yang bermuatan

negatif akan tertarik oleh plat-plat elektroda positif. Adanya getaran (rapping) yang menyentuh plat-plat pengumpul mengakibatkan debu akan jatuh ke tempat penampungan (dust hopper), dengan demikian debu akan terpisah dari gas asap di dalam precipitator tersebut. Dengan cara mengalirkan arus listrik statis untuk mengendapkan debu sangat efektif dan polusi udara sangat sedikit pengaruhnya. Mengalirnya arus listrik menunjukkan akan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron pada udara diantara dua elektroda.

Muatan Listrik

Muatan merupakan suatu sifat dasar dan ciri khas dari partikel dasar yang menyusun zat. Sebenarnya, semua zat tersusun dari proton, neutron dan electron. Dari tinjauan makro, muatan zat sebenarnya merupakan muatan bersih atau muatan lebih. Benda yang bermuatan lebih artinya kelebihan elektron (negatif) atau kelebihan proton (positif). Muatan biasanya dinyatakan dengan lambang .

Gaya F pada hukum Coulomb menyatakan besar gaya listrik yang diberikan masing-masing benda bermuatan kepada yang lainnya. Jika kedua benda muatannya sejenis, maka gaya pada masing-masing berarah menjauhi muatan (tolak-menolak). Sebaliknya jika kedua benda muatannya tidak sejenis, maka gaya pada masing-masing benda mempunyai arah menuju benda yang lain (tarikmenarik).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{q_1q_2}{r^2} \quad (1)$$

dengan,

- F = Gaya Coulomb (N)
- ϵ =Intensitas medan listrik (V/m)
- q_1q_2 = Muatan listrik (C)
- k = Konstanta permitifitas
- r = Jarak antar muatan (m)

Medan Listrik

Medan listrik menimbulkan gaya pada setiap partikel yang bermuatan, partikel positif didorong ke arah medan, sedangkan muatan negatif ke arah sebaliknya. Medan listrik akan dihasilkan oleh satu atau lebih muatan listrik, serta dapat disamakan atau dibedakan arah magnetisasinya dari satu tempat ke tempat lainnya.

$$E = K \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

Dengan

E = Intensitas medan listrik (V/m)

Q = Muatan listrik (C)

K = Konstanta ($\frac{q}{4\pi\epsilon}$)

R = Jarak antar muatan (m)

Corona Power

Corona power adalah daya yang dibangkitkan oleh discharge electrode untuk membentuk medan listrik. Medan listrik yang kuat dibutuhkan oleh ESP untuk mencapai efisiensi yang tinggi dalam proses penangkapan abu (*collection efficiency*). Corona power untuk masing-masing *field* ESP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3). (White, H. J. 1963)

$$Pc = \frac{(Vp + Vm) \times Ic}{2} \quad (3)$$

Dengan

Pc = Corona Power (W)

Vp = Secondary Voltage (peak), (V)

Vm = Secondary Voltage (minimum) (V)

Ic = Secondary Current (average) (A)

Efisiensi ESP

Pada sebuah ESP, *collection efficiency* adalah proporsional dengan jumlah suplai dari corona power pada masing-masing *field*. *Collection efficiency* untuk masing-masing field ESP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). (White, H. J. 1963)

$$\eta = 1 - e^{-kPc/Q}$$

Dengan

η = Efisiensi ESP (%)

e = Base of natural logarithm = 2.718

k = a konstanta, antara 0.5 sampai 0.7

Pc/Q = Densitas Korona Power dalam satuan watt per 1000 m³/hr

Kuat Medan Korona (*Corona Onset Field*)

Kuat medan korona dibutuhkan dalam proses ionisasi abu terbang (pemberian muatan negatif). Kuat medan korona pada permukaan discharge electrode dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5). (Turner et al. 1999)

$$E_0 = 3 \times 106. f(sg + 0.03 \sqrt{\frac{sg}{r_w}})$$

Dimana,

E_0 = Corona onset field at the wire surface, V/m

sg = Specific gravity of the gas, 293 °K and 1 atm

r_w = Radius of the wire, m

f = Roughness factor (for a clean smooth wire

$f=1$, for practical application $f=0.6$)

Tegangan Kritis Korona (*Corona Onset Voltage*)

Tegangan kritis korona adalah tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan kuat medan korona. Tegangan kritis korona dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6). (Turner et al. 1999)

$$V_0 = E_0.r_w.ln drw$$

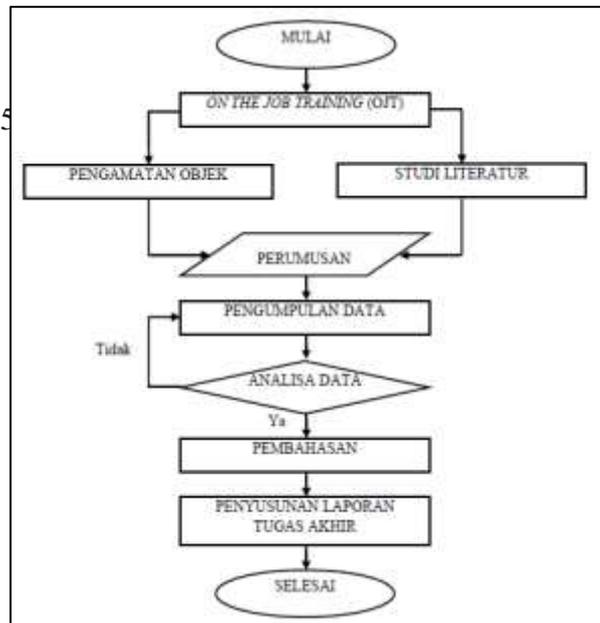
Dimana,

V_0 = Corona onset voltage, V

E_0 = Corona onset field at the wire surface, V/m
 r_w = Radius of the wire, m

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan sebuah penelitian. Dalam pembuatan atau penyusunan sebuah penelitian tugas akhir diperlukan adanya suatu penulisan yang sistematis dengan tujuan memudahkan penulis agar memperoleh hasil maksimal dan dapat dikerjakan tepat waktu. Pelaksanaan penelitian ini merupakan realisasi sebuah penelitian yang diusulkan. Tahapan pertama yaitu digambarkan secara runtut dalam bentuk konsep penelitian yang berupa flow chart diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Electrostatic Precipitator

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk menangkap abu hasil proses pembakaran batubara dengan memberi muatan listrik yang di injeksi pada spiral wires ke internal ESP. Alat ini terletak sesudah proses pembakaran pada boiler dan sebelum ID fan. Spesifikasi teknis dari Electrostatic Precipitator yang digunakan di PLTU Paiton 9 dimuat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis ESP

No.	Parameter	Besaran	Satuan
1	Suhu gas buang	≤ 400	$^{\circ}\text{C}$
2	Resistansi	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^{14}$	$\Omega.\text{cm}$
3	Jarak elektrode	250 – 400	Mm
4	Penurunan tekanan	$- 4.0 \times 10^4 - 0$	Pa
5	Konsentrasi debu gas buang masuk	≤ 100	g/Nm^3
6	Volume gas buang	4.5×10^6	m^3/h
7	Tahun Terpasang	2012	-

Dalam menganalisa penyebab putusnya spiral, parameter yang diperhatikan pada spesifikasi ESP adalah lifetime dan jarak antar elektrode. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa standar design jarak antar elektrode adalah 250-400 mm. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya short circuit antara discharge electrode dan collecting plate. Jarak tersebut juga berpengaruh pada efisiensi ESP. Suhu gas buang pada ESP sebesar ≤ 400 $^{\circ}\text{C}$. ESP juga memiliki resistansi sebesar $1 \times 10^5 - 1 \times 10^{14}$ $\Omega.\text{cm}$. Kapasitas gas buang atau abu sisa pembakaran batubara adalah 4.5×10^6 m^3/h . Secara garis besar tahapan penangkapan partikel debu pada ESP melalui 3 tahapan berikut ini:



Gambar 5. Tahapan Penangkapan Debu pada ESP

Alat yang berfungsi untuk men-supply energi listrik ke dalam intenal ESP adalah Transformer Rectifier (TR). Transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan. Dan rectifier berfungsi sebagai pengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Sumber energi listrik berasal dari listrik AC bertegangan 380 Volt, yang ditingkatkan menjadi 52.000 Volt yang kemudian diubah menjadi tegangan DC

negatif yang akan dihubungkan dengan discharge electrode. Pada PLTU Paiton 9 terdapat 16 buah transformator rectifier, yaitu 8 buah trafo pada field A dan 8 buah trafo pada field B. Spesifikasi teknis dari Trafo rectifier yang digunakan pada ESP dimuat pada tabel 2 berikut.

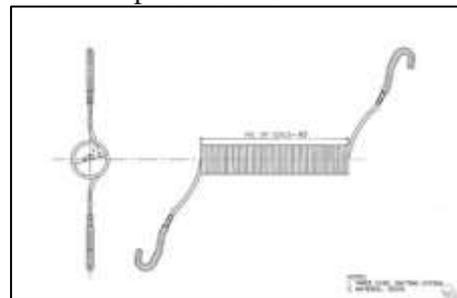
Tabel 2. Spesifikasi Teknis

No.	Parameter	Besaran	Satuan
1.	Type		
2.	Tegangan primer		
3.	Arus primer		
4.	Frekuensi		
5.	Tegangan sekunder		
6.	Arus sekunder		
7.	Berat		

Spiral Wires SS316

Spiral wires SS316 adalah jenis electrode yang digunakan di PLTU Paiton 9. Kegunaan dari spiral ini adalah sebagai konduktor atau penghantar arus listrik yang nantinya akan menangkap gas buang pembakaran batubara (fly ash).

Pada dasarnya spiral berukuran 0.5 m, tetapi dalam penggunaannya spiral tersebut ditarik hingga 14.5 m. Spiral tersebut dikaitkan pada suppot tiap tiap field ESP kemudian ditarik secara memanjang di intenal ESP. Spesifikasi teknis dari jenis spiral yang digunakan di PLTU paiton 9 dimuat pada tabel 3.



Gambar 6. Desain Spiral Wires

Tabel 3. Spesifikasi teknis spiral Wires

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Type spiral wires	SS316	-
2	Panjang awal	0.5	M
3	Panjang akhir	14.5	M
4	Diameter	0.03	M
5	Density	8	g/cm ³
6	Melting Point	1375-1400	°C
7	Modulus of Elasticity	193.0	Gpa
8	Electrical Resistivity	0.074x10 ⁻⁶	Ω.m
9	Tensile Strength	515	Mpa
10	Lifetime	10	Tahun
11	Tahun terpasang	2014	-

Kronologi Terjadinya Spiral Wires

Spiral Wires adalah komponen penting didalam internal ESP guna menangkap abu (fly ash) sisa hasil pembakaran batubara. Seperti yang telah dijelaskan, Spiral ini di inject arus sehingga batubara yang melewati spiral bermuatan negatif. Pada hari kamis, tanggal 01 februari 2018 terdapat permasalahan yang terjadi pada ESP yaitu putusnya 3 buah spiral wires di field A24.

Gambar putusnya spiral dimuat pada gambar 7. Permasalahan spiral putus menjadi suatu objek permasalahan yang akan dianalisa pada tugas akhir ini. Kejadian berlangsung pada pukul 13.00 setelah jam istirahat berakhir. Putusnya spiral diketahui oleh operator di CHCB (Coal Handling Control Building) dengan ditandai alarm “*output voltage lack* ” yang bekerja. Pada saat itu, tren A24 mengalami kerusakan spiral yang menyebabkan spiral putus. Spiral putus akan menyebabkan spiral bergelantungan didalam tren kemudian spiral akan menyentuh collecting plate sehingga terjadilah short circuit. Implikasinya, tren ESP akan berhenti beroperasi. Hal tersebut merupakan permasalahan yang kecil namun fatal akibatnya jika terjadi terus menerus.



Gambar 7. Spiral Wires dan Spiral Wires Putus

HASIL DAN PEMBAHASAN

Electrical Problem

Berdasarkan data operasional selama 3 bulan diketahui besar arus injeksi sangatlah bervariasi. Besar setting arus berkisar antara 0-1800 mA. Dari data operasional tersebut dapat dilakukan kompilasi data untuk mengetahui setting arus rata-rata perminggu. Kompilasi data setting arus dimuat pada tabel 4.

Tabel 4. Kompilasi Sata Setting Baru

No	Minggu ke	Setting arus rata-rata (mA)
1	Minggu ke-1	1294
2	Minggu ke-2	1269
3	Minggu ke-3	935
4	Minggu ke-4	1081
5	Minggu ke-5	1050
6	Minggu ke-6	1050
7	Minggu ke-7	525
8	Minggu ke-8	525
9	Minggu ke-9	1059
10	Minggu ke-10	1064
11	Minggu ke-11	972
12	Minggu ke-12	900

Besar setting arus rata rata selama 3 bulan bervariasi, setting arus paling besar terjadi pada saat minggu pertama dibulan februari yaitu sebesar 1294 mA. Sedangkan setting arus paling kecil pada minggu ke 5 dan 6 yaitu 525 mA. Setting arus yang bervariasi tersebut berpengaruh pada kerusakan yang terjadi pada spiral. Semakin besar setting arus, tentunya getaran pada spiral saat diinjeksi arus juga semakin besar sehingga menyebabkan spiral putus. Dengan adanya data setting arus dapat dilakukan analisa untuk mengetahui korelasi

antara setting arus dengan jumlah kerusakan guna mengetahui pengaruh setting arus terhadap jumlah kerusakan spiral wires. Data kerusakan spiral wires selama waktu operasional 3 bulan dimuat pada tabel 5.

Tabel 5. Data Kerusakan Spiral Wires selama 3 Bulan

No.	Minggu ke	Spiral terpasang (buah)	Waktu Operasional							Total (buah)	Persentase kerusakan (%)	
			Sen	Set	Rab	Kam	Jum	Sab	Ming			
1	Minggu ke-1	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
2	Minggu ke-2	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
3	Minggu ke-3	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
4	Minggu ke-4	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04
5	Minggu ke-5	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04
6	Minggu ke-6	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04
7	Minggu ke-7	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8	Minggu ke-8	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9	Minggu ke-9	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03
10	Minggu ke-10	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04
11	Minggu ke-11	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
12	Minggu ke-12	10240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan data, kerusakan paling banyak terjadi pada minggu pertama yaitu sebanyak 6 buah spiral wires (0.06%). Sedangkan pada minggu ke 7, 8 dan 12 tidak terdapat kerusakan spiral wires.

Mechanical Problem

Mechanical problem berkaitan dengan kondisi dari peralatan pada unit ESP. Khususnya kondisi internal ESP, yaitu kondisi spiral wires dan collecting plate. Kondisi tersebut berkaitan dengan kelayakan komponen apakah sudah sesuai untuk digunakan atau telah mengalami penurunan performa sehingga tidak bekerja dengan baik. Di tinjau dari lifetime, spiral wires memiliki masa pakai 10 tahun, dan sampai saat ini sudah digunakan selama 4 tahun. Jika putusnya spiral disebabkan oleh lifetime, maka seharusnya persentase putusnya spiral lebih banyak karena memang sudah faktor usia spiral tersebut. Namun data kerusakan

selama 3 bulan menunjukkan bahwa total kerusakan yang terjadi sebesar 0.18 % dan sekitar 99.8 % spiral dalam kondisi baik. Secara usia, dapat disimpulkan spiral wires masih tergolong cukup layak untuk digunakan.

Berdasarkan study lapangan selama 3 bulan ditemukan penyebab lain yang membuat spiral wires rusak, yaitu lepasnya collecting plate dari clip plate. Hal tersebut termasuk permasalahan mechanical pada collecting plate. Collecting plate menjadi tempat terkumpulnya abu bermuatan negatif sebelum jatuh ke hopper. Untuk collecting plate yang digunakan di PLTU Paiton 9 terbuat dari bahan steel coil dengan ketebalan 1.2-1.5 mm. Consortium China menyediakan 2 (dua) jenis collecting plate, yaitu tipe 480C dan 735C. Collecting plate yang digunakan di PLTU Paiton 9 adalah tipe 480C, dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Tipe Collecting Plate



Gambar 9. Jarak Standart antar Elektrode



Gambar 10. Pengukuran Jarak antar Elektrode

Standar operasional ESP menunjukkan bahwa jarak antara collecting plate dan spiral

wires adalah 250 mm – 400 mm seperti pada Gambar 10. Namun setelah dilakukan pengukuran terdapat 3 field ESP yang memiliki jarak antar elektrode tidak sesuai dengan standart operasional (Lampiran A). Pengukuran dilakukan saat ESP shutdown dan dilakukan pergantian spiral wires. Alat ukur yang digunakan adalah mistar/penggaris, dan pengukuran dilakukan seperti gambar 10.

Sebelum dilakukan pengukuran, Unit ESP di Off-kan terlebih dahulu. kemudian di tunggu selama kurang lebih 20 menit guna mengantisipasi udara didalam ESP yang masih panas. Untuk lebih detail tentang prosedur untuk shutdown kan ESP dimuat pada lampiran A. Ketika masuk kedalam internal ESP digunakan baju dengan desain khusus. Perlengkapan lain yang perlu dibawa adalah senter sebagai sumber penerangan, karena di internal ESP tidak terdapat sumber penerangan. Berdasarkan waktu operasional 3 bulan, diperoleh data pengukuran jarak antar elektrode yang dimuat pada tabel 6.

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat 3 field ESP yang tidak sesuai dengan standar operasional ESP. Standar operasional ESP menunjukkan bahwa jarak antara discharge electrode (spiral wires) dan collecting plate seharusnya 250 mm. Akan tetapi, pada minggu ke 2, 4, dan 10 kurang dari 250 m. Ketidaksesuai standart tersebut terjadi pada field A14, B21, dan A24. Pada field A14 terjadi pada tanggal 6 februari 2018 , Pada field B21 terjadi pada tanggal 20 februari 2018 dan pada field A24 terjadi pada tanggal 6 April 2018. Akibatnya dari ketidaksesuaian standar, Jarak antara collecting plate dan spiral wires menjadi semakin dekat. Karena spiral wires

mengandung abu yang bermuatan negatif dan collecting plate bermuatan positif, maka terjadi tarik menarik sehingga lambat laun akan menyebabkan kerusakan pada spiral wires. Spiral wires akan menyentuh collecting plate dan terjadilah short circuit. Pada saat yang bersamaan Field ESP berhenti beroperasi. Selain itu, Jika posisi yang semakin dekat juga akan membuat nilai tegangan kritis korona (*corona onset voltage*) dari spiral wires akan semakin kecil. Nilai tegangan kritis korona yang rendah maka akan membuat nilai tegangan operasi field ESP menjadi rendah, yang akhirnya nilai corona power dari field ESP menjadi rendah pula. Perhitungan kuat medan korona dilakukan menggunakan persamaan 2.3. dan perhitungan Tegangan kritis korona menggunakan persamaan 2.4. Adapun hasil perhitungan dimuat dalam tabel 7.

Tabel 6. Data Pengukuran Jarak antar Elektrode

No	Minggu ke	Jarak (mm)
1	Minggu ke-1	250
2	Minggu ke-2	100 (pada field A14)
3	Minggu ke-3	250
4	Minggu ke-4	128 (pada field B21)
5	Minggu ke-5	250
6	Minggu ke-6	250
7	Minggu ke-7	250
8	Minggu ke-8	250
9	Minggu ke-9	250
10	Minggu ke-10	150 (pada field A24)
11	Minggu ke-11	250
12	Minggu ke-12	250

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat 3 field ESP yang tidak sesuai dengan standar operasional ESP. Standar operasional ESP menunjukkan bahwa jarak antara discharge electrode (spiral wires) dan collecting plate seharusnya 250 mm. Akan tetapi, pada minggu ke 2, 4, dan 10 kurang dari 250 m. Ketidaksesuai standart tersebut terjadi pada field A14, B21, dan A24. Pada field A14 terjadi pada tanggal 6 februari 2018 , Pada field B21 terjadi pada tanggal 20 februari 2018 dan pada field A24 terjadi pada tanggal 6 April 2018.

Akibatnya dari ketidaksesuaian standar, Jarak antara collecting plate dan spiral wires menjadi semakin dekat. Karena spiral wires mengandung abu yang bermuatan negatif dan collecting plate bermuatan positif, maka terjadi tarik menarik sehingga lambat laun akan menyebabkan kerusakan pada spiral wires. Spiral wires akan menyentuh collecting plate dan terjadilah short circuit. Pada saat yang bersamaan Field ESP berhenti beroperasi. Selain itu, Jika posisi yang semakin dekat juga akan membuat nilai tegangan kritis korona (*corona onset voltage*) dari spiral wires akan semakin kecil. Nilai tegangan kritis korona yang rendah maka akan membuat nilai tegangan operasi field ESP menjadi rendah, yang akhirnya nilai corona power dari field ESP menjadi rendah pula. Perhitungan kuat medan korona dilakukan menggunakan persamaan 2.3. dan perhitungan Tegangan kritis korona menggunakan persamaan 2.4. Adapun hasil perhitungan dimuat dalam tabel 7.

Pada saat melakukan perhitungan diasumsikan bahwa tekanan gas buang pada ESP sebesar -40 kPa dan temperatur gas buang pada ESP sebesar 140 °C (413.15 K). Hal tersebut merujuk pada standart operasional ESP.

Hasil perhitungan menunjukkan dengan $d = 150$ menghasilkan tegangan kritis korona sebesar 8.5 kV, $d = 128$ menghasilkan tegangan kritis korona sebesar 7.7 kV, $d = 100$ menghasilkan tegangan kritis korona sebesar 7.8 kV. Seharusnya tegangan kritis korona sebesar 9.51 kV. Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak antara collecting plate dan spiral wires maka semakin kecil tegangan kritis korona yang dihasilkan. Semakin kecil tegangan

korona tentunya semakin kecil pula kemampuan spiral wires untuk menangkap abu sisa pembakaran batubara.

Tabel 7. Perbandingan Nilai Tegangan

Kuat Medan Korona Pada Permukaan Discharge Electrode (E0)	Tegangan Kritis Korona Pada Spiral Wires (V0)			
	d = 250	d = 100	d = 128	d = 150
1.24×10^6 V/m	9.51 kV	7.8 kV	7.7 kV	8.5 kV

Human Error

Kerusakan suatu alat pada dasarnya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: Kesalahan perencanaan, kesalahan pemasangan, kesalahan pengoperasian dan kesalahan pemeliharaan. Untuk perencanaan dan pemasangan, ESP pada PLTU paiton 9 dikoordinasikan langsung dengan pihak prosuden ESP (Tai Chun, Consortium China), sehingga dapat dikatakan sudah sesuai prosedur. Referensi prosedur pemasangan dan pengoperasian terdapat pada lampiran A, hanya saja pada manual book pengoperasian tidak terdapat keterangan arus injeksi yang harus digunakan. Pada subbab ini yang dilakukan adalah analisa kegiatan inspeksi dan pemeliharaan yang dilakukan di PLTU Paiton 9. Apakah pada kenyataannya sudah sesuai atau tidak dengan manual book yang ada. Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan yang dilakukan pada ESP PLTU Paiton 9 dimuat pada tabel 8.

Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan terbagi menjadi 4 kurun waktu, yaitu harian, mingguan dan bulan. Metode perbandingan dilakukan guna mengetahui apakah pemeliharaan yang dilakukan sudah sesuai atau belum jika dibandingkan dengan manual book yang diterbitkan oleh produsen ESP (mengacu pada lampiran B). Hasil perbandingan kegiatan inspeksi & pemeliharaan pada PLTU Paiton dimuat pada tabel 9.

Tabel 8. Kegiatan Pemeliharaan ESP PLTU 9

No	Kegiatan Pemeliharaan	Waktu pelaksanaan			
		Daily	Weekly	Monthly	Annual
1	Cleaning T/R Sets		√		
2	Cleaning Panel ESP Controller		√		
3	Cleaning SCR set			√	
4	Cleaning Contactor			√	
5	Cek Fuse			√	
6	Cek Fan SCR			√	
7	Cek Indikator			√	
8	Cek Tahanan Isolasi			√	
9	Cleaning Isolator				√
10	Cek daya korona	√			
11	Cek sistem pembuangan debu	√			

Tabel 9. Kegiatan Pemeliharaan ESP

No	Pemeliharaan berdasarkan manual book	Hasil analisa
1	Cek daya korona (Is, Ip, Vs, Vp)	Pada PLTU Paiton 9 hanya dilakukan pencatatan arus sekunder (seperti pada lampiran H). Seharusnya dilakukan pencatatan Ip, Vp dan Is guna mempermudah evaluasi kerja ESP.
2	Cek kondisi operasional perjam (laju pembakaran, uap, suhu gas buang, gas buang oksigen.)	Sudah dilakukan (seperti lampiran C)
3	Kondisi Rapper	Dilakukan tapi tidak setiap hari
4	Cek Sistem pembuangan debu	Sudah dilakukan (seperti lampiran C)
5	Opacity	Belum ada
6	Deteksi kebocoran udara	Tidak dilakukan (Belum terdapat alat deteksi kebocora udara)
7	Pengujian Tahanan isolasi	Sudah dilakukan
8	Cleaning Tarfo, Panel ESP	Sudah dilakukan

Pemeliharaan yang seharusnya dilakukan untuk mencegah maupun mengatasi kerusakan spiral wires terdapat dua jenis. Yaitu corrective maintenance dan preventive maintenance. Hasil perbandingan kegiatan pemeliharaan dimuat pada tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Kegiatan Pemeliharaan

No	Pemeliharaan berdasarkan manual book	Hasil analisa
1	Corrective maintenance: - Penggantian Spiral wires	Pada PLTU paiton 9 sudah lakukan corrective maintenance sesuai dengan panduan manual book yang ada (Lampiran D). Kegiatan penggantian spiral dibahas pada poin 4.7
2	Preventive Maintenance: - Mengecek ruang antara aliaran uap dan aliran udara - Pengukuran tekanan - Cleaning spiral wires - Cek kondisi rapper secara berkala	Sudah sesuai Sudah sesuai Karena ESP beroperasi 24 jam, maka kegiatan cleaning spiral hanya dilakukan 1 tahun sekali saat kegiatan overhaul Kondisi rapper juga dilakukan kegiatan cleaning 1 kali dalam setahun.

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan terdapat beberapa kegiatan inspeksi dan pemeliharaan yang belum sesuai dengan panduan yang ada. Meskipun pemeliharaan tidak menjadi penyebab secara langsung terhadap kerusakan spiral wires, tetapi kesalahan pemeliharaan dapat memicu menurunnya performa dari ESP itu sendiri

Penyebab Berdasarkan Identifikasi

Setelah dilakukan penelusuran dan analisa lebih lanjut, dapat ditemukan bahwa penyebab dari kerusakan ESP pada PLTU 9 adalah sebagai berikut.

- a. Besar Arus Injeksi
- b. Lepasnya collecting plate
- c. Human Error

Cara Mengatasi dan Pencegahan Kerusakan

Dari beberapa penyebab yang dibahas di atas dapat diatasi dengan cara sebagai berikut:

- a. Penggantian spiral wires
- b. Penggunaan besar arus injeksi
- c. Pemasangan clamp pada collecting plane
- d. Koordinasi antar divisi.

Efisiensi ESP

Efisiensi berkaitan dengan suatu ukuran keberhasilan penggunaan alat. Pada sebuah ESP, collection efficiency adalah proporsional dengan jumlah suplai dari corona power pada masing-masing field. Collection efficiency untuk masing-masing field ESP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3). pada subbab ini, akan dilakukan perhitungan guna mengetahui korelasi antara setting arus dan efisiensi ESP selama 3 bulan operasional.

Nilai dari korona power (Pc) berkaitan dengan setting Arus (Ic) dan suplai tegangan (V). Sehingga kita dapat mengetahui korelasi antara setting arus dengan efisiensi ESP. Setting Arus yang digunakan adalah operasional selama 3 bulan. Dan untuk suplai tegangan adalah sebesar 52 kV Dc sesuai dengan fakta di PLTU Paiton 9. Setting arus dimuat pada Tabel 11 berikut.

Setelah dilakukan perhitungan, dan memperoleh hasil sdeperti pada Tabel 12 korelasi antara setting arus menunjukkan bahwa setting arus berbanding lurus dengan nilai corona power. Sehingga makin besar setting arus maka efisiensi juga semakin besar. Saat setting arus 525 mA efisiensi mencapai 95% dan saat 900 mA mencapai 99,5%. Dengan menggunakan arus injeksi antara 935-1294 mA juga menunjukkan efisiesi yang tinggi hingga mencapai 99,9%. Akan tetapi berdasarkan data kerusakan, setting tersebut menyebabkan beberapa spiral putus. Dapat dikatakan setting arus dengan range ≥ 935 mA tidak aman untuk dioperasikan.



Gambar 11. Perhitungan Efisiensi dan *Corona Power*

Tabel 11. Setting Arus Injeksi

No.	Setting Arus (mA)
1.	525
2.	900
3.	935
4.	972
5.	1050
6.	1059
7.	1064
8.	1081
9.	1269
10.	1294

Setelah dilakukan perhitungan, dan memperoleh hasil sdeperti pada Tabel 12 korelasi antara setting arus menunjukkan bahwa setting arus berbanding lurus dengan nilai corona power. Sehingga makin besar setting arus maka efisiensi juga semakin besar. Saat setting arus 525 mA efisiensi mencapai 95% dan saat 900 mA mencapai 99,5%. Dengan menggunakan arus injeksi antara 935-1294 mA juga menunjukkan efisiesi yang tinggi hingga mencapai 99,9%. Akan tetapi berdasarkan data kerusakan, setting tersebut menyebabkan beberapa spiral putus. Dapat dikatakan setting arus dengan range ≥ 935 mA tidak aman untuk dioperasikan.

Tabel 12. Korelasi antar Setting Arus, Jumlah Kerusakan dan Efisiensi

No.	Setting Arus (mA)	Corona power (kV)	-kPc/Q	Efisiensi (%)	Jumlah kerusakan
1	525	5250	-3,2	95,71	
2	900	9000	-5,4	99,55	
3	935	9350	-5,6	99,63	0,0
4	972	9720	-5,8	99,71	0,0
5	1050	10500	-6,3	99,82	0,0
6	1059	10590	-6,3	99,83	0,0
7	1064	10640	-6,4	99,83	0,0
8	1081	10810	-6,5	99,85	0,0
9	1269	12690	-7,6	99,95	0,0
10	1294	12940	-7,8	99,96	0,0

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan, penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, dan dengan mengacu pada beberapa teori, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyebab kerusakan spiral wires terjadi karena tiga faktor antara lain, *electrical problem*, *mechanical problem* dan *human error*. Electrical problem berkaitan dengan setting arus yang tidak menentu dan tidak adanya standart besar setting. Mechanical problem berupa lepasnya collecting plate dari clip plate. Sehingga jarak antara elektrode tidak sesuai standart operasional, yaitu 250 mm. Human error berkaitan dengan tidak dilakukannya inspeksi secara berkala di internal ESP
2. Hubungan antara setting arus dan jumlah kerusakan spiral wires menunjukkan jika setting arus ≥ 935 mA terjadi kerusakan spiral wires. Sehingga dapat disimpulkan Setting arus yang aman adalah ≤ 900 mA

3. Berdasarkan perhitungan, semakin besar setting arus semakin besar pula efisiensinya, tetapi resiko kerusakan spiral juga semakin besar. Setting arus aman adalah ≤ 900 mA dengan efisiensi ESP mencapai 99,55%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentin, M., Zastrau, D., Schlaak, M., *Anonim*. 2014. *Electrostatic Precipitator Training Seminar*. TAI & Chyun Association, Inc.
- Neundorfer.M. 1996. *Electrostatic Precipitator and Operation*. Neundorfer Engineered Systems. Ohio
- Purnama Nugroho. 2015. Laporan Kerja Praktik. Mechanical Problem Pada Electrostatic Precipitator di Raw Mill Area Plant 9. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Taiwan Assauri, Sofjan. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta. FEUI