



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



ANALISIS PENGARUH *SOOTBLOWER* TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS *SUPERHEATER* PADA UNIT 2 DAN UNIT 3 PLTU INDRAMAYU

SKRIPSI

Oleh:

Ardi Wibowo

NIM. 2202421027

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



Hak Cipta :

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



**ANALISIS PENGARUH *SOOTBLOWER* TERHADAP
LAJU PERPINDAHAN PANAS *SUPERHEATER* PADA
UNIT 2 DAN UNIT 3 PLTU INDRAMAYU**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi,
Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ardi Wibowo

NIM. 2202421027

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





Hak Cipta :

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

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH *SOOTBLOWER* TERHADAP LAJU
PERPINDAHAN PANAS *SUPERHEATER* PADA
UNIT 2 DAN UNIT 3 PLTU INDRAMAYU**

Oleh:

Ardi Wibowo

NIM. 2202421027

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T.,
NIP. 196108011989031001

Pembimbing 2

Dr. Candra Damis Widiawaty, S.TP., M.T.
NIP. 198201052014042001

Kepala Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T.,
NIP. 196605191990031002



© H

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

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH *SOOTBLOWER* TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS *SUPERHEATER* PADA UNIT 2 DAN UNIT 3 PLTU INDRAMAYU

Oleh:

Ardi Wibowo

NIM. 2202421027

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 13 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi Sarjana
Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

NO.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T.	Ketua		13 Juli 2026
2.	Muhammad Ridwan, S.Hum., M.Hum.	Anggota		13 Juli 2026
3.	Idrus Assagaf, S.S.T., M.T.	Anggota		13 Juli 2026

Depok, 13 Juli 2026

Disahkan oleh :
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.,
NIP. 197602252000121002



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ardi Wibowo

NIM : 2202421027

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 13 Juli 2026



Ardi Wibowo
NIM. 2202421027



Hak Cipta :

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

ANALISIS PENGARUH *SOOTBLOWER* TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS *SUPERHEATER* PADA UNIT 2 DAN UNIT 3 PLTU INDRAMAYU

Ardi Wibowo¹⁾, Paulus Sukusno^{1*)}, Candra Damis Widiawaty¹⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

*Email : paulus.sukusno@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

Fouling akibat penumpukan abu batubara pada pipa *superheater boiler* menjadi salah satu penyebab utama turunnya efisiensi termal PLTU. *Sootblower* digunakan secara periodik untuk membersihkan jelaga tersebut tanpa menghentikan operasi *boiler*. Penelitian ini bertujuan menghitung laju perpindahan panas pada *superheater* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower* serta menganalisis pengaruhnya terhadap peningkatan laju perpindahan panas pada tiap unit. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder dari sistem *Distributed Control System* (DCS) PLTU Indramayu berupa tekanan, temperatur, dan laju aliran uap pada sisi masuk dan keluar *superheater*. Data diambil selama 9 jam sebelum dan 9 jam sesudah pengoperasian *sootblower* dengan interval 1 jam per titik data. Laju perpindahan panas dihitung dengan persamaan $Q = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in})$, di mana entalpi spesifik uap diperoleh melalui interpolasi linier dua dimensi pada tabel uap standar IAPWS-IF97. Data diambil pada kondisi beban operasi stabil untuk menjaga validitas hasil. Hasil penelitian menunjukkan pengoperasian *sootblower* berpengaruh terhadap laju perpindahan panas pada kedua unit. Pada Unit 2, rata-rata laju perpindahan panas meningkat dari 83,24 MW menjadi 89,80 MW atau naik 7,88% dengan kenaikan temperatur uap keluar 7,37°C. Pada Unit 3, rata-rata laju perpindahan panas meningkat dari 80,27 MW menjadi 89,93 MW atau naik 12,03% dengan kenaikan temperatur uap keluar 10,98°C. Temuan ini menunjukkan *sootblower* efektif memulihkan laju perpindahan panas *superheater* akibat berkurangnya *fouling* dan menjadi dasar rekomendasi evaluasi serta optimasi jadwal pengoperasian *sootblower* di PLTU Indramayu.

Kata kunci: *sootblower*, *fouling*, *superheater*, laju perpindahan panas, PLTU Indramayu



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya. Atas izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh *Sootblower* Terhadap Laju Perpindahan Panas *Superheater* Pada Unit 2 Dan Unit 3 PLTU Indramayu”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak yang telah meluangkan waktu, tenaga, materi dan pemikiran. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan ketulusan, penulis menyampaikan rasa syukur, terima kasih, dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Sari Arumdhati dan Bapak Sudeli selaku orang tua yang saya sayangi dan cintai sampai saat ini telah mendidik dan selalu mendukung segala kegiatan yang saya lakukan.
2. Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, yang telah memberikan dukungan, kebijakan, serta fasilitas akademik sehingga pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
3. Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, yang telah memberikan arahan, dukungan, serta kesempatan kepada penulis dalam menempuh pendidikan dan menyelesaikan skripsi ini.
4. Dr. Paulus Sucusno, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing utama Skripsi, atas segala bimbingan, arahan, masukan, serta koreksi yang membangun selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Candra Damis Widiawaty, S.TP., M.T., selaku Dosen Pembimbing kedua Skripsi, atas bimbingan, dukungan, dan saran yang membantu penyempurnaan penelitian ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan, wawasan, serta pengalaman akademik yang sangat bermanfaat sebagai bekal dalam penyusunan skripsi dan pengembangan keilmuan.
7. Bapak Fajar Suryono selaku Asisten Manajer Har Mesin 1 PT PLN Nusantara Power UP Indramayu.
8. Bapak Agus Mustofa selaku Asisten Manajer Har Instrumentasi & Kontrol PT PLN Nusantara Power UP Indramayu.
9. Bapak Toto Sugito selaku Pembimbing Lapangan Har Mesin 1 PT PLN Nusantara Power UP Indramayu.
10. Seluruh karyawan, khususnya di Divisi RENTAL Operasional PT PLN Nusantara Power UP Indramayu, atas bimbingan dan pengalaman yang diberikan.

Depok, Juli 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ardi Wibowo
NIM. 2202421027



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

DEWAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Pertanyaan Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Batasan Masalah.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Landasan Teori.....	6
2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	6
2.1.2. <i>Boiler</i> pada PLTU	7
2.1.3. <i>Superheater</i>	8
2.1.4. Perpindahan Panas pada <i>Superheater</i>	10
2.1.5. <i>Fouling</i> pada <i>Superheater Boiler</i>	11
2.1.6. Sistem <i>Sootblower</i>	11
2.1.7. Pengaruh <i>Sootblower</i> terhadap Laju Perpindahan Panas	16
2.2. Kajian Literatur	16
2.3. Kerangka Pemikiran	18
2.4. Hipotesis.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. Jenis Penelitian	20
3.2. Objek Penelitian	21
3.3. Metode Pengambilan Sampel.....	22
3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian	23
3.5. Metode Pengumpulan Data Penelitian	24



Hak Cipta :

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

3.5.1. Pengumpulan Data	26
3.6. Metode Analisis Data	32
3.6.1. Analisis Penggunaan Persamaan $Q = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in})$	32
3.6.2. Penggunaan Interpolasi Linier Dua Dimensi pada Tabel Uap	32
3.6.3. Data dalam Bentuk Grafik dan Tabel	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil Penelitian	35
4.1.1. Pengolahan Data	35
4.2. Pembahasan	44
4.2.1. Pengaruh <i>Sootblower</i> terhadap Laju Perpindahan Panas Unit 2	45
4.2.2. Pengaruh <i>Sootblower</i> terhadap Laju Perpindahan Panas Unit 3	45
4.2.3. Rekapitulasi Data Unit 2 dan Unit 3	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Spesifikasi Boiler PLTU Indramayu	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Sootblower.....	13
Tabel 3.1 Kondisi Beban Operasi Unit 2 dan Unit 3	22
Tabel 3.2 Kebutuhan Data Penelitian.....	24
Tabel 3.3 Data 9 Jam Sebelum Proses Sootblower pada Unit 2	26
Tabel 3.4 Data 9 Jam Sesudah Proses Sootblower pada Unit 2.....	28
Tabel 3.5 Data 9 Jam Sebelum Proses Sootblower pada Unit 3	29
Tabel 3.6 Data 9 Jam Sesudah Proses Sootblower pada Unit 3.....	30
Tabel 4.1 Data Sampel pada Jam 08:00, Unit 2 (Sebelum Sootblower).....	36
Tabel 4.2 Data Sampel pada Jam 10:00, Unit 3 (Sebelum Sootblower).....	37
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Unit 2 (Sebelum Sootblower).....	38
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Unit 2 (Sesudah Sootblower)	40
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Unit 3 (Sebelum Sootblower).....	41
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Unit 3 (Sesudah Sootblower)	43
Tabel 4.7 Rekapitulasi Data Uap Keluar Unit 2 dan Unit 3.....	47

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Boiler dan Bagian-Bagian	7
Gambar 2.2 Letak Superheater pada Sistem Boiler PLTU	9
Gambar 2.3 Spesifikasi Sootblower IR.....	13
Gambar 2.4 Sootblower APH	14
Gambar 2.5 Sootblower IK	15
Gambar 2.6 Sootblower IR	15
Gambar 3.1 Gedung utama Administrasi dan Unit PLTU	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.3 Grafik data Tabel 3.3 (Unit 2, sebelum sootblower).....	27
Gambar 3.4 Grafik data Tabel 3.4 (Unit 2, sesudah sootblower)	28
Gambar 3.5 Grafik data Tabel 3.5 (Unit 3, sebelum sootblower).....	30
Gambar 3.6 Grafik data Tabel 3.6 (Unit 3, sesudah sootblower)	31
Gambar 4.1 Grafik data Tabel 4.3 (Unit 2, sebelum sootblower).....	39
Gambar 4.2 Grafik data Tabel 4.4 (Unit 2, sesudah sootblower)	41
Gambar 4.3 Grafik data Tabel 4.5 (Unit 3, sebelum sootblower).....	42
Gambar 4.4 Grafik data Tabel 4.6 (Unit 3, sesudah sootblower)	44
Gambar 4.5 Grafik Laju Perpindahan Panas Sebelum dan Sesudah Unit 2.....	45
Gambar 4.6 Grafik Laju Perpindahan Panas Sebelum dan Sesudah Unit 3.....	46
Gambar 4.7 Grafik Tren Temperatur Uap Keluar Superheater.....	47

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan fundamental yang menopang hampir seluruh sektor kehidupan modern, mulai dari rumah tangga, industri, hingga infrastruktur publik. Di Indonesia, permintaan terhadap energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk. Berdasarkan data PLN Statistik 2023, total kapasitas terpasang pembangkit listrik PLN Group di Indonesia mencapai 45.095,19 MW, dengan pembangkit listrik berbahan bakar batubara (PLTU) menjadi kontributor terbesar yaitu sebesar 20.439,90 MW atau sekitar 28% dari total kapasitas terpasang (PT PLN, 2024). Bila dihitung secara menyeluruh termasuk pembangkit *captive*, kapasitas PLTU batubara yang beroperasi di Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 51,56 GW (Ember, 2024). Besarnya ketergantungan sistem ketenagalistrikan nasional terhadap PLTU batubara menunjukkan bahwa keandalan dan efisiensi operasional pembangkit jenis ini memiliki pengaruh langsung terhadap ketahanan energi nasional.

Salah satu komponen paling kritis dalam sistem PLTU adalah *boiler*, yang berfungsi mengonversi energi kimia dari pembakaran batubara menjadi energi termal dalam bentuk uap bertekanan tinggi. Di dalam *boiler* terdapat komponen bernama *superheater* yang bertugas memanaskan uap jenuh (*saturated steam*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) sebelum dialirkan menuju turbin uap. Kualitas uap yang dihasilkan oleh *superheater*, yang ditunjukkan oleh temperatur dan tekanannya, sangat menentukan efisiensi kerja turbin dan performa termal pembangkit secara keseluruhan (Nag, 2014). Oleh karena itu, menjaga kinerja perpindahan panas pada *superheater* merupakan salah satu prioritas utama dalam operasional PLTU.

Namun dalam proses pembakaran batubara, dihasilkan partikel abu terbang (*fly ash*) dan deposit mineral yang secara terus-menerus menempel pada permukaan luar pipa-pipa *superheater*. Penumpukan deposit ini dikenal sebagai *fouling*, yaitu

Hak Cipta :

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

kondisi terbentuknya lapisan abu dan jelaga pada permukaan pipa yang menghambat aliran panas. Lapisan deposit ini bersifat sebagai isolator termal yang meningkatkan tahanan termal pada permukaan perpindahan panas, sehingga laju perpindahan panas menurun, temperatur gas buang meningkat, dan efisiensi *boiler* secara keseluruhan berkurang (Babcock dan Wilcox, 2005). Sandberg et al. (2006) melaporkan bahwa lapisan deposit setebal 20 mm dapat menurunkan laju perpindahan panas pada *superheater* hingga hampir 40%. Penurunan sebesar itu tentu berdampak signifikan terhadap efisiensi pembangkit yang beroperasi pada skala ratusan megawatt.

Untuk mengatasi permasalahan *fouling*, sistem boiler PLTU dilengkapi dengan peralatan yang disebut *sootblower*. *Sootblower* bekerja dengan menyemburkan uap bertekanan tinggi ke permukaan pipa *superheater* secara periodik untuk melepaskan dan menyingkirkan lapisan deposit yang menempel. Pengoperasian *sootblower* yang tepat memungkinkan proses pembersihan berlangsung tanpa menghentikan operasi *boiler*, sehingga kinerja perpindahan panas dapat dipulihkan secara berkala (Babcock dan Wilcox, 2005). Tong et al. (2020) membuktikan bahwa setiap kali *sootblower* dioperasikan pada *boiler* 300 MW, tahanan termal lapisan abu pada *superheater* mengalami penurunan yang signifikan dan konsisten, yang mengindikasikan pemulihan laju perpindahan panas secara langsung.

PLTU Indramayu merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara milik PT PLN Nusantara Power yang berlokasi di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Pembangkit ini memiliki tiga unit dengan kapasitas masing-masing 330 MW, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 990 MW. Pada saat penelitian ini dilaksanakan, Unit 1 sedang menjalani proses *overhaul*, sementara Unit 2 dan Unit 3 beroperasi secara aktif. Kondisi ini memberikan kesempatan untuk melakukan pengamatan dan pengambilan data secara langsung pada kedua unit yang sedang berjalan, sehingga pengaruh *sootblower* terhadap laju perpindahan panas dapat dianalisis berdasarkan data operasional aktual pada masing-masing unit.

Hak Cipta :

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

Dari sisi penelitian, studi yang secara spesifik menganalisis pengaruh pengoperasian *sootblower* terhadap laju perpindahan panas pada *superheater boiler* PLTU batubara di Indonesia berbasis data operasional aktual masih relatif terbatas. Sebagian besar kajian terdahulu bersifat simulatif atau menggunakan data dari *boiler* luar negeri, sehingga belum banyak menggambarkan kondisi nyata operasi PLTU batubara nasional. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengambil judul: “Analisis Pengaruh *Sootblower* Terhadap Laju Perpindahan Panas *Superheater* pada Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu”.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terjadinya penurunan laju perpindahan panas pada *superheater boiler* akibat akumulasi *fouling* pada permukaan pipa, yang berdampak langsung pada penurunan efisiensi termal *boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu.
2. Belum diketahuinya secara kuantitatif besaran pengaruh pengoperasian *sootblower* terhadap peningkatan laju perpindahan panas pada *superheater* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu berdasarkan data operasional aktual.

1.3. Pertanyaan Penelitian

1. Berapa besar laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower* berdasarkan data operasional aktual?
2. Seberapa besar pengaruh pengoperasian *sootblower* terhadap peningkatan laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu?

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menghitung laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower* berdasarkan data operasional aktual dari sistem DCS.

Hak Cipta :

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

2. Menganalisis pengaruh pengoperasian *sootblower* terhadap peningkatan laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu.

Manfaat Penelitian

1. Bagi institusi pendidikan, penelitian ini memberikan kontribusi berupa studi kasus nyata tentang analisis termodinamika perpindahan panas pada *superheater boiler* PLTU batubara skala besar berbasis data operasional aktual, yang dapat dijadikan referensi akademik di lingkungan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bagi industri pembangkit listrik, khususnya PT PLN Nusantara Power UP Indramayu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data kuantitatif untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan jadwal serta parameter pengoperasian *sootblower* pada Unit 2 dan Unit 3, sehingga efisiensi termal *boiler* dapat dijaga pada tingkat yang optimal sepanjang siklus operasi.
3. Bagi pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian ini memberikan kontribusi berupa data kuantitatif mengenai pengaruh *sootblower* terhadap laju perpindahan panas *superheater* yang dapat menjadi referensi untuk penelitian serupa di pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara lainnya di Indonesia.

1.6. Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan khusus pada Unit 2 dan Unit 3 *boiler* PLTU Indramayu milik PT PLN Nusantara Power UP Indramayu, dengan kapasitas masing-masing unit sebesar 330 MW.
2. Objek analisis dibatasi pada komponen *superheater* sebagai tahap pemanasan akhir uap sebelum memasuki turbin, tanpa mencakup komponen pemanas lain seperti *reheater* dan *economizer*.
3. Data yang digunakan merupakan data operasional sekunder dari sistem DCS, yang diambil dengan rentang waktu 9 jam sebelum dan 9 jam sesudah setiap siklus *sootblower* dengan interval pencatatan 1 jam, sehingga diperoleh 9 titik data pada masing-masing kondisi, untuk masing-masing unit.

Hak Cipta :

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

4. Analisis dibatasi pada pendekatan termodinamika menggunakan persamaan $Q = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in})$, dengan nilai entalpi uap ditentukan berdasarkan tabel uap standar IAPWS-IF97.
5. Penelitian tidak mencakup analisis tegangan termal pipa, umur pakai peralatan, maupun simulasi numerik aliran fluida (CFD).
6. Analisis pengaruh *sootblower* dilakukan secara terpisah pada masing-masing unit, dengan data yang diambil pada kondisi beban operasi unit yang relatif stabil agar perubahan Q yang teramati dapat dikaitkan secara valid dengan pengoperasian *sootblower*.

7. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA memuat landasan teori yang mencakup konsep PLTU, *boiler*, *superheater*, mekanisme perpindahan panas, fenomena *fouling*, sistem *sootblower*, dan kajian literatur dari penelitian terdahulu yang relevan, serta kerangka pemikiran dan hipotesis penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN menjelaskan jenis penelitian, objek penelitian, prosedur pengambilan data beserta alasan pemilihannya, metode analisis termodinamika, dan tahapan perhitungan laju perpindahan panas beserta dasar penggunaannya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN menyajikan data operasional aktual dari Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu, hasil perhitungan laju perpindahan panas sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower* pada masing-masing unit, serta pembahasan yang dikaitkan dengan teori dan literatur terdahulu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN berisi simpulan dari hasil penelitian dan saran bagi operasional PLTU Indramayu maupun untuk penelitian selanjutnya.

Hak Cipta :

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

BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Perhitungan laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower* berdasarkan data operasional aktual dari sistem DCS menunjukkan adanya perbedaan yang konsisten pada tiga faktor operasional utama, yaitu laju perpindahan panas (Q), temperatur uap keluar *superheater* (T_{out}), dan laju aliran (*flow*) uap. Perbedaan pada masing-masing faktor tersebut, beserta analisisnya, diuraikan sebagai berikut.
 - a. **Laju perpindahan panas (Q).** Pada Unit 2, nilai Q rata-rata meningkat dari 83,24 MW sebelum *sootblower* menjadi 89,80 MW sesudahnya (naik 6,56 MW atau 7,88%), sedangkan pada Unit 3 meningkat dari 80,27 MW menjadi 89,93 MW (naik 9,66 MW atau 12,03%). Peningkatan Q pada kedua unit ini menunjukkan bahwa proses *sootblowing* efektif mengurangi lapisan *fouling* atau deposit abu pada permukaan pipa *superheater*, yang sebelumnya berfungsi sebagai isolator termal dan menghambat perpindahan panas dari gas buang ke uap di dalam pipa (Babcock dan Wilcox, 2005).
 - b. **Temperatur uap keluar *superheater* (T_{out}).** Pada Unit 2, T_{out} rata-rata naik dari 533,98°C menjadi 541,35°C (naik 7,37°C), sedangkan pada Unit 3 naik dari 533,16°C menjadi 544,14°C (naik 10,98°C). Kenaikan T_{out} ini sejalan dan mengkonfirmasi peningkatan Q , karena pemulihan efektivitas perpindahan panas pada *superheater* menyebabkan uap menyerap lebih banyak kalor sebelum keluar menuju turbin, sehingga suhunya menjadi lebih tinggi.

Hak Cipta :

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

c. **Laju aliran (*flow*) uap.** Pada Unit 2, *flow* rata-rata menurun dari 980.362,93 kg/jam menjadi 962.085,50 kg/jam, sedangkan pada Unit 3 menurun dari 966.423,42 kg/jam menjadi 948.546,09 kg/jam. Penurunan *flow* ini terjadi karena sebagian uap digunakan sebagai media penyemprot pada proses *sootblowing*, sehingga pengoperasian *sootblower* tetap memberikan efek positif terhadap Q dan T_{out} meskipun terjadi sedikit pengurangan pasokan uap menuju turbin.

2. Analisis pengaruh pengoperasian *sootblower* terhadap peningkatan laju perpindahan panas pada *superheater boiler* Unit 2 dan Unit 3 PLTU Indramayu menunjukkan bahwa *sootblower* terbukti berpengaruh secara signifikan pada kedua unit, sehingga hipotesis H1 dan H2 dalam penelitian ini diterima. Pada Unit 2, Q meningkat 7,88% disertai kenaikan T_{out} sebesar 7,37°C, sedangkan pada Unit 3, Q meningkat 12,03% disertai kenaikan T_{out} sebesar 10,98°C. Pola yang konsisten pada kedua unit ini menegaskan bahwa pengoperasian *sootblower* secara nyata mampu memulihkan laju perpindahan panas pada *superheater* yang menurun akibat *fouling*, meskipun besaran peningkatannya berbeda antar unit, sehingga evaluasi rutin terhadap pengaruh *sootblower* berbasis data operasional aktual penting dilakukan pada setiap unit *boiler* PLTU Indramayu secara independen.

5.2.Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, berikut beberapa saran yang dapat diberikan bagi pihak industri maupun bagi penelitian selanjutnya.

1. Bagi PT PLN Nusantara Power UP Indramayu, disarankan untuk melakukan evaluasi berkala terhadap jadwal pengoperasian *sootblower* pada Unit 2 dan Unit 3 berdasarkan data laju perpindahan panas (Q) aktual dari sistem DCS pada masing-masing unit, sehingga waktu pengoperasian *sootblower* dapat disesuaikan dengan tingkat keparahan *fouling* yang sebenarnya terjadi pada setiap unit. Penerapan strategi *sootblowing* berbasis kondisi (*condition-based sootblowing*) dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efektivitas pembersihan sekaligus menghemat penggunaan uap bertekanan tinggi.

Hak Cipta :

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

2. Bagi PT PLN Nusantara Power UP Indramayu, disarankan untuk melakukan pemantauan berkelanjutan terhadap kondisi internal boiler pada masing-masing unit, seperti distribusi aliran gas buang, kondisi permukaan pipa, dan efisiensi pembakaran, mengingat tingkat *fouling* dapat dipengaruhi oleh kondisi operasional dan riwayat pemeliharaan yang berbeda pada setiap unit, meskipun spesifikasi desain boilernya identik.
3. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan analisis dengan menyertakan komponen pemanas lain seperti *reheater* dan *economizer*, sehingga gambaran menyeluruh mengenai pengaruh *sootblower* pada seluruh jalur aliran uap *boiler* dapat diperoleh.
4. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk memperbanyak jumlah sampel siklus *sootblowing* yang dianalisis pada masing-masing unit agar kesimpulan yang dihasilkan lebih representatif secara statistik. Penelitian ini menggunakan satu siklus *sootblowing* per unit sebagai sampel; penggunaan beberapa siklus yang diambil pada periode dan kondisi operasi yang bervariasi akan meningkatkan keandalan hasil analisis.
5. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan analisis faktor *fouling* termal (R_f) sebagai parameter tambahan dalam mengukur keparahan *fouling* secara kuantitatif, sehingga analisis pengaruh *sootblower* tidak hanya didasarkan pada perubahan laju perpindahan panas (Q) tetapi juga pada perubahan tahanan termal aktual sebelum dan sesudah pembersihan.



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Babcock & Wilcox. (2005). Steam: Its Generation and Use (41st ed.). The Babcock & Wilcox Company.
- Bryers, R. W. (1996). Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 22(1), 29–120. [https://doi.org/10.1016/0360-1285\(95\)00012-7](https://doi.org/10.1016/0360-1285(95)00012-7)
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ember. (2024). Global Electricity Review 2024. Ember Climate. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2024/>
- Granda, M., Trojan, M., & Taler, J. (2020). Analysis of a steam superheater operation in a steady state. *Energy*, 209, 118444. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118444>
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Madejski, P., & Taler, J. (2013). Analysis of temperature and stress distribution of superheater tubes after attemperation or sootblower activation. *Energy Conversion and Management*, 71, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.031>
- Nag, P. K. (2014). *Power Plant Engineering* (4th ed.). Tata McGraw-Hill.
- PT PLN (Persero). (2024). Statistik PLN 2023. PT PLN (Persero). <https://www.pln.co.id/statics/uploads/2024/statistik-pln-2023.pdf>
- Sandberg, J., Fdhila, R. B., Dahlquist, E., & Avelin, A. (2006). Dynamic simulation of fouling in a circulating fluidized biomass-fired boiler. *International Journal of Energy Research*, 30(13), 1019–1033. <https://doi.org/10.1002/er.1211>



Hak Cipta :

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

Taler, J., Trojan, M., Dzierwa, P., Kaczmariski, K., & Taler, D. (2018). Numerical simulation of convective superheaters in steam boilers. *International Journal of Thermal Sciences*, 129, 320–333. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.03.011>

Tong, Z., Zhang, Q., Tong, S., Wu, X., Tang, J., & Zhong, W. (2020). Online monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for coal-fired utility boiler by combining ash fouling resistance model and cleaning mechanism. *Energies*, 13(1), 59. <https://doi.org/10.3390/en13010059>



Hak Cipta :

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

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Daftar Riwayat Hidup

1. **Nama Lengkap** : Ardi Wibowo
2. **NIM** : 2202421027
3. **Tempat, Tanggal Lahir** : Purwokerto, 02 Januari 2002
4. **Jenis Kelamin** : Laki-laki
5. **Alamat** : Jl. Maliki No. 28, Halim Perdana
Kusumah, Jakarta Timur, DKI
Jakarta
6. **Email** : ardi.wibowo.tm22@mhs.wpnj.ac.id
7. **Pendidikan**
 - SD (2009-2015) : SDN 4 Kranji
 - SMP (2015-2018) : SMPN 80 Jakarta
 - SMK (2018-2022) : SMKN 26 Jakarta
8. **Program Studi** : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
9. **Tempat / Topik OJT** : PT PLN Nusantara Power UP Indramayu



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 1.2 Surat Izin Penelitian



UP INDRAMAYU

Nomor : 0464/SDM.00.01/PLNNP020002/2026 11 Mei 2026
 Lampiran : 1 Lembar
 Sifat : Segera - Biasa
 Hal : Persetujuan Permohonan Penelitian dan Pengambilan Data Politeknik Negeri Jakarta ke Bidang Lingkungan, Mesin 1 & 2, NBB, RENTAL Pemeliharaan dan RENTAL Operasi Kepada Yth. Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Menindaklanjuti Surat Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta :
 Nomor : 591/DST/PL3.7/B/PK.04.11/2026
 Tanggal : 09 Maret 2026
 Perihal : Permohonan izin pengambilan data skripsi

Bersama ini disampaikan bahwa kami memberikan kesempatan kepada :

No	Nama	NIM	Program Studi
1	Abiyyu Naufal Zamiir	2202421003	Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin
2	Ardi Wibowo	2202421027	Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin
3	Muhammad Rifqi Mosul	2202421038	Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data di PT PLN Nusantara Power UP Indramayu mulai tanggal 13 Mei 2026 sampai dengan 12 Juni 2026 pada Bidang Kerja Lingkungan, Mesin 1 & 2, NBB, RENTAL Pemeliharaan dan RENTAL Operasi dengan spesifikasi pengambilan data sesuai di lampiran. Selanjutnya untuk kelancaran dan keselamatan dalam pelaksanaan kegiatan tersebut, perlu disampaikan hal-hal sebagai berikut :

1. Peserta harus mematuhi aturan perusahaan, terutama terkait keselamatan, kesehatan dan keamanan kerja.
2. Peserta diwajibkan memakai pakaian yang rapi dan sopan (bukan kaos). Untuk mahasiswa diwajibkan dilengkapi dengan almamater sedangkan untuk siswa dapat memakai pakaian dinas lapangan (PDL) dan wajib membawa alat pelindung diri (APD) seperti safety helmet, safety shoes dan masker.
3. Peserta wajib memfasilitasi dirinya dengan Jaminan Asuransi Kecelakaan Kerja (BPJS atau sejenisnya) mengingat perusahaan tidak menjamin risiko dan dampak kecelakaan kerja selama berangkat, berada ditempat kerja, maupun kembali ke tempat tinggalnya.
4. Peserta menyerahkan foto berwarna ukuran 4x6 (soft copy) ke bidang SDM.
5. Peserta tidak diperkenankan mengakses komputer perusahaan dan aplikasi PT PLN Nusantara Power. Perusahaan akan memberikan data sesuai kebutuhan dalam bentuk *hardcopy* dan *softcopy* (bila dibutuhkan).
6. Data profile perusahaan/logo/dan lain lain dapat diambil dari alamat website www.plnnusantarapower.co.id
7. Peserta menggunakan data yang diperoleh selama pengambilan data di UP Indramayu hanya untuk kepentingan pendidikan dan keilmuan semata.



Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)

1 dari 2

T -
F - W -

Hak Cipta :

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



UP INDRAMAYU

8. Kebutuhan sarana akomodasi dan transportasi selama praktek kerja menjadi tanggung jawab peserta.
9. Peserta wajib menunjukan foto, jaminan asuransi dan surat balasan penerimaan saat datang pertama ke unit sebagai syarat administrasi.
10. Diwajibkan mengikuti kegiatan olahraga yang di adakan UP Indramayu setiap Jumat pagi.
11. Segala bentuk pelanggaran yang dilakukan peserta akan dievaluasi hingga peserta diputuskan untuk melanjutkan Penelitian dan Pengambilan Data atau dikembalikan ke instansi asal.
12. Peserta diwajibkan menyerahkan laporan kegiatan Penelitian dan Pengambilan Data dan bentuk *softcopy* diakhir masa praktek kerja kepada bidang SDM.

Demikian disampaikan agar dapat di laksanakan sesuai dengan arahan di atas, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.



Tembusan:

1. ASMAN SDM, UMUM DAN CSR UP INDRAMAYU PLN NP
2. ASMAN RENDAL OPERASI UP INDRAMAYU PLN NP
3. ASMAN RENDAL PEMELIHARAAN UP INDRAMAYU PLN NP
4. ASMAN HAR MESIN 1 (B,T DAN AAB) UP INDRAMAYU PLN NP
5. ASMAN HAR MESIN 2 DAN SIPIL UP INDRAMAYU PLN NP
6. ASMAN LINGKUNGAN UP INDRAMAYU PLN NP
7. ASMAN NIAGA & BAHAN BAKAR UP INDRAMAYU PLN NP
8. ASMAN HAR KONIN UP INDRAMAYU PLN NP



Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)

2 dari 2

-
T -
F - W -

Hak Cipta:

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menaunkumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

Lampiran 1.3 Perhitungan Pengolahan Data

KONDISI: Unit 2 — SEBELUM Sootblower																									
No	Waktu	P _{in} (bar)	P _{in} (MPa)	T _{in} (°C)	P1 (MPa)	P2 (MPa)	T1 _{in} (°C)	T2 _{in} (°C)	h(P1,T1in) kJ/kg	h(P1,T2in) kJ/kg	h(P2,T1in) kJ/kg	h(P2,T2in) kJ/kg	h _{in} @P1 (interp.T)	h _{in} @P2 (interp.T)	h _{in} (kJ/kg)	T _{out} (°C)	T1 _{out} (°C)	T2 _{out} (°C)	h(P1,T1out) kJ/kg	h(P1,T2out) kJ/kg	h(P2,T1out) kJ/kg	h(P2,T2out) kJ/kg	h _{out} @P1 (interp.T)	h _{out} @P2 (interp.T)	h _{out} (kJ/kg)
1	08:00	171,34	17,134	439,23	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,15	3.098,83	3.109,50	533,40	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.403,36	3.398,56	3.402,71
2	09:00	170,72	17,072	439,24	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,19	3.098,87	3.110,30	532,63	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.401,15	3.396,33	3.400,80
3	10:00	170,80	17,080	439,30	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,39	3.099,08	3.110,41	541,42	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.426,33	3.421,82	3.425,97
4	11:00	170,36	17,036	440,94	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,03	3.104,94	3.116,60	544,81	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,04	3.431,65	3.435,88
5	12:00	170,52	17,052	440,14	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.114,28	3.102,08	3.113,65	543,55	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,43	3.428,00	3.432,20
6	13:00	172,04	17,204	441,35	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,44	3.106,40	3.115,99	544,77	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.435,92	3.431,53	3.435,03
7	14:00	170,72	17,072	440,49	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.115,49	3.103,33	3.114,61	543,63	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,66	3.428,23	3.432,34
8	15:00	171,60	17,160	441,01	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,27	3.105,19	3.115,34	544,99	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,55	3.432,17	3.435,85
9	16:00	172,38	17,238	441,24	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,07	3.106,01	3.115,20	544,07	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.433,92	3.429,50	3.432,87

KONDISI: Unit 2 — SESUDAH Sootblower																									
No	Waktu	P _{in} (bar)	P _{in} (MPa)	T _{in} (°C)	P1 (MPa)	P2 (MPa)	T1 _{in} (°C)	T2 _{in} (°C)	h(P1,T1in) kJ/kg	h(P1,T2in) kJ/kg	h(P2,T1in) kJ/kg	h(P2,T2in) kJ/kg	h _{in} @P1 (interp.T)	h _{in} @P2 (interp.T)	h _{in} (kJ/kg)	T _{out} (°C)	T1 _{out} (°C)	T2 _{out} (°C)	h(P1,T1out) kJ/kg	h(P1,T2out) kJ/kg	h(P2,T1out) kJ/kg	h(P2,T2out) kJ/kg	h _{out} @P1 (interp.T)	h _{out} @P2 (interp.T)	h _{out} (kJ/kg)
1	17:00	171,34	17,134	439,23	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,15	3.098,83	3.109,50	544,40	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.434,86	3.430,46	3.434,27
2	18:00	169,48	16,948	439,24	16,0	17,0	425,0	450,0	3.075,9	3.158,8	3.062,2	3.148,2	3.123,12	3.111,19	3.111,81	543,63	525,0	550,0	3.384,3	3.455,0	3.379,3	3.450,9	3.436,99	3.432,66	3.432,88
3	19:00	170,80	17,080	439,30	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,39	3.099,08	3.110,41	543,42	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,05	3.427,62	3.431,70
4	20:00	170,36	17,036	440,94	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,03	3.104,94	3.116,60	544,81	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,04	3.431,65	3.435,88
5	21:00	170,52	17,052	440,14	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.114,28	3.102,08	3.113,65	543,55	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,43	3.428,00	3.432,20
6	22:00	172,04	17,204	441,35	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,44	3.106,40	3.115,99	544,77	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.435,92	3.431,53	3.435,03
7	23:00	170,72	17,072	440,49	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.115,49	3.103,33	3.114,61	543,63	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,66	3.428,23	3.432,34
8	00:00	171,60	17,160	441,01	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,27	3.105,19	3.115,34	544,99	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,55	3.432,17	3.435,85
9	01:00	172,38	17,238	441,24	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,07	3.106,01	3.115,20	544,07	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.433,92	3.429,50	3.432,87

KONDISI: Unit 3 — SEBELUM Sootblower																									
No	Waktu	P _{in} (bar)	P _{in} (MPa)	T _{in} (°C)	P1 (MPa)	P2 (MPa)	T1 _{in} (°C)	T2 _{in} (°C)	h(P1,T1in) kJ/kg	h(P1,T2in) kJ/kg	h(P2,T1in) kJ/kg	h(P2,T2in) kJ/kg	h _{in} @P1 (interp.T)	h _{in} @P2 (interp.T)	h _{in} (kJ/kg)	T _{out} (°C)	T1 _{out} (°C)	T2 _{out} (°C)	h(P1,T1out) kJ/kg	h(P1,T2out) kJ/kg	h(P2,T1out) kJ/kg	h(P2,T2out) kJ/kg	h _{out} @P1 (interp.T)	h _{out} @P2 (interp.T)	h _{out} (kJ/kg)
1	08:00	170,99	17,099	441,55	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.119,13	3.107,12	3.117,94	532,56	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.400,95	3.396,12	3.400,47
2	09:00	172,18	17,218	440,76	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.116,41	3.104,29	3.113,77	531,74	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.398,60	3.393,75	3.397,54
3	10:00	170,41	17,041	441,61	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.119,34	3.107,33	3.118,85	533,14	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.402,61	3.397,81	3.402,42
4	11:00	170,52	17,052	442,34	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.121,85	3.109,94	3.121,23	533,87	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.404,70	3.399,92	3.404,46
5	12:00	169,67	16,967	442,83	16,0	17,0	425,0	450,0	3.075,9	3.158,8	3.062,2	3.148,2	3.135,02	3.123,54	3.123,91	532,18	525,0	550,0	3.384,3	3.455,0	3.379,3	3.450,9	3.404,61	3.399,86	3.400,02
6	13:00	171,34	17,134	442,47	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.122,30	3.110,40	3.120,70	532,86	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.401,81	3.396,99	3.401,17
7	14:00	169,21	16,921	441,69	16,0	17,0	425,0	450,0	3.075,9	3.158,8	3.062,2	3.148,2	3.131,24	3.119,61	3.120,53	533,36	525,0	550,0	3.384,3	3.455,0	3.379,3	3.450,9	3.407,94	3.403,24	3.403,61
8	15:00	169,27	16,927	441,84	16,0	17,0	425,0	450,0	3.075,9	3.158,8	3.062,2	3.148,2	3.131,74	3.120,13	3.120,98	535,04	525,0	550,0	3.384,3	3.455,0	3.379,3	3.450,9	3.412,69	3.408,05	3.408,39
9	16:00	170,24	17,024	443,24	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.124,95	3.113,15	3.124,66	533,69	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.404,19	3.399,40	3.404,07

Hak Cipta :

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

KONDISI: Unit 3 — SESUDAH Sootblower

No	Waktu	P _{in} (bar)	P _{in} (MPa)	T _{in} (°C)	P1 (MPa)	P2 (MPa)	T1 _{in} (°C)	T2 _{in} (°C)	h(P1,T1in) kJ/kg	h(P1,T2in) kJ/kg	h(P2,T1in) kJ/kg	h(P2,T2in) kJ/kg	h _{in@P1} (interp.T)	h _{in@P2} (interp.T)	h _{in} (kJ/kg)	T _{out} (°C)	T1 _{out} (°C)	T2 _{out} (°C)	h(P1,T1out) kJ/kg	h(P1,T2out) kJ/kg	h(P2,T1out) kJ/kg	h(P2,T2out) kJ/kg	h _{out@P1} (interp.T)	h _{out@P2} (interp.T)	h _{out} (kJ/kg)
1	17:00	171,34	17,134	439,23	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,15	3.098,83	3.109,50	544,40	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.434,86	3.430,46	3.434,27
2	18:00	169,48	16,948	439,24	16,0	17,0	425,0	450,0	3.075,9	3.158,8	3.062,2	3.148,2	3.123,12	3.111,19	3.111,81	543,63	525,0	550,0	3.384,3	3.455,0	3.379,3	3.450,9	3.436,99	3.432,66	3.432,88
3	19:00	170,80	17,080	439,30	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.111,39	3.099,08	3.110,41	543,42	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,05	3.427,62	3.431,70
4	20:00	170,36	17,036	440,94	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,03	3.104,94	3.116,60	544,81	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,04	3.431,65	3.435,88
5	21:00	170,52	17,052	440,14	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.114,28	3.102,08	3.113,65	543,55	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,43	3.428,00	3.432,20
6	22:00	172,04	17,204	441,35	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,44	3.106,40	3.115,99	544,77	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.435,92	3.431,53	3.435,03
7	23:00	170,72	17,072	440,49	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.115,49	3.103,33	3.114,61	543,63	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.432,66	3.428,23	3.432,34
8	00:00	171,60	17,160	441,01	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.117,27	3.105,19	3.115,34	544,99	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.436,55	3.432,17	3.435,85
9	01:00	172,38	17,238	441,24	17,0	18,0	425,0	450,0	3.062,2	3.148,2	3.048,0	3.137,3	3.118,07	3.106,01	3.115,20	544,07	525,0	550,0	3.379,3	3.450,9	3.374,2	3.446,7	3.433,92	3.429,50	3.432,87