

Analisis Kinerja Force Draft (FD) Fan dan Induce Draft (ID) Fan Sebagai Fungsi Efisiensi Bahan Bakar Boiler Pada PLTU 100MW

WILDAN FAHMI NIKMATULLAH, SYAHRIAL

Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email : wildan.fahmi@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh kinerja Force Draft (FD) Fan dan Induce Draft (ID) Fan terhadap efisiensi bahan bakar pada sistem boiler PLTU 100MW. FD Fan berperan dalam mengatur suplai udara pembakaran, sedangkan ID Fan berfungsi mengeluarkan gas buang hasil pembakaran. Kinerja kedua fan diuji dengan penerapan Variable Frequency Drive (VFD) sebagai pengatur kecepatan motor. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan VFD mampu menstabilkan tekanan tungku negatif, menjaga kadar oksigen gas buang sesuai parameter, serta mengurangi konsumsi bahan bakar. Pengaturan kecepatan fan yang lebih adaptif menghasilkan proses pembakaran yang lebih efisien dan meningkatkan performa sistem boiler secara keseluruhan.

Kata kunci: FD Fan, ID Fan, VFD, boiler, efisiensi.

ABSTRACT

The analysis was conducted to determine the effect of Force Draft (FD) Fan and Induce Draft (ID) Fan performance on fuel efficiency in the 100MW PLTU boiler system. The FD Fan regulates the combustion air supply, while the ID Fan removes exhaust gases from combustion. The performance of both fans was tested using a Variable Frequency Drive (VFD) to regulate motor speed. The analysis showed that the use of a VFD stabilizes negative furnace pressure, maintains flue gas oxygen levels within parameters, and reduces fuel consumption. More adaptive fan speed regulation results in a more efficient combustion process and improves overall boiler system performance.

Keywords: author's guideline, document's template, format, style, abstract

1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, peningkatan efisiensi energi menjadi salah satu fokus utama dalam pengelolaan sistem industri. Setiap proses konversi energi dituntut untuk beroperasi secara optimal agar penggunaan bahan bakar menjadi lebih hemat dan berkelanjutan. Salah satu sistem yang memiliki peranan penting dalam konsumsi energi industri adalah boiler, yang berfungsi mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas untuk menghasilkan uap. Efisiensi pembakaran pada boiler sangat bergantung pada keseimbangan antara udara pembakaran yang masuk dan gas buang yang keluar dari ruang bakar. Keseimbangan ini dikendalikan oleh dua komponen utama, yaitu Force Draft (FD) Fan yang mendorong udara pembakaran ke dalam ruang bakar, dan Induced Draft (ID) Fan yang menghisap gas buang hasil pembakaran menuju cerobong.

Kinerja kedua fan tersebut saling berkaitan dan berperan penting dalam menjaga kestabilan tekanan di ruang bakar. FD Fan berfungsi menjaga suplai udara agar rasio udara–bahan bakar tetap ideal, sedangkan ID Fan menjaga tekanan negatif dalam ruang bakar agar proses pembakaran berlangsung sempurna. Ketidakseimbangan tekanan antara FD dan ID Fan dapat menurunkan efisiensi sistem pembakaran. Tekanan positif yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kebocoran gas panas ke lingkungan, sedangkan tekanan negatif yang berlebihan dapat menghambat proses pembakaran dan meningkatkan konsumsi bahan bakar (Mandi & Yaragatti, 2020). Oleh karena itu, pengaturan dan analisis terhadap kinerja kedua fan tersebut sangat diperlukan untuk menjaga efisiensi pembakaran dan kestabilan sistem boiler.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa keseimbangan antara FD Fan dan ID Fan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi energi. (Bhowmick & Bera, 2008) menjelaskan bahwa ketidaksesuaian desain fan dengan kebutuhan aktual dapat menyebabkan kehilangan energi hingga 15%, sedangkan penyesuaian kapasitas fan mampu meningkatkan efisiensi sistem secara signifikan. (Deng *et al.*, 2013) menyatakan bahwa kondisi oversizing pada fan dapat menurunkan efisiensi hingga 17%, dan penerapan Variable Frequency Drive (VFD) pada FD serta ID Fan mampu menghemat konsumsi energi listrik bantu hingga 6 MWh per tahun.

Selanjutnya, (Djayanti *et al.*, 2019) menekankan pentingnya pengendalian udara pembakaran melalui pengaturan excess air, yang terbukti dapat meningkatkan efisiensi boiler hingga 15%. (Mandi & Yaragatti, 2020) juga menjelaskan bahwa perubahan tekanan serta laju aliran udara pada Force Draft Fan (FD Fan) berpengaruh langsung terhadap kehilangan energi sistem. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa keseimbangan antara tekanan udara masuk dan laju aliran gas buang memiliki peranan penting dalam menjaga efisiensi energi serta kestabilan proses pembakaran pada sistem boiler.

Di Indonesia, penelitian yang dilakukan oleh (Sihombing *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa pengaturan tekanan ruang bakar yang stabil melalui koordinasi FD Fan dan ID Fan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 8%. Hasil serupa diperoleh oleh (Nurdin, 2022), yang menegaskan bahwa ketidakseimbangan antara kedua fan merupakan salah satu penyebab utama penurunan efisiensi pembakaran pada boiler industri kelapa sawit.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kinerja FD Fan dan ID Fan berperan penting dalam menentukan efisiensi bahan bakar pada sistem boiler. Namun, di banyak industri, pengaturan kedua fan tersebut masih dilakukan secara manual tanpa mempertimbangkan kondisi operasional aktual, sehingga keseimbangan tekanan dan aliran

udara belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam mengenai hubungan antara kinerja FD Fan dan ID Fan terhadap efisiensi bahan bakar, guna memperoleh strategi pengaturan yang tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Force Draft Fan dan Induced Draft Fan sebagai fungsi efisiensi bahan bakar pada sistem pembakaran boiler. Melalui analisis ini diharapkan dapat diketahui pengaruh variasi operasi fan terhadap efisiensi pembakaran, menentukan kondisi operasi yang paling optimal, serta memberikan rekomendasi teknis dalam upaya peningkatan efisiensi energi dan penghematan bahan bakar pada sistem boiler industri.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan fokus pada analisis data operasional dan efisiensi sistem pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar gas, di mana seluruh data diperoleh secara langsung dari Sistem Kontrol Terdistribusi (DCS) selama periode operasi normal dengan beberapa variasi beban daya (MW). Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan hubungan nyata antara kinerja Force Draft (FD) Fan dan Induced Draft (ID) Fan terhadap efisiensi bahan bakar berdasarkan kondisi operasi aktual di lapangan, sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat mencerminkan performa sistem secara faktual. Menurut (Safitri et al., 2020), peningkatan beban daya menyebabkan laju aliran gas buang meningkat dan menuntut ID Fan bekerja lebih keras untuk mempertahankan tekanan negatif di ruang bakar, yang pada saat bersamaan mengharuskan FD Fan menyesuaikan suplai udara pembakaran agar keseimbangan sistem tetap terjaga. Hubungan antara perubahan beban, tekanan dan suplai udara inilah yang menjadi dasar penting dalam menilai pengaruh kinerja kedua fan terhadap efisiensi bahan bakar secara keseluruhan.

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini meliputi frekuensi (Hz) pada motor penggerak FD Fan dan ID Fan, kandungan oksigen (O_2) pada gas buang, serta tekanan negatif tungku (Pa). Seluruh parameter tersebut saling berkaitan dalam menggambarkan keseimbangan udara pembakaran yang terjadi di dalam boiler, di mana perubahan frekuensi kerja fan secara langsung memengaruhi jumlah udara yang disuplai ke ruang bakar dan kestabilan tekanan di dalam tungku, sehingga berdampak pada efisiensi pembakaran. (Faidlon et al., 2024) menyatakan bahwa peningkatan frekuensi FD Fan berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor dan volume udara yang dihasilkan, sedangkan kadar O_2 pada gas buang menjadi indikator utama dari rasio udara berlebih (excess air) yang menentukan efisiensi pembakaran.

Dalam penelitian ini, acuan efisiensi bahan bakar digunakan berdasarkan konsep efisiensi boiler yang dijelaskan oleh (Sugiharto, 2020). yang menekankan pentingnya menjaga keseimbangan antara udara pembakaran dan bahan bakar untuk mencapai efisiensi maksimum. Selain itu, dilakukan pengujian perbandingan antara kondisi operasi yang berada dalam rentang parameter ideal dengan kondisi ketika nilai kandungan oksigen (O_2) gas buang dan tekanan negatif tungku tidak sesuai parameter. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan kedua kondisi tersebut memengaruhi karakteristik kerja FD Fan dan ID Fan terhadap kestabilan proses pembakaran. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh gambaran menyeluruh mengenai peranan kedua fan dalam mempertahankan efisiensi bahan bakar dan kestabilan sistem pembakaran pada PLTU.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Analisis Kinerja Fan

Hasil pengujian yang dilakukan memberikan gambaran mengenai kinerja FD Fan dan ID Fan selama proses pembakaran pada boiler. Melalui data operasional yang diperoleh, dapat diamati bagaimana pengaturan kerja kedua fan berperan dalam menjaga kestabilan sistem pembakaran dan memengaruhi efisiensi bahan bakar pada berbagai kondisi operasi. Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai hal tersebut, hasil pengujian disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Perbandingan Pengoperasian FD fan dan ID fan dengan gas (Fahmi, 2024)

Waktu	FD Fan		Kandungan Oksigen Gas Buang Economizer	ID Fan		Tungku Tekanan Negatif		Tekanan Gas	Jumlah Uap	Beban Produksi Pembangkit Listrik
	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	(%)	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	(Pa)	Pa	Campur (Kpa)	(T/H)	(MW)
15:00	38 Hz	14,7 A	0,70%	42 Hz	36 A	-312 Pa	-315 Pa	11 kPa	244 t/h	85 MW
16:00	42 Hz	17 A	1,70%	40 Hz	31,9 A	-60 Pa	-65 Pa	12,7 kPa	257 t/h	89 MW
17:00	50 Hz	24,3 A	4,70%	42 Hz	36 A	-385 Pa	-364 Pa	11,5 kPa	246 t/h	84 MW
18:00	45 Hz	19,1 A	1,50%	40 Hz	31,9 A	-108 Pa	-111 Pa	14,8 kPa	289 t/h	99 MW
19:00	45 Hz	19,1 A	1,40%	40 Hz	31,9 A	-40 Pa	-45 Pa	14,8 kPa	289 t/h	99 MW
20:00	47 Hz	20,3 A	4,10%	38 Hz	29,5 A	100 Pa	97 Pa	13 kPa	272 t/h	93 MW
21:00	45 Hz	19,1 A	1,20%	42 Hz	36 A	-53 Pa	-32 Pa	14,8 kPa	289 t/h	99 MW
22:00	45 Hz	19,1 A	1%	42 Hz	36 A	-99 Pa	-90 Pa	15,1 kPa	290 t/h	100 MW
23:00	45 Hz	19,1 A	1%	43 Hz	36,8 A	-30 Pa	-35 Pa	15,1 kPa	294 t/h	100 MW

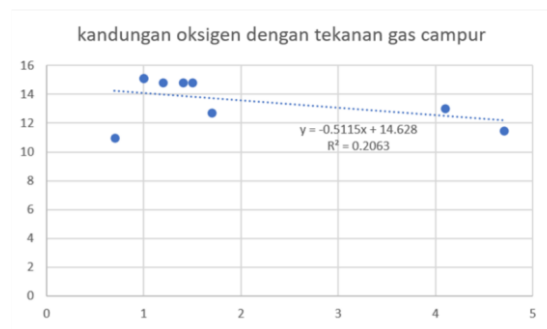
Pada tabel tersebut dapat dianalisa bahwa Pengoperasian Fd fan Bergantung dengan nilai dari kandungan oksigen gas buang economizer, pada data tersebut kandungan oksigen gas tidak boleh kurang dari 1% apabila kurang dari nilai tersebut, maka nilai frekuensi Fd fan ditambah atau dinaikan, begitu pula ketika lebih dari nilai 4% maka Frekuensi pada mesin tersebut dikurangi. Pada tabel tersebut dapat kita lihat bahwa tungku tekanan negatif kurang dari 300 langkah yang harus dilakukan yaitu dengan mengurangi frekuensi pada mesin ID fan, begitupun apabila nilai tekanan tungku negatif ini bernilai positif sebagaimana tercantum pada tabel, maka yang harus dilakukan adalah menambah frekuensi ID fan bertujuan untuk mengurangi nilai tungku tekanan negatif.

FD fan dan ID fan pada tabel tersebut dapat mempengaruhi tekanan gas terlihat pada data tekanan gas, tekanan gas ini merupakan satuan pemakaian gas pada pembakaran boiler, ketika tekanan tersebut nilai nya semakin tinggi maka konsumsi gas untuk pembakaran semakin sedikit dikarenakan FD dan ID fan sesuai dengan parameter, pada tabel tersebut dapat dianalisa bahwa ketika nilai kandungan oksigen gas buang economizer ini melebihi atau kurang dari parameter yaitu melebihi 4% dan kurang dari 1% maka tungku tekanan negatif akan menjadi tidak stabil dan ketika tungku tekanan negatif tersebut tidak sesuai dengan parameter yaitu kurang dari -300Pa dan bernilai positif maka tekanan gas yang di konsumsi akan berkurang, dapat diartikan bahwa ketika fd fan dan id fan ini tidak berfungsi atau pengoperasian id fan dan fd fan ini tidak sesuai dengan parameter maka akan

berpengaruh terhadap konsumsi gas atau pemakaian gas pada pembakaran boiler, lalu ketika nilai tekanan tungku negatif dan kandungan oksigen gas buang economizer ini sesuai dengan parameter dan berfungsi normal maka tekanan gas akan meningkat dengan tekanan gas yang meningkat dan juga meningkatkan beban produksi yang dihasilkan, maka dapat diartikan bahwa dengan adanya fd fan dan id fan ini dapat membantu mengefisiensikan bahan bakar pada boiler.

3.2. Analisis Regresi Linier

Analisis hubungan antarparameter operasional pada sistem boiler dilakukan menggunakan metode regresi linier sederhana, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu pendekatan statistik yang digunakan untuk menilai hubungan dan pengaruh antarvariabel berdasarkan data hasil pengukuran aktual. Metode ini dipilih karena mampu menunjukkan keterkaitan antarparameter proses secara kuantitatif, sehingga memudahkan dalam memahami pola hubungan antara variabel operasi yang berpengaruh terhadap kinerja pembakaran. Penerapan metode regresi ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana perubahan pada parameter seperti kandungan oksigen (O_2) dan tekanan tungku negatif memengaruhi tekanan gas campur (P_{gas}) sebagai indikator kestabilan proses pembakaran (Chayalakshmi, 2018). Setelah model regresi diperoleh, hasilnya kemudian dianalisis dan dikorelasikan secara teknis untuk memberikan penjelasan fisik terhadap hubungan antarvariabel tersebut dalam konteks efisiensi dan keseimbangan sistem udara pembakaran.

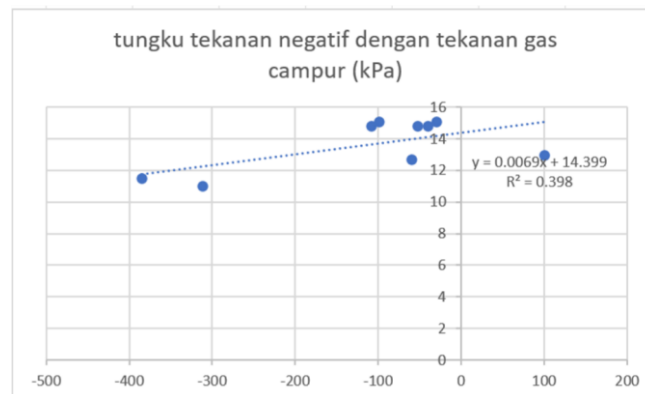


Gambar 1. Hubungan kandungan oksigen (O_2) terhadap tekanan gas campur (P_{gas})

Hasil analisis pertama menunjukkan bahwa hubungan antara kandungan oksigen (O_2) dan tekanan gas campur (P_{gas}) dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{gas} = -0,5115 O_2 + 14,628 \text{ dengan } R^2 = 0,2063$$

Koefisien regresi negatif ($-0,5115$) menunjukkan bahwa peningkatan kadar O_2 berbanding terbalik dengan tekanan gas campur. Secara operasional, peningkatan kadar oksigen menandakan suplai udara berlebih (*excess air*) pada ruang bakar. Kondisi ini menyebabkan sebagian udara tidak ikut bereaksi dalam pembakaran dan berfungsi sebagai media pendingin yang membawa panas sensibel keluar melalui cerobong, sehingga tekanan gas campur menurun dan efisiensi pembakaran berkurang. Berdasarkan Boiler Tune-Up Guide (Barma *et al.*, 2017; Harrell, 2010), kadar O_2 ideal pada gas buang berkisar antara 1 %–4 %, di mana kadar O_2 yang melebihi 6 % menyebabkan peningkatan stack loss dan penurunan efisiensi termal. Penelitian (Kirsanovs *et al.*, 2014) juga menunjukkan bahwa efisiensi maksimum pembakaran terjadi pada kadar O_2 sekitar 6–7 %, dan ketika kadar O_2 meningkat lebih tinggi dari rentang tersebut, efisiensi termal menurun akibat meningkatnya kehilangan panas melalui gas buang.



Gambar 2. Hubungan tekanan tungku negatif terhadap tekanan gas campur (Pgas)

Selanjutnya, Gambar 2 menunjukkan hasil regresi antara tekanan tungku negatif dan tekanan gas campur menunjukkan nilai $R^2 = 0,398$, dengan persamaan:

$$P_{gas} = 0,0069 x + 14,399$$

Koefisien positif (0,0069) menunjukkan bahwa ketika tekanan tungku menjadi kurang negatif (mendekati nol), tekanan gas campur meningkat. Dengan kata lain, semakin stabil tekanan tungku, maka tekanan gas campur akan lebih tinggi dan pembakaran menjadi lebih efisien. Nilai $R^2 = 0,398$ mengindikasikan adanya korelasi sedang, di mana sekitar 39,8 % variasi tekanan gas campur dapat dijelaskan oleh perubahan tekanan tungku negatif. Secara teknis, tekanan tungku yang terlalu negatif (< -300 Pa) dapat menyebabkan air in-leakage, yaitu masuknya udara dingin dari luar sistem ke dalam tungku. Udara bocor ini menurunkan suhu gas pembakaran serta tekanan gas di sisi keluaran boiler. Fenomena ini konsisten dengan penelitian (Dzurňák *et al.*, 2020) yang menjelaskan bahwa infiltrasi udara menyebabkan penurunan suhu gas, peningkatan konsumsi bahan bakar dan gangguan kestabilan tekanan ruang bakar. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Lee *et al.*, 2023) yang menunjukkan bahwa tekanan tungku optimal berada pada rentang -200 hingga -300 Pa, yang menunjukkan kondisi seimbang antara suplai udara dan hisapan gas buang. Oleh karena itu, hasil regresi memperlihatkan bahwa kestabilan tekanan tungku yang mendekati rentang tersebut berkontribusi terhadap peningkatan tekanan gas campur dan efisiensi pembakaran.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa metode regresi linier sederhana efektif digunakan untuk menjelaskan keterkaitan antara parameter udara pembakaran (O_2 dan tekanan tungku negatif) terhadap tekanan gas campur (P_{gas}). Udara berlebih maupun tekanan tungku yang terlalu negatif terbukti menyebabkan penurunan tekanan gas campur, sedangkan kestabilan tekanan ruang bakar justru meningkatkan efisiensi pembakaran. Dengan demikian, pengaturan keseimbangan antara FD Fan dan ID Fan memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan tekanan, mengurangi heat loss, serta meningkatkan efisiensi bahan bakar pada sistem boiler.

4. KESIMPULAN

Kinerja Force Draft (FD) Fan dan Induced Draft (ID) Fan merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi bahan bakar pada boiler PLTU 100 MW. Pengoperasian kedua fan perlu dioptimalkan untuk menjaga kandungan oksigen (O_2) gas buang dalam kisaran ideal 1%–4% serta mempertahankan tekanan negatif tungku yang stabil. Ketidakseimbangan kinerja

fan, yang ditandai oleh nilai O_2 di luar batas atau tekanan tungku yang tidak stabil, dapat menyebabkan penurunan tekanan gas dan menurunnya efisiensi proses pembakaran. Sebaliknya, pengoperasian FD dan ID Fan sesuai parameter meningkatkan tekanan gas dan beban produksi (MW), menunjukkan bahwa kedua fan berperan penting dalam mengefisienkan bahan bakar sekaligus meningkatkan performa sistem boiler.

DAFTAR RUJUKAN

- Barma, M. C., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Allouhi, A., Akash, B. A., & Sait, S. M. (2017). A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79. 970–983. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.187.
- Bhowmick, M. S., & Bera, S. C. (2008). Study the performances of induced fans and design of new induced fan for the efficiency improvement of a thermal power plant. *IEEE Region 10 Colloquium and 3rd International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS 2008)*. DOI: 10.1109/ICIINFS.2008.4798468
- Chayalakshmi, C.L., Jangamshetti, D.S., Sonoli, S. (2018). Multiple Linear Regression Analysis for Prediction of Boiler Losses and Boiler Efficiency. *International Journal of Instrumentation and Control Systems*, 8(2), 1–9. DOI: 10.5121/ijics.2018.8201.
- Deng, J., Liang, F., Ding, Y., Yang, Z., Xu, G., & Liu, J. (2013). Performance Analysis of Induced Draft Fan Driven by Steam Turbine for 1000 MW Power Units. *Energy and Power Engineering*. 5(4). 1387-1392. DOI: 10.4236/epe.2013.54b263.
- Djayanti, S. (2019). Energy Efficiency Improvement Strategies for Boilers: A Case Study in Pharmacy Industry. *ICENIS 2019*. DOI: 10.1051/e3sconf/201912512002.
- Dzurňák, R., Varga, A., Jablonský, G., Variny, M., Atyafi, R., Lukáč, L., Pástor, M., & Kizek, J. (2020). Influence of air infiltration on combustion process changes in a rotary tilting furnace. *Processes*, 8(10), 1-16. DOI: 10.3390/pr8101292.
- Faidlon, A., Arifin, Z. (2024). Analisis Kecepatan Putaran Motor 3 Fase pada Force Draught Fan Mesin Boiler 21 Ton di PT. Indofood Sukses Makmur, Tbk. Divisi Noodle Semarang. *Cyclotron*. 7(1). 8-12.
- Harrell, G. (2010). *Energy Management Services Boiler Tune-Up Guide for Natural Gas and Light Fuel Oil Operation*. Energy Management Services. Jefferson City, TN. USA.

- Kirsanovs, V., Žandeckis, A., Veidenbergs, I., Blumbergs, I., Gedrovičs, M., & Blumberga, D. (2014). Experimental Study on Optimisation of the Burning Process in a Small Scale Pellet Boiler due to Air Supply Improvement. *Agronomy Research*. 12(2), 499–510.
- Lee, S. M., Choi, S. W., & Lee, E. B. (2023). Prediction Modeling of Flue Gas Control for Combustion Efficiency Optimization for Steel Mill Power Plant Boilers Based on Partial Least Squares Regression (PLSR). *Energies*, 16(19). DOI: 10.3390/en16196907.
- Mandi, R. P. & Yaragatti, U. R. (2020). Performance Improvement of Process Draft Fans in Coal Based Power Plants. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(6S), 67–71. DOI: 10.35940/ijrte.f1013.0386s20.
- Nurdin, Murhaban, Darsan, H. (2022). Analisis Pengaruh Beban terhadap Kinerja Induced Draft Fan pada Siklus Udara Gas Buang. *Jurnal Mahasiswa Mesin UTU (JMMUTU)*. 1(2). 48-56.
- Sihombing, C., Rumahorbo, P. R. & Situmorang, R. (2023). Analisis Sistem Interlock Motor Force / Induced Draft Fan pada Boiler dengan Pengendalian DCS di PT Unilever Oleochemical Indonesia. *Jurnal Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik (JTRIL)*. 1(1). 1-8.
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api. *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2), 51-57. DOI: 10.37525/sp/2020-2/260.