

Studi Kasus Boiler CFB: Kenaikan Temperatur Bed

Hanan Riswandha A^{1}; Nofirman Firdaus¹; Hendri¹; Halim Rusjdi¹*

1. Fakultas Teknologi Bisnis dan Energi, Institut Teknologi PLN, Cengkareng, Jakarta Barat, 11750, Indonesia

**)Email: hanan1712059@itpln.ac.id*

Received: 3 Desember 2021 | Accepted: 5 Desember 2022 | Published: 5 Desember 2022

ABSTRACT

The bed material in the furnace in a PLTU has a temperature rise that is too high. The reason is that the size of the coal is too large and there are many clogged nozzles. The aims of this research is to investigate the increase in boiler bed temperature of circulating fluidized bed (CFB) boiler which cause negative effects on boiler performance. The research method used was a case study. The result shows that the main causes of high bed temperature is the clogged nozzle and deformation. In addition, operating parameter of the boiler can be used to detect fault. The increase of bed temperature lead to high flue gas temperature and lower efficiency of boiler. To overcome this issue, it is suggested that the nozzles need to be modified according to the operating condition of the boiler.

Keywords: *Boiler, circulating fluidized bed boiler, CFB, nozzle*

ABSTRAK

Bed material pada furnace di suatu PLTU mengalami kenaikan temperatur yang terlalu tinggi. Penyebabnya adalah ukuran batu bara yang terlalu besar dan terdapat banyak nozzle yang tersumbat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi naiknya temperature bed boiler circulating fluidized bed (CFB) melebihi batas normal yang mengakibatkan beberapa efek negatif. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus di boiler circulating fluidized bed pada PLTU 2x50 MW. Dari hasil studi kasus didapat bahwa penyebab utama dari naiknya temperature adalah kondisi nozel yang tersumbat dan nozel yang mengalami deformasi. Disisi lain, parameter operasi bisa digunakan sebagai condition monitoring. Naik temperature bed mengakibatkan naiknya temperature gas buang (flue gas) dan turunnya efisiensi boiler. Untuk mengatasi hal ini dikemudian hari, disarankan dilakukan modifikasi nozel sesuai dengan kondisi operasi boiler.

Kata kunci: *Boiler, circulating fluidized bed boiler, CFB, nozzle*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Listrik saat ini merupakan salah satu kebutuhan primer. Di Indonesia, untuk memenuhi kebutuhan listrik, pembangkit listrik yang digunakan bisa menggunakan bahan bakar fosil dan energi terbarukan. Pada saat ini penggunaan batubara sangat dominan, dimana 76% listrik yang diproduksi berasal dari batubara [1]. Faktor-faktor yang sangat penting dalam pengoperasian pembangkit tenaga listrik adalah keandalan (reliability), keselamatan (safety), lingkungan (environment), dan efisiensi (efficiency).

Salah satu parameter kinerja PLTU adalah efisiensi dari pembangkit. Efisiensi PLTU dipengaruhi oleh banyak faktor. Diantaranya adalah disain, kualitas bahan bakar, cara pengoperasian, kondisi lingkungan, dan pemeliharaan. Beberapa peneliti telah melakukan riset untuk mencari pengaruh pemeliharaan terhadap efisiensi dari pembangkit tenaga listrik. Pada umumnya penelitian bertujuan untuk membandingkan efisiensi pembangkit sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* seperti yang dilakukan oleh Jebarose. Nathan membandingkan efisiensi boiler kapasitas 690 Ton/jam dengan metode heat loss [2]. Peneliti lainnya tidak hanya membandingkan efisiensi energi tetapi juga membandingkan efisiensi eksergi pada turbin uap kapasitas 500 MW sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* [3]. Sedangkan untuk turbin gas, penelitian dilakukan untuk membandingkan efisiensi energi pada kompresor, turbin, dan sistem turbin gas sebelum dan sesudah *overhaul* dengan analisa termodinamika [4]. Ketiga hasil penelitian ini menunjukkan hal yang sama bahwa efisiensi pembangkit listrik meningkat kembali setelah dilakukan *overhaul*.

Persamaan dari ketiga penelitian diatas, yang pertama adalah jenis pemeliharaan yang dilakukan adalah major overhaul yang merupakan pemeliharaan rutin yang dilakukan setiap interval tertentu. Persamaan yang kedua adalah hanya membandingkan efisiensi komponen atau sistem sebelum dan sesudah dilakukan overhaul, sedangkan factor parameter operasi yang dominan untuk mendeteksi degradasi efisiensi jarang dilakuka. Untuk itu, pada paper ini, kami akan menganalisa pengaruh kegagalan tertentu terhadap efisiensi boiler dan mengidentifikasi parameter operasi yang dominan sehingga dapat mendeteksi kegagalan sedini mungkin. Berikutnya tindakan pemeliharaan korektif (corrective maintenance) yang harus dilakukan juga akan dianalisa.

Penelitian dilakukan pada boiler CFB untuk kapasitas PLTU 2x50 MW Di PLTU tersebut ditemui permasalahan yang cukup serius pada salah satu komponen boiler yaitu furnace. Terdapat kenaikan suhu yang terlalu tinggi pada salah satu sisi bed material yang bahkan mencapai 1000°C. Tentu hal ini tidak dapat dibiarkan terlalu lama mengetahui suhu normal di dalam furnace adalah kisaran 850°C sampai 900°C, jika lebih tinggi dari itu dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada komponen-komponen boiler. Karena setiap kenaikan temperatur 10% lebih tinggi dari temperatur disain pipa boiler akan mengurangi umurnya 50% [5]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini sangat penting karena diharapkan dengan mengetahui akar permasalahan, efek dari permasalahan dan penyebabnya dapat mencegah permasalahan yang sama dikemudian hari juga sebagai pertimbangan operator pada PLTU dalam mengoperasikan PLTU.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

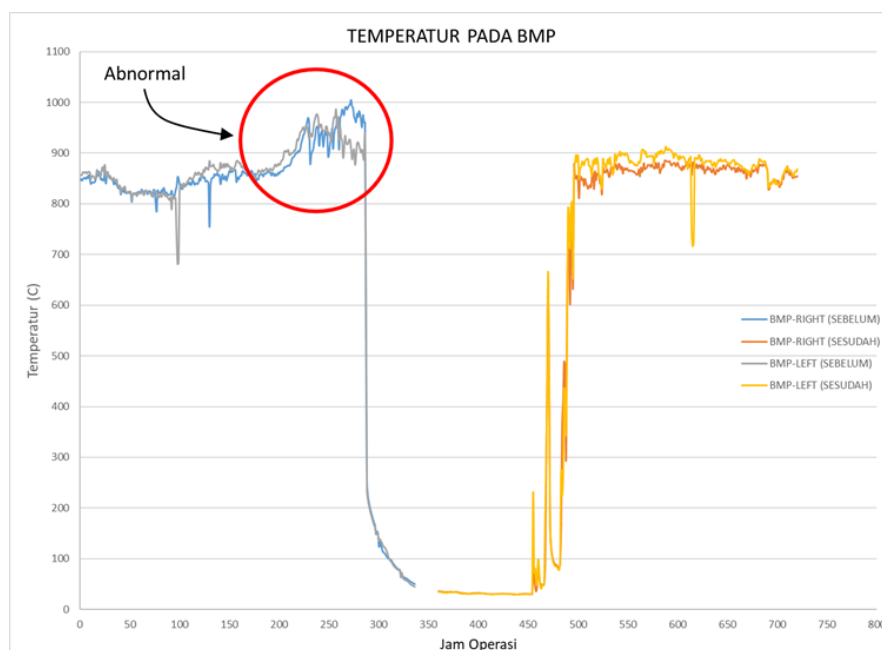
Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah metode studi kasus untuk melakukan investigasi kegagalan berupa naiknya temperatur bed pada boiler CFB. Studi kasus dilakukan berdasarkan data histori pengukuran bed middle part (BMP-right and left), dan bed lower part (BLP front and rear). Berdasarkan data histori tersebut akan dilakukan analisa untuk beberapa hal.

Yang pertama adalah, parameter operasi apa saja yang sensitif terhadap kegagalan boiler berupa kenaikan temperatur bed boiler CFB, sehingga pendektaksian untuk jenis kegagalan ini bisa dideteksi sedini mungkin. Berikutnya adalah mencari penyebab utama mengapa temperatur bed bisa meningkat menjadi lebih tinggi. Dalam hal ini dilakukan inspeksi lapangan untuk mengetahui penyebab kegagalan dan tindakan pemeliharaan apa yang harus dilakukan untuk menormalkan temperatur bed boiler CFD. Ketiga, pengaruh kenaikan temperatur saat sebelum dan sesudah dilakukan tindakan korektif terhadap efisiensi boiler akan dianalisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

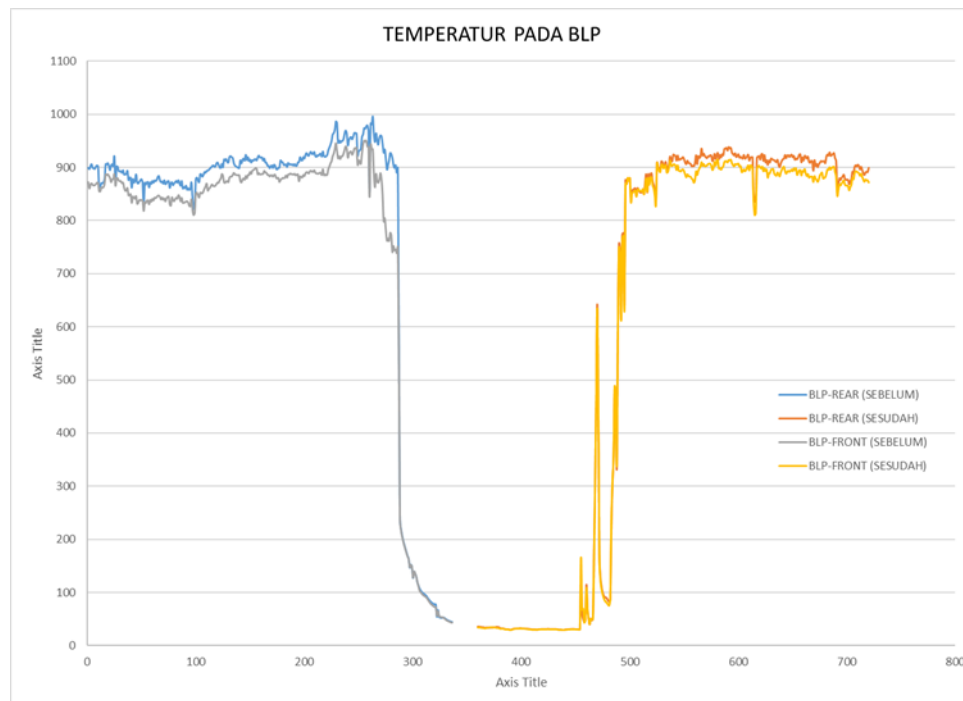
Parameter yang digunakan untuk memantau kondisi boiler temperatur bed pada CFB, temperatur gas buang (flue gas), serta perhitungan efisien boiler dan PLTU. Pengukuran suhu bed CFB dilakukan pada dua sisi yaitu sisi bed middle part (BMP) dan sisi bed lower part (BLP). Sisi BMP temperatur diukur pada sisi kanan (right) dan kiri (left), sedangkan sisi BLP, suhu diukur pada sisi depan (front) dan belakang (rear). Untuk masing-masing bed, temperatur tertinggi pada kondisi normal yang diizinkan adalah 900°C . Dengan memperhitungkan akurasi alat ukur yang biasanya 3%, maka limit tertinggi yang diizinkan adalah $900^{\circ}\text{C}\pm 3\%$.



Gambar 1. Temperatur pada BMP kiri dan kanan

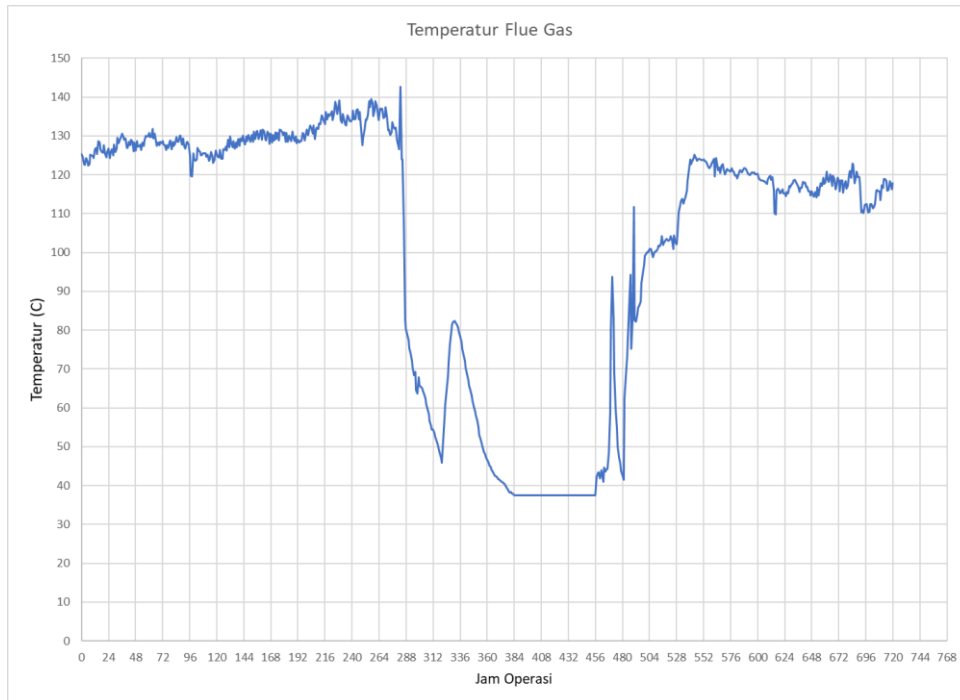
Jam operasi dihitung mulai jam 12:00 malam dini hari pada tanggal 17 Maret 2021 sebagai jam ke-1 sampai dengan permulaan hari pada tanggal 16 April 2021 pada jam operasi ke 720. Gambar 1 menunjukkan temperatur BMP mulai naik secara perlahan pada operasi ke 96 jam (21 Maret 2021) dengan suhu BMP-right sebesar 827°C dan BMP-left sebesar 811°C . Mencapai puncaknya di temperatur 1005°C pada jam operasi ke 272 (28 Maret 2021) untuk BMP-right dan temperatur tertinggi untuk BMP-left pada jam operasi ke 257 (27 Maret 2021) dengan suhu 985°C . Terjadi kenaikan temperatur tertinggi pada BMP-right sebesar 179°C atau 22%. Sedangkan BMP-left kenaikan temperatur sebesar 175°C atau 22%. Setelah dilakukan perbaikan maka temperatur BMP menjadi normal, sebesar 864°C untuk BMP-right dan 878°C untuk BMP-left.

Sedangkan untuk BLP-rear (Gambar 2), temperatur mencapai suhu tertinggi di 995°C yang berarti terjadi kenaikan suhu sebesar 124°C atau 14%. Sedangkan BLP-front suhu meningkat dari 840°C menjadi 951°C atau terjadi kenaikan temperatur bed sebesar 13%. Baik untuk BMP dan BLP, kenaikan temperatur terjadi dalam interval waktu 176 jam atau sekitar 7 hari 8 jam. Setelah unit shutdown, dan dilakukan inspeksi, perbaikan untuk mengembalikan suhu ke kondisi normal dilakukan. Setelah perbaikan temperatur BLP kembali normal yaitu 888°C untuk BLP-front dan 905°C untuk BLP-rear.



Gambar 2. Temperatur pada BLP front dan rear

Selain parameter temperatur pada BMP dan BLP, terjadinya gangguan juga pada temperatur gas buang (flue gas) yang bisa dilihat pada gambar 3. Temperatur gas buang dari kondisi normal 120°C meningkat menjadi 143°C (maksimum). Setelah dilakukan perbaikan temperatur gas buang turun ke kondisi normal 118°C . Data temperatur masing-masing bed bisa dilihat di Tabel 1.



Gambar 3. Temperatur flue gas

Tabel 1. Perubahan temperatur bed dan flue gas

No	Lokasi	Temperatur (°C)		%	Temperatur (°C) Sesudah (rata-rata)
		Limit	Abnormal		
1	BMP-Right	900	1005	12%	864
2	BMP-Left	900	985	9%	878
3	BLP-Front	900	995	11%	888
4	BLP-Rear	900	951	6%	905
5	Flue gas	120	143	19%	118

3.2. Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan temperatur pada boiler sampai jauh diatas 900°C. Berdasarkan suhu komponen bed, kenaikan suhu tertinggi terjadi pada BMP-right dan BLP front, sedangkan BMP-left dan BLP-rear kenaikannya masih cukup jauh dibawah BMP-right dan BLP front (Tabel 1). Dengan kata lain sumber permasalahan kenaikan temperatur bed terjadi pada bagian BMP-right yang menyebabkan kenaikan temperatur paling dominan dibanding bagian bed yang lain. Sehingga ketika unit shutdown, pemeriksaan (inspeksi) dan perbaikan (pemeliharaan) dapat lebih difokuskan kepada daerah BMP-right.

Inspeksi visual dilakukan pada daerah bed dan nozel bagian bawah furnace. Selama inspeksi ditemukan beberapa nozel tersumbat yang diakibatkan backflow [6] yang menyebabkan material padat menutupi sebagian atau seluruh lobang dari sebuah nozel. Mayoritas nozel yang tersumbat berada disisi kanan dari bed boiler. Hal ini sesuai dengan kenaikan temperatur paling tinggi terjadi disisi sebelah dari bed (BMP-right). Terdapat pula nozel yang rusak atau terjadi deformasi (penyok) akibat bergesekan dengan material bed dan juga benda asing. Di permukaan bed juga ditemukan kotoran padat berupa slagging. Disamping itu juga ditemukan pula benda asing pada permukaan bed boiler berupa potongan atau serpihan besi dari komponen boiler. Hal bisa terjadi karena terkena panas

yang berlebihan dalam jangka waktu lama, dan ditambah dengan korosi, erosi, dan abrasi seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) inspeksi (b) benda asing (c) perbaikan nozel

Tindakan pemeliharaan korektif yang dilakukan adalah membersihkan permukaan bed dari slagging dan benda asing. Slagging dipermukaan bed bisa menurunkan proses perpindahan panas antara material bed dengan batubara dan udara. Kemudian tindakan korektif lainnya adalah melakukan perbaikan untuk nozel yang mengalami kerusakan (Gbr 4c) dan membersihkan lobang-lobang nozel yang tersumbat. Setelah tindakan korektif selesai dilakukan maka boiler akan dioperasikan kembali.

Tingginya temperature bed merupakan masalah yang umum terjadi pada boiler CFB [7]. Tingginya temperature bed bisa menyebabkan turunnya efisiensi, rendahnya keandalan, umur material yang lebih pendek [8]. Tingginya temperature bed bisa disebabkan salah satunya oleh buruknya perpindahan panas yang terjadi oleh bahan bakar di furnace [9]. Hal ini menyebabkan distribusi temperature didalam furnace tidak merata. Tidak meratanya distribusi temperature disebabkan oleh tidak meratanya distribusi udara.

Distribusi udara yang merata merupakan salah kunci untuk mendapat efisiensi yang tinggi. Salah satu komponen yang berpengaruh terhadap distribusi udara adalah nozel. Terdapat 2 masalah yang sering terjadi pada nozel yaitu mengalami deformasi dan tersumbat laluan udara keluar dari nozel [10]. Dual hal ini jika terjadi dalam waktu lama akan menyebabkan distribusi udara didalam boiler tidak merata [11].

Faktor-faktor yang menyebabkan tersumbatnya nozel adalah besarnya beban, kondisi operasi, dan disain dari nozel itu sendiri (PLN). Tersumbat laluan udara nozel disebabkan oleh adanya aliran udara yang masuk kembali ke dalam nozel, fenomena ini dikenal dengan sebutan “backflow” [12]. Salah cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan memodifikasi disain dari nozel. Dengan modifikasi disain nozel, menurut sebuah penelitian dapat memperpanjang umur nozel dari 3100 jam menjadi 4000 jam [10]. Penelitian lain menggunakan disain baru nozel yang berbentuk lonceng [13]. Berdasarkan simulasi, tipe nozel berbentuk lonceng ini lebih baik dari tipe nozel standard karena memiliki umur operasi yang lebih lama dan kemungkinan yang lebih rendah untuk mengalami tersumbatnya laluan udara [13]. Untuk mencegah kemungkinan terjadinya deformasi dan tersumbatnya aliran udara nozel, maka perlu dipertimbangkan modifikasi disain nozel sesuai dengan kondisi operasi boiler CFB.

Untuk mengetahui pengaruh kenaikan temperatur bed terhadap efisiensi boiler, maka perhitungan efisiensi boiler dilakukan pada saat sebelum dan sesudah perbaikan dengan menggunakan persamaan (1) [14]:

$$\eta = \frac{HEAT\ OUTPUT}{HEAT\ INPUT} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q \times (H - h)}{q \times GCV} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

- Q : Main steam flow (kg/h)
 H : Enthalpy main steam (kcal/kg)
 h : Enthalpi feed water (kcal/kg)
 GCV : Gross Calori value (kcal/kg)
 q : Coal Flow (kg/h)

Perhitungan efisiensi dilakukan pada saat sebelum dilakukan perbaikan dan sesudah dilakukan perbaikan dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 2. Penurunan efisiensi terbesar terjadi pada 27 Maret. Pada tanggal tersebut, jam beroperasi boiler berada pada jam operasi antara jam ke 240 dan 260. Pada jam operasi tersebut, kenaikan temperatur BMP (Gambar 1) , BLP (Gambar 2), dan flue gas (Gambar 3) berada pada posisi suhu tertinggi. Efisiensi rata-rata boiler sebelum dilakukan perbaikan adalah 79.23%. Sesudah dilakukan perbaikan, maka efisiensi boiler kembali dianalisa. Dari Tabel 2, efisiensi setelah perbaikan dan pembersihan mengalami kenaikan. Dimana efisiensi boiler mengalami kenaikan 5.38% sehingga efisiensi rata-rata boiler meningkat menjadi 83.49%.

Tabel 2. Efisiensi boiler sebelum dan sesudah perbaikan

A		21 Maret	22 Maret	23 Maret	24 Maret	25 Maret	26 Maret	27 Maret	Rata-rata
Efficiency sebelum	(%)	79.04	80.01	79.46	79.12	78.75	78.99	74.58	79.23

(a) Sebeum perbaikan

B		Tgl 9 April	Tgl 10 April	Tgl 11 April	Tgl 12 April	Tgl 13 Aoril	Tgl 14 April	Tgl 16 April	Rata-rata
Efisiensi sesudah	(%)	80.31	81.94	85.12	83.31	81.75	88.51	92.97	83.49

(b) Sesudah perbaikan

Jika kita perhatikan kenaikan temperatur pada Gambar 1, 2, dan 3, kenaikan temperatur mulai terjadi pada jam operasi ke 96 (20 Maret) dan operasi boiler diberhentikan di jam operasi ke 288 (28 Maret). Dalam hal ini mulai terjadinya kenaikan temperatur secara gradual sampai unit diberhentikan operasi terjadi dalam interval waktu 192 jam atau 8 hari. Kenaikan temperatur pada suhu diatas 950°C sudah bisa dideteksi lebih awal 2 hari sebelumnya pada jam operasi ke 228 atau 3 hari sebelum unit dimatikan, dan tidak perlu menunggu terlalu sampai temperatur mencapai temperatur BMP-right mencapai 1005°C pada jam operasi ke 271. Membiarkan temperatur mencapai lebih dari 1000°C bisa merusak komponen-komponen boiler yang lain dan mengkonsumsi batubara lebih banyak (efisiensi rendah).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Boiler CFB PLTU bengkayang mengalami kenaikan temperatur melebihi bata maksimum yang diizinkan. Monitoring temperatur bagian bed CFB berhasil mendeteksi terjadinya kegagalan ini. Dengan adanya pengukuran temperatur bed di 4 lokasi berbeda, dapat menunjukkan dilokasi mana terjadinya sumber masalah yang terjadi berdasarkan kenaikan temperatur yang tertinggi. Sehingga ketika melakukan inspeksi, tindakan perbaikan dan pemeliharaan dapat menghemat waktu. Sebelum dilakukan perbaikan temperatur bed material mencapai 1005°C, sedangkan setelah dilakukan pemeliharaan korektif temperatur bed material turun.

Kenaikan temperatur bed yang melewati nilai yang diizinkan, mempengaruhi parameter operasi boiler yang lain seperti temperatur gas buang (flue gas). Hal ini dapat menyebabkan turunnya efisiensi boiler [15]. Ketika bed temperatur naik tinggi, maka temperatur gas buang juga akan naik. Naiknya temperatur gas buang menandakan efisiensi boiler juga menurun. Efisiensi boiler kembali meningkat setelah dilakukan perbaikan dari 79.23% menjadi 83.49% setelah dilakukan inspeksi, pembersihan permukaan bed dan lubang nozel yang tersumbat dan perbaikan nozel yang mengalami kerusakan.

Untuk mencegah atau terjadinya kejadian serupa, disarankan untuk melakukan studi untuk memodifikasi disain nozel sesuai dengan kondisi operasi boiler, sehingga dapat mencegah atau mengurangi tersumbatnya aliran udara didalam nozel dan terjadinya deformasi pada bentuk nozel.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Statistik PLN 2020,” 2020.
- [2] S. Jebarose Juliyana, J. Udaya Prakash, A. Divya Sadhana, and K. Karthik, “Effect of Overhauling on the Performance of Boiler,” in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, 2020, pp. 473–481.
- [3] T. K. Ray, A. Datta, A. Gupta, and R. Ganguly, “Exergy-based performance analysis for proper O&M decisions in a steam power plant,” *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 6, pp. 1333–1344, 2010.
- [4] S. U. Handayani, W. Mangestiyono, D. Ariwibowo, O. Haryadi, and I. Mujiarto, “Effect of Overhaul on Thermodynamic Performance of Gas Turbine Generator in Combined Cycle Powerplant,” *Advanced Science Letters*, vol. 24, no. 12, pp. 9800–9802, 2018.
- [5] J. B. Kitto, S. C. (Steven C. . Stultz, and Babcock & Wilcox Company., *Steam, its generation and use*. Babcock & Wilcox, 2005.
- [6] P. Mirek and M. Klajny, “Air nozzle design criteria for protection against the backflow of solids in CFB boilers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 503–515, Aug. 2018.
- [7] Y. Zhang, B. Zhang, and Z. Wu, “Multi-Model Modeling of CFB Boiler Bed Temperature System Based on Principal Component Analysis,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 389–399, 2020.
- [8] A. Arjunwadkar, P. Basu, and B. Acharya, “A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 102, pp. 672–694, 2016.
- [9] P. Mirek, “Nozzles in CFB boilers,” 2005, no. March.
- [10] G. S. Sarasamuchaya, M. A. Faisol, W. Hudayana, T. R. Mugiharjo, and M. R. Fadhilah, “Numerical Analysis on the Effect of Thread Modification on Air Nozzle for CFB Boiler in Pltu Barru,” *2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power*

and Energy, TPEPE 2019, Oct. 2019.

- [11] A. Omer and M. Weng, "Effect of primary air maldistribution due to nozzle wear on CFBC performance," *Fuel Processing Technology*, vol. 173, no. June 2017, pp. 191–196, 2018.
- [12] P. Mirek and W. Nowak, "The experimental investigation of arrowhead nozzles operating in a 235 MWe CFB boiler," no. May 2005, 2005.
- [13] Z. Huang, L. Deng, and D. Che, "Experimental and CFD simulation studies on bell-type air nozzles of CFB boilers," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 18, 2019.
- [14] S. Shah and D. M. Adhyaru, "Boiler efficiency analysis using direct method," *2011 Nirma University International Conference on Engineering: Current Trends in Technology, NUiCONE 2011 - Conference Proceedings*, no. 2, 2011.
- [15] P. Basu, "Circulating fluidized bed boilers: Design, operation and maintenance," *Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance*, pp. 1–366, Jan. 2015.