

Optimalisasi Mode Sliding Pressure Beban Rendah Terhadap Kinerja Boiler pada Unit 600 MW PLTU X di Banten

Nurul Chandra Purnama^{1*}, Silviana^{1,2}, Widodo Agung Suedy^{1,3}

*Email corresponding author: Nurulchandra@students.undip.ac.id

¹Magister of Energy, Diponegoro University, Indonesia

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Indonesia

³Department of Biology, Faculty of Science and Mathematic, Diponegoro University, Indonesia

Article history: Received: 4 Mei 2026 | Revised: 9 Juni 2026 | Accepted: 11 Juni 2026

Abstract. *Optimizing electrical energy production at coal-fired power plants (PLTU) remains a challenge in Indonesia. The sliding pressure mode is one approach to operating power plant boilers more efficiently. This study aims to investigate the optimization of the sliding pressure mode on boiler efficiency at PLTU X in Banten. This research method used property data from the Distributed Control System (DCS) which was tested at loads of 300 MW, 450 MW, 510 MW, and 600 MW. The results revealed discrepancies between the design sliding pressure mode graph and the simulation using Gate Cycle software. The Gate Cycle simulation was deemed more relevant as an operational reference, yielding a boiler efficiency of 80%.*

Keywords - *Optimization; Sliding Pressure; Boiler Efficiency; Gate Cycle Simulation*

Abstrak. *Optimalisasi energi listrik oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berasal dari batu bara masih menjadi tantangan di Indonesia. Mode sliding pressure (tekanan geser) merupakan salah satu langkah untuk mengoperasikan boiler pada pembangkit listrik menjadi lebih efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimalisasi mode sliding pressure terhadap efisiensi boiler di PLTU X di Banten. Metode penelitian ini menggunakan data properti dari Distributed Control System (DCS) yang diuji pada beban 300 MW, 450 MW, 510 MW, dan 600 MW. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan antara grafik mode sliding pressure desain dengan simulasi menggunakan Software Gate Cycle. Simulasi Gate Cycle dinilai lebih relevan sebagai acuan operasi, dengan efisiensi boiler yang diperoleh sebesar 80%.*

Kata Kunci - *Optimalisasi; Tekanan Geser; Efisiensi Boiler; Simulasi Gate Cycle*

PENDAHULUAN

Elektrifikasi dan penghematan energi di sektor listrik merupakan isu penting yang menjadi persoalan global untuk mencapai pasokan energi secara berkelanjutan pada tahun 2035. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan porsi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional dengan menandatangani *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Peretujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Iklim) di New York tanggal 22 April 2016 untuk mengurangi emisi GRK (Gas Rumah Kaca) sebesar 21-41% dan menjaga temperatur global di bawah 2°C [1]. Meskipun prospek energi terbarukan telah meningkat secara substansial dalam beberapa tahun terakhir, batu bara masih menjadi sumber listrik yang signifikan hingga tahun 2040 khususnya di wilayah Asia [2]. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil seperti batu bara masih menyumbang 75% dari gabungan energi yang tersedia [3]. Badan Energi Internasional menekankan bahwa permintaan listrik oleh masyarakat akan menjadi dua kali lebih cepat dibandingkan dengan ketersediaan energi yang ada [4]. Beberapa unit PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) di Indonesia juga memperluas rentang beban operasi dari 30-100% sesuai dengan pengiriman jaringan listrik [5]. Berdasarkan keadaan tersebut diperlukan efisiensi penggunaan energi dengan meningkatkan suhu dan tekanan panas menggunakan material yang hemat biaya.

Pada realitasnya efisiensi energi dapat mengalami kendala karena parameter uji yang terbatas. Hal ini dapat membuat semakin sulit dalam mengajukan uji karakteristik beban dan parameter kontrol. Uji karakteristik pada alat pembangkit akhirnya akan dilakukan dengan metode eksperimen dan cenderung bergeser menyesuaikan unit yang sering digunakan. Selain itu, transformasi energi karena penetrasi yang tinggi pada beban pembangkit listrik berbahan bakar batu bara juga harus sering diubah untuk meningkatkan fleksibilitas operasional [6]. Di sisi lain, Komisi Pengembangan dan Reformasi Biro Energi Nasional dalam sistem perencanaan sistem energi modern ke-14 juga berupaya untuk meningkatkan fleksibilitas unit pembangkit tenaga batu bara lebih dari 200 juta kilowatt hingga tahun 2025.

Salah satu *controllable loss* yang berperan pada efisiensi siklus uap dan air yaitu tekanan uap utama (*main steam pressure*). Menurut konsep hukum termodinamika, semakin tinggi *main steam pressure* maka efisiensi siklus uap dan airnya juga akan semakin tinggi. Dalam pengoperasian *main steam pressure* pada sebuah PLTU terdapat tiga buah mode yakni mode tekanan konstan (*constant pressure*), mode tekanan bergeser penuh (*full sliding pressure*), dan mode tekanan gabungan (*hybrid pressure*) [7]. Adapun mode operasi tekanan geser gabungan memiliki efisiensi termal siklus terbaik serta beban yang lebih fleksibel dibandingkan mode *main steam pressure* yang lain. Menurut penelitian Qasem et al [8] mode *sliding pressure* memungkinkan penyesuaian tekanan uap sesuai dengan bahan operasional. Hal ini sangat berguna untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dan emisi gas rumah kaca. Selain itu, mode *sliding pressure* dapat menjadi pilihan terbaik untuk mengontrol dan memperoleh efisiensi beban parsial yang lebih tinggi serta pengoperasian yang bersih.

Mode *sliding pressure* dari rangkaian generator turbin uap ditentukan oleh metode perbandingan eksperimental laju panas dan metode analisis kehilangan tekanan geser. Adapun, hal tersebut dilakukan dengan menentukan tekanan optimal (titik rendah laju panas) yang didasarkan pada perubahan pendapatan selisih konsumsi total sebagai dasar optimasi tekanan geser [9]. Akan tetapi, kedua metode tersebut memiliki kekurangan terkait beban kerja yang berat disebabkan oleh adanya berbagai macam parameter, indeks optimasi yang hanya melibatkan salah satu turbin, dan perolehan hasil yang sulit untuk mencakup semua aspek [10].

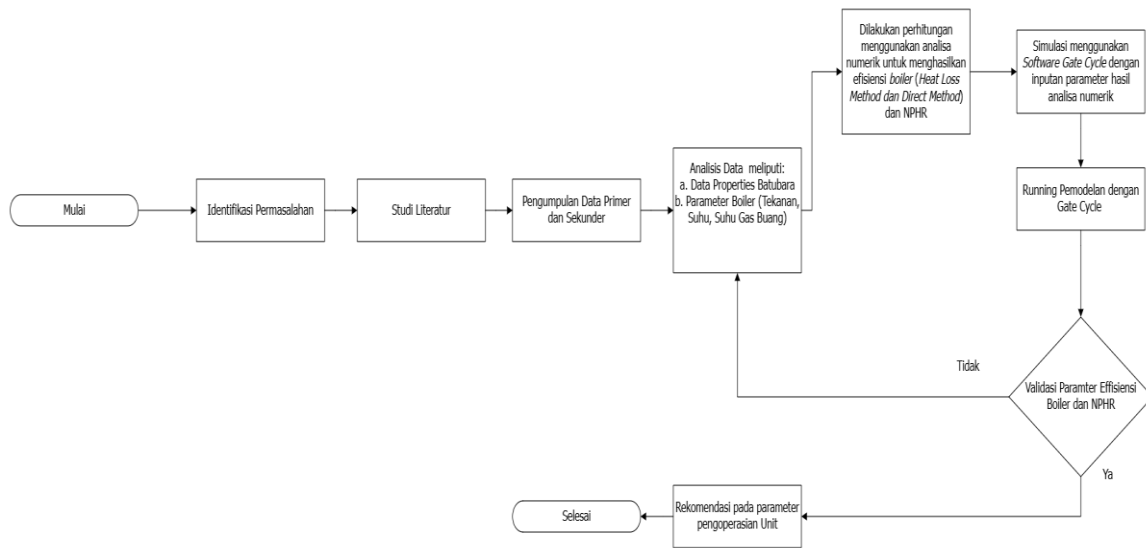
Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai penerapan mode *sliding pressure* umumnya berfokus pada peningkatan sistem kontrol dan fleksibilitas operasi sistem. Penelitian Qasem et al [8], berfokus pada strategi pengendalian *sliding pressure* melalui optimasi sistem kontrol dan kestabilan tekanan operasi. Sedangkan, penelitian Suhaily et al [11] mengkaji penerapan mode *sliding pressure* pada unit pembangkit, namun belum mengevaluasi penentuan tekanan operasi optimum secara mendalam. Di sisi lain, penelitian mengenai operasi beban rendah yang dilakukan oleh Chong et al [12] dan Tang et al [13] lebih banyak mengkaji terkait aspek karakteristik pembakaran, stabilitas nyala api, dan distribusi temperatur dalam boiler. Oleh karena itu, penelitian yang mengintegrasikan operasi beban rendah dengan penerapan mode *sliding pressure* berdasarkan data operasi aktual pada PLTU masih relatif terbatas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui analisis pengaruh penerapan mode *sliding pressure* pada kondisi beban rendah terhadap kinerja boiler berdasarkan data operasi aktual Unit 600 MW PLTU. Selain menganalisis perubahan kinerja boiler, penelitian ini juga melakukan analisis termodinamika melalui simulasi *Software Gate Cycle* yang telah divalidasi terhadap data komisioning. Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak perubahan tekanan operasi terhadap kinerja boiler.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan penerapan mode *sliding pressure* untuk meningkatkan kinerja boiler pada Unit 600 MW PLTU X di Banten. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi operasional yang mendukung peningkatan efisiensi kinerja boiler pada kondisi beban rendah serta mengurangi kerugian energi (*energy losses*). Selain memberikan manfaat terkait teknis operasional, hasil penelitian juga diharapkan dapat mendukung upaya peningkatan fleksibilitas operasi PLTU dalam menghadapi perubahan pola beban sistem kelistrikan yang semakin dinamis.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada Unit 600 MW PLTU PT X di Banten. PLTU PT X merupakan pembangkit tenaga listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara (*pulverized coal*) yang terdiri atas tujuh unit dengan total kapasitas terpasang sebesar 3.400 MW, meliputi empat unit berkapasitas 400 MW dan tiga unit berkapasitas 600 MW. Sistem pembangkit menggunakan boiler tipe *Radiant Boiler*. Penelitian ini termasuk penelitian observasional analitik dengan desain studi potong lintang (*cross-sectional study*). Data operasi yang diperoleh pada periode pengamatan dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh penerapan mode *sliding pressure* terhadap kinerja pembangkit.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian PLTU X di Banten

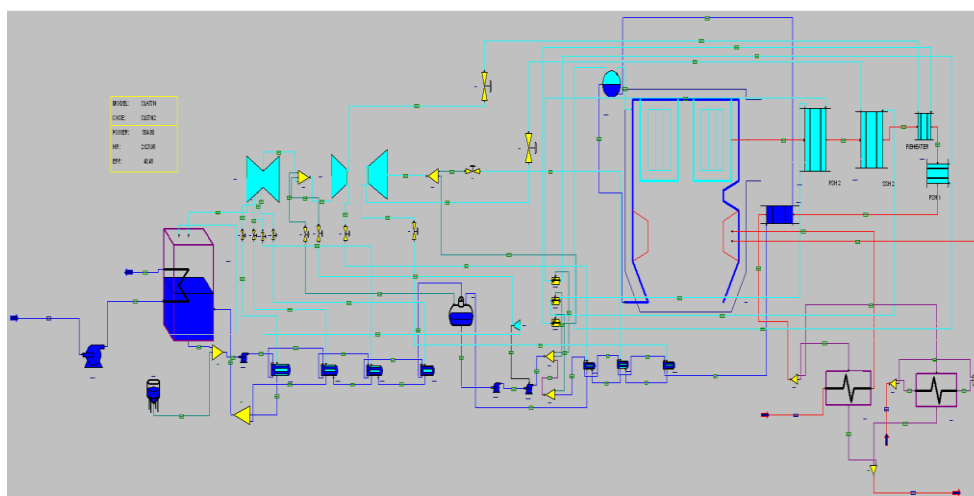
Gambar 1. menunjukkan diagram alir penelitian yang diawali dengan pengumpulan data properti dari *Distributed Control System* (DCS). Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian 2 jam dengan pola operasi normal yaitu:

- Pengambilan parameter operasi berlangsung selama 2 jam dengan beban gross 600 MW dengan melakukan pengambilan parameter gas buang pada sisi *Air Heater*.
- Pengambilan data *logger* parameter operasi melalui DCS dengan beban gross 600 MW selama 2 jam. Selama proses pengujian, dilakukan *monitoring* dan pencatatan parameter operasi dan pengambilan sampel bahan bakar di *coal feeder*, *fineness* bahan bakar di *coal pipe*, *bottom ash* di *submerged scrapper conveyor* dan *fly ash* di *ESP hopper* untuk diuji di laboratorium.

Pada saat uji coba tara kalor, dilakukan pengambilan beberapa parameter operasi melalui DCS di *control room* dan REOC. Parameter yang dipantau saat pengujian adalah data trending beban, *pressure* dan *temperature* boiler, *pressure-temperature-flow steam*, *exhaust temperatre*, serta pengambilan sampel batu bara, *fly ash* dan *bottom ash*. Selama periode pengujian dilakukan prosedur sebagai berikut:

- Data operasi dari DCS diambil setiap 15 menit.
- Pengambilan sampel bahan bakar dilakukan 1 kali untuk setiap beban yaitu pada akhir pengujian.
- Pengambilan sampel *fly ash* dan *bottom ash* diambil sekali pada akhir pengujian.

Data hasil pengujian digunakan sebagai *baseline* untuk dibandingkan dengan data komisioning. Untuk memastikan validitas perbandingan, batu bara yang digunakan pada pengujian adalah jenis batu bara yang mempunyai karakteristik sama. Selanjutnya, data operasi yang telah terkumpul dianalisis secara numerik untuk menghitung efisiensi boiler pada berbagai kondisi operasi.



Gambar 2. Simulasi *Software Gate Cycle*

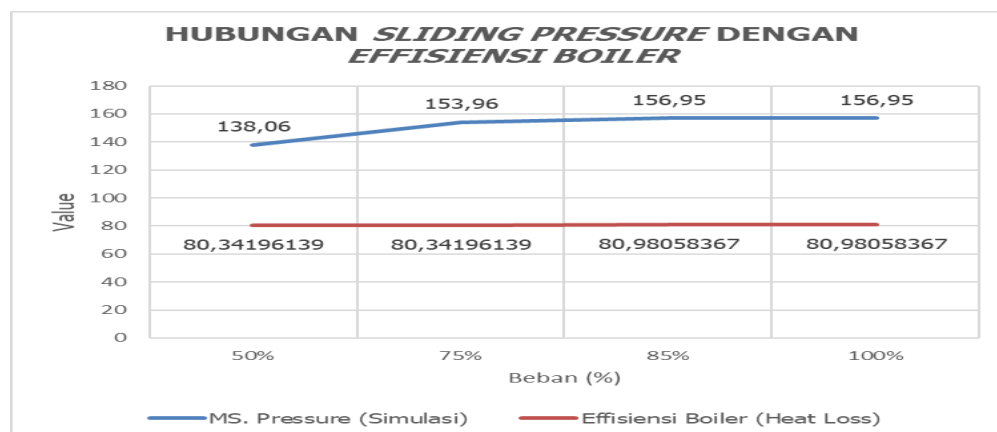
Hasil analisis kemudian diolah menggunakan *Software Gate Cycle* untuk melakukan simulasi kinerja pembangkit secara menyeluruh. *Software Gate Cycle* merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk membantu perhitungan desain PLTU. Perhitungan ini dilakukan dengan kondisi sesuai dengan aktual [14]. Selama proses simulasi, terdapat beberapa data pendukung, seperti parameter operasi aktual, karakteristik bahan bakar, spesifikasi peralatan utama dan pendukung, serta data perpipaan dan instrumentasi pembangkit. Setelah seluruh data berhasil dimasukkan dan model sistem tervalidasi, dilakukan proses simulasi untuk memperoleh parameter kinerja utama, seperti *net thermal efficiency*, *net power output*, dan *net heat rate* [15].

Tahap selanjutnya adalah validasi model dengan membandingkan hasil simulasi *Gate Cycle* dengan nilai pada *heat balance* yang tersedia. Apabila hasil simulasi menunjukkan nilai yang relatif sama dengan data acuan, maka model dianggap mampu merepresentasikan kondisi aktual pembangkit. Model yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan untuk melakukan analisis lebih lanjut melalui variasi parameter operasi yang diteliti. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kondisi operasi terhadap efisiensi boiler, konsumsi energi, dan *heat rate*.

Tahap terakhir yaitu penarikan kesimpulan mengenai kondisi kinerja boiler serta penyusunan rekomendasi perbaikan yang berfokus pada pengurangan faktor-faktor penyebab *loses*. Rekomendasi tersebut diharapkan dapat mendukung upaya peningkatan efisiensi boiler, menurunkan *heat rate*, dan mengoptimalkan kinerja pembangkit secara keseluruhan.

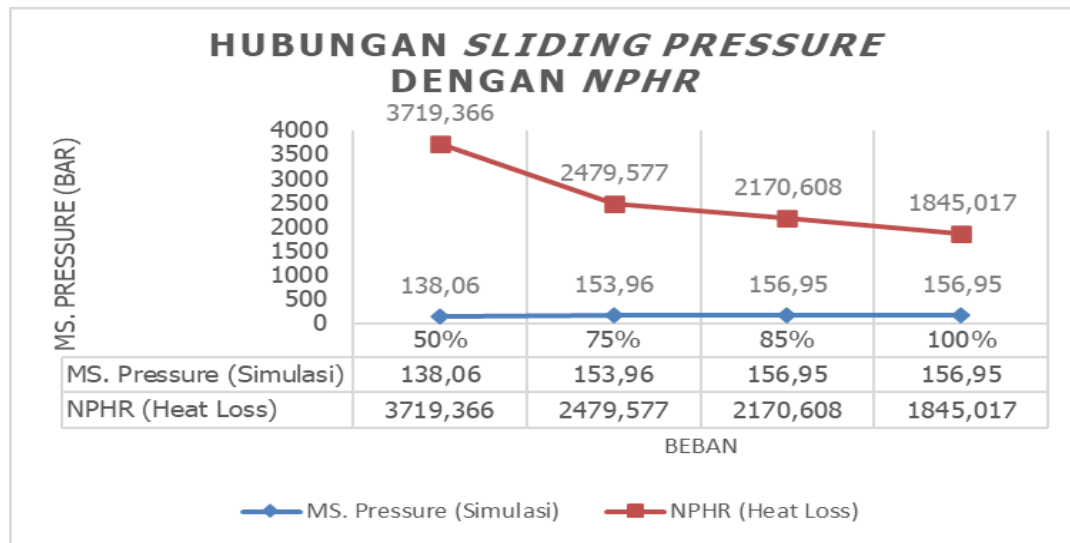
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengoperasian boiler PLTU tekanan uap yang dibutuhkan untuk memutar turbin tidak membutuhkan tekanan yang besar terutama saat beban yang digunakan rendah. Berdasarkan keadaan tersebut dibutuhkan tekanan uap yang sesuai dengan kondisi pembebanan unit. Adapun pengoperasian boiler menggunakan mode *sliding pressure* dapat mengurangi konsumsi sebesar 2-3% dibandingkan dengan mode tekanan konstan.



Gambar 3. Hubungan *Sliding Pressure* dengan Efisiensi Boiler

Berdasarkan referensi panduan perbaikan *heat rate* PLTU, pembebanan pada PLTU dapat dibedakan menjadi 4 fase, yaitu: 50% (300 MW), 75% (450 MW), 85% (510 MW), 100% (600 MW). Pada Gambar grafik 6. dapat diketahui bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara efisiensi boiler dengan perubahan mode *sliding pressure*. Adapun hasil tersebut diperoleh setelah data di *running* pada *software gate cycle* dengan mengoptimalkan mode *sliding pressure* untuk menghasilkan efisiensi boiler dan memperoleh hasil cenderung tetap, yakni: 80,34%, 80,34%, 80,98%, 80,98%. Hal ini membuktikan bahwa mode *sliding pressure* dapat mempengaruhi *output* efisiensi boiler. Pengoptimalan pola operasi pada PLTU dengan tekanan yang lebih rendah dapat dilakukan dengan rekomendasi tekanan pada beban 50% (300 MW) 138,06 bar, 75% (450 MW) 153,96 bar, 85% (510 MW) 156,95 bar, dan 100% (600 MW) 156,95 bar.



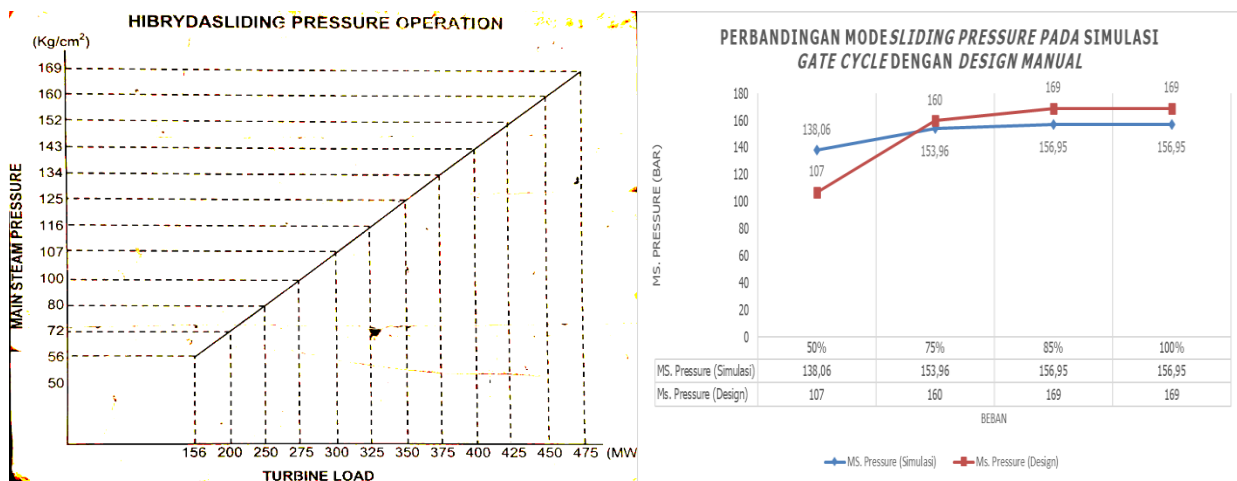
Gambar 4. Hubungan *Sliding Pressure* dengan NPHR

Sejalan dengan hasil dari efisiensi boiler yang cenderung optimal pada nilai 80%, mode *sliding pressure* juga memiliki dampak yang signifikan terhadap *Net Plant Heat Rate* (NPHR) dan menunjukkan nilai yang optimal. Pada tekanan 138,06 bar dengan beban 50% (300 MW) didapatkan nilai NPHR sebesar 3719,366 kCal/kWh. Kemudian, pada *pressure* 153,96 bar di beban 75% (450 MW) didapatkan nilai NPHR sebesar 2479,577 kCal/kWh. Selanjutnya, pada *pressure* 156,95 bar di beban 85% (510 MW) didapatkan nilai NPHR sebesar 2170,608 kCal/kWh. Terakhir, untuk *pressure* (tekanan) yang sama dengan beban 100% (600 MW) didapatkan nilai NPHR sebesar 1845,017 kCal/kWh. Hasil dari NPHR tersebut tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh mode *sliding pressure*, namun ada beberapa parameter lain yang mempengaruhi seperti laju alir uap, nilai kalor batu bara, suhu uap, dan kondisi pembakaran pada boiler.

Tabel 1. Hubungan *Mode Sliding Pressure* dengan Kinerja Boiler

No	Mode	Beban		Heat Loss	
		MW	Ms. Pressure Bar	Efisiensi Boiler (%)	NPHR (kCal/kWh)
1.	<i>Sliding Pressure</i>	300	138,06	80,34196	3719,366
2.		450	154	80,34196	2479,577
3.		510	157	80,98058	2170,608
4.		600	157	80,98058	1845,017

Pada tabel 1. menunjukkan bahwa mode *sliding pressure* pada beban 300 MW dengan rekomendasi *pressure* sebesar 138,06 bar menghasilkan efisiensi boiler sebesar 80,34% dan NPHR sebesar 3719,366 kCal/kWh. Pada mode *sliding pressure* pada beban 450 MW direkomendasikan *pressure* sebesar 154 bar menghasilkan efisiensi boiler sebesar 80,34% dengan perbaikan NPHR sebesar 2479,577 kCal/kWh. Di samping itu, untuk mode *sliding pressure* pada beban 510 MW dan 600 MW direkomendasikan *pressure* sebesar 157 bar menghasilkan efisiensi boiler sebesar 80,98% dengan perbaikan NPHR sebesar 2170,608 kCal/kWh dan 1845,017 kCal/kWh. Sejalan dengan penelitian Yuan et al (2023) [16] yang menyatakan bahwa penggunaan mode operasi katup berurutan pada turbin uap menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mode katup tunggal. Hal ini dapat disebabkan oleh pembukaan katup yang lebih besar dalam mode berurutan, yang mengurangi hambatan aliran uap dan meningkatkan efisiensi termal, terutama pada silinder bertekanan tinggi. Secara khusus, pada beban rendah sekitar 400 MW hingga 500 MW, silinder bertekanan tinggi menunjukkan efisiensi termal yang lebih baik dalam mode katup berurutan dibandingkan dengan mode katup tunggal. Namun, pada beban di atas 600 MW, perbedaan efisiensi antara kedua mode tersebut menjadi lebih kecil, meskipun mode berurutan tetap menunjukkan keunggulan dalam efisiensi silinder bertekanan tinggi. Hal ini membuktikan bahwa mode *sliding pressure* mampu mengoptimalkan efisiensi boiler dan NPHR, sehingga menghasilkan kinerja unit pada titik optimumnya.



Gambar 5. Perbandingan Simulasi Mode Operasi *Sliding Pressure* dan Hasil Kurva Desain

Pada Gambar grafik 8. dipaparkan hubungan antara mode *sliding pressure* menggunakan simulasi *gate cycle* dengan grafik desain *hybrida sliding* saat beban rendah beracun (Manual Book Boiler PLTU). Pada perbandingan tersebut didapatkan hasil pada beban 50% untuk tekanan uap kerja yang direkomendasikan pada simulasi sebesar 138,06 bar. Sedangkan, pada desain buku ditunjukkan hasil sebesar 107 bar. Pada beban 75% tekanan uap kerja yang direkomendasikan sebesar 153,96 bar dan pada desain buku sebesar 160 bar serta untuk beban 75% dan 100%, tekanan uap kerja yang direkomendasikan pada simulasi 156,95 bar dan pada desain sebesar 169 bar. Adapun perbedaan antara simulasi dan desain pada buku panduan dapat terjadi karena parameter yang lain seperti nilai kalor, jumlah aliran uap yang masuk, dan rekomendasi terkait menjaga kehandalan pipa boiler. Hasil ini sejalan dengan penelitian Milovanovic et al (2018) [17] menyatakan bahwa perpindahan blok 300 MW dari menggunakan tekanan konstan menjadi tekanan geser pada rentang 30-60% masing-masing dapat meningkatkan efisiensi blok sebesar 6,70-1,05%.

KESIMPULAN

Mode *sliding pressure* (tekanan geser) direkomendasikan untuk menunjang pengoperasian unit PLTU. Dengan optimalisasi menggunakan mode *sliding pressure* pada beban rendah dapat meningkatkan kinerja PLTU tersebut. Hal ini membuktikan bahwa mode *sliding pressure* pada beban 450 MW dengan rekomendasi *pressure* sebesar 154 bar dapat menghasilkan efisiensi boiler sebesar 80,34% dengan perbaikan NPHR sebesar 2479,577 kCal/kWh. Adapun untuk mode *sliding pressure* pada beban 510 MW dan 600 MW dengan *pressure* sebesar 157 bar menghasilkan efisiensi boiler sebesar 80,98% dengan perbaikan NPHR sebesar 2170,608 kCal/kWh dan 1845,017.

Selain itu, berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan antara grafik mode *sliding pressure* desain dengan simulasi menggunakan *Software Gate Cycle*. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti, aliran *steam* yang masuk pada turbin dan karakteristik batu bara. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dapat menggunakan grafik dari desain buku manual pengoperasian PLTU PT X di Banten. Namun, pertimbangan keandalan pada pipa boiler dan kondisi karakteristik bahan bakar yang telah berubah, mode pengoperasian menggunakan acuan simulasi *gate cycle* lebih relevan digunakan saat ini. Selain itu, terdapat gap antara mode simulasi dengan rekomendasi buku manual. Akan tetapi, gap tersebut masih mampu mengoptimalkan efisiensi boiler dan NPHR pada PLTU X di Banten.

REFERENSI

- [1] A. Deon, E. Mursanti, and F. Tumiwa, "Implikasi Paris Agreement terhadap Masa Depan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara di Indonesia," 2019.
- [2] Y. Tu, W. Yang, K. B. Siah, and S. Prabakaran, "Effect of Different Operating Conditions on the Performance of a 32 MW Woodchip-Fired Grate Boiler," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 898–903, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.228.
- [3] M. Yang, Y.-L. Zhou, D. Wang, J. Han, and Y. Yan, "Thermodynamic Cycle Analysis And Optimization To Improve Efficiency In A 700 °C Ultra-Supercritical Double Reheat System," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 141, no. 1, pp. 83–94, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08871-9>.
- [4] B. Petroolium, *BP Energy Outlook 2024 Edition*. 2024.

- [5] W. Zheng *et al.*, “Experimental Study on Low-load Sliding Pressure Operation of Supercritical Unit,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 677, p. 052019, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/677/5/052019.
- [6] Z. Wang, M. Liu, and J. Yan, “Flexibility And Efficiency Co-Enhancement Of Thermal Power Plant By Control Strategy Improvement Considering Time Varying And Detailed Boiler Heat Storage Characteristics,” *Energy*, vol. 232, p. 121048, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121048>.
- [7] B. Santoso and B. A. Dwiyanoro, “Numerical Study of Heat Transfer Characteristics in High Pressure Steam Turbine during Stop Unit Process with Sliding Pressure,” *JMES Int. J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 91–99, 2022.
- [8] M. Qasem, O. Mohamed, and W. A. Elhaija, “Parameter Identification and Sliding Pressure Control of a Supercritical Power Plant Using Whale Optimizer,” *Sustainability*, vol. 14, p. 8039, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14138039>.
- [9] D. Kong *et al.*, “Research on Optimization of Sliding Pressure Curve of 300MW Unit Based on Data Mining,” in *2022 4th International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence (MLBDBI)*, 2022, pp. 84–88. doi: <https://doi.org/10.1109/MLBDBI58171.2022.00022>.
- [10] M. Biencinto, M. J. Montes, L. Valenzuela, and L. González, “Simulation And Comparison Between Fixed And Sliding-Pressure Strategies In Parabolic-Trough Solar Power Plants With Direct Steam Generation,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 125, pp. 735–745, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.059>.
- [11] H. Suhaily, B. F. T. Kiono, and S. W. A. Suedy, “Analysis of the Impact of Sliding Pressure Operation on the Efficiency of a 610 MW Subcritical Steam Power Plant Boiler,” *IRJIET (International Res. J. Innov. Eng. Technol.)*, vol. 08, no. 11, pp. 211–218, 2024, doi: 10.47001/irjiet/2024.811026.
- [12] P. Chong, J. Li, X. Zhu, D. Jing, and L. Deng, “Numerical Study on Combustion Characteristics of a 600 MW Boiler Under Low-Load Conditions,” *Processes*, vol. 12, p. 2496, 2024, doi: 10.3390/pr12112496.
- [13] H. Tang *et al.*, “Study on Low-Load Combustion Characteristics of a 600 MW Power Plant Boiler with Self-Sustaining Internal Combustion Burners,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 267, p. 125859, 2025, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.125859.
- [14] H. Djabal, R. Djafar, Y. Djamalu, and B. Liputo, “SIMULASI SISTEM PLTU ANGGREK 2 X 25 MW MENGGUNAKAN SOFTWARE CYCLE TEMPO DENGAN VARIASI BEBAN TURBIN 25%, 50%, 75% DAN 100%,” *J. Renew. Energy Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–23, 2023, doi: <https://doi.org/10.56190/jree.v1i1.8>.
- [15] Mahmuddin, H. Apriadi, and S. Habiba, “Studi Termodinamika Pengaruh Hidden Capacity pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Permodelan GateCyle,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 4907–4918, 2024.
- [16] Z. Yuan *et al.*, “Study On The Slagging Trends Of The Pre-Combustion Chamber In Industrial Pulverized Coal Boiler Under Different Excess Air Coefficients By CFD Numerical Simulation,” *Energy*, vol. 264, p. 126184, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126184>.
- [17] Z. N. Milovanovic, S. R. Dumonjic-Milovanovic, A. N. Milasinovic, and D. M. Knezevic, “Efficiency Of Operation Of 300 MW Condensing Thermal Power Blocks With Supercritical Steam Parameters In Sliding Pressure Mode,” *Therm. Sci.*, vol. 22, no. 5, pp. 1371–1382, 2018, doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI18S5371M>.

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)