

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

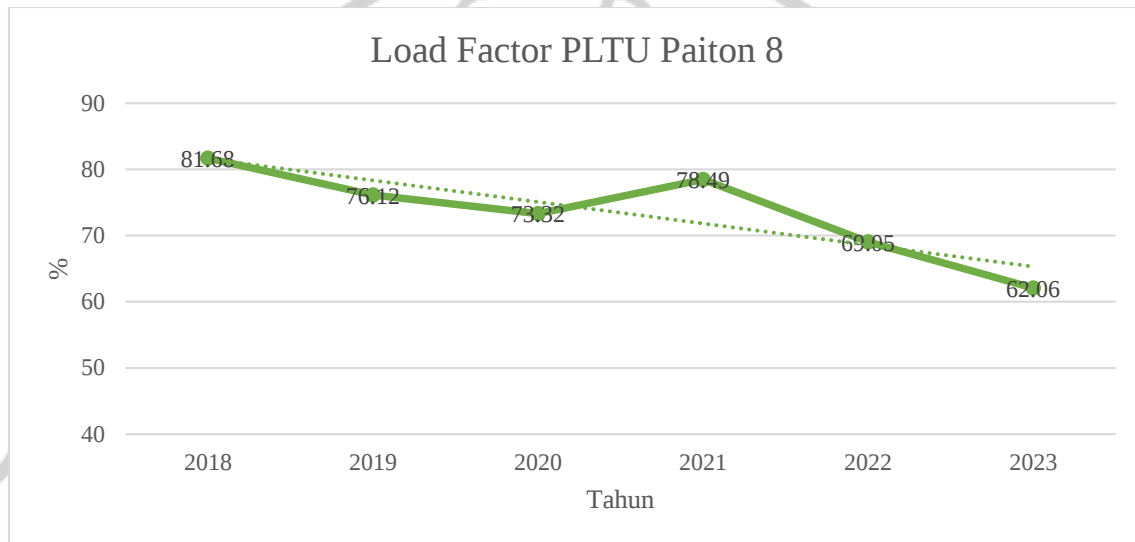
Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Paiton unit 8 merupakan *independent power plant* (IPP) pertama yang ada di Indonesia. PLTU ini memiliki kapasitas terpasang 610 Net MW dengan tipe boiler *sub critical* pada tekanan uap konstan (*constant pressure*). PLTU Paiton unit 8 didesain menggunakan batu bara *sub-bituminus* yang dilengkapi dengan 6 *pulverizer*. PLTU Paiton pada mulanya merupakan PLTU dengan pola pembebanan *base load* sehingga dituntut untuk memiliki *availability* yang tinggi untuk bisa menghasilkan energi listrik sesuai kontrak *capacity* selama waktu yang ditentukan.

Berdasarkan data statistik PLN 2022 (Statistik PLN 2022), kapasitas terpasang pembangkit listrik di jaringan Jawa-Bali adalah sebesar 42.976 MW dengan beban puncak mencapai 24.228,05 yang artinya surplus kapasitas energi listrik di jaringan Jawa-Bali bahkan telah mencapai 60%. Beberapa faktor yang menjadi penyebab surplus kapasitas energi listrik di jaringan Jawa-Bali adalah realisasi serapan energi listrik tidak sesuai dari perencanaan dikarenakan pertumbuhan ekonomi yang melambat sejak adanya pandemi Covid 19 yang tidak hanya sangat berdampak ke perekonomian Indonesia tetapi juga global dan yang kedua adalah banyaknya pembangkit listrik skala besar yang akan dibangun dan akan segera beroperasi di jaringan Jawa-Bali, Tabel 1.1.

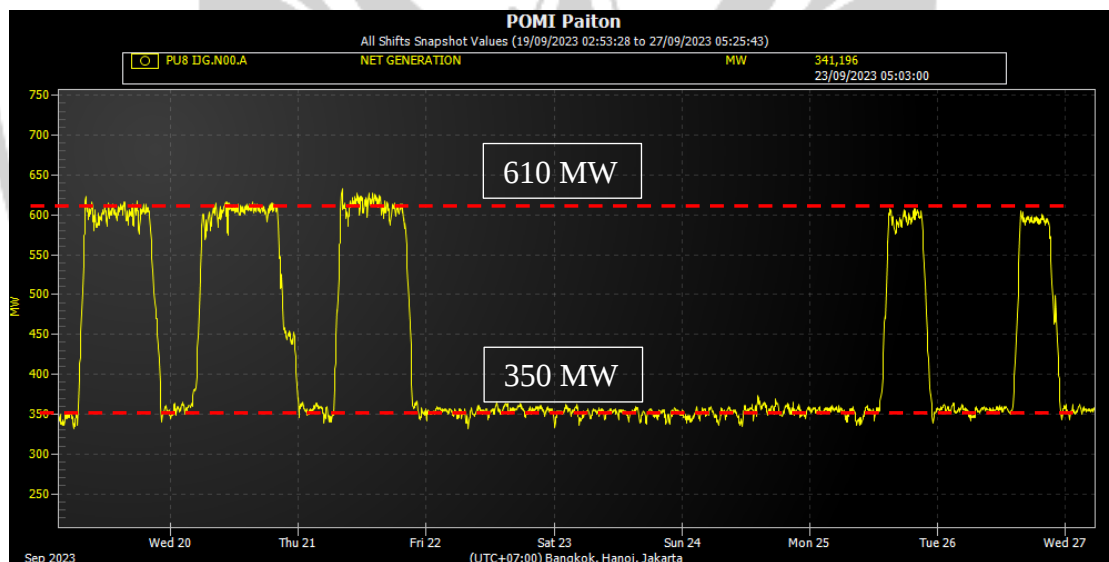
Tabel 1. 1 Daftar PLTU yang sedang di bangun dan yang siap beroperasi (Sumber :<https://ekonomi.bisnis.com>, 2021).

No	PEMBANGKIT	KAPASITAS (MW)	STATUS	COD
1	PLTA Jatigede	110	PLN	2021
2	PLTA Upper Cisokan PS	1040	PLN	2025
3	PLTGU Jawa - Bali 1	779	PLN	2021
4	PLTGU Muara Karang	200	PLN	2021
5	PLTGU Muara Tawar Add-on 2,3,4	650	PLN	2021-2022
6	PLTU Lontar #4	315	PLN	2021
7	PLTU Jawa tengah/Batang	1900	IPP	2021
8	PLTU Jawa-1/Cirebon	924	IPP	2022
9	PLTU Jawa - 3/ Tanjaung Jati A	1320	IPP	2025-2026
10	PLTU Jawa - 4/ Tanjaung Jati B	2000	IPP	2021
11	PLTU Jawa 9 - 1/ Suralaya	2000	IPP	2025-2026
12	PLTGU Jawa - 1/Cilamaya	1760	IPP	2021
Jumlah		12.998		

Over supply daya di grid Jawa-Bali menyebabkan PLTU Paiton unit 8 yang sebelumnya sebagai *base load* dan selalu *full load* harus beroperasi pada beban parsial mengikuti kebutuhan PLN. Terlihat pada Gambar 1.1 yang menunjukkan *load factor* (%) PLTU Paiton unit 8 di 6 tahun terakhir semakin menurun. (Technical KPI PLTU Paiton 8, 2023).



Gambar 1. 1 Pola *load factor* PLTU Paiton 8 (Technical KPI PLTU Paiton 8, 2023).



Gambar 1. 2 Pola pembebanan parsial PLTU Paiton 8 (DCS PLTU Paiton Unit 8, 2023).

Pola pembebanan operasi Paiton unit 8 yang sebelumnya pada beban *base load* menjadi beban parsial (Gambar 1.2) dimana lebih banyak beban rendah (350MW) dibandingkan beban penuh (610MW). Dengan pola operasi *constant pressure* (Gambar 1.3) berpengaruh terhadap

performa dari pembangkit dimana dampak penurunan performa terbesar terjadi di *HP turbine efficiency*. Hal tersebut di Gambarkan pada Gambar 1.4 pareto diagram dari *controllable losses* (Data operasi PLTU Paiton 8 tahun 2022). *HP turbine efficiency* menjadi *losses* yang paling besar sehingga menjadi perhatian khusus dari manajemen. Diperlukan solusi untuk mengatasi penurunan *hp turbine efficiency* dikarenakan pembebanan parsial pada Paiton unit 8 akan semakin sering di tahun- tahun mendatang.

PAITON PRIVATE POWER PROJECT, PHASE I UNITS 7 & 8

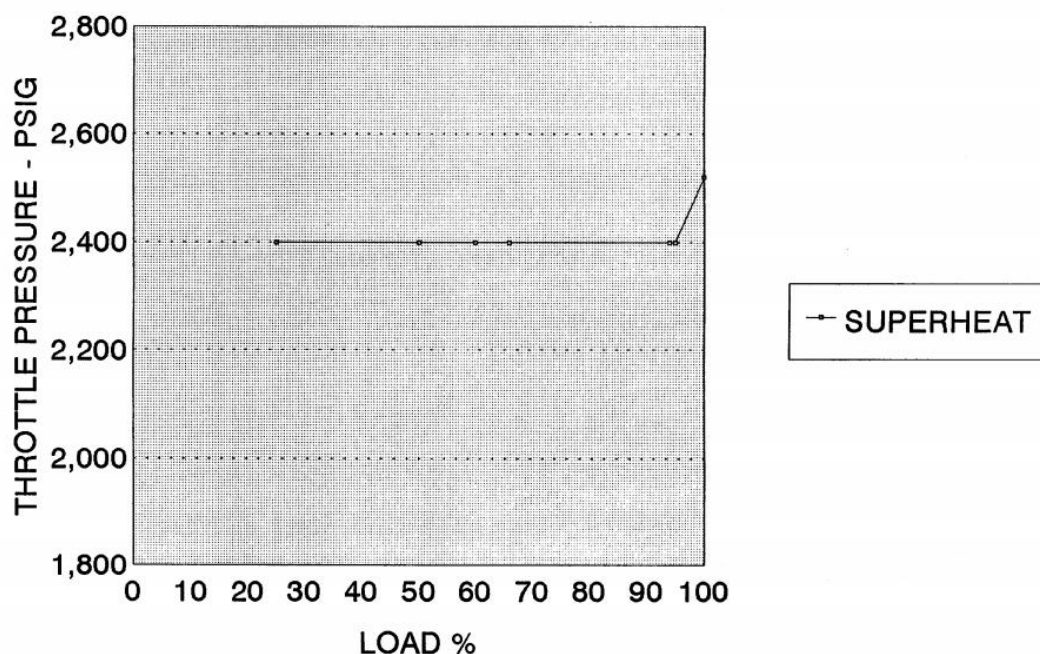
DATE: 11/14/94

DEPT. 8152

S-3564

CONTRACT #494

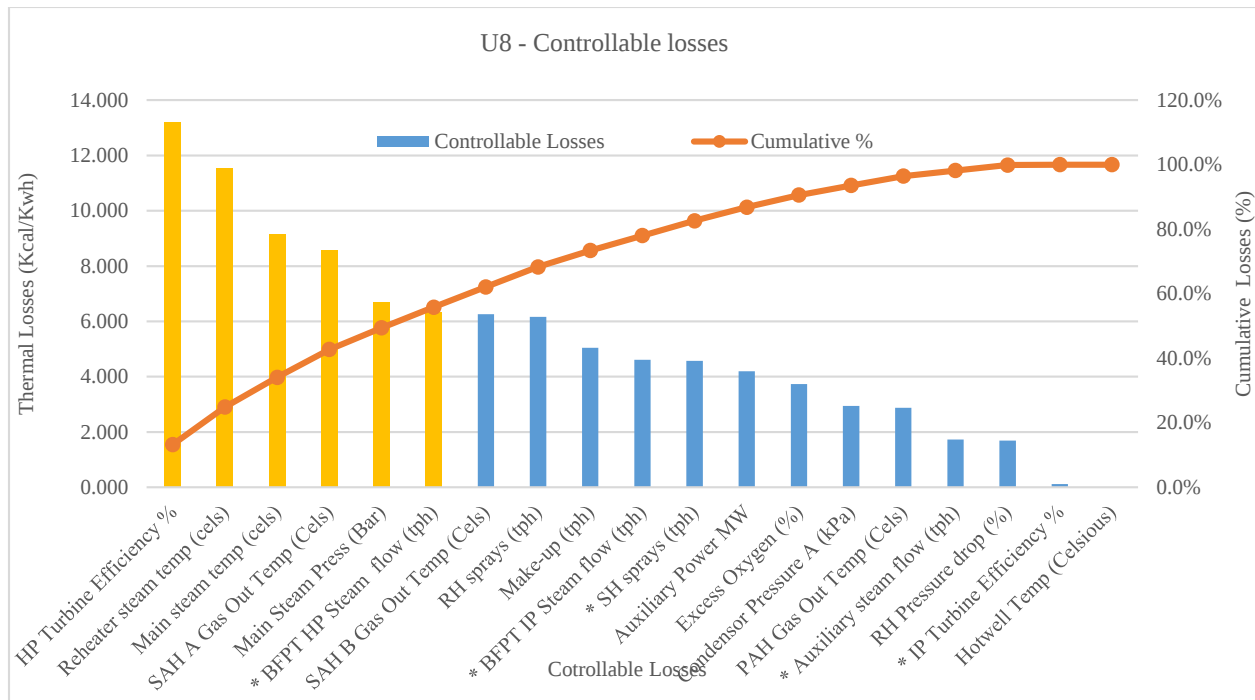
REV.1 7/12/95



PREDICTED PERFORMANCE - BASE LOADED OPERATION, VWO-OP=BMCR=100%=5,038,859 LB/HR DESIGN COAL

Gambar 1. 3 Grafik beban terhadap tekanan uap pada PLTU Paiton Unit 8.

Penurunan performa pembangkit saat beban parsial ini menjadi masalah utama dalam hal efisiensi pembangkit yang harus segera didapatkan solusi perbaikannya, karena jika permasalahan ini tidak diselesaikan maka pembangkit listrik akan semakin boros dalam pemakaian energi batubara dan menjadi tidak kompetitif dalam persaingan di bisnis pembangkit listrik tenaga uap. Oleh karena itu penyelesaian permasalahan dari menurunnya performa pembangkit saat beban parsial menjadi perhatian dari manajemen PLTU Paiton unit 8.



Gambar 1. 4 Pareto Diagram *Controllable Losses* di PLTU Paiton unit 8

Boiler *subcritical* kebanyakan menggunakan mode operasi *constant pressure* karena memang dirancang untuk melayani *base load* dari kebutuhan tenaga listrik. *Constant pressure* adalah metode untuk mengontrol *output* pembangkit listrik melalui *control valve* turbin, di mana tekanan uap utama (*main steam*) dijaga tetap (konstan). Mode operasi *constant pressure* memiliki *throttle losses* pada *control valve* sangat besar pada beban parsial, hal inilah yang menyebabkan efisiensi turbin rendah. *Sliding pressure operation* adalah metode operasi yang mengontrol output pembangkit listrik dengan memvariasikan tekanan uap di boiler terhadap beban, sambil mempertahankan *control valve* dalam keadaan terbuka penuh sehingga minim *throttle losses* (Sehyoun *et al.*, 2016).

Eslick *et al* (2022) melakukan penelitian dengan mensimulasikan *sub-critical power plant* menggunakan aplikasi *Institute for the Design of Advanced Energy Systems Integrated Platform* (IDAES) untuk melihat pola operasi pada beban parsial. Parameter operasi yang digunakan sebagai variabel penelitian adalah *sliding pressure*, *burner tilt* dan *O₂ excess*. Dari hasil penelitiannya ada potensial perbaikan *efficiency* 0,4% sampai 0,9%, sedangkan saat beban tinggi dengan menaikkan suhu uap 10 – 20 K diatas temperatur maksimal saat ini diprediksi menaikkan efisiensi pembangkit 0,14% sampai 0,28%.

Analisa energetic dan exegetic pada pembangkit listrik superkritikal dengan membandingkan mode operasi *sliding pressure* dan *constant pressure*. Penelitian dilakukan pada beban parsial yaitu 100%, 80% dan 60% dari *normal continuous rating* (NCR). Hasil penelitian menunjukkan kerusakan *exergy* pada kondisi *sliding pressure* berturut turut untuk beban 100%, 80% dan 60% adalah 47,66 MW/37,88 MW/28,94 MW, sedangkan untuk kondisi *constant pressure* adalah 49,16 MW/43,22 MW/43,92 MW. Power input pada *Boiler feed pump* (BFP) juga mengalami penurunan sebesar 9,39%, 21,52% dan 42,5% pada beban berturut turut 100%, 80% dan 60% untuk kondisi operasi *sliding pressure* dibandingkan dengan kondisi operasi *constant pressure* (Adibatla, et al., 2014).

Susanto, et al (2022) melakukan analisa numerik karakteristik perpindahan panas pada *high pressure steam turbine* saat proses *shutdown* pembangkit listrik dengan metode operasi *sliding pressure*. Penelitian ini melihat kemungkinan mengurangi waktu pendinginan *turbine* saat proses *shutdown* sehingga mempercepat waktu perbaikan. Hasil dari analisa numerik menggunakan *computational fluid dynamic* (CFD) dua dimensi menunjukkan proses *shutdown* dengan *sliding pressure* mempercepat proses pendinginan dikarenakan saat *sliding pressure* terjadi kenaikan *steam flow* sehingga proses pendinginan *metal temperature turbine* lebih cepat.

Dalam dokumen EPRI yang berjudul *het rate improvement reference manual TR-109546* (2006) menyebutkan bahwa *variable pressure operation* dapat memperbaiki *HP turbine efficiency*. Referensi lain dari buku karangan K.C. Cotton yang berjudul *evaluating and improving steam turbine performance, 2nd edition (1998)* menyatakan bahwa *variable pressure/ sliding pressure* menunjukkan performa yang lebih baik dan temperatur uap yang lebih tinggi di beban dibawah 60%. Selain itu jika melihat pada *Mollier Diagram* (Lampiran 2) bahwa uap pada kondisi temperature yang sama namun tekanan yang lebih rendah akan memiliki nilai entalphy yang lebih besar.

Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan beberapa refensi *handbook* terkait penerapan pola operasi *sliding pressure* pada pembangkit listrik, menunjukkan bahwa pola operasi *sliding pressure* akan memberikan dampak perbaikan performa pembangkit listrik ketika beroperasi pada beban parsial. Perlu dilakukan penelitian untuk uji coba pengoperasian PLTU Paiton unit 8 dengan mode *sliding pressure* dan dibandingkan dengan mode *constant pressure* , untuk mengetahui perubahan performa dari pembangkit listrik, selain itu penelitian ini juga diharapkan dapat mengetahui parameter-parameter kritis operasi yang berubah dengan

diterapkannya pola operasi *sliding pressure* sehingga dapat melakukan mitigasi agar operasi pembangkit listrik masih dapat berjalan dengan normal. Beberapa parameter operasi yang menjadi bagian dari penelitian ini adalah *Turbine cycle heat rate*, *high pressure turbine efficiency*, kondisi *feed water* yang ada di *economizer*, minimum penurunan tekanan uap yang masih aman untuk kelancaran operasi pembangkit dan apakah ada penurunan dari konsumsi bahan bakar batu bara yang berdampak pada penurunan emisi gas rumah kaca dengan diterapkannya mode operasi *sliding pressure*. Penelitian dilakukan dengan membuat skema *heat balance* PLTU Paiton unit 8 pada simulasi komputer kemudian dengan merubah pola operasi dari *constant pressure* menjadi *sliding pressure* sehingga diharapkan dapat diketahui perkiraan peningkatan performansinya sebelum selanjutnya di terapkan langsung di PLTU Paiton unit 8.

1.2 Perumusan Masalah

Surplus energi listrik dari kapasitas terpasang yang mencapai 56% berdampak pada pola pembebanan PLTU Paiton unit 8 yang sebelumnya *base load* menjadi beban parsial. Dampak perubahan pola pembebanan ini menyebabkan penurunan performa pembangkit khususnya pada saat beban rendah.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang disebutkan di latar belakang, salah satu solusi untuk memperbaiki performa pembangkit saat beban parsial adalah dengan menerapkan pola operasi *sliding pressure*, namun PLTU Paiton unit 8 adalah PLTU yang didesain dengan pola operasi *constant pressure* sehingga diperlukan kajian untuk melihat pengaruh pola operasi *sliding pressure* jika diterapkan di PLTU Paiton unit 8. sehingga permasalahan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi dari *HP turbine* setelah menggunakan pola operasi *sliding pressure* ?
2. Bagaimana pengaruh penerapan pola operasi *sliding pressure* terhadap kinerja *boiler feed pump*?
3. Bagaimana kondisi dari *feed water* di *economizer* ketika tekanan uap diturunkan saat beroperasi dengan pola *sliding pressure* ?.
4. Berapa minimum tekanan uap yang diijinkan ketika beroperasi dengan pola *sliding pressure*?

5. Bagaimana performa pembangkit dilihat dari *turbine heat rate* setelah menggunakan pola operasi *sliding pressure* ?
6. Bagaimana performa pembangkit ditinjau dari Analisa termodinamika setelah beroperasi dengan *sliding pressure* yang dibandingkan dengan *constant pressure*?
7. Berapa potensi penghematan konsumsi batu bara dalam ton batu bara dan dalam rupiah dari penurunan *firing rate* dan penurunan emisi gas rumah kaca dari PLTU Paiton unit 8 setelah menerapkan pola operasi *sliding pressure*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan beberapa masalah di atas, tujuan penelitian dari penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perubahan performa PLTU Paiton unit 8 dengan penerapan pola operasi *sliding pressure*, khususnya pada efisiensi turbin HP saat beroperasi pada beban parsial, melalui metode simulasi yang kemudian diuji pada beban 350 MW, 450 MW, dan 610 MW untuk mengatasi masalah penurunan efisiensi di unit tersebut.
2. Menganalisa dampak penerapan *sliding pressure* terhadap operasi dari *boiler feed pump* pada beban 350 MW, 450 MW dan 610 MW. Ada potensi penurunan konsumsi daya dari *boiler feed pump* saat beroperasi *sliding pressure*.
3. Menganalisa kondisi *feed water* yang ada di *economizer* setelah diterapkannya pola operasi *sliding pressure*. Dengan diterapkannya pola operasi *sliding pressure* resiko terjadinya fenomena *feed water steaming* di *economizer* akan meningkat.
4. Menganalisa minimum tekanan uap yang diijinkan ketika beroperasi dengan pola *sliding pressure* pada beban minimum (350 MW).
5. Menganalisa performa pembangkit dari sisi *Net plant heat rate (NPHR)* untuk melihat performa pembangkit dari *scope* yang lebih luas ke *steam cycle system*.
6. Menganalisa pengaruh penerapan pola operasi *sliding pressure* terhadap efisiensi thermal pembangkit berdasarkan tinjauan Termodinamika.
7. Menganalisa pengaruh penerapan pola operasi *sliding pressure* terhadap potensi penurunan pemakaian energi batu bara dan penghematan biayanya karena perubahan *firing rate* dan juga potensi penurunan emisi karbon sebagai langkah dalam mendukung program penurunan emisi gas rumah kaca oleh pemerintah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan di PLTU Paiton unit 8 yang performanya menurun saat mendapatkan beban parsial oleh PLN dan juga dapat menemukan dampak lain pada parameter kritis operasi saat beroperasi dengan mode *sliding pressure* sehingga PLTU Paiton unit 8 tetap dapat beroperasi dengan aman dan efisiensinya tetap tinggi.

1.5 Originalitas Penelitian

Tabel 1. 2 Ringkasan Penelitian Terdahulu.

No	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	(Sehyoun et al, 2016)	<i>A Feasibility Study on Adopting Sliding pressure Operation for Drum Type Boiler</i>	<i>Net plant efficiency</i> meningkat dengan mode <i>sliding pressure</i> .	Penelitian dilakukan untuk pembangkit listrik dengan kapasitas kecil (100 MW)
			resiko <i>steaming</i> di <i>economizer</i> meningkat	hanya melakukan simulasi komputer, belum membandingkan hasil dengan ujicoba secara langsung
			<i>Life time</i> boiler meningkat karena stres menurun dengan turunnya tekanan uap akhir boiler	Tidak menghitung nilai penghematan energi dan penurunan emisi karbon dalam satu tahun.
2	(Elsik et al, 2022)	<i>Predictive 8istrik8g of a subcritical pulverized-coal power plant for optimization: Parameter estimation, validation, and application</i>	Ada potensial perbaikan efisiensi 0,4% sampai 0,9% dengan pola operasi <i>sliding pressure</i> .	Penelitian dilakukan untuk pembangkit 8istrik dengan kapasitas sedang (245 MW)
			menaikkan suhu uap 10 – 20 K diatas temperature maksimal saat ini diprediksi menaikkan efisiensi pembangkit 0,14% sampai 0,28%	Tidak menghitung nilai penghematan energi dan penurunan emisi karbon dalam satu tahun.

No	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
3	(Adibatla et al, 2014)	<i>Energy and exergy analysis of a super critical thermal power plant at various load conditions under constant and pure sliding pressure operation</i>	melakukan Analisa <i>energetic</i> dan <i>exergetic</i> pada pembangkit listrik superkritikal dengan membandingkan mode operasi <i>sliding pressure</i> dan <i>constant pressure</i>	Penelitian dilakukan di <i>boiler supercritical</i>
			Perusakan <i>exergy</i> pada kondisi <i>sliding pressure</i> berturut turut untuk beban 100%, 80% dan 60% adalah 47,66 MW/37,88 MW/28,94 MW	Tidak menghitung nilai penghematan energi dan penurunan emisi karbon dalam satu tahun.
			<i>Power input</i> pada BFP juga mengalami penurunan sebesar 9,39%, 21,52% and 42,5%	Tidak menganalisa dampak <i>sliding pressure</i> terhadap parameter-parameter kritis pembangkit
4	(Susanto. dkk, 2022)	<i>Numerical Study of Heat Transfer Characteristics in High Pressure Steam Turbine during Stop Unit Process with Sliding pressure</i>	melihat <i>heat transfer rate</i> pada <i>body main stop valve turbine</i> dengan analisa CFD.	Tidak meneliti pengaruh <i>sliding pressure</i> terhadap performance pembangkit.
			<i>sliding pressure</i> mempercepat proses pendinginan dikarenakan saat <i>sliding pressure</i> terjadi kenaikan <i>steam flow</i> sehingga proses pendinginan <i>metal temperature turbine</i> lebih cepat	Tidak menghitung nilai penghematan energi dan penurunan emisi karbon dalam satu tahun.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pola operasi *sliding pressure* memberikan dampak positif terhadap performa dari pembangkit Listrik tenaga uap saat beroperasi pada beban parsial seperti kondisi yang sedang terjadi di PLTU Paiton unit 8 yang juga sering beroperasi pada beban parsial, namun penelitian yang sudah ada masih dilakukan pada pembangkit Listrik pada kapasitas sedang (100-350 MW) dan kapasitas kecil (<100 MW) sedangkan PLTU Paiton unit 8 berkapasitas 610 MW yang tergolong PLTU dengan kapasitas besar, selain itu PLTU Paiton unit 8 berjenis *subcritical* dan didesain untuk beroperasi pada tekanan konstan (*constant pressure*) sehingga penelitian terkait pengaruh pola operasi *sliding pressure* perlu dilakukan agar dapat mengetahui apakah memang pola operasi *sliding pressure* berpengaruh terhadap performa pembangkit sehingga bisa mendapatkan metode operasi yang optimum untuk memperbaiki performa pembangkit PLTU Paiton unit 8 ketika beroperasi pada beban parsial.

