

Analisis Perbandingan Efisiensi Termal PLTU Berdasarkan *Net Plant Heat Rate* dengan Metode Uji Statistik Deskriptif dan *t-Test*: Studi Kasus pada PLTU di Kutai Kartanegara

Wahdiyaton Nisa¹, Bintang Bhakti Nugraha²

¹ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

² Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN

nisa.wahdiyaton97@gmail.com

Abstrak- *Net Plant Heat Rate* (NPHR) merupakan salah satu parameter penting untuk mengukur efisiensi termal pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Semakin rendah nilai NPHR, semakin efisien pembangkit tersebut. NPHR dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu beban *netto* (kWh yang disuplai), pemakaian batubara, dan nilai kalori batubara. Beban *netto* dan NPHR berhubungan langsung; semakin besar beban yang disuplai, NPHR cenderung lebih rendah, dan sebaliknya. Penelitian ini membandingkan efisiensi dua unit PLTU di Kutai Kartanegara dengan metode uji statistik deskriptif dan uji *t-Test*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata NPHR untuk unit 1 adalah 4492.34 kCal/kWh, sementara unit 2 memiliki NPHR rata-rata 4448.8 kCal/kWh. Ini menunjukkan unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi. Selain itu, *varians* NPHR pada unit 1 adalah 8271.28 kCal/kWh, sedangkan unit 2 lebih rendah, yaitu 6127.6 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan sebaran data NPHR unit 2 lebih kecil dan lebih konsisten. Uji statistik *t-Test* menunjukkan nilai *t-Stat* sebesar 2.02, yang lebih besar dari *t-Critical one-tail* (1.671) dan *t-Critical two-tail* (2.00). Nilai *P* ($T \leq t$) *one-tail* adalah 0.024 dan *P* ($T \leq t$) *two-tail* adalah 0.04786, yang keduanya lebih kecil dari taraf signifikansi sebesar 0.05. Ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara NPHR kedua unit, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hasil ini mengindikasikan bahwa efisiensi termal unit 2 lebih baik daripada unit 1 berdasarkan analisis statistik pada taraf signifikansi 5%.

Kata kunci: NPHR, PLTU, Uji Statistik, deskriptif, *t-Test*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik termal yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas, kemudian menjadi energi mekanik, dan akhirnya menjadi energi listrik [1]. PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang umum digunakan karena kemampuannya menghasilkan energi listrik secara efisien, sehingga memberikan keuntungan dalam hal ekonomi [2]. PLTU merupakan sumber listrik utama di Indonesia yang memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Efisiensi termal PLTU adalah rasio antara energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang dipergunakan. Efisiensi termal PLTU menunjukkan seberapa baik PLTU mengubah energi kimia menjadi energi listrik

dengan meminimalkan kerugian-kerugian panas dan mekanik [3].

Salah satu parameter yang mengukur efisiensi termal PLTU adalah *Net Plant Heat Rate* (NPHR), yaitu jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. NPHR merupakan indikator kinerja yang penting karena menunjukkan seberapa besar konsumsi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan. Semakin rendah NPHR, semakin tinggi efisiensi termal PLTU dan semakin rendah biaya operasi dan emisi gas rumah kaca [4].

Meningkatkan efisiensi termal PLTU merupakan tantangan yang kompleks dan memerlukan analisis yang teliti terhadap NPHR. Beberapa faktor yang mempengaruhi NPHR antara lain adalah nilai kalori bahan bakar, laju aliran massa uap, tekanan dan temperatur boiler, kerugian-kerugian pada ketel dan turbin, serta beban operasi PLTU. Dengan melakukan analisis NPHR, dapat diketahui faktor-faktor mana yang paling berpengaruh terhadap efisiensi termal PLTU dan bagaimana cara mengoptimalkannya [5]. PLTU yang akan diteliti pada penelitian ini adalah salah satu PLTU yang ada di Kalimantan Timur, Kutai Kartanegara. PLTU ini memiliki 2 pembangkit dengan kapasitas 1x60 MW dan 2x25 MW. Untuk mengetahui tingkat kehandalan pembangkit PLTU ini, khususnya pada bagian NPHR, maka perlu dilakukan analisis NPHR. Untuk membatasi penelitian agar dapat berfokus dan didapatkan hasil analisis yang mendetail, maka penelitian ini berfokus pada unit 2x25 MW saja. Selain itu, dilakukannya penelitian ini bertujuan pula untuk menganalisis efisiensi termal PLTU dengan kapasitas 2x25 MW terhadap pengaruh nilai kalori batu bara dengan menggunakan metode uji statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data NPHR dari kedua PLTU, sedangkan uji *t-Test* akan digunakan untuk menguji hipotesis apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi praktis bagi pengelola PLTU dalam upaya meningkatkan efisiensi operasi, mengoptimalkan pemakaian bahan bakar batubara, serta menekan biaya produksi listrik. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi teknis dan akademis bagi penelitian lanjutan di masa mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Efisiensi Termal

Efisiensi termal PLTU adalah rasio antara energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang dipergunakan. Efisiensi termal PLTU menunjukkan seberapa baik PLTU mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan meminimalkan kerugian-kerugian panas dan mekanik. Efisiensi termal PLTU sangat dipengaruhi oleh nilai kalori bahan bakar, yaitu jumlah energi yang dilepaskan saat bahan bakar dibakar. Nilai kalori bahan bakar berbeda-beda tergantung pada jenis dan kualitas bahan bakar yang digunakan. Pada PLTU di Indonesia, salah satu bahan bakar utama yang digunakan adalah batubara.

Beberapa penelitian terkait efisiensi termal PLTU telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Napianus pada tahun 2018 menganalisis tentang bagaimana suatu beban akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), laju kalor, dan efisiensi termal pada PLTU Sintang 3 x 7 MW [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar beban yang ada maka semakin kecil nilai SFC dan laju kalor dengan kenaikan efisiensi termalnya, begitupun sebaliknya. Arfiansyah pada tahun 2023 melakukan penelitian tentang analisis bagaimana pengaruh *overhaul* terhadap efisiensi termal PLTU Bengkayang 2 x 50 MW. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan nilai SFC dan laju kalor setelah *overhaul* dengan peningkatan nilai efisiensi termal [2]. Selain itu, Harfani dkk pada tahun 2021 meneliti bagaimana penggunaan metode *direct* untuk mengetahui *Net Plant Heat Rate* (NPHR) pada unit 10 PLTU Rembang ketika unit 20 sedang *overhaul*. Metode *direct* adalah metode pengukuran langsung yang dilakukan pada saat pembangkit listrik sedang beroperasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NPHR unit 10 di PLTU Rembang adalah 2.558,5 kJ/kWh [5].

B. Net Plant Heat Rate (NPHR)

Salah satu parameter yang mengukur efisiensi termal PLTU adalah *Net Plant Heat Rate* (NPHR), yaitu jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. NPHR merupakan indikator kinerja yang penting karena menunjukkan seberapa besar konsumsi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan. Semakin rendah NPHR, semakin tinggi efisiensi termal PLTU dan semakin rendah biaya operasi dan emisi gas rumah kaca. Adapun nilai NPHR pada suatu pembangkit didapatkan dari persamaan 1 [7].

$$\text{NPHR} = \frac{\text{Pemakaian BB (Coal Flow) x Kalori}}{\text{Beban netto (kWh netto)}} \quad (1)$$

C. PLTU di Kutai Kartanegara Kapasitas 2X25 MW

PLTU ini merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi uap dari pembakaran batubara untuk menghasilkan energi listrik. PLTU yang berlokasi Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur ini merupakan pembangkit listrik yang berada pada sistem khatulistiwa transmisi Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur. PLTU ini

menggunakan boiler tipe *pulverize* dengan kapasitas masing masing unit adalah 2x25 MW.

D. Statistik Deskriptif

Tujuan dari statistik deskriptif adalah untuk memberikan deskripsi atau gambaran mengenai obyek yang diteliti berdasarkan data sampel atau populasi secara ringkas untuk memberikan informasi yang lebih mudah dipahami [8]. Beberapa contoh penyajian data dalam statistik deskriptif adalah tabel, diagram, dan grafik [10]. Data yang disajikan di statistik deskriptif umumnya berupa ukuran data terpusat. Salah satu ukuran data terpusat yang sering digunakan adalah rata-rata.

E. Uji t-Test

Hipotesis merupakan pernyataan sementara atau dugaan awal yang dibuat untuk menjelaskan suatu fenomena yang sedang diamati dalam upaya memahaminya. Dalam konteks statistik, hipotesis adalah asumsi atau pernyataan tertentu mengenai satu atau lebih populasi, yang kebenarannya masih perlu dibuktikan. Hipotesis yang disusun dengan tujuan untuk diuji dan kemungkinan ditolak disebut hipotesis nol (H_0). Apabila H_0 ditolak, maka hipotesis alternatif (H_1) akan diterima sebagai gantinya [9].

Uji-t (*t-Test*) termasuk salah satu metode dalam uji statistik. Uji statistik dengan metode ini digunakan untuk mengukur bagaimana pengaruhnya suatu variabel independen terhadap variabel dependen. Pengujian ini dilaksanakan dengan menggunakan tingkat signifikansi sebesar 0,05 ($\alpha = 5\%$) [9]. Penerimaan atau penolakan hipotesis pada pengujian ini ditentukan berdasarkan kriteria pengujian sebagai berikut:

1. Apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0.05, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_1) ditolak. Sehingga dapat diartikan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan pada variabel independen terhadap variabel dependen.
2. Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0.05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variabel independen terhadap variabel dependen.

Adapun rumus yang digunakan dalam uji-t adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (2)$$

Dimana:

$\bar{x}_1$ = rata - rata sampel 1

$\bar{x}_2$ = rata - rata sampel 2

n_1 = jumlah sampel 1

n_2 = jumlah sampel 2

s_1 = simpangan baku sampel 1

s_2 = simpangan baku sampel 2

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan pendekatan uji statistik deskriptif dan *t-Test two sample* untuk membandingkan efisiensi termal PLTU berdasarkan NPHR. Uji statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data NPHR dari kedua PLTU, sedangkan uji *t-Test* digunakan untuk menguji hipotesis apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Selain itu, ketika telah diketahui hasil perbandingan efisiensi masing-masing PLTU secara pasti maka akan lebih mudah dilakukan rencana perbaikan terhadap unit yang memiliki nilai efisiensi rendah. Adapun teknik pengumpulan data meliputi data jenis kalori, batu bara yang digunakan dan data pembangkit PLTU 2x25 MW. Setelah data didapatkan, maka dilakukan perhitungan terhadap data tersebut untuk mendapatkan nilai NPHR masing-masing unit. Alasan mengapa metode tersebut dipilih karena metode tersebut dapat menghasilkan informasi yang relevan tentang efisiensi termal PLTU berdasarkan NPHR. Dengan menggunakan metode tersebut, dapat diketahui karakteristik data NPHR dari kedua PLTU dan apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU yang dipengaruhi oleh nilai kalori batu bara.

Adapun langkah dan tahapan penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data utama mengenai operasi PLTU diperoleh dari laporan tahunan PLTU kutai kartanegara pada bulan Mei tahun 2023, yang memuat informasi terperinci mengenai performa operasional pembangkit. Data tersebut mencakup berbagai parameter penting seperti kapasitas pembangkitan, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, jam operasi unit, serta kondisi lingkungan operasional. Pengambilan data dilakukan secara hati-hati dengan memastikan bahwa seluruh informasi yang digunakan merupakan data valid dan relevan.
2. Pengumpulan data NPHR. Data NPHR adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. Data NPHR diperoleh dari perhitungan berdasarkan data operasi PLTU, seperti nilai kalori bahan bakar, laju aliran massa uap, tekanan dan temperatur boiler, kerugian-kerugian pada ketel dan turbin, serta beban operasi PLTU.
3. Pendekatan analisis statistik. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji statistik deskriptif dan *t-Test*. Uji statistik deskriptif digunakan untuk menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, nilai maksimum, dan rentang data NPHR dari kedua PLTU. Uji *t-Test* digunakan untuk menguji hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Uji *t-Test* yang digunakan adalah *t-Test* dua sampel dengan asumsi *varians* tidak sama (*t-Test: two-sample assuming unequal variances*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

TABEL 1
DATA PEMBANGKIT PLTU BULAN MEI 2023

Date	kWh Bruto		kWh Netto		Auxiliary		Coal Flow		Calory	
	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2
01-Mei-2023	23,030	21,020	20,525	18,321	2,506	2,699	23,235	20,694	4,008	3,878
02-Mei-2023	23,366	22,276	20,853	19,567	2,513	2,709	23,580	22,110	4,008	3,878
03-Mei-2023	23,061	22,070	20,648	19,297	2,414	2,773	23,349	21,790	4,008	3,879
04-Mei-2023	23,093	22,144	20,638	19,401	2,456	2,743	23,340	21,914	4,003	3,895
05-Mei-2023	22,376	21,137	19,833	18,503	2,543	2,633	22,431	20,887	4,008	3,895
06-Mei-2023	22,204	20,582	19,633	17,928	2,571	2,654	22,210	20,251	4,008	3,893
07-Mei-2023	22,488	21,671	19,986	19,023	2,501	2,649	22,598	21,473	4,008	3,854
08-Mei-2023	21,669	20,888	19,310	18,189	2,359	2,698	21,844	20,569	4,008	3,854
09-Mei-2023	24,610	24,495	21,893	22,372	2,718	2,124	24,184	25,198	4,008	3,854
10-Mei-2023	25,981	24,031	23,626	21,610	2,355	2,422	26,749	23,848	4,008	3,854
11-Mei-2023	25,210	23,843	22,084	21,792	2,126	2,051	25,005	24,628	4,008	3,854
12-Mei-2023	23,249	21,849	20,368	19,623	2,880	2,226	23,028	22,164	4,012	3,890
13-Mei-2023	24,435	20,467	21,689	18,105	2,746	2,362	24,525	20,433	4,004	3,891
14-Mei-2023	25,501	23,915	22,703	21,421	2,798	2,493	25,666	24,177	3,816	3,923
15-Mei-2023	25,418	24,347	22,499	21,635	2,919	2,713	25,490	24,485	3,816	3,986
16-Mei-2023	24,812	23,723	21,941	21,063	2,912	2,660	24,807	23,758	3,816	3,986
17-Mei-2023	25,157	22,959	22,331	20,392	2,825	2,568	25,137	22,871	3,816	3,996
18-Mei-2023	24,573	22,477	21,568	19,623	3,005	2,854	24,507	22,309	4,001	3,996
19-Mei-2023	24,732	22,994	21,921	20,294	2,812	2,700	24,743	22,891	4,001	3,996
20-Mei-2023	25,056	23,518	22,207	20,782	2,850	2,736	25,170	23,500	4,001	3,996
21-Mei-2023	24,919	24,241	22,058	21,548	2,861	2,692	24,863	24,010	4,001	3,996
22-Mei-2023	24,017	23,254	21,155	20,472	2,862	2,782	25,237	23,131	4,001	3,996
23-Mei-2023	23,895	22,221	21,053	19,462	2,843	2,759	23,801	21,970	4,001	3,996
24-Mei-2023	19,711	23,989	17,514	21,322	2,197	2,667	19,400	24,095	3,993	3,996
25-Mei-2023	24,625	23,732	21,997	21,218	2,628	2,514	24,925	23,867	3,982	3,996
26-Mei-2023	23,890	23,011	21,290	20,452	2,600	2,559	24,079	23,103	3,973	3,999
27-Mei-2023	21,282	20,512	18,770	18,022	2,512	2,490	21,218	20,358	3,960	4,059
28-Mei-2023	21,826	20,544	19,259	18,130	2,567	2,414	21,778	20,473	3,954	3,995
29-Mei-2023	23,131	22,247	20,591	19,671	2,540	2,576	23,278	22,209	3,954	3,995
30-Mei-2023	25,515	23,880	22,761	21,104	2,754	2,776	25,754	23,849	3,954	3,995
31-Mei-2023	22,872	22,137	20,238	19,574	2,633	2,563	22,825	22,059	3,954	3,995

Sumber: Data harian PLTU Kutai Kartanegara

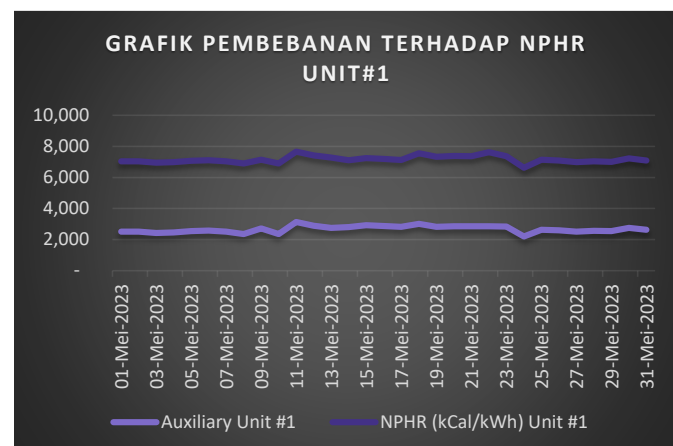
Produksi energi listrik pada PLTU yang ada di Kutai Kartanegara ini secara langsung dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar batubara yang digunakan dalam proses pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang selanjutnya diubah menjadi daya listrik dan disalurkan ke jaringan transmisi guna memenuhi kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan Kalimantan. Dalam rangka menjaga keandalan operasi pembangkit serta memastikan bahwa setiap unit bekerja pada kondisi optimal, maka diperlukan proses monitoring atau pemantauan kondisi operasi unit secara berkelanjutan. Proses monitoring ini dilakukan dengan memperhatikan sejumlah parameter utama yang menjadi indikator kesiapan pembangkit dalam beroperasi, antara lain kWh *bruto* (*gross power*) yang menunjukkan total daya listrik yang dihasilkan oleh turbin generator sebelum dikurangi beban internal, kWh *netto* (*net power*) yang merupakan daya bersih yang disalurkan ke jaringan setelah memperhitungkan kebutuhan daya sendiri, konsumsi *auxiliary power* yang menggambarkan besarnya energi yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan bantu di dalam pembangkit, serta konsumsi batubara, yaitu jumlah bahan bakar (*coal flow*) yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik tertentu. Seluruh parameter tersebut direkapitulasi dan dianalisis secara harian dengan periode pengamatan selama 24 jam penuh, dimulai dari pukul 00.00 WITA hingga 24.00 WITA, sehingga menghasilkan data operasi yang bersifat kumulatif dan representatif terhadap performa unit dalam satu hari. Hasil rekap ini kemudian dimasukkan atau di-input ke dalam laporan produksi harian, yang selanjutnya dijadikan sebagai dasar dalam pemantauan efisiensi energi pembangkit, khususnya untuk menghitung nilai NPHR harian sebagai indikator seberapa efisien bahan bakar dikonversi menjadi energi listrik. Adapun penyajian data hasil monitoring produksi harian unit 1 dan unit 2 PLTU ini yang mencakup parameter-

parameter operasi utama sebagai bahan evaluasi kinerja dan efisiensi pembangkit dapat dilihat pada Tabel 1.

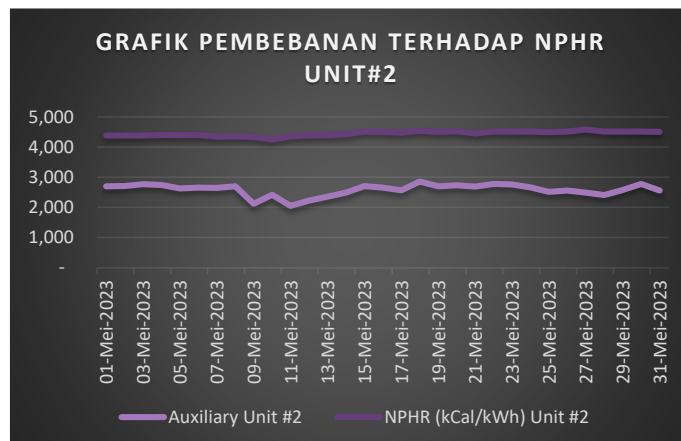
TABEL 2
DATA HASIL PERHITUNGAN NPHR PEMBANGKIT PLTU
BULAN MEI 2023

Date	kWh Netto		Coal Flow		Calory		NPHR (kCal/kWh)	
	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2
01-Mei-2023	20,525	18,321	23,235	20,694	4,008	3,878	4,537.30	4,380.27
02-Mei-2023	20,853	19,567	23,580	22,110	4,008	3,878	4,532.17	4,381.93
03-Mei-2023	20,648	19,297	23,349	21,790	4,008	3,879	4,532.31	4,379.80
04-Mei-2023	20,638	19,401	23,340	21,914	4,003	3,895	4,527.32	4,399.54
05-Mei-2023	19,833	18,503	22,431	20,887	4,008	3,895	4,533.00	4,396.42
06-Mei-2023	19,633	17,928	22,210	20,251	4,008	3,893	4,534.07	4,397.31
07-Mei-2023	19,986	19,023	22,598	21,473	4,008	3,854	4,531.69	4,350.76
08-Mei-2023	19,310	18,189	21,844	20,569	4,008	3,854	4,533.93	4,358.56
09-Mei-2023	21,893	22,372	24,184	25,198	4,008	3,854	4,427.40	4,341.19
10-Mei-2023	23,626	21,610	26,749	23,848	4,008	3,854	4,537.71	4,253.57
11-Mei-2023	22,084	21,792	25,005	24,628	4,008	3,854	4,538.15	4,356.08
12-Mei-2023	20,368	19,623	23,028	22,164	4,012	3,890	4,535.53	4,393.30
13-Mei-2023	21,689	18,105	24,525	20,433	4,004	3,891	4,527.16	4,391.39
14-Mei-2023	22,703	21,421	25,666	24,177	3,816	3,923	4,314.51	4,427.71
15-Mei-2023	22,499	21,635	25,490	24,485	3,816	3,986	4,323.57	4,511.40
16-Mei-2023	21,941	21,063	24,807	23,758	3,816	3,996	4,314.94	4,507.50
17-Mei-2023	22,331	20,392	25,137	22,871	3,816	3,996	4,295.91	4,482.24
18-Mei-2023	21,568	19,623	24,507	22,309	4,001	3,996	4,546.42	4,543.34
19-Mei-2023	21,921	20,294	24,743	22,891	4,001	3,996	4,516.44	4,507.68
20-Mei-2023	22,207	20,782	25,170	23,500	4,001	3,996	4,535.25	4,519.06
21-Mei-2023	22,058	21,548	24,863	24,010	4,001	3,996	4,510.16	4,452.86
22-Mei-2023	21,155	20,472	25,237	23,131	4,001	3,996	4,773.38	4,515.54
23-Mei-2023	21,053	19,462	23,801	21,970	4,001	3,996	4,523.71	4,511.30
24-Mei-2023	17,514	21,322	19,400	24,095	3,993	3,996	4,422.75	4,516.15
25-Mei-2023	21,997	21,218	24,925	23,867	3,982	3,996	4,511.86	4,495.29
26-Mei-2023	21,290	20,452	24,079	23,103	3,973	3,999	4,493.63	4,517.18
27-Mei-2023	18,770	18,022	21,218	20,358	3,960	4,059	4,476.32	4,585.04
28-Mei-2023	19,259	18,130	21,778	20,473	3,954	3,995	4,471.49	4,511.73
29-Mei-2023	20,591	19,671	23,278	22,209	3,954	3,995	4,470.30	4,510.71
30-Mei-2023	22,761	21,104	25,754	23,849	3,954	3,995	4,474.47	4,515.10
31-Mei-2023	20,238	19,574	22,825	22,059	3,954	3,995	4,459.68	4,502.52

Berdasarkan hasil perhitungan harian yang dilakukan terhadap nilai NPHR pada periode Mei 2023 dengan menggunakan persamaan 1, maka didapatlah nilai NPHR sebagaimana yang tertera pada Tabel 2 untuk masing-masing unit. Berdasarkan nilai NPHR tersebut, maka dapat dibuat grafik pembebanan terhadap nilai NPHR sebagaimana yang ada pada Gambar 1 untuk unit 1 dan pada Gambar 2 untuk unit 2. Dari Gambar 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa peningkatan NPHR terjadi ketika adanya peningkatan nilai *auxiliary* pada masing-masing unit.



Gambar 1. Grafik hubungan pembebanan terhadap NPHR Unit 1



Gambar 2. Grafik hubungan pembebanan terhadap NPHR Unit 2

Untuk menarik kesimpulan dan perbandingan dari data tersebut, perlu dilakukan pengujian statistik deskriptif. Hal ini bertujuan untuk menguji validitas data dan karakteristik dari data yang dihasilkan pada perhitungan NPHR tersebut. Hasil Uji statistik disini dilakukan menggunakan *software Microsoft excel*. Adapun hasil dari uji statistik deskriptif dapat dilihat pada tabel 3. Pada uji statistik deskriptif didapatkan nilai *mean* NPHR dari unit 1 adalah 4492.34 kCal/kWh dan nilai *mean* NPHR pada unit 2 adalah 4448.8 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa PLTU Unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi daripada PLTU unit 1 karena membutuhkan kalor yang lebih rendah untuk menghasilkan satu kWh listrik. Selain itu, *varians* NPHR dari PLTU unit 1 adalah 8271.28 kCal/kWh, sedangkan *varians* NPHR dari PLTU unit 2 adalah 6127.61 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran data NPHR dari PLTU unit 2 lebih kecil daripada PLTU unit 1, yang berarti data NPHR dari PLTU unit 2 lebih konsisten dan stabil daripada PLTU unit 1.

TABEL 3
HASIL UJI STATISTIK DESKRIFTIF

Variable	Unit #1	Unit #2
Mean	4492.34	4448.8
Standard Error	16.3345	14.059
Median	4523.71	4482.2
Mode	0	0
Standard Deviation	90.9466	78.279
Sample Variance	8271.28	6127.6
Kurtosis	2.99679	-0.555
Skewness	-0.0441	-0.465
Range	477.473	331.47
Minimum	4295.91	4253.6
Maximum	4773.38	4585
Sum	139263	137912
Count	31	31

TABEL 4
HASIL UJI *t*-TEST

<i>t</i> -Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	Unit #1	Unit #2
Mean	4492.33962	4448.79
Variance	8271.27569	6127.6092
Observations	31	31
Hypothesized Mean Difference	0	
df	59	
<i>t</i> Stat	2.02069391	
$P(T \leq t)$ one-tail	0.02392879	
<i>t</i> Critical one-tail	1.67109303	
$P(T \leq t)$ two-tail	0.04785758	
<i>t</i> Critical two-tail	2.00099538	

Berdasarkan hasil pengujian statistik inferensial menggunakan metode independent sample *t*-test dua sampel dengan asumsi *varians* tidak sama, diperoleh nilai statistik uji *t* Stat sebesar 2,02. Nilai tersebut dihitung berdasarkan persamaan 2 dengan menggunakan nilai rata-rata, simpangan baku, dan jumlah sampel NPHR dari masing-masing unit PLTU. Selanjutnya, nilai *p*-value diperoleh secara komputasional menggunakan perangkat lunak *microsoft excel* melalui fungsi *t*-Test. Hasil perhitungan menunjukkan nilai $P(T \leq t)$ one-tail sebesar 0,024 dan $P(T \leq t)$ two-tail sebesar 0,04786. Kedua nilai tersebut lebih kecil dibandingkan taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$), sehingga hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak terdapat perbedaan nilai NPHR antara kedua unit PLTU ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara efisiensi termal Unit 1 dan Unit 2 berdasarkan nilai NPHR.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif dan uji statistik inferensial terhadap nilai NPHR, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara efisiensi termal PLTU unit 1 dan unit 2. Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa nilai rata-rata NPHR unit 2 (4448,80 kCal/kWh) lebih rendah dibandingkan unit 1 (4492,34 kCal/kWh), yang mengindikasikan bahwa unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih baik. Hasil uji *independent sample t*-Test dengan taraf signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa nilai *p*-value lebih kecil dari 0,05, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan nilai NPHR antara kedua unit tidak terjadi secara kebetulan, melainkan signifikan secara statistik. Perbedaan efisiensi termal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor operasional, antara lain nilai kalori bahan bakar, konsumsi daya bantu (*auxiliary power*), serta karakteristik beban operasi masing-masing unit PLTU.

REFERENSI

- [1] A. Apriyanto, "Analisis efisiensi termal pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) terhadap pengaruh nilai kalori batu bara," *Jurnal Ilmu Teknik*.

- Teknika Sains Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai*, vol. 3, no. 1, pp. 41-48, Jun 2018.
- [2] Arfiansyah, M. Yandri, dan A. Hiendro, "Analisis pengaruh *overhaul* terhadap efisiensi termal PLTU Bengkayang 2 × 50 MW," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-9, Jan 2023.
- [3] A. H. Prambudi, "Analisis konversi energi batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT Indorama *Synthetics Tbk*," Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia., Agt 2015.
- [4] H. Y. Kurniawan, H. Gunawan dan B. Maluegha, "Kajian efisiensi termal dari boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1," *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 92-103, Nov 2015.
- [5] H. Satria, M. Haddin dan A. A. Nugroho, "Metode direct untuk mengetahui net plant heat rate Unit 10 PLTU Rembang ketika simple inspection Unit 20," *Media Elektrika. Jurnal Universitas Muhammadiyah Semarang*, vol. 14, no.1, pp. 42-52, Jun 2021.
- [6] N. Budianto, K. H. Kwee, dan A. Hiendro, "Analisa pengaruh laju kalor terhadap efisiensi termal PLTU Sintang (3x7 MW)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 1-5, Jul 2018.
- [7] Yolnardi dan S. A. Nainggolan, "Analisa peningkatan nilai net plant heat rate (NPHR) pada Unit 1 PLTU Tenayan 2 x 110 MW," *Jurnal Surya Teknika. Universitas Muhammadiyah Riau*, vol. 8, no. 1, pp. 259-264, Jul 2021.
- [8] Dewi, T. Trisnawati, dan M. Kristina, "The drill method with realistic approach to improve learning outcomes of descriptive statistics in higher education," *Jurnal Inovasi Pembelajaran. Universitas Muhammadiyah Malang*, vol. 6, no. 2, pp. 215-226, Nov 2020.
- [9] R. Magdalena dan A.K. Maria, "Analisis penyebab dan solusi rekonsiliasi finished goods menggunakan hipotesis statistik dengan metode pengujian independent sample *t*-Test di PT. Merck, Tbk," *Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering). Universitas Bina Dharma*, vol. 16, no. 1, pp. 35-48, Apr 2019.
- [10] L. D. Martias, "Statistika deskriptif sebagai kumpulan informasi," *FIHRIS: Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi*, vol. 16, no. 1, Jun 2021.