

PENGARUH PERUBAHAN *TERMINAL TEMPERATUR DIFFERENCE* (TTD) DAN DRAIN COOLER (DCA) *FEED WATER HEATER* TERHADAP PERFORMA PLTU MENGGUNAKAN SIMULASI CYCLE TEMPO 5.1

Romi Djafar¹, Yunita Djamalu², Syaiful Umela³, Abd. Rasyid Salim⁴,

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo, ⁵ Program Studi Arsitektur Unugo

*email: romidjafarmesin@gmail.com.id¹⁾

Nomor Telp : +62 813-5634-2126

Asal Negara: Indonesia

ABSTRAK

Performa *feedwater heater* (FWH) dapat dipantau secara periodik dengan meninjau nilai *terminal temperature different* (TTD) dan *drain cooler approach* (DCA). Pemantauan nilai tersebut dengan membandingkan antara kondisi aktual dan nilai hasil komissioning. Semakin rendah nilai TTD dan DCA maka efektifitas kerja dari FWH semakin baik. Secara umum nilai TTD berkisar antara 2.8 °C sampai dengan -2.8 °C sedangkan DCA antara 5.6 °C sampai dengan 1 °C. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan menggunakan simulasi cycle tempo terhadap pembangkit PLTU Molotabu Gorontalo 2 x 12.5 MW untuk meninjau seberapa besar pengaruh perubahan nilai TTD dan DCA dari *low feedwater* dan *high feedwater heater*. Adapun variasi yang digunakan berturut-turut adalah TTD dengan nilai (°C) 2.8; 2; 0; -2 dan -2.8 sedangkan DCA) masing-masing (°C) 5.6; 5; 4; 3; 2 dan 1. Tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimana transfer panas pada kedua FWH yang dihasilkan dari pemodelan dan efeknya terhadap *Net Plant Hear Rate* (NPHR) serta efisiensi sistem PLTU. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh menggunakan variasi TTD dan DCA pada *low feedwater heater* menghasilkan perpindahan panas pada heater 144830 kW dan 1761.48 kW. Sedangkan pada *high feedwater heater* menghasilkan perpindahan panas pada heater 3400.13 kW dan 3795.24 kW. Adapun kesetimbangan energi diperoleh daya gross terendah sebesar 26.32 % dan tertinggi 26.5%. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai NPHR tertinggi sebesar 21634.24 kg/kJ/h mendapatkan nilai efisiensi 25.87%. sedangkan NPHR terendah yaitu 25130.43 kg/kJ/h rendah NPHR menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 26%.

Kata Kunci: Simulasi, TTD, DCA, Efisiensi sistem.

ABSTRACT

Feedwater heater (FWH) performance can be monitored periodically by reviewing the terminal temperature difference (TTD) and drain cooler approach (DCA) values. Monitoring this value by comparing the actual condition and the value resulting from commissioning. The lower the TTD and DCA values, the better the work effectiveness of FWH. In general, the TTD value ranges between 2.8 °C to -2.8 °C while the DCA is between 5.6 °C to 1 °C. In this research, modeling was carried out using a cycle tempo simulation of the Molotabu Gorontalo 2 x 12.5 MW PLTU generator to review how much influence the changes in TTD and DCA values of the low feedwater and high feedwater heaters have. The variations used respectively are TTD with a value (°C) of 2.8; 2; 0; -2 and -2.8 while DCA) respectively (°C) 5.6; 5; 4; 3; 2 and 1. The aim of the research is to find out how heat transfer occurs in the two FWHs resulting from modeling and its effect on the Net Plant Hear Rate (NPHR) and the efficiency of the PLTU system. Based on the simulation results obtained using variations of TTD and DCA on the low feedwater heater, the heat transfer in the heater is 144830 kW and 1761.48 kW. Meanwhile, the high feedwater heater produces heat transfer to the heater of 3400.13 kW and 3795.24 kW. As for energy balance, the lowest gross power was 26.32% and the highest was 26.5%. Based on the analysis results, the highest NPHR value was 21634.24 kg/kJ/h, getting an efficiency value of 25.87%. while the lowest NPHR is 25130.43 kg/kJ/h low NPHR produces the highest efficiency of 26%.

Keywords: Simulation, TTD, DCA, System efficiency.

1. PENDAHULUAN

doi: <https://doi.org/10.62299/jeme.vi.9> p-issn/e-issn: /3030-9867/3046-5850

Template *Journal of Energy and Mechanical Engineering*, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo

Siklus Rankine dapat ditingkatkan performanya dengan melakukan penambahan beberapa komponen seperti *close feedwater heater* (FWH). FWH berfungsi untuk memanaskan fluida kerja berupa air secara bertahap sebelum menuju boiler. Dampak meningkatkannya temperatur fluida kerja yang menuju ke boiler, kalor yang masuk ke pembangkit menjadi lebih rendah dan hal ini akan meningkatkan efisiensi pembangkit dan mengurangi pemakaian jumlah bahan bakar yang digunakan (1)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas rendah biasanya memiliki 3 komponen FWH yaitu 2 unit *close feedwater heater* (Low LPH dan High HPH) dan 1 unit *open feedwater deaerator*. Ketiga FWH tersebut memiliki tingkatan suhu yang berbeda-beda dengan memanfaatkan panas dari ekstraksi turbin.

Kinerja *feedwater heater* dinyatakan sebagai kemampuan untuk memanaskan air umpan sampai suhu tertentu. Sehingga hal tersebut dapat mengurangi beban termal boiler tetapi menurunkan daya bangkitan turbin. Tiga parameter utama yang dapat digunakan untuk memonitor performa *feedwater heater* yaitu *feedwater heater temperature rise* (TR), *terminal temperature difference* (TTD) dan *drain cooler approach* (DCA). TTD didefinisikan perbedaan antara temperatur uap jenuh ekstraksi turbin dan temperatur air umpan keluar. Nilai TTD besar akan mengurangi koefisien perpindahan panas sedangkan TTD yang kecil akan menunjukkan kinerja *feed water heater* semakin baik. DCA didefinisikan perbedaan temperatur drain yang keluaran *feedwater heater*, dengan temperatur air masuk ke *feedwater heater*.

Semakin rendah nilai TTD dan DCA, semakin efisien siklus sistem, hal ini disebabkan semakin besar luasan permukaan pemanas. Semakin efisien siklus menghasilkan laju panas yang lebih rendah dan mengurangi biaya bahan bakar, sedangkan luas permukaan yang lebih besar mengakibatkan biaya operasional bahan bakar lebih tinggi (2).

Berdasarkan fakta secara eksperimen maka minimum DCA pendingin internal drain 5.6°C dan eksternal *drain cooler approach* minimum 1°C. Sedangkan *low feedwater heater* tanpa *desuperheating zone* minimum TTD sebesar (2.8°C) sedangkan *high pressure feedwater heater* yang menggunakan *desuperheating zone* TTD adalah 0°C sampai -2.8°C. (3).

Jian-qun Xu dkk (4) melakukan analisis menggunakan model matematika untuk evaluasi tiga zone *feedwater heater*. Tujuannya untuk mengetahui karakteristik *feedwater heater* yang bekerja pada level fluida yang rendah. Pemodelan dilakukan terhadap 1 unit *high pressure heater* pada sebuah pembangkit dengan kapasitas 330 MW. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *terminal temperature different* (TTD), dianggap sebagai

kriteria untuk menentukan level *drain* yang tepat melalui penyetelan pengujian. Nilai TTD akan berubah seiring berubahnya beban turbin dan level *drain*. Namun penelitian tersebut hanya meninjau level *drain* yang rendah saja dimana kajiannya tidak meninjau pengaruh TTD terhadap perubahan beban turbin dan laju termal yang maksimal.

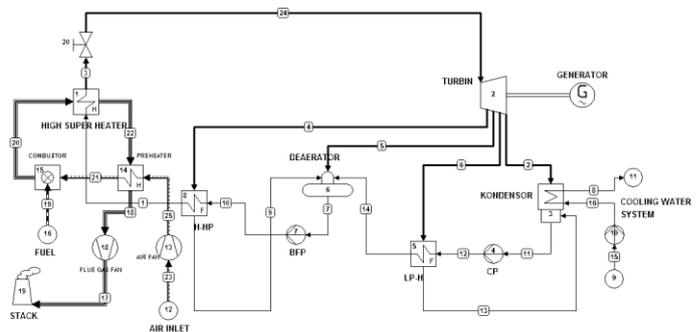
Penelitian ini didasarkan yang telah dilakukan oleh Jian-qun Xu dkk, (2014) dan Woudstra dkk, (2010). Dimana Jian-qun Xu dkk, (2014) melakukan analisis karakteristik *feedwater heater* yaitu pengaruh level fluida dan *terminal temperature different* terhadap performa pembangkit namun analisis tersebut tidak menghitung perubahan level fluida dari beban rendah sampai beban maksimal. Sedangkan Woudstra dkk, (2010) optimasi sistem menggunakan konsep energi melalui pemodelan cycle-tempo.

Adapun indikator TTD yang digunakan antara 2.8°C sampai dengan -2.8°C sedangkan DCA antara 5.6 °C sampai dengan 1°C.

2. METODE PENELITIAN

Pemodelan *power plant* ini menggunakan data design dimana parameter input berupa *initial condition* yaitu tekanan (P) 49 bar dan temperatur 470°C dan laju aliran massa sebesar 14.694 kg/s dan daya gross 12.5Mw. Kemudian dari data design tersebut dilakukan validasi menggunakan cycle-tempo diperoleh nilai baru tekanan 49 bar temperatur 470°C laju aliran massa 14.691 dan daya gross 12500.17 kW. Sehingga di peroleh faktor koreksi antara data desain dan simulasi yang tidak terlalu berbeda signifikan. Kemudian dilakukan pemodelan menggunakan variasi indikator terminal temperatur different (°C) 2.8; 2; 0; -2 dan -2.8 Sedangkan variasi *drain cooler approach* (DCA) masing-masing (°C) 5.6; 5; 4; 3; 2 dan 1.

Berdasarkan *proces flow diagram* (PFD), dilakukan instalasi model sistem PLTU pada software cycle-tempo. Pemodelan sistem PLTU pada cycle-tempo ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Model Pembangkit PLTU Gorontalo daya gross 2x12.5 MW pada Cycle-Temp

2.1 Studi Literatur PLTU Molotabu Gorontalo

Model pembangkit yang digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap PLTU Molotabu Gorontalo dengan daya gross sebesar 2x12.5MW. Model pembangkit terdiri dari satu boiler, satu turbin uap dihubungkan dengan generator, kondensor, dua macam *feedwater* dan satu deaerator. Jenis turbin uap yang digunakan pada pembangkit ini adalah high pressure turbine. Dimana terdapat tiga ekstraksi. Ekstraksi pertama dan ketiga menuju *close feedwater* dan kedua menuju *open feedwater/deaerator*

2.2 Spesifikasi Komponen Feedwaterheater Molotabu Gorontalo

Spesifikasi *high pressure feedwater heater*

Untuk *high pressure feedwater heater* temperatur *superheated* menuju *secondary flow* sebesar 274°C dan tekanan 6.36 bar, sedangkan *primary outlet flow* temperatur 150°C tekanan 4.7 bar. Tabel 2.1 menunjukkan Spesifikasi *high pressure feedwater heater*.

Tabel 2.1 Spesifikasi Hight Pressure Heater

Parameter Input	Spesification	Unit
High pressure heater model	JG-100	-
Type	Surface type	-
Heating surface area	100	m2
Pressure in steam side (Max)	1.3	MPa
Pressure in water side (Max)	8	MPa
Tube material	20CR	-
Water resistance	<0.05	Mpa

Sumber: Manual Book Operation Shandong Machinery & Grup 2011

Spesifikasi low feed water heater berdasarkan data desain temperatur *superheated secondary flow* sebesar 73.5°C dan tekanan sebesar 0.35 bar, sedangkan *primary outlet flow* temperatur sebesar 68.5°C dan tekanan 1.57 bar. Spesifikasi *low feed water heater* ditunjukkan Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Low Pressure Heater

Parameter Input	Spesification	Unit
Low pressure heater model	JD-40	-
Type	Surface type	-
Heating surface area	40	m2
Pressure in steam side (Max)	0.196	MPa
Pressure in water side (Max)	0.588	MPa
Tube Size	ø15x1	mm
Tube Material	HSN70-1A	-
Water resistance	<0.05	MPa

Sumber: Manual Book Operation Shandong Machinery

Tabel 2.2 menunjukkan parameter penting pada *low pressure heater* (LPH) pada tekanan sisi uap sebesar 0.19 Mpa dan tekanan pada sisi air 0.5 Mpa . Letak LPH berpungsi yang memanaskan air sampai dengan suhu 72 derajat dengan jumlah aliran massa air 12 kg/s.

2.3 Hasil validasi menggunakan Cycle Tempo

Pemodelan menggunakan data desain sebagai parameter input untuk divalidasi menggunakan simulasi cycle tempo. Hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Hasil validasi dari cycle Tempo

Parameter Input	Variabel	Units
Inlet pressure	49	Bar
Inlet Temperature	470	°C
Steam Flow Rate	14.9	Kg/S
Pressure extraction I	6.36	Bar
Mass flow rate extraction 1	14.9	Kg/S
Pressure extraction II	1.168	Bar
Mass flow rate extraction II	14.9	Kg/S
Pressure extraction III	0.35	Bar
Mass flow rate III	0.62	Kg/S
Exhaust pressure	0.082	Bar
Exhaust Mass flow rate	12.44	Kg/S
Gross Power (Cycle Tempo)	12500.17	kW
Net Power (Cycle Tempo)	12.285	MW
Thermal Effeciency	0.2587	%
Error	2.4	%

Sumber: Manual Book Operation Shandong Machinery & Grup 2011

Berdasarkan Simulasi dan iterasi pada Tabel 2.3 menggunakan software cycle tempo diperoleh daya gross 12500.17 kW nilai ini tidak berbeda jauh dengan data desain yaitu sebesar 12.5 MW atau terdapat selisih 0.17 kW. Jika ditinjau dari efesiensi sistem power net, hasil simulasi diperoleh 12.2 MW sedangkan data desain sebesar 10.5 MW atau terdapat perbedaan sebesar 2.4%.

Hasil validasi ini digunakan sebagai acuan untuk dilakukan variasi indikator TTD dan DCA agar diperoleh perbaikan power output dari sistem PLTU tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2.1 menunjukkan hasil pemodelan eksisting yang dibandingkan dengan data desain dimana parameter input sebagian besar menggunakan data heat balance PLTU yang dikombinasikan dengan beberapa data operasi agar semua parameter input dapat dipenuhi dan proses simulasi dapat dijalankan untuk mendapatkan properties sesuai dengan data desain. Simulasi cycle tempo.

Saat ini kondisi PLTU sudah beroperasi sekitar 10 tahun dan telah terjadi penurunan efisiensi subsistem seperti Heat exchanger atau feedwater Heater. Oleh karena itu salah satu opsi dilakukan adalah dengan mengoptimalkan performa PLTU dengan mengeset TTD dan DCA melalui pemodelan

Tabel 3.1 Variasi TTD dan DCA pada *Low Feedwater Heater*

Heat Exchanging Equipment			
Komponen Heater	TTD/ DELTH (°c)	DCA/ DELTL (°c)	Heat Transmitted Heat Flow (kW)
<i>Low Feedwater Heater (FWH)</i>	2.8	5.6	144830
	2	5	1492.71
	1	4	1548.37
	0	3	1604.21
	-2	2	1769.48
	-2.8	1	1761.48

Berdasarkan Tabel 3.1 menunjukkan hasil variasi TTD yang diinputkan pada cycle tempo dengan nilai tertinggi sebesar 2.8 °C dan terendah -2.8 °C dimana nilai perpindahan panas yang diperoleh berdasarkan simulasi sebesar 144830 kW dan 1761.48 kW. Hal ini dapat dipahami bahwa Nilai TTD yang lebih tinggi menunjukkan transfer panas yang lebih rendah di dalam pemanas, sedangkan nilai TTD yang lebih rendah menunjukkan transfer panas yang lebih baik (5). Pada LPH diperoleh nilai TTD dan DCA yang optimum di angka 0 °C dan 3 °C dimana semakin rendah dari ini respon simulasi cycle tempo menunjukkan warning yang berarti sudah terjadi

keseimbangan antara suhu panas yang diberikan dan suhu dingin yang diserap. Jika ditinjau dari properties subsistem dihasilkan pemodelan cycle tempo diperoleh jumlah aliran massa dari ekstraksi IV dari turbin sebesar 0.62 kg/s sedangkan aliran massa fluida air yang disirkulasikan oleh *Condensat pump (CP)* dengan menerima suplai dari air kondensat kondensor sebesar 12.7 kg/s, jumlah kedua aliran massa identik dengan data pada diagram *heat balance*.

Sedangkan hasil simulasi yang terjadi pada *High Pressure feedwater Heater (HPH)* hasil simulasi menunjukkan seperti pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Variasi TTD dan DCA pada *High Pressure Feedwater Heater*

Heat Exchanging Equipment			
Komponen Heater	TTD/ DELTH (°c)	DCA/ DELTL (°c)	Heat Transmitted Heat Flow (kW)
<i>High Feedwater Heater (FWH)</i>	2.8	5.6	3400.13
	2	5	3456.05
	1	4	3526.19
	0	3	3596.61
	-2	2	3738.26
	-2.8	1	3795.24

Hasil iterasi menggunakan variasi TTD dan DCA seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2 menghasilkan performa HPH pada TTD tertinggi sebesar 2.8 °c mendapatkan nilai perpindahan panas 3400.13 kW dan TTD terendah yaitu -2.8 °c menghasilkan transfer panas sebesar 3795.24 kW. Sedangkan DCA tertinggi dengan nilai 5.6 °c dan terendah sebesar 1 °c dihasilkan transfer panas berturut-turut sebesar 3400.13 kW dan 3795.24 kW.

Jika ditinjau dari tren data yang dihasilkan dengan menurunkan Nilai TTD dan DCA sebesar rata-rata sebesar 1 °c diperoleh kenaikan transfer panas rata 2.1 %. Sedangkan untuk properties HPH dari ekstraksi uap II turbin menunjukkan aliran massa uap ekstraksi sebesar 1.36 kg/s dan aliran massa fluida air yang di sirkulasikan oleh *Boiler Feed Pump (BFP)* yang menerima suplai fluida dari deaerator sebesar 14.9 kg/s. Jumlah ini identik dengan nilai yang terdapat pada data desain.

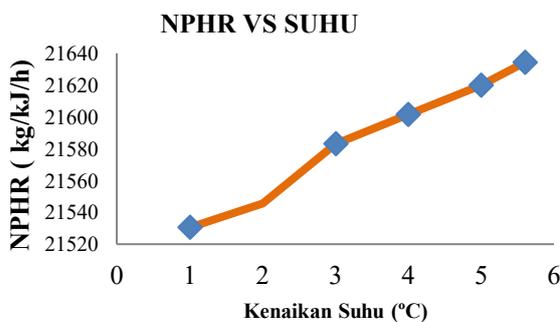
Hasil simulasi yang di tunjukkan pada Tabel 3.3 menunjukkan kesetimbangan energi yang dihasilkan dengan menginputkan nilai TTD 2.8 °C

sampai dengan - 2.8 °C dan DCA 5.6 °C – sampai dengan 1 °C secara bersamaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Pengaruh TTD dan DCA terhadap Kesetimbangan

Energy Balance						
Aparatus	TTD/DELTH (°c)	DCA/DELTL (°c)	Gross Power (Kw)	Net Power (kW)	Gross Efisiensi %	Net Efisiensi %
Low dan High Feedwater Heater (FWH)	2.8	5.6	12500.17	12285.52	26.32	25.87
	2	5	12508.43	12293.69	26.34	25.89
	1	4	12518.99	12304.12	26.36	25.90
	0	3	12529.61	12314.62	26.39	25.93
	-2	2	12550.32	12335.07	26.43	25.98
	-2.8	1	12559.11	12343.75	26.45	26.00

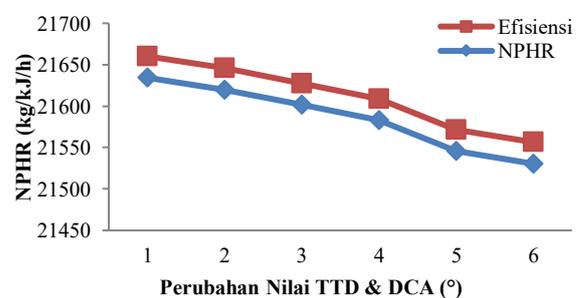
Berdasarkan Tabel 3.3 menunjukkan bahwa perubahan nilai TTD dan DCA secara bersamaan untuk LPH dan HPH memberikan dampak perubahan energi yang signifikan. Dimana semakin tinggi nilai variasi yang diinputkan yaitu 2.8 °C dan 5.6 °C menghasilkan power gross sebesar 12500.17 kW dan Power net 12285.52 kW dimana efisiensi termal gross adalah 26.2% dan efisiensi termal net 25.8%. Sementara variasi TTD dan DCA terendah yaitu -2.8 °C dan 1 °C menghasilkan power gross sebesar 12559.11 kW dan 12343.75 kW. Adapun efisiensi termal sistem PLTU berdasarkan hasil simulasi yaitu efisiensi energi gross sebesar 26.4% dan efisiensi net 26.0%. Dengan kata lain bahwa semakin rendah nilai variasi TTD dan DCA menghasilkan efisiensi energi yang lebih baik dimana dengan menurunkan variasi sebesar 1 °C dapat meningkatkan efisiensi sebesar 0.1%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ketika nilai TTD dan DCA meningkat, hal itu berdampak pada peningkatan suhu rata-rata net plant sebagai akibat dari penurunan suhu rata-rata. Semakin tinggi nilai aktual TTD dan DCA dari nilai komisioning, maka pengaruhnya lebih besar terhadap kenaikan Net Plant Heat Rate (NPHR) seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh Nilai TTD & DAC terhadap HPHR)

Gambar 3.1 menunjukkan hubungan *Net Plant Heat Rate* terhadap kenaikan suhu sebesar 1 derajat.

Nilai net plant heat rate (NPHR) adalah nilai yang menunjukkan jumlah energi yang digunakan oleh generator untuk menghasilkan energi listrik. Nilai NPHR yang lebih tinggi menunjukkan performa pembangkit yang lebih buruk, karena semakin banyak energi yang digunakan tetapi energi listrik yang dihasilkan tetap sama (6). Berdasarkan tend grafik bahwa dengan menurunkan nilai TTD dan DCA sebesar 1 derajat dapat meningkatkan nilai NPHR. Dalam proses simulasi mendapatkan nilai NPHR, digunakan *mass flow* bahan bakar yang digunakan sebesar 3.09 kg/s sedangkan *low heating value* (LHV) sebesar 24610 kJ/kg sedangkan *Gross Generator Output* (GGO) 12500.17 kW dan *Self Energy Consumption* (SEC) sebesar 214.65 kW. Hubungan NPHR dan efisiensi dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2 seagai berikut.



Gambar 3.2 NPHR dan Efisiensi

Sebuah parameter yang menunjukkan kinerja suatu pembangkit adalah tingkat panas rata-rata pembangkit. Besaran energi yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik yang disuplai oleh pembangkit (NPHR) adalah ukuran energi yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik. Nilai

NPHR yang lebih tinggi untuk pembangkit thermal menunjukkan bahwa efisiensi pembangkit tersebut menurun, dan sebaliknya. Hal ini dapat di tunjukkan pada Gambar grafik 3.2. Dengan mengubah Nilai TTD dan DCA sebesar derajat maka memberikan dampak pada perubahan NPHR dan efisiensi sistem PLTU. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai NPHR tertinggi sebesar 21634.24 kg/kJ/h mendapatkan nilai efisiensi 25.87%. sedangkan NPHR terendah yaitu 25130.43 kg/kJ/h rendah NPHR menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 26%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi terminal temperature different (TTD) dan Drain cooler Aproach (DCA) pada *low feedwater heater* menghasilkan perpindahan panas pada heater 144830 kW dan 1761.48 kW.
2. Variasi Terminal temperature Different (TTD) dan Drain cooler Aproach (DCA) pada *High feedwater heater* menghasilkan perpindahan panas pada heater 3400.13 kW dan 3795.24 kW.
3. Kesenjangan energi dari hasil pemodelan menggunakan simulasi diperoleh daya gross terendah sebesar 26.32 % dan tinggi 26.5%.
4. Nilai TTD dan DCA makin tinggi dapat menghasilkan penurunan performa pembangkit.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut.

1. Direkomendasikan nilai TTD dan DCA desain dibandingkan dengan nilai operasi agar di peroleh heat loss dari feedwater tersebut.
2. Nilai NPHR di upayakan minimal mungkin untuk menjadi stabilitas efisiensi energi sistem PLTU.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad Ismail Bagus Setyawan Dan Prabowo. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 7, No. 1 2337-3520. Tahun 2018.
2. Black And Veatch, *Power Plant Engineering*. 1996
3. El MM.Wakil, *Power Plant Technology* 2nd Printing. 1988
4. JIAN-QUN XU dkk. Research on varying condition characteristic of feedwater heater

considering liquid level. *Applied Thermal Engineering* 67. 2014.

5. Khub Chand Kushwaha , Bhupendra Koshti. Performance analysis and off design behaviour of feed water heater. Tahun 2015
6. Yolnadi, Simson Alfonso Nainggolan. Analisa Peningkatan Nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada Unit 1 PLTU Tenayan 2 x 110 MW. Tahun 2021.