



Pengaruh Operasi *Feed Water Heater* Terhadap Daya Pembangkit PLTU Menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0*

Enzo Wiranta Battra Siahaan

Fakultas Teknik, Prodi Teknik Mesin, Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia
Email: enzo.battra84@gmail.com

Abstrak

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paluh Kurau dengan kapasitas 2×150 MW merupakan salah satu upaya pemerintah untuk menambah daya listrik di Provinsi Sumatera Utara. Salah satunya untuk dengan langkah penambahan *Feed Water Heater* (FWH) untuk menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik namun efisiensi akan menurun jika jumlah FWH lebih dari tujuh. Dalam hal ini peralatan – peralatan yang digunakan pada PLTU antara lain : boiler, turbin, kondensor, pompa, FWH, dan *deaerator*. Pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan FWH dari *Rankine Cycle Regenerative* yang merupakan salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi termal dari PLTU yaitu meningkatkan temperatur fluida yang masuk ke dalam boiler dengan menambah komponen yaitu FWH. Hasil penelitian yang menggunakan *software Cycle Tempo 5.0* pada kondisi *existing* adalah daya sebesar 149999.86 kW dan efisiensi sebesar 42.727 % dimana kondisi *existing* ini merupakan kondisi yang paling rendah dibanding kondisi variasi yang telah dilakukan. Hasil variasi yang memiliki nilai paling tinggi adalah variasi ke-5 sampai ke-8 yaitu daya 150000.20 kW dan efisiensi 43.034 %. Variasi ke delapan mengalami daya paling tinggi dikarenakan laju aliran massa pada HPH kembali ke turbin.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Feed Water Heater (FWH), efisiensi, Software Cycle Tempo 5.0

1. PENDAHULUAN

Pembangunan PLTU Paluh Kurau dengan kapasitas 2×150 MW merupakan salah satu upaya pemerintah untuk menambah daya listrik di provinsi Sumatera Utara. Penambahan kapasitas produksi listrik Sumatera Utara berpengaruh terhadap ketersediaan listrik di Pulau Sumatera. Kapasitas listrik saat ini masih jauh dari kebutuhan listrik di provinsi Sumatera Utara, mengakibatkan sektor pariwisata dan masyarakat masih mengalami pemadaman secara bergilir.

Dendi Junaidi, dkk (2010) dalam studi tentang “Kesetimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan beban dengan Memvariasikan Jumlah *Feed water heater*” menyimpulkan bahwa penambahan *feed water heater* (FWH) akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik namun efisiensi akan menurun jika jumlah *feed water heater* lebih dari tujuh. Peningkatan efisiensi sangat besar terjadi pada *feed water heater* diantara 1-4 buah sedangkan penambahan 5-7 buah tidak memberikan peningkatan yang signifikan. T.Srinivas, dkk (2007) dalam studi tentang “*Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feed water Heaters*” selain melakukan variasi terhadap jumlah *feed water heater* 1-10 buah, juga terhadap tekanan boiler, temperatur uap memasuki turbin, dan temperatur pembakaran. Jenis *feed water heater* yang digunakan adalah *closed feed water heater*.

Analisis ini meninjau bagian PLTU Paluh Kurau 2×150 MW. Pembangkit listrik PLTU Paluh Kurau, memiliki dua jenis FWH yaitu *high pressure heater* dan *low pressure heater*. Klasifikasi ini berdasarkan pengaruh operasi FWH.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan Bakar Batu Bara

Batubara adalah bahan bakar utama pembangkit listrik. Paling sedikit 27% dari total *output* energi dunia dan lebih dari 39% dari seluruh listrik dihasilkan listrik bertenaga batubara.

2.2 Analisis Termodinamika Pembangkit Listrik Tenaga Uap

a. Siklus *Rankine* (*Rankine cycle*)

Rankine Cycle adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas di suplai secara eksternal pada aliran tertutup, biasanya menggunakan air sebagai fluida kerja. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan diseluruh dunia.

Sumber panas yang utama untuk *Rankine Cycle* adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari. Efisiensi *Rankine Cycle* biasanya dibatasi oleh fluida kerja. Uap memasuki turbin pada temperatur 545°C dan temperatur kondensor sekitar 30°C. Fluida pada *Rankine Cycle* merupakan fluida tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini tetapi air dipilih karena karakteristik fisika dan kimia yang dimiliki tidak beracun dan murah.

b. Closed Feed Water Heater

Closed feed water heater merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap dari turbin ceratan (*extraction*) berada pada sisi *shell*, sementara *feed water heater* (air pengumpan) berada pada sisi *tube* dan menyerap panas dari uap sisi *shell* sehingga meningkatkan temperatur *feed water heater*. Fraksi dari aliran total dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip *conservation mass and energy* pada *control volume*.

c. Fraksi Massa

Perhitungan fraksi massa digunakan untuk mengetahui laju aliran yang melalui bagian dari komponen pembangkit. Fraksi massa sering digunakan pada siklus regeneratif. Dengan menggunakan satu *control volume* yang melewati satu tingkatan turbin, kesetimbangan laju massa pada kondisi lunak, persamaan seperti berikut ini :

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e \dots \dots \dots (1)$$

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1 \dots \dots \dots (2)$$

d. Efisiensi Siklus Rankine (Rankine Cycle)

Efisiensi *Rankine Cycle* mengukur seberapa banyak energi yang masuk ke dalam air melalui *boiler* yang dikonversi menjadi keluaran kerja netto. Efisiensi *Rankine Cycle* dijelaskan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$\eta_{Rankine\ Cycle} = \frac{W_t/\dot{m} - W_p/\dot{m}}{Q_{in}/\dot{m}} \dots \dots \dots (3)$$

e. Laju Kalor (Heat Rate)

Laju kalor (*heat rate*) adalah jumlah energi yang ditambahkan melalui perpindahan kalor ke dalam siklus. Kerja netto menghasilkan satuan KJ, oleh karena itu laju kalor berbanding terbalik dengan efisiensi termal dalam satuan KJ/kWh.

$$Heat\ Rate = \frac{Total\ fuel\ heat\ input\ (KJ)}{Electrical\ generation\ (KWh)} \dots \dots \dots (4)$$

f. Boiler Efficiency

Perhitungan efisiensi *boiler* pada penelitian ini berdasarkan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) PTC 4.1. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler* yaitu metode langsung (*Direct Method*).

Efisiensi boiler dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{Boiler} = \frac{\dot{m} \cdot (h_{steam} - h_{water})}{\dot{m}_{fuel} \cdot HHV} \cdot 100\% \dots \dots \dots (5)$$

g. Jumlah Feed Water Heater

Pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan *feed water heater* dari *Rankine Cycle Regenerative*. Siklus ini merupakan salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi termal dari PLTU yaitu meningkatkan temperatur fluida yang masuk ke dalam *boiler* dengan menambah komponen yaitu *feed water heater*.


2.3 Peralatan – Peralatan Pembangkit Turbin Uap

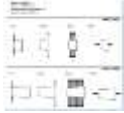



Dalam hal ini peralatan – peralatan yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap antara lain: boiler, turbin, kondensor, pompa, *feed water heater*, dan *deaerator*.

2.4 Apparatus Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Software Cycle Tempo 5.0

Perangkat lunak *Software Cycle Tempo 5.0* mempunyai beberapa peralatan *apparatus* dalam pembuatan diagram alir. Penelitian ini menggunakan beberapa *apparatus* yang dapat dilihat pada tabel 1.

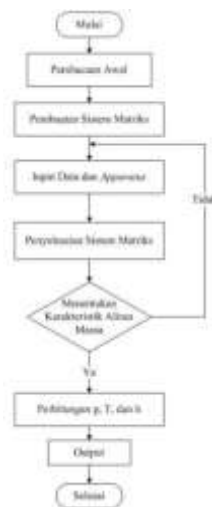
Tabel 1. *Apparatus* Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Uap

No	Peralatan	Apparatus
1.	Boiler	

No	Peralatan	Apparatus
2.	Turbin	
3.	Kondensor	
4.	Feed Water Heater	
5.	Deaerator	

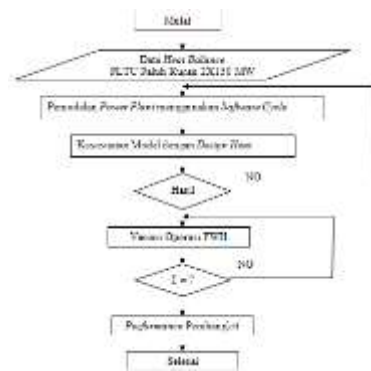
2.5 Flowchart Analisa dengan Software Cycle Tempo 5.0

Diagram alir (*flowchart*) untuk menganalisa data yang diambil dari peralatan-peralatan pembangkit tenaga uap dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Analisa dengan Software Cycle Tempo 5.0

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan di PLTU Paluh Kurau 2×150 MW. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pemodelan dan simulasi terhadap sistem pembangkit tenaga uap menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 untuk diagram alir (*flowchart*) dari tahapan penelitian yang dilakukan.

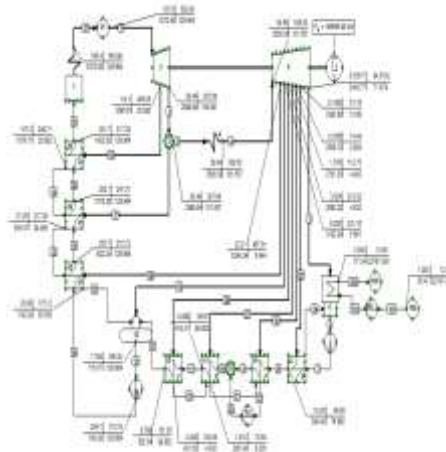


Gambar 2. Diagram Alir (*Flowchart*) dari Tahapan Penelitian

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Desain PLTU Paluh Kurau

Desain pembangkit menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0* dengan memasukkan data yang peroleh dari desain *heat balance* pembangkit, sehingga desain pembangkit ini dapat berjalan seperti yang diinginkan. Data dimasukkan adalah data *properties* dan gambar P & ID (*Piping and Instrumentation Diagram*). Hasil desain *Software Cycle Tempo 5.0* adalah berupa analisis termodinamika *performance* seperti Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Model Pembangkit Listrik tenaga Uap berdasarkan *Software Cycle Tempo 5.0*

Pemodelan PLTU Paluh Kurau menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0*. Data parameter dari input *initial condition* berupa tekanan (P) = 175 bar, *temperature* (T) = 538°C dan *mass flow rate* (\dot{m}) sebesar 145.98 kg/s.

3.2 Simulasi Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan *Software Cycle Tempo 5.0*

Hasil simulasi *Software Cycle Tempo 5.0* pada daya *Gross output* sebesar 150.000 kW menunjukkan efisiensi pembangkit sebesar 46.121 %. Daya netto 138961.97 kW dan efisiensi sebesar 42.727%. Pemodelan yang digunakan untuk menganalisis sistem pembangkit pada kondisi *existing*.

3.3 Analisis PLTU Paluh Kurau 2x150 MW Setelah Dilakukan Variasi

Variasi dilakukan dengan tidak melihat kondisi *excessive flow* dikarenakan dalam turbin terbuang ke dalam tiap-tiap FWH. Laju aliran massa setiap FWH ditentukan berdasarkan daya yang dihasilkan, dengan harapan mendekati daya pada kondisi *existing*. Laju aliran massa yang diatur tetap untuk membatasi nilai daya yang terlampaui tinggi sehingga *excessive flow* juga tidak terjadi. *Excessive flow* pada *high pressure heater* tidak terjadi bila total jumlah ekstraksi pada FWH tidak sampai 20% dari jumlah dari aliran Massa *main steam* dan jika FWH mengalami *excessive flow*.

Tabel 2. *Properties* Laju Aliran Massa pada FWH Setelah Variasi

No.	Variasi	HPH1	HPH2	HPH3	DEAERATOR	LPH1	LPH2	LPH3	LPH4	CONDENSOR
1.	Existing	35.882	118.311	8.894	1.881	4.833	4.461	1.604	5.118	11.874
2.	Variasi 1	17.887	118.311	7.224	8.802	5.993	2.863	1.408	7.149	12.149
3.	Variasi 2	17.887	118.311	7.224	8.802	7.043	4.818	2.863	1.408	12.149
4.	Variasi 3	17.887	118.311	7.224	8.802	7.043	4.818	2.863	1.408	12.149
5.	Variasi 4	17.887	118.311	7.224	8.802	7.043	4.818	2.863	1.408	12.149
6.	Variasi 5	4.588	118.311	8.802	7.388	4.703	4.703	2.780	1.884	8.874
7.	Variasi 6	4.588	118.311	8.802	7.388	4.703	4.703	2.780	1.884	8.874
8.	Variasi 7	17.887	118.311	8.802	8.802	7.043	4.818	2.863	1.408	12.149

Data Tabel 2 menunjukkan laju aliran massa pada setiap variasi operasi FWH dikarenakan daya yang dihasilkan turbin berbeda. Hasil variasi FWH menunjukkan bahwa laju aliran massa pada kondisi aktual berada di kondisi *on service*. Sedangkan pada variasi pertama mengalami *off service* pada LPH 5. Perpindahan laju aliran massa pada variasi ke dua menunjukkan LPH 6 pada kondisi *off service*, kemudian perpindahan laju aliran massa pada variasi ke tiga menunjukkan LPH 7 pada kondisi *off service* laju aliran massa menuju ke LPH 8 sebesar 5.409 kg/s. Hasil laju aliran massa variasi keenam menunjukkan HPH 2 dalam keadaan *off service* dan laju aliran massa menuju deaerator dan LPH 1 sebesar 5.588 kg/s dan 15.695 kg/s.

Tabel 3. *Properties* Pembangkit Setelah Variasi

	Q_{Boiler} (kW)	Power (kW)	η_{plant} (%)
Existing	26685.34	14999.86	42.727
Variasi 1	27483.81	150.000.20	43.976
Variasi 2	27483.81	150.000.20	43.976
Variasi 3	27483.81	150.000.20	43.976
Variasi 4	27483.81	150.000.20	43.976
Variasi 5	248438.55	149999.95	43.034
Variasi 6	248438.55	149999.95	43.034
Variasi 7	248438.55	149999.95	43.034

Data Tabel 3 Menunjukkan variasi pengaruh operasi FWH sebagai referensi penelitian dengan menggunakan *software Cycle Tempo 5.0*. Hasil pada kondisi variasi 5 - 8 dengan menjaga Q_{Boiler} sebesar 248438,55 kW dan m_{boiler} sebesar 129.964 kg/s menghasilkan daya sebesar 149999.95 kW dan efisiensi pembangkit sebesar 43.034%. Variasi pada kondisi aktual menunjukkan hasil yang paling rendah dibanding variasi lainnya. Hasil *existing* mendapatkan daya sebesar 149999.86 kW dan efisiensi sebesar 42.723%. Oleh sebab itu dengan melakukan simulasi didapatkan pengaruh pada *off service* pada FWH.

a. Analisis Daya



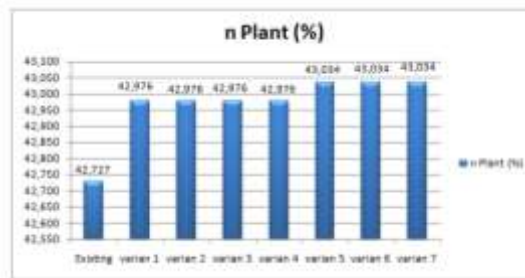
Gambar 4. Grafik Daya pada Kondisi *Existing* dan Kondisi Variasi Berdasarkan *Software Cycle Tempo 5.0*

Gambar 4 menunjukkan grafik nilai hasil daya pembangkit. Nilai daya diperoleh berdasarkan hasil turbin setelah dikurangi konsumsi daya oleh pompa dan kompresor sebagai pendukung sistem pembangkit. Data langsung didapatkan dari *Software Cycle Tempo 5.0* dengan melakukan variasi FWH dengan mempertahankan kondisi. Grafik kondisi variasi 1-4 pada PLTU Paluh Kurau dengan hasil daya 150000.20 kW. Variasi yang memiliki hasil daya terbesar berada pada variasi 1 s/d 4, yaitu kondisi HPH1/HPH 2/HPH3 *off* dalam keadaan mati. Hasil laju aliran massa dari HPH1 menuju pada HPH2/ HPH2 menuju HPH3. Keadaan ini membuat laju aliran massa *feed water heater* selanjutnya cukup besar untuk membuat daya total dari variasi pertama sampai ke-4 menjadi 150000.20 kW. Pada kondisi *existing* memiliki daya yang paling rendah dibanding daya variasi lainnya. Pada kondisi ini, ditunjukkan bahwa banyaknya uap

ekstraksi yang diambil dari turbin mengakibatkan penurunan daya yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan sebesar 149999.86 kW.

Hal ini sesuai dengan yang dilakukan para peneliti lain yang menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0* yang menyatakan perubahan nilai efisiensi suatu pembangkit pasti terjadi ketika pada turbin uap dilakukan proses ekstraksi. Perubahan beberapa bagian pada sebuah sistem regeneratif mengakibatkan perubahan pada jumlah aliran massa ekstraksi turbin uap, perubahan ekstraksi itu akan mengakibatkan daya turbin dan pembakaran pada boiler berubah, dan akhirnya perubahan daya pada turbin dan boiler mengakibatkan efisiensi internal relatif berubah.

b. Analisis Efisiensi pembangkit Setelah dan Sebelum Dilakukan Variasi



Gambar 5. Grafik Efisiensi pada Kondisi *Existing* dan Kondisi Variasi berdasarkan *Software Cycle Tempo 5.0*

Gambar 5 menunjukkan grafik efisiensi pembangkit dari kondisi sebelum dan sesudah dilakukan variasi. Kondisi *existing* nilai efisiensi pembangkit adalah 30.04 %, yang merupakan efisiensi terbesar dari semua variasi. Semakin rendah efisiensi pembangkit maka semakin buruk pembangkit beroperasi. Efisiensi adalah perbandingan nilai jumlah daya yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar masuk. Hasil perhitungan efisiensi menggunakan *Software Cycle Tempo 5.0* menjelaskan bahwa efisiensi dari *existing* sampai variasi ke empat mengalami kenaikan. Efisiensi yang rendah menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar yang digunakan cenderung besar.

Konsumsi bahan bakar yang besar digunakan, namun daya turun dikarenakan sisa dari laju aliran massa dari FWH yang dimatikan mengalir menuju FWH saat kondisi terbuka dari pada mengakibatkan daya tersebut cenderung tidak naik. Efisiensi paling rendah dalam penelitian ini adalah pada kondisi eksistensi, dengan efisiensi yang dihasilkan hanya 29.585. *Power* dari variasi pertama ini menunjukkan nilai paling besar disebabkan oleh laju aliran massa LPH 1 kembali ke turbin dikarenakan pada keadaan mati, menyebabkan naiknya daya pembangkit yang cukup signifikan.

Hal ini sesuai dengan buku (*Black and Veatch, 2006. Power Engineering Black and Veatch*), yang menyatakan berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah FWH digunakan maka efisiensi siklus yang dihasilkan semakin baik, namun peningkatan FWH tambahan dari masing-masing menghasilkan tingkat panas yang rendah untuk menghasilkan kenaikan beban berikutnya sehingga diperlukan jumlah FWH yang ideal agar didapat efisiensi siklus. Namun penambahan jumlah FWH menambah biaya dan membatasi kerja turbin. Jumlah penambahan FWH dibatasi berdasarkan kapasitas pembangkit.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan perhitungan dan simulasi pengaruh variasi operasi FWH pada PLTU Paluh Kurau, diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Hasil penelitian yang menggunakan *software Cycle Tempo 5.0* pada kondisi *existing* adalah daya sebesar 149999.86 kW dan efisiensi sebesar 42.727 %. Pada kondisi *existing* ini merupakan kondisi yang paling rendah dibanding kondisi variasi yang telah dilakukan. Kondisi ini mengalami daya paling rendah dikarenakan banyaknya ekstraksi *steam* yang di ambil dari LPH.



2. Hasil variasi yang memiliki nilai paling tinggi adalah variasi ke-5 sampai ke-8. Variasi ke delapan mengalami daya paling tinggi dikarenakan laju aliran massa pada HPH kembali ke turbin. Hasil yang didapat pada variasi ke-5 sampai ke-8 yaitu daya 150000.20 kW dan efisiensi 43.034 %.
4. Hasil dari setiap percobaan menunjukkan bahwa *Software Cycle Tempo 5.0* dapat digunakan untuk simulasi dan analisis efisiensi PLTU.

REFERENCES

- Ankur Geete, dkk (2013). "*Thermodynamic Analysis Of 120 MW Thermal Power Plant With Combined Effect Of Constant Inlet Pressure (124.61 Bar) And Different Inlet Temperatures*"
- Dendi Junaidi, dkk (2014). Melakukan Studi Tentang "Kesetimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Memvariasikan Jumlah *Feed water heater*"
- Erwin Fajar Ansori (2017), Melakukan Studi Tentang Pengaruh Operasi *Feed Water Heater* Pada Performa PLTU 3 Bangka Belitung.
- Yong Li dan Chao Wang (2013). "*Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine*".
- John Wiley & Sons Inc.Black And Veatch, (1996). *Power plant engineering*.
Training Manual. *Software Cycle Tempo 5.0 Version 5.1 Delft University of Technology (TU Delft)*.