

EVALUASI SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP DENGAN PERANGKAT LUNAK CYCLE-TEMPO®

Zulfikar

Email : phi_kar@yahoo.com

Jurusan Teknik Mesin Universitas Malikussaleh Lhokseumawe

Pembangkit tenaga uap dengan dearator yang berkapasitas 100 MW telah dievaluasi menggunakan perangkat lunak Cycle-Tempo dan Microsoft excel add-on FluidProp. Cycle-Tempo merupakan perangkat lunak yang berdaya guna sebagai alat untuk mengevaluasi pembangkit tenaga uap dengan pemodelan. Hasil pemodelan dengan Cycle-Tempo dan perhitungan menggunakan Microsoft excel add-on FluidProp memuaskan. Penyelesaian dengan Cycle-Tempo memiliki ketidakseimbangan energi yang lebih kecil yaitu 0,01 kW dibandingkan dengan hasil evaluasi Microsoft excel add-on FluidProp yaitu 1,87 kW. Berdasarkan pada hasil evaluasi dengan Cycle-Tempo, kinerja sistem sebesar 33,7% dan rasio kerja balik adalah 4,85%.

Katakunci : Cycle-Tempo, Microsoft Excel add-on FluidProp, dearator, efisiensi, rasio kerja balik

PENDAHULUAN

Sistem pembangkit tenaga uap telah banyak digunakan sebagai pembangkit listrik di dunia. Sebagian pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara, gas alam dan nuklir. Konsumsi bahan bakar dapat dikurangi dengan sedikit peningkatan efisiensi system. Efisiensi system merupakan salah satu parameter kinerja system tersebut. Efisiensi dapat dihitung dengan analisis kesetimbangan energi.

Analisis kesetimbangan dan energy pada pembangkit tenaga uap dengan system yang kompleks membutuhkan ketelitian dan waktu yang relative lama. Kehadiran perangkat lunak sangat membantu dalam menganalisis sistem-sistem tersebut. Namun, pemodelan yang tepat suatu keharusan agar diperoleh hasil yang benar.

Pada artikel ini akan digunakan perangkat lunak Cycle-Tempo untuk pemodelan dan analisis kesetimbangan energy pada suatu sistem pembangkit tenaga uap dengan dearator.

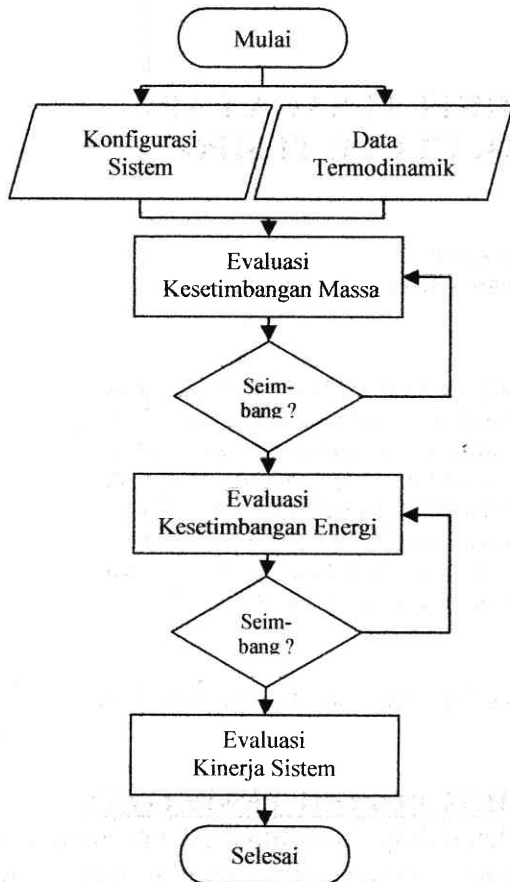
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah mengevaluasi sistem pembangkit tenaga uap dengan menggunakan perangkat lunak Cycle-Tempo. Validasi hasil evaluasi dengan Cycle-Tempo dilakukan terhadap hasil analisis termodinamika yang diselesaikan dengan menggunakan spreadsheets. Perangkat lunak spreadsheets yang digunakan adalah Microsoft Excel dan telah dilengkapi dengan FluidProp. FluidProp merupakan add-on yang dapat memberikan data-data termodinamik yang dibutuhkan dalam analisis. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini seperti pada gambar (1).

Analisis Termodinamika

Laju aliran massa masuk dan keluar sistem dapat dihitung dengan hukum konservasi massa atau hukum kontinuitas sebagai berikut:

$$\frac{dm}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e \quad (1)$$



Gambar 1 Metodologi evaluasi sistem pembangkit tenaga uap

Dalam model proses, perhitungan didasarkan pada hukum termodinamika pertama, dimana untuk volume atur sebagai berikut :

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) \quad (2)$$

Dimana :

dE_{cv}/dt = laju perubahan energi;

t = waktu;

\dot{Q}_{cv} = laju perpindahan panas;

\dot{W}_{cv} = laju kerja;

\dot{m} = laju aliran massa;

h = entalphi;

v = kecepatan

z = elevasi

g = percepatan gravitasi

Subskip e dan i adalah keluar dan masuk

Keseimbangan Energi dalam Komponen

Secara umum, keseimbangan energi pada komponen utama yang digunakan pada

pembangkit tenaga uap (PTU) dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut ini.

Turbin

Volume atur dari keseimbangan energi pada turbin sebagai berikut :

$$\dot{W}_T = \eta_T (\sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_e \dot{m}_e h_e) \quad (3)$$

Dimana η_T adalah efisiensi turbin

Generator

Daya keluaran generator dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{W}_G = \eta_G \dot{W}_T \quad (4)$$

Dimana η_G adalah efisiensi generator

Pompa

Pompa berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida cair. Ada tiga unit pompa yang digunakan pada sistem ini. Persamaan keseimbangan energi pada masing-masing pompa dengan efisiensi isentropik dapat dituliskan sebagai berikut .

$$\dot{W}_P = \frac{\sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_e \dot{m}_e h_e}{\eta_P} \quad (5)$$

Dimana η_P adalah efisiensi pompa

Boiler

Dengan asumsi proses adiabatik dan perubahan energi kinetik dan potensial antara bagian masuk dan keluar boiler diabaikan, maka persamaan keseimbangan energi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \sum_e \dot{m}_e h_e - \sum_i \dot{m}_i h_i \quad (6)$$

Dearator

Dearator merupakan alat penukar kalor terbuka dimana fluida mengalami kontak langsung tanpa dipisahkan oleh bidang atau dinding. Dengan asumsi proses terjadi adiabatik dan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, maka persamaan keseimbangan energi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_e \dot{m}_e h_e = \sum_i \dot{m}_i h_i \quad (7)$$

Kinerja

Parameter yang digunakan untuk mengukur performansi pembangkit tenaga uap adalah efisiensi dan rasio kerja balik (*back work ratio* atau *bwr*). Efisiensi termal menyatakan kuantitas kemampuan konversi energi (panas)

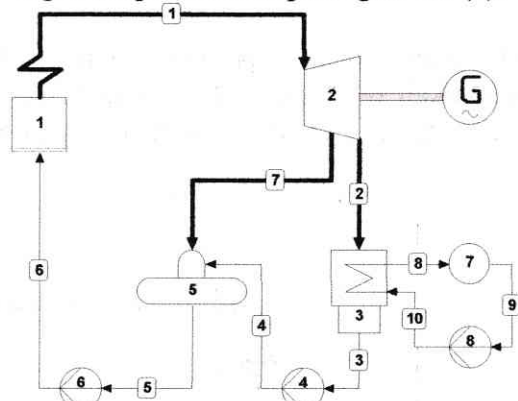
yang masuk ke boiler menjadi keluaran energi (kerja guna). Sedangkan rasio kerja balik (*back work ratio* atau *bwr*) menyatakan kuantitas konsumsi kembali kerja oleh system dari kerja yang dihasilkan system tersebut.

PEMODELAN

Pemodelan dalam Cycle-Tempo meliputi pemodelan konfigurasi sistem atau tata letak komponen pembangkit tenaga uap dan pemasukan data-data termodinamik yang diberikan dari diagram keseimbangan panas.

Konfigurasi sistem

Sistem pembangkit tenaga uap yang akan dianalisis terdiri dari beberapa komponen, yaitu boiler, turbin (2 unit), kondensor, pompa (3 unit), dan dearator. Pertama, setiap komponen dimodelkan kemudian jalur-jalur pipa uap dan air yang menghubungkan antara komponen-komponen tersebut dimodelkan. Tata letak komponen-komponen tersebut seperti diperlihatkan pada gambar (2).



Gambar 2 Konfigurasi system Pembangkit uap dengan dearator

Tabel 1. Data termodinamik yang diberikan

Komponen	Data	Komponen	Data
<u>Boiler</u>		<u>Turbin & Generator</u>	
Tekanan	70 bar	Daya keluaran	100MW
Temperatur	400°C	Efisiensi turbin 1	80%
Efisiensi	95%	Efisiensi turbin 2	
<u>Kondensor</u>		Efisiensi generator	
<u>Fluida panas (uap)</u>		<u>Pompa 4</u>	
Tekanan	0,027 bar	Efisiensi	75%
Kerugian tekanan	0 bar	<u>Pompa 6</u>	
Efektivitas	1	Tekanan keluaran	80 bar
<u>Fluida dingin (air pendingin)</u>		Efisiensi	
Selisih temperatur	5°C	<u>Pompa 8</u>	
Rugi tekanan	1 bar	Tekanan keluaran	4 bar
<u>Dearator</u>		Efisiensi	
Tekanan	3 bar	<u>Heat sink</u>	
<u>Jalur Pipa 1</u>		Tekanan	
Rugi tekanan	3 bar	Temperatur	
<u>Jalur Pipa 4</u>			
Rugi tekanan	2 bar		

Data termodinamik

Ada beberapa data termodinamik (temperatur dan tekanan) yang harus ditentukan untuk menyelesaikan perhitungan ini. Biasanya, data termodinamik pada kondisi masuk turbin (tekanan dan temperatur), tekanan boiler, tekanan kondenser, tekanan deaerator dan daya yang ingin dibangkitkan merupakan data awal yang diberikan atau ditentukan.

Sedangkan daya pompa, laju aliran disesuaikan sehingga sistem dapat beroperasi dengan baik. Dalam tulisan ini, data-data

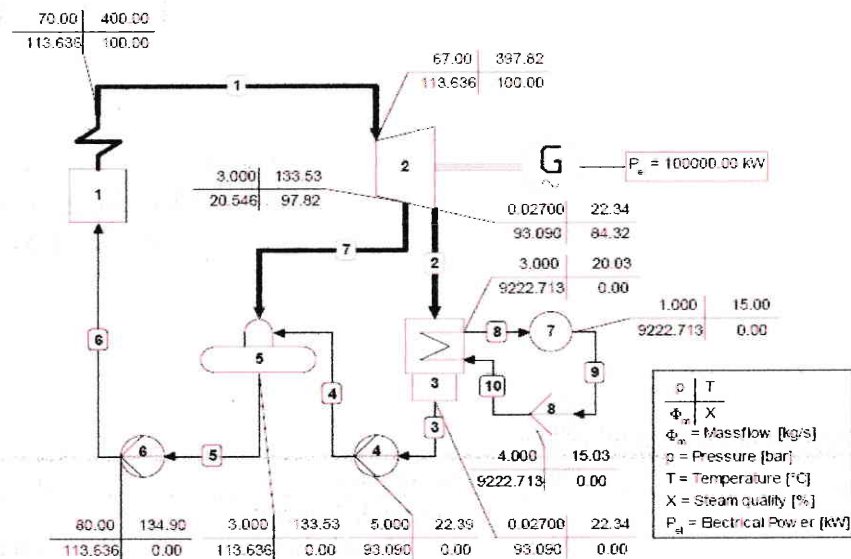
termodinamik tersebut telah ditentukan seperti tertera dalam tabel (1).

PEMBAHASAN

Keseimbangan massa

Laju aliran massa uap, kondensat, air umpan boiler dan air pendingin telah dievaluasi dengan Cycle-Tempo seperti diperlihatkan pada gambar (3).

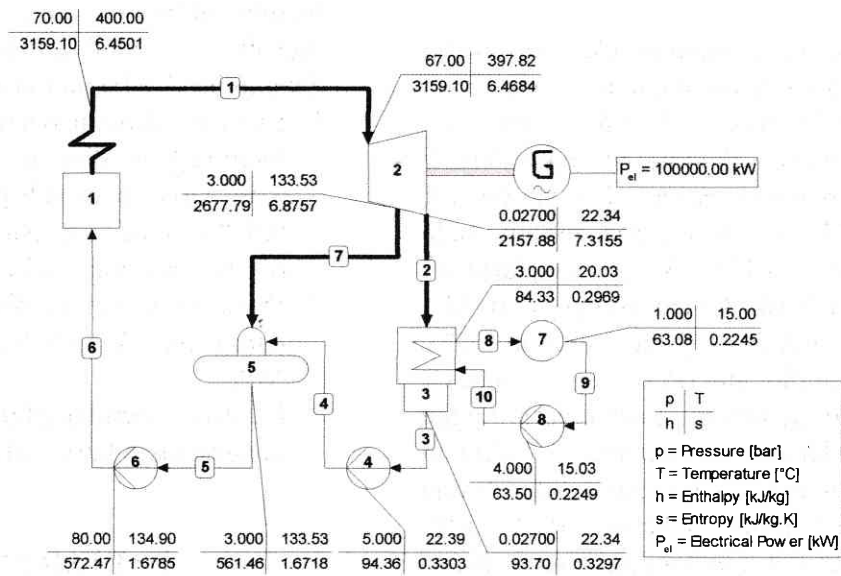
Perangkat lunak Ms-Excel dan FluidProp telah digunakan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan konservasi massa atau hukum kontinuitas. Hasil evaluasi dengan menggunakan Ms-Excel-FluidProp dan Cycle-Tempo diberikan pada tabel (2).



Gambar 3 hasil evaluasi laju alir massa dengan Cycle-Tempo

Tabel 2. Keseimbangan massa antara perhitungan dengan Cycle-Tempo dan Ms-Excel.

Parameter	Ms-Excel [kg/s]	Cycle-Tempo [kg/s]	Deviasi [%]
Laju aliran uap melalui turbin HP	113,63	113,64	0,01
Laju aliran uap melalui turbin LP	93,09	93,09	0,00
Laju aliran uap by pass ke dearator	20,55	20,55	0,02
Laju air pendingin	9222,52	9222,71	0,00



Gambar 4 hasil evaluasi data-data termodinamik dengan Cycle-Tempo®.

Tabel 3 Keseimbangan energi (panas dan kerja)

Komponen	Ms-Excel [kW]	Cycle-Tempo [kW]	Deviasi [%]
Panas			
Boiler	293930,29	293934,12	0,001
Sink	-195843,04	-196041,28	0,1
Kuantitas panas	98087,25	97892,84	0,2
Kerja			
Turbin HP	54695,33	-	-
Turbin LP	48397,46	-	-
Turbin (HP & LP)	103092,78	103092,78	0,0
Pompa 4	-61,86	-62,16	0,48
Pompa 6	-1249,73	-1251,33	0,13
Pompa 8	-3692,07	-3886,44	5
Kuantitas kerja	98089,12	97892,85	0,2
Ketidakseimbangan panas dan kerja	1,87	0,01	-

Hasil evaluasi laju aliran massa dengan menggunakan Ms-Excel dan Cycle-Tempo menunjukkan hasil yang sama. Deviasi tertinggi terjadi untuk laju aliran uap keluaran turbin HP ke deaerator sebesar 0,02%. Dengan demikian, pemodelan dengan Cycle-Tempo sangat memuaskan dan model dapat digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan energi pada setiap komponen.

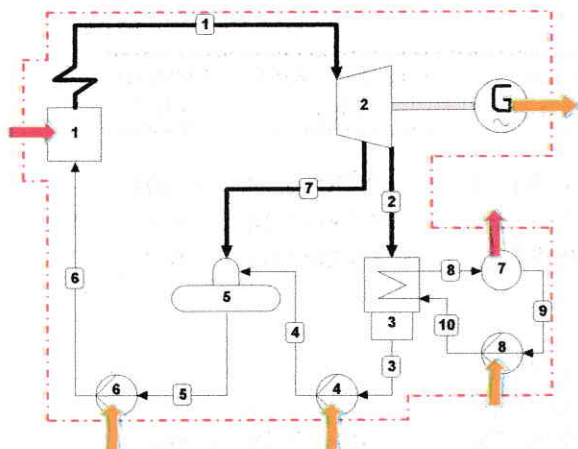
Keseimbangan energi (panas dan kerja)

Panas dan kerja akan dapat ditentukan jika entalpi telah diketahui. Nilai entalpi dengan menggunakan Cycle-Tempo telah ditentukan seperti diperlihatkan pada gambar (4).

Perangkat lunak Ms-Excel dan Fluidprop telah digunakan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan konservasi energi.

Hasil evaluasi dengan menggunakan Ms-Excel-FluidProp dan Cycle-Tempo diberikan pada tabel (3).

Hasil evaluasi energi menunjukkan kesamaan antara hasil dengan menggunakan Ms-Excel dan Cycle-Tempo. Untuk interaksi perpindahan panas, deviasi tertinggi terjadi sink (pelepas panas) sebesar 0,1% dan deviasi tertinggi untuk interaksi kerja terjadi pada pompa 4 sebesar 0,45%. Secara keseluruhan, deviasi antara hasil Cycle-Tempo dan Ms-Excel untuk interaksi panas sebesar 0,2%. Sedangkan untuk interaksi kerja sebesar 0,2%. Dengan demikian, kedua perhitungan tersebut dapat diterima dengan ketidakseimbangan antara panas dan kerja untuk cycle-Tempo sebesar 0,01 kW. Sedangkan ketidakseimbangan antara panas dan kerja dengan menggunakan Ms-Excel sebesar 1,87 kW.



Gambar 3 Interaksi panas dan kerja pada sistem pembangkit tenaga uap

Kinerja Sistem

Kinerja sistem pembangkit tenaga uap dapat diobservasi dari diagram keseimbangan panas seperti pada gambar (5).

Efisiensi sistem pembangkit tenaga uap berdasarkan pada gambar 5 diperoleh sebesar 33,37 % dan rasio kerja balik sebesar 4,85%.

KESIMPULAN

Pembangkit tenaga uap dengan dearator untuk membangkitkan daya 100 MW telah dievaluasi menggunakan Cycle-Tempo dengan hasil sebagai berikut:

1. Evaluasi dengan pemodelan Cycle-Tempo memuaskan dengan deviasi alir massa yang terbesar terjadi pada dearator sebesar 0,02% dan ketidakseimbangan energi (kerja dan panas) sebesar 0,01 kW.
2. Daya keluaran turbin 103 MW dengan panas masuk melalui boiler sebesar 293 MW.
3. Kinerja pembangkit sebesar 33,37% dengan rasio kerja balik 4,85%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Delft University of Technology, *Cycle-Tempo User Guide*, Netherland, 2002.
2. El-Wakil, M. M. *Powerplant Technology*, McGraw-Hill Int. Singapore, 1985.
3. Moran and Shapiro, M.J, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons, Inc. USA. 1995.