

Analisa Efisiensi Isentropik dan *Exergy Destruction* Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

*Eflita Yohana^a, Revki Romadhon^b

^aDosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

^aMahasiswa Program Studi S-1, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

Email: efnan2003@gmail.com

ABSTRAK

Dalam usaha meningkatkan efektivitas kerja yang dihasilkan dari sebuah pembangkit listrik, perlu adanya analisa untuk mengetahui besarnya kerja aktual dan ideal dari turbin. Efisiensi merupakan perbandingan kerja aktual yang dihasilkan dan kerja ideal dari turbin. Melalui analisa efisiensi ini dapat diketahui sebuah turbin masih beroperasi secara maksimal berdasarkan kerja aktual yang dihasilkan. Dosa Ion, Petrilean dan Codrut dari University of Petrosani telah melakukan penelitian mengenai efisiensi isentropic turbin. Semakin turun nilai efisiensi turbin maka kerja aktual yang dihasilkan juga akan berkurang. Analisa dilakukan pada turbin uap Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap melalui perhitungan kerja turbin berdasarkan temperatur dan tekanan yang masuk dan keluar turbin. Selain itu analisa ini juga menghitung nilai *exergy* yang hilang setelah melalui turbin. Data temperatur dan tekanan yang diperoleh telah tercatat melalui layanan sistem operasi interface. Dari hasil perhitungan diketahui nilai efisiensi isentropik aktual sebesar 82,04% dengan fraksi uap 0,92 dan efisiensi isentropik ideal sebesar 100% dengan fraksi uap 0,82. Nilai kehilangan *exergy* dari turbin uap sebesar 6,95 MW dan panas yang hilang sebesar 0,6 MW. Semakin rendah nilai fraksi uap maka akan semakin besar efisiensi isentropik ideal yang dihasilkan. Dengan adanya penghitungan ini dapat dilakukan perawatan pada turbin uap sehingga turbin dapat menghasilkan kerja yang lebih optimal.

Kata kunci: efisiensi, *exergy*, turbin uap

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pada bidang industri, properti, teknologi serta semakin meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin bertambah sehingga diperlukan pengembangan pada sistem pembangkit dan juga pemanfaatan listrik secara efisien baik dari segi penggunaan maupun proses pembangkitan energi listrik itu sendiri [1]. Menganalisa jumlah energi yang dihasilkan dari sebuah pembangkit serta perawatan pada komponen – komponen pembangkit merupakan faktor penting dalam menjaga agar efisiensi tetap baik. Salah satu komponen utama dari pembangkit ini adalah turbin. Turunnya nilai efisiensi dari turbin akan mengakibatkan kerja yang dihasilkan juga berkurang. Dalam memaksimalkan efisiensi tersebut, maka diperlukan analisa kerja aktual terhadap kerja ideal yang dihasilkan dari turbin uap.

Salah satu penelitian mengenai efisiensi isentropik yang pernah dilakukan oleh Dosa Ion, Petrilean dan Codrut dari University of Petrosani [2]. Pada penelitian tersebut, didapatkan nilai efisiensi isentropic dengan variasi beban 70% , 85% dan 94 % pada turbin. Nilai efisiensi isentropik yang dihasilkan adalah 66,67% , 72,91% dan 74,31% untuk setiap variasi beban. Dari nilai tersebut masih tergolong baik dibandingkan dengan efisiensi maksimal sebesar 76,63%. Pada penelitian ini juga menunjukkan agar efisiensi isentropik dapat meningkat maka dapat menggunakan retrofitting. Retrofitting diperlukan juga pada unit sebagai penyedia di daerah pemanasan air. Keuntungan dengan adanya retrofitting adalah daya yang dihasilkan lebih besar dan efisiensi meningkat sekitar 5-7%.

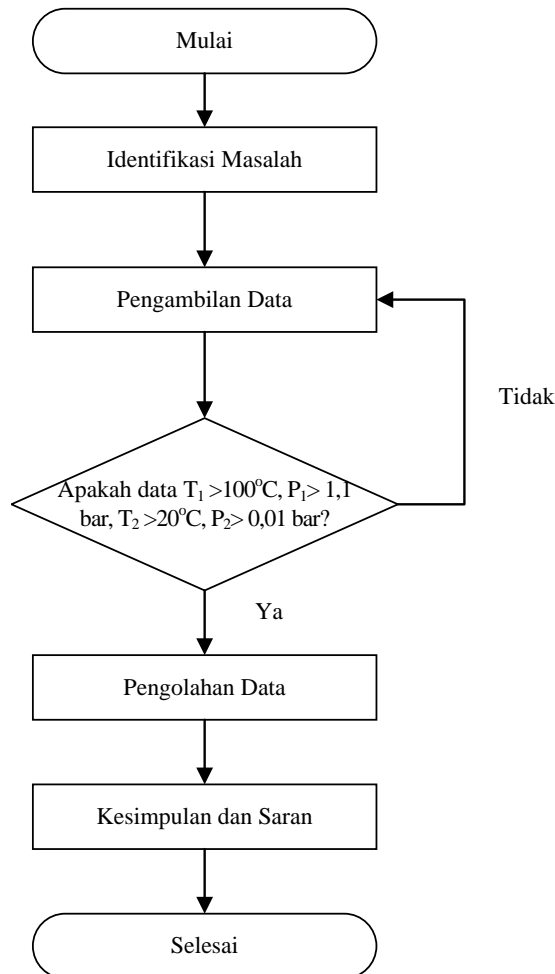
Selain untuk meningkatkan efisiensi turbin, terdapat penelitian yang dilakukan oleh M. Ameri, P. Ahmadi and S. Khanmohammadi dari Power Plant Engineering Department, Power & Water University of Technology, Iran [3]. Penelitian tersebut mengenai besarnya rugi *exergy combine cycle power plant* yang memiliki pengaruh pada besarnya output kerja yang dihasilkan turbin. Dalam penelitian tersebut didapat hasil bahwa terdapat beberapa komponen yang memiliki rugi *exergy* yaitu pada HRSG dan turbin uap. Untuk mengurangi besarnya nilai rugi *exergy* maka dapat digunakan duct burner sehingga akan dihasilkan output kerja turbin uap yang lebih besar.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk melakukan analisa dengan membandingkan nilai kerja aktual terhadap kerja ideal yang terpasang pada turbin uap. Dari hasil analisa dapat diketahui besarnya nilai *exergy* yang hilang pada turbin uap.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada Gambar 1 dibawah menjelaskan tentang metode penelitian. Penelitian dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Sebelum melakukan analisa, identifikasi permasalahan yang ada pada sistem pembangkit. Untuk mendukung analisa, metode pengambilan data temperatur serta tekanan keluar dan masuk turbin yang diperoleh telah tercatat melalui layanan sistem operasi interface. Dalam perhitungan dan pengolahan data dilakukan secara analitik.

Setelah dilakukan analisa akan diketahui besarnya nilai efisiensi, pengaruh fraksi uap keluar turbin dan rugi exergi pada permasalahan yang ada di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Persamaan 1 merupakan persamaan untuk mencari nilai fraksi uap ideal yang keluar dari turbin uap. Nilai S_{2s} (kJ/kgK) merupakan nilai entrophy ideal keluar turbin, S_f (kJ/kgK) merupakan nilai entrophy fase cair, S_g (kJ/kgK) merupakan nilai entrophy fase uap. Persamaan 2 merupakan persamaan untuk mencari entalphy ideal turbin uap sedangkan persamaan 3 untuk mencari entalphy actual turbin. h_f merupakan entalphy fase cair (kJ/kg), h_g merupakan entalphy fase gas (kJ/kg), \dot{m} (kg/s) merupakan laju aliran uap, dan W_{aktual} merupakan kerja actual yang dihasilkan turbin. Persamaan 4 merupakan persamaan untuk mencari entrophy actual keluar turbin. Persamaan 5 merupakan persamaan untuk mencari nilai kerja ideal dari turbin, h_{2s} (kJ/kg) merupakan entalphy ideal keluar turbin, h_1 (kJ/kg) merupakan entalphy masuk turbin. Persamaan 6 merupakan persamaan untuk mencari efisiensi isentropik turbin melalui perbandingan W_{aktual} (MW) dan W_{ideal} (MW). Persamaan 7 merupakan persamaan untuk mencari *exergy destruction* atau exergy yang hilang setelah melwati turbin, T_0 merupakan temperatur kondisi lingkungan, S_1 (kJ/kgK) merupakan entrophy masuk turbin uap dan S_2 (kJ/kgK) merupakan entrophy actual keluar turbin uap.

$$X_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_g - s_f} \quad (1)$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s} (h_g - h_f) \quad (2)$$

$$h_2 = h_1 - (W_{\text{aktual}} / \dot{m}) \quad (3)$$

$$s_2 = s_f + x_2 (s_g - s_f) \quad (4)$$

$$W_{\text{ideal}} = \dot{m}_s (h_1 - h_{2s}) \quad (5)$$

$$\eta_t = \frac{(\dot{W}_t / \dot{m})}{(\dot{W}_t / \dot{m})_s} = \frac{\text{Kerja Actual Turbine}}{\text{Kerja Ideal/available Turbin}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (6)$$

$$E_d = \dot{m}_s T_0 (s_2 - s_1) \quad (7)$$

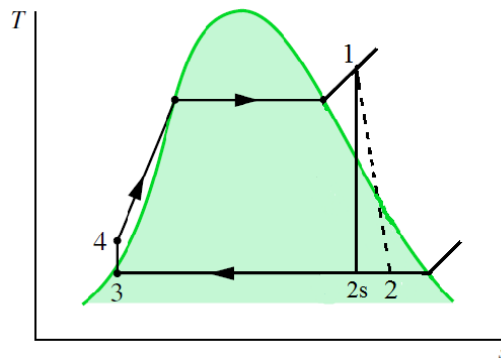
3. DATA DAN PERHITUNGAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 15 Februari 2016. Tabel 1 menjelaskan data penelitian yang dibutuhkan untuk melakukan analisa. Data penelitian yang diperlukan adalah temperatur dan tekanan pada inlet turbin uap dan outlet turbin uap serta nilai *steam mass flow rate* [4].

Tabel 1. Data Operasional Turbin uap pada tanggal 15 Februari 2016

Time (WIB)	Steam Inlet Turbine		Steam Outlet Turbine		Steam Flow Rate (m)
	T1 (°C)	P1 (bar)	T2(°C)	P2(bar)	ton/hour
01.00	525,4	70,3	42	0,09	119
02.00	526	70,3	42	0,09	117
03.00	524	70,3	42	0,09	114
04.00	526	70,3	42	0,09	117
05.00	528	70,2	41	0,09	111
06.00	527	70	41	0,09	114
07.00	526	70	42	0,09	112
08.00	526	70	41	0,09	113
09.00	526	70	42	0,09	113
10.00	528	70	42	0,09	114
11.00	526	70	42	0,09	114
12.00	526	70	42	0,09	119
13.00	527	70	42	0,09	118
14.00	526	70	42	0,09	118
15.00	525	70	42	0,09	117
16.00	525	70	42	0,09	116
17.00	526	70	42	0,09	115
18.00	525	70	42	0,09	116
19.00	525	70	42	0,09	121
20.00	528	70,5	42	0,09	120
21.00	526	70,3	42	0,09	117
22.00	526	70,4	42	0,09	117
23.00	526	70,3	42	0,09	116
24.00	527	70,4	42	0,09	117
Rata-Rata	526,1	70,1375	41,875	0,09	116,0416667

Pada Gambar 2 menjelaskan tentang siklus rankine sebagai dasar penghitungan efisiensi turbin uap. Uap masuk ke turbin melalui titik 1 pada kondisi temperatur dan tekanan superheated. Uap keluar turbin pada titik 2s siklus ideal atau pada titik 2 siklus aktual pada fase campuran menuju kondenser.



Gambar 2. Siklus Rankine

Untuk mencari nilai perhitungan kerja yang dihasilkan turbin uap, pada Tabel 1 menunjukkan nilai entalphy dan entropy pada kondisi uap superheated masuk ke turbin . Pada Tabel 2 menunjukkan nilai entalphy dan entropy uap keluar dari turbin dengan fase campuran dan kondisi *saturater water*.

Tabel 1. Data Steam Inlet Turbin Superheated Water Vapor

T_1 (°C)	P_1 (bar)	h_1 (kJ/kg)	S_1 (kJ/kg)K
526,1	70,1	3474,3	6,88

Tabel 2. Data Steam Outlet Turbin Saturated Wter

T (°C)	P(bar)	hg (kJ/kg)	hf (kJ/kg)	S_{2s} (kJ/kg)K	S_f (kJ/kg)K	S_g (kJ/kg)K	x_{2s}
41,875	0,09	2577,64	175,4	6,88	0,6	8,22	0,82

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 diketahui nilai entropy masuk dan entorphy keluar turbin untuk mencari nilai fraksi uap. Fraksi uap keluar dari turbin siklus ideal adalah 0,82. Kerja aktual yang dihasilkan turbin uap adalah 35 MW. Berdasarkan nilai fraksi uap ideal keluar turbin maka diketahui nilai entalphy siklus idealnya adalah sebesar 2154,30 kJ/kg dan nilai entalphy siklus aktualnya adalah 2388,48 kJ/kg. Nilai fraksi uap aktual yang dihasilkan melalui entalphy aktual adalah 0,92, dari persamaan 4 maka nilai entropy aktual keluar turbin yang dihasilkan adalah 7,623 kJ/kgK. Setelah mendapat nilai entalphy keluar dan masuk turbin, berdasarkan persamaan 5 maka nilai kerja ideal yang dihasilkan turbin adalah 42,55 MW.

Dari perhitungan kerja aktual dan kerja ideal turbin maka nilai efisiensi isentropik berdasarkan persamaan 6 adalah 82,26%. Nilai Exergy Destruction setelah uap panas melewati turbin dari persamaan 7 memiliki nilai sebesar 7,18 MW. Hal ini merupakan sebuah kerugian karena kerja yang dihasilkan turbin menjadi berkurang.

Pada perhitungan turbin sebelumnya memiliki efisiensi isentropis sebesar 82,26 %. Nilai tersebut masih tergolong baik dari efisiensi ideal nya. Ada beberapa faktor yang menyebabkan efisiensi isentropis menurun, salah satunya adalah nilai fraksi uap (x). Pada Tabel 3 menunjukkan perbedaan nilai efisiensi isentropis turbin uap berdasarkan nilai fraksi uap. Dari data aktual diketahui bahwa fraksi uap akan berada pada nilai 0,92 dari idealnya yaitu 0,82 sehingga terjadi perbedaan nilai efisiensi.

Tabel 3. Fraksi Uap pada Turbin uap

x_2	h_1	h_{2s}	h_2	efisiensi
0,82	3474,3	2154,30	2154,30	100,00
0,83	3441,6	2169,26	2154,30	98,84
0,84	3441,6	2193,28	2154,30	96,97
0,85	3441,6	2217,30	2154,30	95,11
0,86	3441,6	2241,32	2154,30	93,24
0,87	3441,6	2265,35	2154,30	91,37
0,88	3441,6	2289,37	2154,30	89,51
0,89	3441,6	2313,39	2154,30	87,64
0,9	3441,6	2337,41	2154,30	85,78
0,91	3441,6	2361,44	2154,30	83,91
0,92	3441,6	2385,46	2154,30	82,04
0,93	3441,6	2409,48	2154,30	80,18
0,94	3441,6	2433,50	2154,30	78,31
0,95	3441,6	2457,53	2154,30	76,44
0,96	3441,6	2481,55	2154,30	74,58
0,97	3441,6	2505,57	2154,30	72,71
0,98	3441,6	2529,59	2154,30	70,85
0,99	3441,6	2553,62	2154,30	68,98

Keterangan :

	Efisiensi isentropik ideal
	Efisiensi isentropik aktual

Dari perhitungan kerja ideal, aktual dan exergy destruction diatas, berdasarkan presentasi pada Tabel 4 dapat dilihat sejumlah energi yang dihasilkan dan energi yang hilang pada turbin uap pada tanggal 15 Februari 2016.

Tabel 4. Ringkasan Kerja dan Exergy pada Turbin

W_{ideal}	42,55 MW	100 %
W_{aktual}	35 MW	82,25%
Exergy Destruction	7,18 MW	16.87%
Panas yang hilang (Q)	0,37MW	0,87 %

4. KESIMPULAN

Besar efisiensi isentropik pada turbin uap sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap adalah 82,25%. Besarnya efisiensi mempengaruhi daya yang dihasilkan pada sistem pembangkit listrik, semakin baik efisiensinya maka akan semakin besar daya yang dihasilkan. Dilihat dari hasil penghitungan efisiensi, maka dapat dikatakan bahwa Turbin uap SST-400 dalam keadaan cukup baik karena efisiensi isentropik dari turbin tersebut masih berada dikisaran 70-100 %. Besarnya nilai exergy yang hancur pada turbin uap yaitu sebesar 7,18 MW. Dan besarnya panas yang hilang pada saat terjadi proses adalah sebesar 0,37 MW. Semakin besar nilai exergy maka akan mengurangi nilai kerja aktual sehingga juga akan mengurangi tingkat atau nilai efisiensi isentropik pada turbin uap. Pemusnahan exergy tersebut berasal dari satu atau beberapa dari jenis irreversibilitas yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti perpindahan kalor dan gesekan. Nilai Fraksi Uap turbin uap ideal adalah sebesar 0,82. Sedangkan nilai fraksi uap aktual yang terjadi adalah sebesar 0,92. Perbedaan nilai ini yang mengakibatkan adanya perbedaan efisiensi isentropik. Dengan perbedaan efisiensi isentropik yang semakin kecil maka akan mengurangi besar daya yang dihasilkan dari turbin uap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ristyanto, A., Windarto,J, and Handoko, S. Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.2012. “Simulasi Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang”.
- [2] Dosa Ion, Petrilean dan Codrut. Department of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transportation University of Petrosani. 2006. “Efficiency Assessment of Condensing Steam Turbine”
- [3] M. Ameri,y, P. Ahmadi and S. Khanmohammadi. “Exergy analysis of a 420MW combined cycle power plant”. Int. J. Energy Res. 2008; 32:175–183.
- [4] Data temperatur, tekanan dan laju massa turbin uap didapat dari PT Krakatau Daya Listrik Cilegon, Banten. Februari 2016.
- [5] Yohana, E., and Priambodo A. 2012. “Analisa Efisiensi Low Pressure Hrsg (Heat Recovery Steam Generator) Pada PLTGU PT. Indonesia Power Ubp Semarang”. ROTASI – Vol. 14, No. 1, Januari 2012: 7–9.
- [6] Moran, Michael J ,dan Shapiro, Howard N. 2004. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition*.