

ANALISIS VARIABEL-VARIABEL PENENTU *CLEANLINESS FACTOR* DAN *PERFORMANCE FACTOR* UNTUK MENINGKATKAN KINERJA KONDENSOR UNIT 1 PLTU SEKTOR ASAM-ASAM

⁽¹⁾Muhammad Ashar, ⁽²⁾Sobar Ihsan, ⁽³⁾Irfan, ⁽⁴⁾Slamet Ramadhan

⁽¹⁾⁽²⁾Prodi Teknik Mesin, ⁽³⁾Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan MAB

Jl. Adhiyaksa No. 2 Kayu Tangi, Banjarmasin

Email: muhammadashar94@gmail.com, sobar.uniska@gmail.com,
irfan9617@gmail.com, slametramadhan77@gmail.com

ABSTRAK

Pemanatauan kinerja kondensor PT. PLN Persero Sektor Asam-Asam pada keadaan operasi membutuhkan nilai *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor*. Analisis variabel-variabel yang menentukan *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor* diperlukan agar kinerjanya dapat ditingkatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor*, mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor*, mengetahui variabel-variabel mempengaruhi kinerja kondenser dan mencari solusi untuk meningkatkan performance kondensor. Nilai *Cleanliness Factor* didapatkan dari rasio perbandingan koefisien transfer panas total keadaan aktual terhadap koefisien transfer panas HEI sedangkan PF didapat dari rasio koefisien transfer panas total keadaan aktual terhadap koefisien transfer panas ASME. Data-data operasi menunjukkan bahwa nilai *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor* meningkat seiring dengan meningkatnya beban pembangkitan listrik. Hal ini membuktikan bahwa fouling bukan penyebab rendahnya nilai *Cleanliness Factor* dan *Performance Factor*. Variabel-variabel yang dianalisis yaitu suhu inlet cooling water (T_{in}), tekanan kondenser/back pressure (P_{back}) dan aliran volumetrik cooling water (*Colling Water flow*).

Kata Kunci : *Kondensor, Cleanliness Factor, Performance Factor*

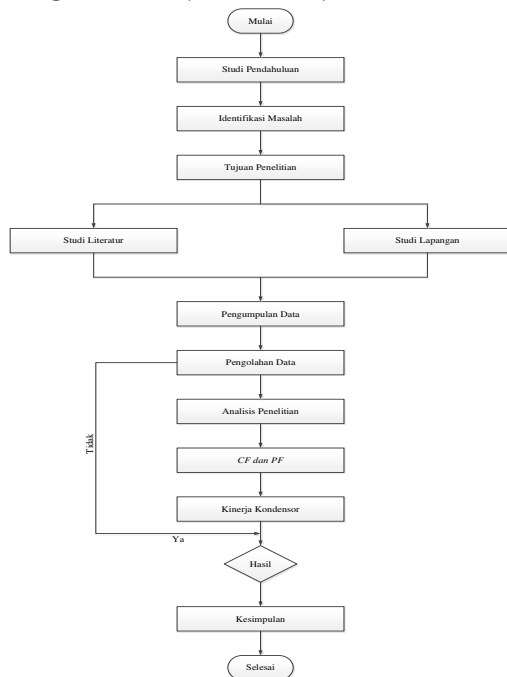
PENDAHULUAN

Kondensor adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (heat exchanger) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Pada sistem tenaga uap atau lebih tepatnya pada PLTU Sektor Asam-Asam, fungsi kondensor adalah untuk mendinginkan atau mengkondensasikan uap keluaran turbin tekanan rendah dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya sehingga dapat dipompakan kembali ke boiler. Pada sistem kondensor di pembangkit listrik terdapat alat bantu vacuum sistem (sistem vakum) yang biasanya berupa

Hogging Ejector dan Main Air Ejector. Perlu diketahui bahwasannya vakum kondensor terbentuk oleh proses di kondensasi kondensor dan bukan oleh peralatan bantu vacuum system (vacuum pump atau Main Air Ejector). Fungsi Main Air Ejector ini adalah mengekstrak atau membuang udara atau gas-gas lainnya di dalam kondensor dan membuangnya ke atmosfer. Sistem alat bantu vakum ini juga berfungsi sebagai pembuat vakum saat start unit turbin uap. Setelah normal operasi dan terdapat uap yang masuk ke turbin maka proses vakum kondensor diambil alih oleh

proses kondensasi uap menjadi air (air kondensat). Unjuk kerja kondenser ditunjukkan oleh nilai *cleanliness factor* dan *performance factor*. Nilai ini sangat dipengaruhi oleh banyaknya panas yang dapat ditransfer dari steam ke air pendingin. Semakin besar transfer panas aktual yang terjadi (dibandingkan keadaan bersihnya), semakin besar pula nilai *cleanliness factor* dan *performance factor*. Transfer panas tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, di antaranya keberadaan fouling dan udara luar dapat menurunkan nilai *cleanliness factor* dan *performance factor*. Dengan turunnya nilai *cleanliness factor* dan *performance factor*, maka efisiensi pembangkitan listrik menjadi turun. Dengan mengetahui *cleanliness factor* dan *performance factor*, diharapkan pemantauan dan pemeliharaan kondenser akan lebih mudah dilakukan dan dengan waktu yang tepat. Selain itu, dengan menganalisis distribusi nilai *cleanliness factor* dan *performance factor* pada beberapa keadaan operasi, diharapkan perbaikan dapat dilakukan agar efisiensi plant meningkat.

METODE PENELITIAN



HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data Kondensor Untuk Perhitungan CF dan PF

Keterangan	Lambang	Data Kondensor	Satuan
Diameter Luar Tube	d_o	0,875	in
Diameter Dalam Tube	d_i	0,8191	in
Panjang Efektif Tube	L	42,781632	ft
Jumlah Tube	N	12776	Tube
Jumlah Pass	N_{pass}	2	-
Faktor Koreksi Material	F_m	0,86	-
Konduktivitas Material Tube	K_m	86	Btu/h.ft.F
Percepatan Gravitasi	g	417000000	ft.lbm/h ² .lb f
Suhu Shell	T_v	111,63	F
Aliran Volumetrik	G	92066,3	GPM
Temperatur Inlet Tube	T_{in}	83,18	F
Temperatur Outlet Tube	T_{out}	104,14	F
Temperatur Tube Rata-Rata	T_{bulk}	93,66	F
Tekanan Kondensor	$P_{back Pressure}$	0,092125	barA
		1,336164816	Psi
Steam Exhaust Flow	W	1001485,88	lb/h
Daya Generator		65	MW

Nilai PF lebih kecil dari pada CF disebabkan karena koefisien U_{HEI} adalah nilai transfer panas keseluruhan tube bundle, sedangkan koefisien U_{ASME} yang dihitung dari resistensi termal adalah nilai single tube.

Tabel 2 dan 3 menyajikan 2 keadaan kondenser : desain kondenser dan kondenser unit 1 pada performance test yang dilakukan pada bulan April 2018. Data yang digunakan dibagi menjadi 2, yaitu: variabel tetap yang merupakan variabel yang tidak berubah karena merupakan spesifikasi utama kondenser dan variabel berubah yang didapat dari performance test.

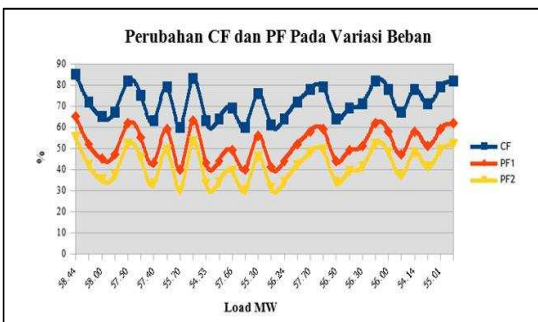
Tabel 2 Data Desain Kondensor dan Data Kondensor Unit 1

Variabel Tetap				Satuan
Keterangan	Lambang	Design	April 2018	
Diameter Luar Tube	d_o	0,875	0,875	in
Diameter Dalam Tube	d_i	0,8191	0,8191	in
Panjang Efektif Tube	L	42,781632	42,781632	ft
Jumlah Tube	N	12776	12776	tube
Jumlah Pass	N_{pass}	2	2	-
Tipe 22BWG dg SS316	F_m	0,86	0,86	-
Konduktivitas Material Tube	K_m	8,6673	8,6	Btu/h.ft.F
Percepatan Gravitasi	G	417000000	417000000	Ft/lbm/h ² .lbf
Variabel Bebas				Satuan
Keterangan	Lambang	Design	April 2018	
Suhu Shell	T_v	107,86	111,63	F
Steam Inlet		343060		Kg/h
Aliran Volumetrik	G	2.24	2.24	GPM
Temperatur Inlet Tube	T_{in}	36,6	83,18	F
Temperatur Outlet Tube	T_{out}	47,5	104,14	F
Temperatur Tube Rata-Rata	T_{bulk}	90,95	93,66	F
Tekanan Kondensor	$P_{back pressure}$	0,0826589	0,092125	BarA
		1,1988701	1,3361648	PsiA
Steam Exhaust Flow	W_{EX}	756317,82	1001485,8	lb/h
Iterasi Nilai Awal	T_{WO}	102,63652	105,60726	F
Iterasi Nilai Akhir	T_{WO}	102,63652	105,60726	F
Daya Generator		55	65	MW

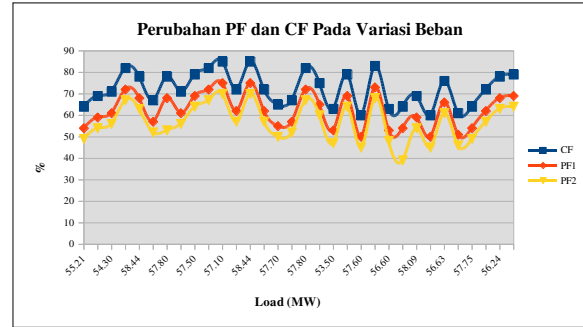
Tabel 3 Perhitungan Untuk Desain Kondensor Unit 1

Perhitungan Utama					Satuan
No	Keterangan	Lambang	Design	Kondensor Unit 1	
1	Luas Permukaan Transfer Panas	A	125207,09	125207,09	ft ²
2	Luas Aliran Air Pendingin	A ₀	23,375782	23,375782	ft ²
3	Massa Jenis Air	ρ	62,251304	62,252324	lbm/ft ³
4	Kalor Jenis Air	C _p	0,9981472	0,9980668	Btu/(lbm.F)
5	Aliran Massa	m	39164194	46015005	lbm/h
6	Kecepatan Aliran Air Pendingin	V	7,4760482	8,7874659	ft/s
7	LMTD	LMTD	14,715949	15,705323	F
8	Kalor Yang di Transfer	Q	781047289	962610034	Btu/h
9	Koefisien Transfer Panas	U _{0F}	423,89676	489,52466	Btu/(ft ² .h.F)
Perhitungan HEI					Satuan
No	Keterangan	Lambang	Design	Kondensor Unit 1	
1	U _{BASE}	U _{BASE}	721,83839	778,3173	Btu/(ft ² .h.F)
2	Faktor Koreksi Temperatur HEI	F _T	1,0478918	1,054708	-
3	Faktor Koreksi Material HEI	F _r	0,86	0,86	-
4	Koefisien Transfer Panas HEI	U _{HEI}	650,51136	705,9721	Btu/(ft ² .h.F)
5	Cleanliness Factors	CF	65,16362	69,34050	%
Perhitungan Resistensi Termal					Satuan
No	Keterangan	Lambang	Design	Kondensor Unit 1	
1	Resistensi Dinding Tube	R _w	0,0002776	0,0002798	F/(Btu.h).ft ²
2	Viskositas	μ	1,9036956	1,8252381	lbm/h.ft
3	Massa Jenis	ρ	62,251304	62,093898	lbm/ft ³
4	Kalor Jenis	C _p	0,9979563	0,9979685	Btu/(lbm.F)
5	Konduktivitas	k	0,3786761	0,3720852	Btu/(h.ft.F)
6	Kecepatan	V	7,4760482	8,7874659	ft/s
7	Resistensi Sisi Air Pendingin	R _i	0,0005996	0,0005148	F/(Btu.h).ft ²
8	Temp. Kondensor Rata-Rata	T _c	105,24826	108,61863	F
9	Konduktivitas Kondensat	k _c	0,3786761	0,3805184	Btu/h.ft.F
10	Percepatan Gravitasi	g	417000000	417000000	ft.lbm/h ² .lbf
11	Kalor Laten Kondensasi		1032,6498	1030,4671	Btu/lbm
12	Viskositas Lapisan Kondensat		1,5389091	1,4698657	lbm/ft.h
13	Diameter Luar Tube	D _o	0,0729166	0,0729166	ft
14	ΔT = T _c - T _{WIS}	ΔT	5,2234709	6,0227324	F
15	Massa Jenis	ρ	61,938265	61,892325	lbm/ft ³
16	Koeff. Transfer Panas Sisi Shell	h _s -LH	2550,0049	2496,0669	Btu/h.ft ² .F
17	Koeff. Transfer Panas Sisi Shell	h _s -MF	3254,2736	0,0004006	Btu/h.ft ² .F
18	Resistensi Fouling	R _f	0	0	F/(Btu.h).ft ²
19	Koef. Transfer Panas ASME-LH	U _{ASME-LH}	787,69228	836,56890	Btu/(ft ² .h.F)
20	Koef. Transfer Panas ASME-MF	U _{ASME-MF}	844,12162	888,43842	Btu/(ft ² .h.F)
21	Performance Factors LH	PF _L	53,81502	58,515762	%
22	Performance Factors MF	PF _F	50,2175	55,089448	%

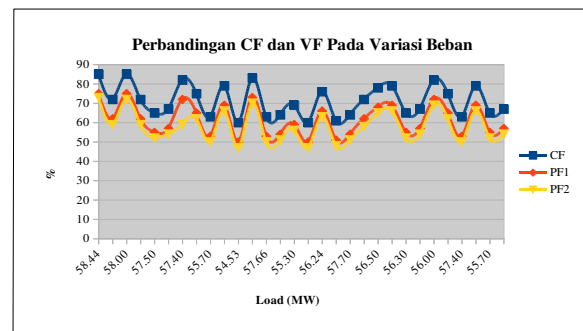
Hasil perhitungan pada berbagai keadaan operasi untuk kondenser unit 1 terdapat pada Gambar 2, 3 dan 4. Analisis data dari lampiran ini ditunjukkan pada grafik yang akan dibahas di bawah ini.



Gambar 2. Grafik Kondensor Unit 1, Perubahan CF dan PF Pada Variasi Beban



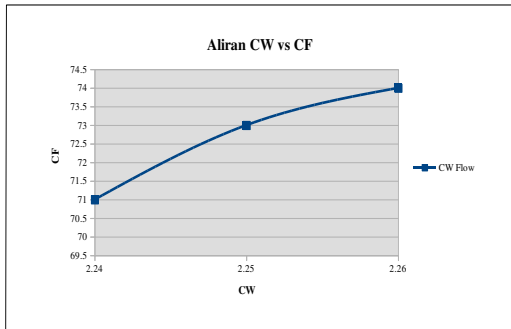
Gambar 3. Grafik Kondensor Unit 1, Perubahan CF dan PF Pada Variasi Beban



Gambar 4. Grafik Kondensor Unit 1, Perubahan CF dan PF Pada Variasi Beban

Dari Grafik hasil penelitian ini menyatakan bahwa kenaikan Cleanliness Factor dan Performance Factor berbanding lurus terhadap kenaikan beban., kenaikan Cleanliness Factor dan Performance Factor tetap berbanding lurus terhadap nilai beban. Hal ini membuktikan bahwa fouling bukanlah menjadi penyebab utama yang menyebabkan rendahnya nilai Cleanliness Factor dan Performance Factor. Dengan kata lain, jika suatu kondenser uap tanpa fouling sekalipun dapat memiliki nilai Cleanliness Factor dan Performance Factor yang rendah.

- 1) Pengaruh aliran cooling water terhadap Cleanliness Factor jika keempat variabel lainnya tetap. Grafik Gambar 5 ditinjau secara teoritis berdasarkan perhitungan Cleanliness Factor.

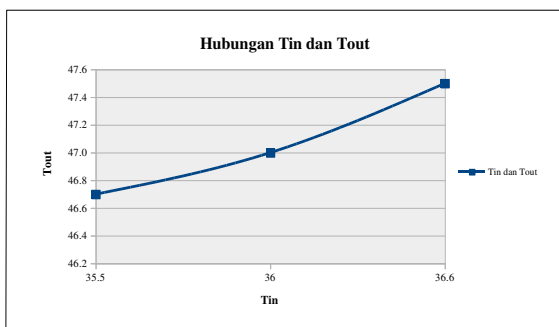


Gambar 5. Grafik Aliran Cooling Water vs CF

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kenaikan *Cleanlines Factor* berbanding lurus terhadap kenaikan aliran dari cooling water. Hal ini di karena bertambahnya jumlah aliran air pendingin menyebabkan transfer panas lebih cepat sehingga uap akan terkondensasi lebih banyak dalam waktu yang relatif lebih pendek. Dengan kondisi suhu inlet air pendingin dan tekanan kondenser yang sama, kenaikan aliran cooling water mengakibatkan koefisien tranfer panas keadaan aktualnya lebih besar sehingga *Cleanlines Factor* meningkat.

2) Pengaruh suhu inlet dan outlet cooling water

Pada kondisi aktual, kenaikan suhu inlet air pendingin menyebabkan suhu outletnya meningkat. Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kondisi operasi menyebabkan kenaikan T_{out} sebanding dengan kenaikan T_{in} . Hal ini berguna untuk mengimbangi jumlah kalor yang sama yang ditransfer pada kondisi suhu inlet yang berbeda namun keadaan transfer panasnya sama.



Gambar 6. Grafik Hubungan T_{in} dan T_{out}

Dari Gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa gradiennya bernilai satu. Hal ini menunjukkan perbandingan antara suhu inlet dan outlet adalah sama.

3) Pengaruh tekanan kondensor

Besarnya konsentrasi pada uap serta adanya kebocoran udara menyebabkan tekanan kondenser meningkat. Uap yang tidak dapat terkondensasi memiliki resistansi yang sangat besar dan memenuhi seluruh shell. Adanya uap-uap tersebut menghalangi transfer panas sehingga koefisien transfer panas efektifnya rendah. Dengan menurunnya nilai koefisien transfer panas efektif, maka *cleanliness factor* akan turun.

4) Pengaruh aliran steam

Pengaruh aliran uap yang masuk ke kondenser dalam perhitungan sebenarnya hanya berpengaruh pada perubahan nilai *Performance Factor*.

KESIMPULAN

Cleanlines Factor dan *Performance Factor* dapat digunakan sebagai ukuran kelayakan kondenser. *Cleanlines Factor* (standar HEI) dan *Performance Factor* (standar ASME) adalah ratio koefisien transfer panas efektif (aktual) terhadap koefisien transfer panas keadaan bersihnya. Untuk mengetahui pengaruh fouling, dilakukan analisis pengaruh perubahan beban terhadap *Cleanlines Factor* dan *Performance Factor*. Selain fouling, ada faktor-faktor dominan yang mempengaruhi *Cleanlines Factor* dan *Performance Factor*. Dengan menganalisis faktor-faktor tersebut diharapkan kinerja kondenser dapat ditingkatkan.

1. *Cleanlines Factor* maupun *Performance Factor* menunjukkan kenaikan ketika beban operasi mengalami peningkatan. Hal ini membuktikan bahwa fouling bukan

penyebab utama atas rendahnya nilai *Cleanlines Factor* dan *Performance Factor*.

Kondisi operasi hanya memungkinkan untuk pengaturan aliran cooling water (CW flow), suhu inlet cooling water (Tin) dan tekanan kondenser/ back pressure (Pback). Tin dan interaksi Pback-Tin. Kenaikan *Cleanlines Factor* disebabkan oleh penurunan Pback dan kenaikan Tin. Data operasi menunjukkan bahwa *Cleanlines Factor* bergantung pada P_{back} dan Tin, namun tidak dapat dibuktikan bahwa interaksi Tin dan P_{back} menentukan nilai *Cleanlines Factor*.

REFERENSI

- [1] Banks, D. (2008). *An Introduction to Thermogeology: Ground source heating and cooling*.
- [2] Berkeley, & King, E. F. (1859). This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.
- [3] Shah, R. K., & Mueller, A. C. (2012). Heat Exchange. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 21*(October), 309–338.
- [4] Zhang, C., Sousa, A. C. M., & Venart, J. E. S. (1993). The numerical and experimental study of a power plant condenser. *J. Heat Transf., 115*(March), 435–445.
- [5] Fatkhurrahman, M. (2014). Analisis Kinerja Kondensor. *Eksergi Jurnal Teknik Energi., 10*(1), 29–34.
- [6] Rotary, J. I., Safira, A., Lini, Z., Terbarukan, T. E., Teknik, J., Jember, P. N., ... Probolinggo, K. (2016). Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor, *1*(1), 1–7.