

PENENTUAN NILAI EFEKTIVITAS *CONDENSER* DI PLTU PAITON UNIT 5 PT. YTL JAWA TIMUR

Asrorin Safira Zata Lini¹, dan Bayu Rudiyanto²

¹⁾²⁾ Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

Email : asrorinsafirazatalini@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan konsumsi energi listrik semakin meningkat dan bahan baku pembangkit listrik semakin menipis. Membuat suatu pembangkit listrik meningkatkan efisiensi yang tinggi. PT. YTL Jawa Timur adalah pembangkit listrik tenaga uap. Salah satu komponen utama dari PLTU yaitu *condenser*. Nilai efektivitas dari suatu *condenser* mempengaruhi efisiensi dari suatu pembangkit listrik. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan efektivitas dari *condenser* unit 5 masih tergolong mempunyai kinerja yang baik. Terbilang baik karena nilai saat *commissioning* dan actual tidak berbeda jauh. Terlihat dari perhitungan nilai efektivitas yaitu pada *condenser* 2 data actual adalah 0.261912 dan pada data *commissioning* nilai efektivitas yang didapat adalah 0.32333844. Sedangkan pada *condenser* 1 nilai efektivitas yang dihasilkan 0.233836 dari data actual dan dari data *commissioning* dihasilkan efektivitas sebesar 0.34544.

Kata kunci : Energi, Efektivitas Condenser, Pembangkit Listrik

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan saat ini dengan kemajuan teknologi dan industri yang menyebabkan penggunaan listrik semakin meningkat. Di Indonesia daerah Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur merupakan kompleks pembangkit listrik tenaga uap dengan beberapa unit. Unit 1, 2, dan 9 merupakan unit milik PT. PJB. Unit 3,7, dan 8 merupakan unit milik PT. Indonesia Power dan dioperasikan oleh PT. IPMOMI. Dan unit 5 dan 6 merupakan unit milik PT. Jawa Power yang dioperasikan oleh PT. YTL Jawa Timur dengan saham milik Siemens SPV 50%, PowerGen 35% dan Bumi Pertiwi 15%. Proses produksi pembangkit listrik tenaga uap ini menggunakan bahan bakar batu bara pada unit 5 dan 6. Batu bara ini berfungsi untuk memanaskan air menjadi uap dimana uap digunakan untuk memutar turbin sehingga generator menghasilkan energi listrik.

Sistem yang digunakan unit 5 dan unit 6 adalah sistem closed loop, dimana air digunakan secara berulang dalam beberapa proses. Jika kuantitas air kurang dari set point (standart) maka dilakukan penambahan air. Siklus yang digunakan adalah siklus rankine menggunakan re-heater. Pada siklus ini menggunakan re-heater untuk meningkatkan efisiensi proses pembangkitan listrik. Fungsi reheater sendiri adalah untuk meningkatkan temperature uap yang keluar dari turbin. Penggunaan reheater didasari dengan pertimbangan pemanfaatan uap yang keluar dari turbin masih memiliki temperature yang relatif tinggi. Bila uap langsung tertampung dalam

condenser maka kerugian energi bagi proses dalam PLTU semakin besar.

Proses yang terjadi dalam pembangkit listrik tenaga uap unit 5 dan unit 6 PT. YTL Jawa Timur ini dibagi menjadi tiga proses, yaitu Proses Utama (Main Plant), Sistem Auxiliary (Auxiliary System), dan proses penanganan limbah (Flue Gas System dan Ash Handling). Komponen utama yang digunakan dalam PLTU ini yaitu pompa, boiler, turbin, generator dan kondenser.

Kondenser merupakan komponen yang bekerja mengubah uap menjadi air dan digunakan kembali. Kinerja dari suatu *condenser* dapat dilihat dari perhitungan efektifitasnya. Perhitungan efektifitas *condenser* memerlukan beberapa faktor dari aliran steam dan aliran cooling water. Aliran steam disini berasal dari keluaran turbin dan aliran air berasal dari input canal air laut. Variabel-variabel yang perlu diperhatikan antara lain massa aliran fluida panas, massa aliran fluida dingin, temperature fluida panas yang masuk, temperature fluida panas yang keluar, temperature fluida dingin yang masuk, temperature fluida dingin yang keluar, dan tekanan. Dari waktu ke waktu kinerja dari suatu Alat Penukar Kalor mengalami penurunan walaupun sudah dilakukan maintenance secara berkala ataupun tidak. Membandingkan variabel-variabel yang ada saat *commissioning* dengan variabel-variabel yang ada pada saat ini di DCS (Distributed Control System) maupun data local yang dilakukan secara berkala dapat mengetahui keefektifitasan dari suatu APK. Di PT. YTL sendiri belum pernah menghitung nilai

efektivitas condenser yang digunakan untuk membangkitkan listrik.

1. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Condenser

Condenser merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa kecil berisi cooling water. Dapat dikatakan fungsi condenser adalah sebagai heat exchanger atau alat penukar kalor (APK), kerja condenser sendiri adalah mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air. Air hasil kondensasi ini dipompa oleh CEP (Condensate Extraction Pump) menuju boiler dan akan digunakan kembali. Dalam perpindahan panas ini prinsip yang digunakan adalah prinsip pindah panas secara konduksi dan konveksi. Proses perpindahan panas secara konduksi ini terjadi saat cooling water mengalir dalam pipa-pipa kecil dan perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika steam melewati sisi luar pipa kecil tersebut.

Condenser yang ada pada PLTU ini termasuk jenis heat exchanger pipa cangkang. Dimana heat exchanger ini memiliki 2 sisi, yaitu sisi shell dan sisi tube. Sisi shell disini merupakan wadah steam yang akan dikondensasikan sedangkan sisi tube disini merupakan sisi cooling water sebagai pendingin yang berasal dari air laut. Berdasarkan media pendinginnya, condenser ini tergolong water cooled condenser dengan tipe horizontal.

2.2 Pengendalian Level Condenser

Dalam satu unit terdapat dua buah condenser yang dipasang secara parallel. Masukkan condenser berupa uap yang berasal dari LP Turbin, sedangkan sumber cooling water berasal dari laut yang masuk melalui input canal dan dialirkan ke condenser melalui control valve. Air pendingin yang masuk dialirkan melalui pipa-pipa kecil, dan uap yang mengalir menjadi air hasil kondensasi tertampung di dalam hotwell. Air hasil kondensasi ini dipompa keluar oleh CEP (Condensate Extration Pump). Ada tiga buah pompa CEP, dua diantaranya berkerja dan satu pompa dalam keadaan standby (digunakan saat start up). Kemudian, air ini masuk ke dalam Feedwater Tank. Air hasil kondensat yang tertampung pada hotwell juga mendapat input air dari kondensat drain heater A6, A7 A8. Dan besarnya bukaan valve. Pressure, serta level condensate pada hotwell condenser dikontrol melalui DCS.

Level air hasil kondensasi yang berada pada hotwell condenser dikontrol agar tetap dalam kondisi normal. Level air pada condenser dijaga sekitar 1135-1335 mm. Jika air tinggi dan melebihi

1885mm maka ketiga kontrol valve heater A6, A7, A8 akan menutup menghentikan supply air dari kondensate. Upaya ini dilakukan agar uap yang tercampur dengan air tidak masuk kembali dalam turbin, karena uap yang tercampur air dapat merusak turbin uap.

2.3 Instrumentasi Kondenser

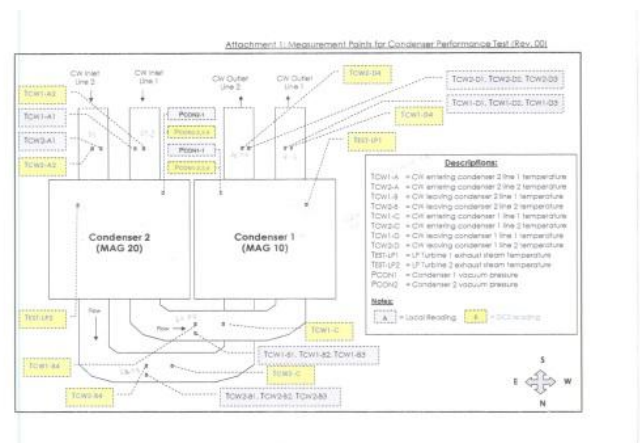
Ada beberapa alat-alat yang mendukung kinerja condenser. Differensial pressure transmitter (DP transmitter) merupakan alat ukur yang berkerja saat adanya perbedaan tekanan yang mengalir di dalamnya. Terdapat sisi High Pressure (HP) dan Low Pressure (LP) pada DP transmitter. Sesuai dengan namanya alat ini mengukur perbedaan tekanan dari sisi HP dan LP saat fluida melewatinya. DP transmitter mengirimkan signal arus dan DP transmitter dapat mengukur laju aliran, ketinggian, tekanan, serta temperature aliran.

Ada 4 (CL 021, 022, 023 dan 026) DP transmitter yang ada pada condenser yang digunakan sebagai pengatur level pada hotwell. Hasil pengukuran level condenser merupakan rata-rata dari ketiga DP transmitter yaitu (CL 021, 022, dan 023). DP transmitter CL 026 juga digunakan untuk mengatur level pada condenser namun pengukurannya hanya digunakan sebagai indicator. Hasil pengukuran ini akan ditampilkan di DCS.

3. METODOLOGI

3.1 Deskripsi Sistem

Skematik pengambilan data sebagai variabel-variabel yang menentukan nilai efektivitas suatu alat penukar kalor dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Data diambil dari beberapa point di titik-titik tertentu.



Gambar 1. Point for Condenser Performance (Peformance Team)

Pada gambar tersebut terdapat beberapa point yang harus diambil:

- TCW1-A adalah yaitu temperature cooling water yang masuk pada tube condenser 2 line 1
- TCW2-A adalah yaitu temperature cooling water yang masuk pada tube condenser 2 line 2
- TCW1-B adalah yaitu temperature cooling water yang keluar pada tube condenser 2 line 1
- TCW2-B adalah yaitu temperature cooling water yang keluar pada tube condenser 2 line 2
- TCW1-C adalah yaitu temperature cooling water yang masuk pada tube condenser 1 line 1
- TCW2-C adalah yaitu temperature cooling water yang masuk pada tube condenser 1 line 1
- TCW1-D adalah yaitu temperature cooling water yang keluar pada tube condenser 1 line 1
- TCW2-D adalah yaitu temperature cooling water yang keluar pada tube condenser 1 line 2
- Test LP1 adalah temperature steam dari LP Turbin 1
- Test LP2 adalah temperature steam dari LP Turbin 2

a. Rumus Perhitungan

Saat menentukan efektifitas alat penukar panas menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \cdot \exp[-NTU(1-C)]} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

- ϵ = efektifeness heater
- NTU= number of transfer unit
- C = capacity ratio

Persamaan Efektivitas melibatkan besaran tak berdimensi. Besaran ini dapat disebut Number of Transfer Unit (NTU). Nilai NTU adalah ukuran dari luas permukaan APK, sehingga semakin besar NTU semakin besar pula ukuran APK.

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

Dimana:

- A= Luas perpindahan kalor (m^2)
- U=Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- Cmin= Kapasitas panas minimum

Selain NTU besaran yang tak berdimensi maka pada APK terdapat nilai C yang besarnya tak berdimensi. Capacity Ratio (C) dapat ditentukan dengan membandingkan kapasitas panas maksimum dan kapasitas panas minimum.

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$C = \frac{m_s \cdot C_{ps}}{m_{cw} \cdot C_{pcw}}$$

Dimana:

- C = capacity ratio
- m_s = Steam Flow at rated operation (kg/s)
- m_{cw} = Cooling Water Flow (kg/s)
- C_{ps} = CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam ($kJ/(kg^\circ C)$)
- C_{pcw} = CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Cooling Water ($kJ/(kg^\circ C)$)

Besarnya koefisien pindah panas menyeluruh dapat diperoleh dari perhitungan laju perpindahan kalor (Q) dan perhitungan LMTD (*log mean temperature difference*)

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \dots \dots \dots (3.3)$$

Dengan condenser yang mempunyai arah aliran yang berlawanan (*counter flow*) maka LMTD dapat dihitung dengan rumus:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$LMTD = \frac{(Th_{in} - Tc_{out}) - (Th_{out} - Tc_{in})}{\ln((Th_{in} - Tc_{out})/(Th_{out} - Tc_{in}))}$$

Dimana:

- Th_{in} = temperatur masuk fluida panas ($^\circ C$)
- Th_{out} = temperature keluar fluida panas ($^\circ C$)
- Tc_{in} = temperature masuk fluida dingin ($^\circ C$)
- Tc_{out} = temperature keluar fluida dingin ($^\circ C$)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tabel Data

Pada penentuan efektifitas pada suatu condenser perlu adanya variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja condenser. Berikut ini merupakan variabel – variabel yang mempengaruhi kinerja condenser beserta perhitungan pada tabel 3.4.1, 3.4.2 dan 3.4.3 di bawah ini:

4.1.1 Data Actual Condenser 1

Description	Units	Kondenser 2	Kondenser 1
CW Inlet Temperature	$^\circ C$	33.85	29.3
CW Outlet Temperature	$^\circ C$	38.5	33.9
LP 2 Turbin Exhaust Temperature	$^\circ C$	42.9	41.18
Steam Outlet	$^\circ C$	40.7	37.8
Exhaust Pressure (absolut condenser)	Bar abs	0.0859	0.0657
Saturation Temperature	$^\circ C$	39.35	35.29
Pressure CW	Bar	0.3	0.3
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Cooling Water	$kJ/(kg^\circ C)$	4.18065	4.18065
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam	$kJ/(kg^\circ C)$	1.93557	1.90851
Cooling Water Flow	kg/s	20714	20714
Steam Flow at rated operation	kg/s	221.047	173.238
Actual Terminal Temperature Difference (TID)	$^\circ C$	0.85	1.39
Actual CW Temperature Rise & Total DT	$^\circ C$	4.65	4.6
Q	kW	941.2742719	1117.517419
Csteam	$kW/^\circ C$	427.8519418	330.6264554
Ccw	$kW/^\circ C$	86597.9841	86597.9841
C		0.004940669	0.003817946
AT1	$^\circ C$	4.4	7.28
AT2	$^\circ C$	6.85	8.5
LMTD	$^\circ C$	5.534920577	7.874254543
U.A	$kW/^\circ C$	170.061026	141.9204082
NTU		0.397476345	0.429246982
e		0.32333844	0.34544356

4.1.2 Data Actual Condenser 1

Description	Units	Actual Condenser 2							
		DCS				DCS			
		Time (14.00)		Time (14.15)		Time (14.30)		Time (14.45)	
Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2		
CW Inlet Temperature	°C	30	30.88	30.07	30.9	30.11	30.94	30.11	30.93
CW Outlet Temperature	°C	33.89	34.82	34.04	34.91	34.06	34.82	34.03	34.9
LP 2 Turbin Exhaust Temperature	°C	41.68	41.68	41.68	41.68	41.68	41.68	41.68	41.68
Exhaust Pressure (absolut condenser)	Bar abs	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073
Saturation Temperature	°C	39.2156	39.2156	39.2156	39.2156	39.2156	39.2156	39.2156	39.2156
Pressure CW	Bar	0.401	0.391	0.4	0.391	0.406	0.391	0.404	0.395
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Cooling Water	kJ/(kg°C)	4.17999	4.17983	4.17997	4.17982	4.17996	4.17982	4.17996	4.17982
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam	kJ/(kg°C)	1.92484	1.92484	1.92484	1.92484	1.92484	1.92484	1.92484	1.92484
Cooling Water Flow	kg/s	20714	20714	20714	20714	20714	20714	20714	20714
Steam Flow at rated operation	kg/s	221.047	221.047	221.047	221.047	221.047	221.047	221.047	221.047
Actual Terminal Temperature Difference (TTD)	°C	5.3256	4.3956	5.1756	4.3056	5.1556	4.3956	5.1856	4.3156
Actual CW Temperature Rise & Total DT	°C	3.82	3.94	3.97	4.01	3.95	3.88	3.92	3.97
Q	kW	1047.276737	1047.277	1047.277	1047.277	1047.277	1047.277	1047.277	1047.277
Csteam	kW/°C	425.4801075	425.4801	425.4801	425.4801	425.4801	425.4801	425.4801	425.4801
Cc	kW/°C	86584.31286	86581	86583.9	86580.79	86583.69	86580.79	86583.69	86580.79
C		0.004914055	0.004914	0.004914	0.004914	0.004914	0.004914	0.004914	0.004914
ΔT1	°C	7.79	6.86	7.64	6.77	7.62	6.86	7.65	6.78
ΔT2	°C	9.15	8.34	9.15	8.32	9.11	8.28	9.11	8.29
LMTD	°C	8.448100654	7.572255	8.36885	7.534725	8.339168	7.544083	8.355291	7.526205
U.A	kW/°C	123.9659397	138.3045	125.1429	138.3633	125.5853	138.8209	125.3459	138.5244
NTU		0.2913548	0.325055	0.294122	0.327540	0.295161	0.326399	0.294599	0.327922
e		0.24800244	0.272801	0.250069	0.2746	0.250845	0.273679	0.250425	0.274873

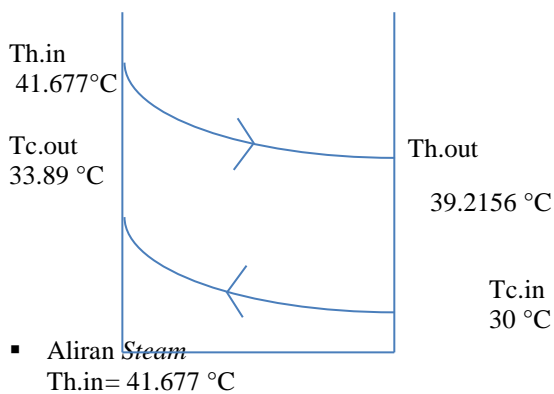
4.1.3 Tabel Data Commissioning Condenser 2 dan 1

Description	Units	Actual Condenser 1							
		DCS				DCS			
		Time (14.00)		Time (14.15)		Time (14.30)		Time (14.45)	
line 1	line 2	line 1	line 2	line 1	line 2	line 1	line 2		
CW Inlet Temperature	°C	34.75	34.42	34.85	34.42	34.85	34.39	34.79	34.39
CW Outlet Temperature	°C	39.34	39.13	39.45	39.14	39.45	39.11	39.41	39.02
LP 1 Turbin Exhaust Temperature	°C	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84
Exhaust Pressure (absolut condenser)	Bar abs	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Saturation Temperature	°C	42.976	42.976	42.976	42.976	42.976	42.976	42.976	42.976
Pressure CW	Bar	0.279	0.364	0.279	0.364	0.279	0.364	0.28	0.365
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Cooling Water	kJ/(kg°C)	4.17945	4.17945	4.17945	4.17945	4.17945	4.17945	4.17945	4.17945
CP (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam	kJ/(kg°C)	1.92314	1.92314	1.92314	1.92314	1.92314	1.92314	1.92314	1.92314
Cooling Water Flow	kg/s	20714	20714	20714	20714	20714	20714	20714	20714
Steam Flow at rated operation	kg/s	173.238	173.238	173.238	173.238	173.238	173.238	173.238	173.238
Actual Terminal Temperature Difference (TTD)	°C	3.636	3.846	3.526	3.836	3.526	3.866	3.566	3.956
Actual CW Temperature Rise & Total DT	°C	4.59	4.71	4.6	4.72	4.6	4.72	4.62	4.63
Q	kW	621.6782904	621.6783	621.6783	621.6783	621.6783	621.6783	621.6783	621.6783
Csteam	kW/°C	333.1609273	333.1609	333.1609	333.1609	333.1609	333.1609	333.1609	333.1609
Cc	kW/°C	86573.34444	86573.13	86573.13	86573.06	86573.13	86573.13	86573.33	86573.13
C		0.003848309	0.003848	0.003848	0.003848	0.003848	0.003848	0.003848	0.003848
ΔT1	°C	5.50	5.71	5.39	5.70	5.39	5.73	5.43	5.82
ΔT2	°C	8.226	8.556	8.126	8.556	8.126	8.586	8.186	8.586
LMTD	°C	6.772948462	7.038497	6.663815	7.032747	6.663815	7.063316	6.715141	7.114742
U.A	kW/°C	91.78847773	88.32544	92.26366	88.39764	92.26366	88.01702	92.57859	87.37889
NTU		0.275507781	0.265113	0.279936	0.26533	0.279936	0.264188	0.27788	0.262772
e		0.237083446	0.229143	0.240441	0.229309	0.240441	0.228432	0.238884	0.228958

4.2 Contoh Perhitungan

Perhitungan efektivitas berdasarkan jenis aliran fluida yang digunakan pada proses pembangkit listrik tenaga uap di unit 5 PT. YTL Jawa Timur.

Kondenser 2 Line 1



Th.out = 39.2156 °C
m_s = 221.047 Kg/s

Cp.s = 1.92484 KJ/(Kg.°C)

Aliran Cooling Water
Tc.in = 30 °C

Tc.out = 33.89 °C

m_c = 20714 Kg/s

Cp.c = 4.17999 KJ/(Kg.°C)

Penyelesaian

Q = m_s . Cp_s (Th.in - Th.out)
= 221.047 Kg/s x 1.92484 KJ/(Kg.°C) x (41.677 °C - 39.2156 °C)

C_{steam} = m_s . Cp_s
= 221.047 Kg/s x 1.92484 KJ/(Kg.°C)
= 425.4801075 kW/°C

C_{cw} = m_{cw} . Cp_{cw}
= 20714 Kg/s x 4.17999 KJ/(Kg.°C)

= 86584.31286 kW/°C

C = $\frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{C_{steam}}{C_{cw}}$
= $\frac{425.4801075 \text{ kW/}^\circ\text{C}}{86584.31286 \text{ kW/}^\circ\text{C}}$

= 0.004914055

ΔT₁ = Th_{in} - Tc_{out}
= 41.677 °C - 33.89 °C
= 7.79 °C

ΔT₂ = Th_{out} - Tc_{in}
= 39.2156 °C - 30 °C
= 9.15 °C

LMTD = $\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$
= $\frac{7.79 \text{ }^\circ\text{C} - 9.15 \text{ }^\circ\text{C}}{\ln(7.79 \text{ }^\circ\text{C} / 9.15 \text{ }^\circ\text{C})}$
= 8.448100654 °C

U.A = $\frac{Q}{LMTD}$
= $\frac{1699.97044 \text{ kW}}{8.448100654 \text{ }^\circ\text{C}}$
= 201.225164 kW/°C

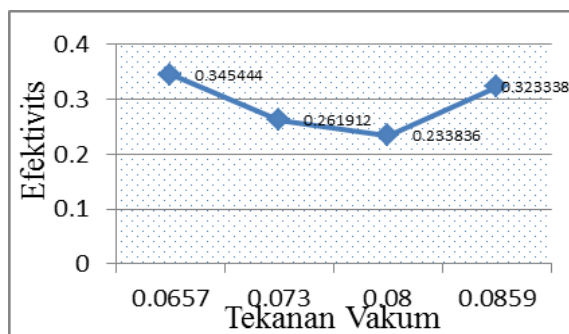
NTU = $\frac{U.A}{C_{min}}$
= $\frac{201.225164 \text{ kW/}^\circ\text{C}}{425.4801075 \text{ kW/}^\circ\text{C}}$

$$\begin{aligned}
 &= 0.29135543 \\
 \varepsilon &= \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \cdot \exp[-NTU(1-C)]} \\
 &= \frac{1 - \exp[-0.29135543(1-0.007976639)]}{1 - 0.007976639 \cdot \exp[-0.29135543(1-0.007976639)]} \\
 &= 0.248002044
 \end{aligned}$$

4.3 Efektifitas Condenser

Hasil perhitungan efektifitas antara data condenser secara actual dengan data condenser saat *comissioning* tidak mengalami perubahan yang sangat drastis pada condenser 2 maupun dengan condenser 1 yang memiliki selisih nilai efektifitas cukup rendah yaitu 0,08. Suatu condenser dikatakan tergolong baik kinerjanya jika mempunyai nilai efektifitas sama atau tidak terlalu jauh antara condenser saat berkerja dalam beberapa waktu dengan condenser saat *comissioning*. Dapat dikatakan condenser yang ada pada unit 5 PT. YTL Jawa Timur masih tergolong baik dalam kinerjanya. Nilai efektifitas yang didapat pada condenser 2 data actual adalah 0.261912 dan pada data *comissioning* nilai efektifitas yang didapat adalah 0.32333844. Sedangkan pada condenser 1 nilai efektifitas yang dihasilkan 0.233836 dari data actual dan dari data *comissioning* dihasilkan efektifitas sebesar 0.34544.

Penurunan nilai efektifitas dapat dipengaruhi oleh nilai tekanan yang ada pada condenser. Tekanan yang ada pada condenser terbaca pada satuan inchiHg. Semakin tinggi tekanan yang dimiliki suatu condenser maka nilai efektifitas yang dihasilkan akan semakin kecil. Karena tekanan yang ada pada condenser adalah tekanan *vacum* maka tekanan tersebut dikonversi menjadi tekanan *vacum*. Dari tekanan inchiHg menjadi bara maka terjadi perubahan nilai dimana nilai tekanan yang bernilai besar berubah menjadi nilai yang kecil pada tekanan *vacum*. Karena *vacum* merupakan suatu kondisi dari udara dimana tekanan udara dibawah tekanan atmosfer. Jika tekanan condenser naik maka dengan nilai *h* juga naik.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Tekanan Vacuum dengan Efektifitas

Pada grafik diatas menyatakan bahwa tekanan *vacum* bukan penyebab utama dari efektifitas dari kondenser. Hal ini dapat berkaitan dengan keadaan condenser itu sendiri dimana salah satu penyebab naik turunnya tekanan yang ada pada condenser yaitu proses kondensasi *steam* menjadi condensate water. *Vacum condensate* terjadi karena perbedaan density antara *steam* dan *condensate water*. Hal ini terjadi karena adanya proses kondensasi pada condenser. Semakin cepat suatu condenser melakukan proses kondensasi yang merubah *steam* dari LP Turbin menjadi *condensate water* (air kondensat) maka tingkat *vacum* akan semakin tinggi.

Adanya *non condensable gasses* dapat menyebabkan menurunnya tingkat kevacuman. Gas-gas yang tidak dapat terkondensasi ini merupakan gas-gas yang berasal dari luar yang masuk pada condenser (*air leakage*). Karena condenser didesain memiliki tekanan di bawah tekanan atmosfer maka akan memungkinkan ada udara yang masuk ke condenser. Gas-gas ini menyelimuti permukaan luar tube-tube condenser, hal ini akan menyebabkan berkurangnya kecepatan transfer panas antara *steam* dan *cooling water*, sehingga kecepatan panas berkurang. Gas-gas yang menyebabkan kenaikan tekanan pada condenser dapat menyebabkan penurunan efisiensi pengoperasian turbin uap. karena adanya gas oksigen dalam condenser maka dapat terjadinya korosif pada line-line condenser. Untuk mempertahankan usia peralatan maka oksigen tersebut dibuang. Salah satu cara yang dapat menghilangkan gas-gas ini adalah *Air Removal Equipment* seperti adanya *vacuum prime* yang ada di Jawa Power ini. *Vacuum prime* sendiri merupakan pompa yang menghilangkan gas-gas penghambat kinerja condenser.

Adanya *fouling* (endapan) yang mengotori tube-tube condenser sangat mungkin terjadi. Dapat diakibatkan *cooling water* condenser berasal dari air laut sehingga kemungkinan besar yang terjadi adalah banyaknya endapan kotoran-kotoran yang ikut masuk dan sebagian mengendap pada permukaan tube-tube dan bagian condenser lainnya. *Fouling* sendiri dibagi menjadi beberapa tipe yaitu *fouling* karena mikrobiologi, scale, deposit, korosi, dan kotoran penyumbat tube condenser. Adanya *fouling* dapat menurunkan kinerja dari condenser. Laju perpindahan panas pada condenser akan berkurang.

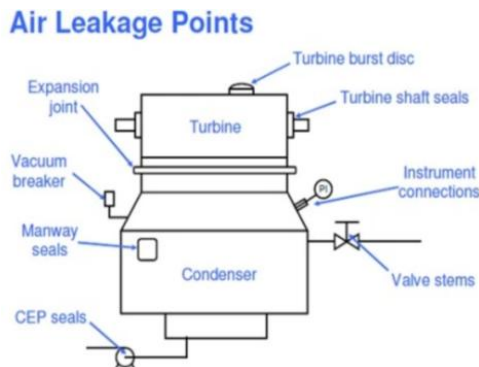
Untuk menjaga kinerja condenser dapat dilakukan dengan sering dilakukannya *backwash* condenser. Tujuan *backwash* sendiri adalah membuang kotoran-kotoran yang masuk dalam

inlet condenser. Untuk pembersihan tube-tube yang ada pada condenser dapat dilakukan secara online dan offline. Saat online dilakukan pembersihan tube ketika dalam keadaan normal operasi dan offline ketika turbin uap dalam keadaan stand by. Cleaning tube secara online dilakukan menggunakan bola tapproge atau biasa disebut *Ball Cleaning Kondenser*. Fungsi *ball cleaning* ini adalah membersihkan permukaan tube condenser. Bola ini akan mengikuti aliran condenser, dimana masuk pada water box inlet condenser dan keluar pada water box outlet kemudian bola-bola ini ditangkap oleh catcher dan diarahkan pada ball collector. Berikut gambaran tentang *ball cleaning condenser*.



Gambar 3. *Ball Cleaning Condenser* (Qodir, 2014)

Jika *fouling* yang ada pada tube-tube condenser masih tersisa maka dilakukan *cek air leakage*. *Cek air leakage* sendiri menggunakan plastic yang direkatkan pada sisi-sisi tube. Ketika plastic ditarik maka *fouling* akan terangkat.

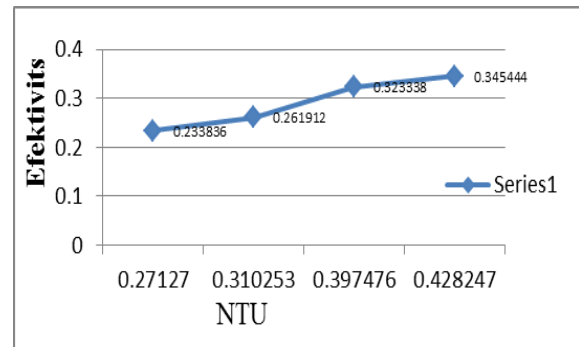


Gambar 4. Air Leakage (Qodir, 2014)

Selain tekanan condenser penurunan efektivitas ini juga dapat dikarenakan besarnya nilai NTU. Semakin besar nilai NTU maka semakin besar nilai efektivitasnya. Nilai NTU sendiri dipengaruhi oleh luas perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh dan nilai kapasitas panas minimum. Hal ini sesuai dengan perhitungan matematik berikut ini:

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min} \cdot \Delta T_{max}}$$

$$NTU = \frac{Q}{LMTD \cdot C_{min}}$$



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai NTU dengan Nilai Efektivitas

Dari grafik.5 dapat dibuktikan bahwa semakin besar nilai NTU maka semakin besar pula nilai efektivitas yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena nilai dari NTU sendiri berasal dari nilai Q, LMTD dan Cmin. Nilai Q sendiri ditentukan oleh *flow steam*, Cp *steam*, dan temperature *steam* yang masuk dan keluar. Hasil perhitungan LMTD dipengaruhi oleh semua nilai suhu yang ada pada sisi tube maupun shell. Dan Cmin sendiri berasal dari nilai C yang mempunyai nilai terkecil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Nilai efektivitas antara data kondenser secara actual dengan data kondenser secara comissioning tidak mengalami perubahan yang sangat drastis. Hal ini berlaku pada condenser 2 maupun condenser 1. Dapat dikatakan kinerja dari kondenser yang ada pada PT. YTL Jawa Timur stabil dan dijaga peformanya.
2. Variabel-variabel yang mempengaruhi besarnya efektivitas antara lain adalah delta temperature, *capacity ratio*, *numbers of transfer unit*, dan tekanan vacuum.
3. Untuk mempertahankan kinerja condenser maka dilakukan perawatan pada peralatan-peralatan yang digunakan seperti pembersihan tube dalam keadaan online (normal operasi) dengan menggunakan *ball cleaning condenser*, dilakukannya *backwash condenser*, dan menghilangkan gas-gas yang tidak terkondensasi menggunakan *vacuum prime*.

DAFTAR PUSTAKA

- Hariyadi S. dan Setiyawan A. Analisa Termodinamika Pengaruh Tekanan Vacum pada Kondensor Terhadap Peforma Siklus PLTU Menggunakan *Software Gate Cycle*. Jurnal Teknik Pomits.
- Holman, J.P. dan Jasjfi, E. 1995. Perpindahan Kalor Edisi Keenam. Erlangga. Jakarta
- Ipung dan Syamsuddin. 2007. Operasi dan Effectiveness Feed Water Heater Berjenjang Mundur Sebelum Masuk Economizer Pada Boiler. Teknik Mesin. Universitas Brawijaya. Malang.
- Marzuki, 2015. Pengendalian Level Kondenser Berbasis PID di PT. YTL PLTU Paiton Unit 5. Teknik Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Qadir, 2014. Tekanan Vacum Kondenser yang Rendah di PLTGU Grati. PLTGU Grati. Pasuruan