

PENGATURAN POLA OPERASI CWP UNTUK OPTIMALISASI EFISIENSI THERMAL COMBINED CYCLE PLTGU TAMBAKLOROK SEMARANG

Denni Judha Jaya Puranto^{*)}, and Haryadi Adi Leksono

PT Indonesia Power UP Semarang
Jl Ronggowarsito, Komplek Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, Indonesia

^{*)} *Email : denni.jjp@gmail.com*

Abstrak

Condensator adalah komponen utama PLTGU Tambaklorok yang berfungsi untuk merubah fasa uap keluaran Steam Turbine menjadi fasa air dengan mentransfer panas dalam uap kedalam media air pendingin. Untuk memenuhi kebutuhan air pendingin condensator PLTGU Tambaklorok dilengkapi 2 *Circulating Water Pump* yang beroperasi secara continuous saat beroperasi *Combined* dengan kapasitas tiap pompa sebesar 26,810 m³/hr. Kerja condensator sangat dipengaruhi oleh jumlah massa uap dan air pendingin yang masuk ke condensator, sehingga dengan perubahan pola operasi *Combined* yang dinamis (1GTG - 1HRSG - 1STG, 2GTG - 2HRSG - 1STG atau 3GTG - 3HRSG - 1STG) titik optimal condensator PLTGU Tambaklorok secara efisien dihitung dengan menentukan kebutuhan air pendingin berdasarkan jumlah massa uap masuk ke condensator. Selain analisa kebutuhan air pendingin berdasarkan jumlah massa uap yang masuk ke condensator, efisiensi pengoperasian condensator ditentukan pula dengan langsung membandingkan daya keluaran *Steam Turbine Generator* tiap pola operasi *Combined* dengan mengkondisikan *Circulating Water Pump*. Berdasarkan study disimpulkan pada pola operasi *Combined* 1GTG - 1 HRSG - 1 STG, condensator beroperasi optimal dengan 1 *Circulating Water Pump* running, sedangkan pada pola operasi *Combined* 2 GTG - 2 HRSG - 1 STG dan 3GTG - 3 HRSG - 1 STG condensator beroperasi optimal dengan 2 *Circulating Water Pump* running.

Kata Kunci : efisiensi thermal pltgu, pola operasi cwp, efisiensi condensator

Abstract

Condensator is main component of PLTGU Tambaklorok which use to convert Steam Turbine Exhaust vapour become water by transferring vapour heat into cooling water (sea water). To meet the needs of condensator cooling water, PLTGU Tambaklorok equipped with 2 Circulating Water Pump continuously operated due to Combined operation scheme with capacity 26,810 m³/hr each pump. Condensator work influence by the steam and cooling water mass enters condensator, with the changing of Combined operation scheme (1GTG - 1HRSG - 1STG, 2GTG - 2HRSG - 1STG or 3GTG - 3HRSG - 1STG), Optimal point of condensator efficiently can be calculated by determining the cooling water needs by mass amounts of steam enters the condensator. In addition to cooling water needs analysis, condensator efficiency also determined by comparing directly Steam Turbine Generator output power on each operation scheme with the condition of Circulating Water Pump is set. Study results concluded that 1GTG - 1 HRSG - 1 STG combined operation scheme condensator operate optimally with 1 unit Circulating Water Pump running, while the 2 GTG - 2 HRSG - 1 STG and 3GTG - 3 HRSG - 1 STG combined operation scheme condensator operate optimally with 2 Circulating Water Pump running.

Key Word : PLTGU Thermal efficiency, Circulating Water Pump Operation Scheme, Condensator Efficiency

1. Pendahuluan

PLTGU Tambaklorok terdiri dari 3 Unit GT (*Gas Turbine*), 3 Unit HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) dan 1 Unit STG (*Steam Turbine*), dengan 3 jenis pola operasi *Combined* yaitu :

- 1 GT - 1 HRSG - 1 STG
- 2 GT - 2 HRSG - 1 STG
- 3 GT - 3 HRSG - 1 STG

Perubahan pola operasi *Combined* akan berpengaruh besar terhadap perubahan laju massa uap yang dihasilkan oleh HRSG menuju ke *Steam Turbine* untuk kemudian didinginkan di dalam condensator. Perubahan besaran laju massa uap menuju condensator akan berpengaruh besar terhadap kerja condensator sesuai dengan hukum kesetimbangan massa [1]

Semakin besar volume air pendingin yang di alirkan pada condensator maka tingkat kevacuuman condensator akan

meningkat. Naiknya tingkat kevacuuman ini akan berdampak langsung terhadap naiknya produksi dari *Steam Turbine Generator Output*, oleh karena itu selain mempertimbangkan titik optimal pengoperasian condensor, nilai keuntungan atau kerugian dari naiknya produksi dari *Steam Turbine Generator Output* juga dipertimbangkan dengan membandingkan secara langsung antara produk yang dihasilkan *Steam Turbine Generator Output* terhadap kebutuhan listrik sendiri [2]

Selain itu berdasarkan analisa pareto diagram 15 % konsumsi energi listrik sendiri (PS) pada PLTGU Tambaklorok merupakan kontribusi dari pompa *Circulating Water Pump* dimana pada kondisi design air laut yang merupakan media pendingin condensor pada PLTGU Tambaklorok disupply dengan menggunakan 2 unit pompa *Circulating Water Pump* yang beroperasi secara continuous. [3]

Untuk melakukan analisa keuntungan dari penambahan produk yang dihasilkan *Steam Turbine Generator Output* terhadap kebutuhan listrik sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan efisiensi thermal netto pembangkit

$$Eff_{bruto} = \frac{Q_{produk}}{Q_{input}}$$

$$Eff_{netto} = \frac{Q_{produk} - PS_{kit}}{Q_{input}}$$

Sehingga dapat di analogikan ketika terjadi kenaikan kebutuhan energy listrik sendiri yang lebih besar dibandingkan dengan output produksi, eff netto pembangkit akan turun [4]

Dampak kenaikan kebutuhan energy listrik sendiri pada study ini tidak dihitung secara langsung dengan method diatas, tetapi menggunakan acuan standard heat rate impact yang dikeluarkan oleh EPRI dimana perubahan kenaikan 5.1 % pada penggunaan auxiliary power akan menaikkan heatrate sebesar 59.2 BTU/kWh atau 14.9184 kcal / kWh. Untuk mempererat korelasi terhadap unit PLTGU Tambaklorok dilakukan analisa sederhana dengan menggunakan modelling gatecycle dimana penurunan penggunaan energy listrik sendiri sebesar 1 % akan menaikkan heatrate sebesar 0.011841 %. [5]

Dengan mengacu beberapa referensi diatas maka dilakukan study kasus dengan melakukan pengaturan jumlah pompa *Circulating Water Pump* yang beroperasi pada tiap jenis pola operasi *Combined Cycle*.

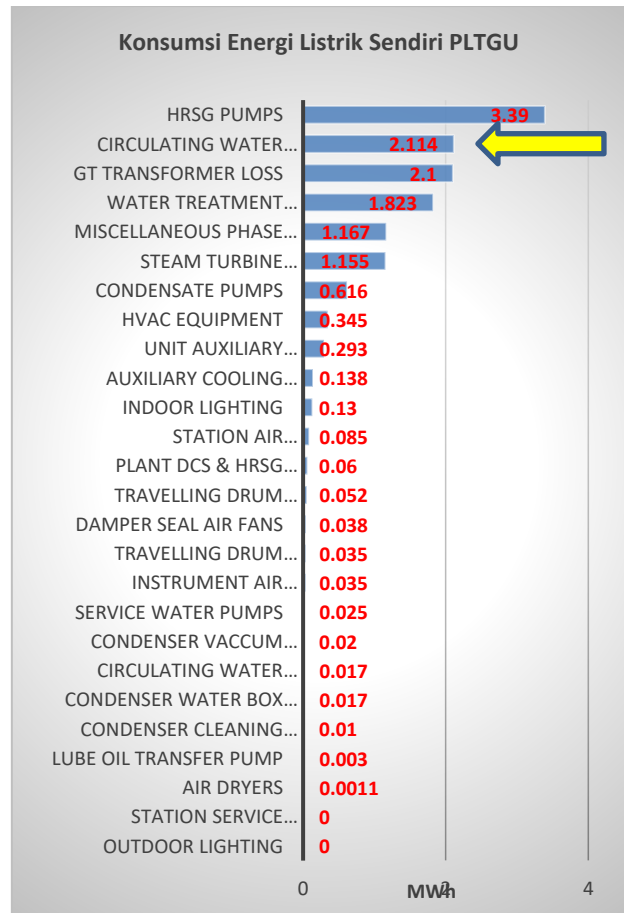
2. Metode

2.1 Diagram Pareto Konsumsi Energi Listrik Pemakaian Sendiri

Salah satu method pendekatan yang digunakan dalam melakukan analisa konsumsi energi

listrik pemakaian sendiri adalah dengan menggunakan metode pareto chart.

Pembuatan pareto chart ini berfungsi untuk melihat konsumsi energy listrik specific terbesar pada unit PLTGU untuk kemudian di lanjutkan ke analisa peluang peningkatan efisiensi thermal netto.



Gambar 1. Grafik Pareto Diagram PS PLTGU

Dari pareto chart diatas Pompa *Circulating Water Pump* menempati posisi urutan ke 2 sebagai contributor PS terbesar pada unit PLTGU Tambaklorok.

2.2 Perhitungan Kebutuhan Air Pendingin terhadap Laju Massa Uap

Untuk perhitungan air pendingin terhadap laju massa uap digunakan rumus perhitungan kesetimbangan massa :

$$Q_{uap} = Q_{coolingWater}$$

$$m_{uap} * (h_1 - h_2) = (m * Cp)_{water} * (T_{cond out} - T_{cond in})$$

$$m_{water} = \frac{m_{uap} * (h_1 - h_2)}{Cp_{water} * (T_{cond out} - T_{cond in})}$$

dengan ;

- M_{uap} : Massa uap masuk condensor (kg/s)
- h_1 : Enthalpy Uap Masuk Condensor (kJ/kg)
- h_2 : Enthalpy Air Hotwell
- $C_{p\ water}$: 4.1793 kJ/kg.C
- T_{out} : Temperature Air pendingin Keluar Condensor ($^{\circ}C$)
- T_{in} : Temperature Air Pendingin Masuk Condensor ($^{\circ}C$)

Dalam melakukan perhitungan kebutuhan air pendingin condensor dilakukan dengan membandingkan kondisi design dan kondisi riil saat ini.

3. Hasil Dan Analisa

3.1. Analisa Perhitungan Kebutuhan air Pendingin

- Perhitungan Design (1 Unit Base Load)

Diketahui data operasional :

- Flow Uap : 189.58 t/h (189,580 kg/h)
- Press Cond : 0.053 bara
- Temp Cond : 34 $^{\circ}C$
- h_1 : 2562.75 kJ/kg
- h_2 : 142.454 kJ/kg
- T_{in} : 30 deg C
- T_{out} : 32.1 deg C

maka kebutuhan air pendingin condensor adalah sebesar :

$$M_{Cooling\ Water} = \frac{189,580 \times (2562.75 - 142.454)}{4.1793 \times (32.1 - 30)}$$

$$M_{Cooling\ Water} = \frac{458,839,715.68}{8.78}$$

$$M_{Cooling\ Water} = 52,280,310.75\ kg/h$$

$$M_{Cooling\ Water} = 52,280.31\ m^3/h$$

dengan kapasitas mampu supply per unit pompa *Circulating Water Pump* adalah sebesar 26,810 m³/h maka secara design dibutuhkan 2 unit pompa *Circulating Water Pump* operasi untuk memenuhi kebutuhan air pendingin condensor saat PLTGU Tambaklorok operasi *Combined* pada pola 1-1-1 beban *Based Load*. dengan prosentase pemanfaatan air pendingin sebesar : 98%.

- Data saat ini (11/08/2016 – GTG 2.3 Based Load)

- Flow Uap : 169.60 t/h
- Press Cond : 0.115724 bara
- Temp Cond : 48 $^{\circ}C$
- h_1 : 2587.75 kJ/kg
- h_2 : 200.978 kJ/kg
- T_{in} : 29.5 deg C
- T_{out} : 33.2 deg C

maka kebutuhan air pendingin condensor adalah sebesar :

$$M_{Cooling\ Water} = \frac{169,600 \times (2587.75 - 200.978)}{4.1793 \times (33.2 - 29.5)}$$

$$M_{Cooling\ Water} = \frac{404,796,531.20}{15.46}$$

$$M_{Cooling\ Water} = 26,177,701.50\ kg/h$$

$$M_{Cooling\ Water} = 26,177.702\ m^3/h$$

Dengan kapasitas mampu supply per unit pompa *Circulating Water Pump* adalah sebesar 26,810 m³/h, maka untuk kondisi saat ini hanya dibutuhkan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* untuk memenuhi kebutuhan air pendingin condensor saat PLTGU Tambaklorok operasi *Combined* pada pola 1-1-1 beban *Based Load*, dengan prosentase pemanfaatan air pendingin sebesar : 97,6 %.

Sehingga dapat disimpulkan dari perbandingan hasil perhitungan kebutuhan air pendingin pada data design dan data riil (saat ini) saat operasi *Combined* pada pola 1-1-1 beban *Based Load* terdapat indikasi penurunan produksi uap HRSG yang digunakan untuk memutar *Steam Turbine Generator* sehingga berdampak pada turunnya kebutuhan air pendingin condensor.

Dengan adanya perubahan ini saat PLTGU Tambaklorok operasi *Combined* dengan pola 1-1-1 hanya membutuhkan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* untuk dapat beroperasi optimal, sedangkan pada saat operasi *Combined* dengan pola 2-2-1 dan 3-3-1 tetap membutuhkan 2 unit pompa *Circulating Water Pump* untuk dapat beroperasi optimal.

3.2. Analisa Beban Output Steam Turbine

Dari hasil pemantauan dan pengukuran lapangan terkait perbandingan *Steam Turbine Generator Output (MWh)* pada tiap – tiap jenis pola operasi *Combined* dan jumlah pompa *Circulating Water Pump* operasi.

- Data Spesifikasi *Circulating Water Pump*.

Pompa

- Manufacture* : Ingersoll-Dresser Pump
- Total Head* : 11.6 m (38 ft)
- Capacity* : 26,810 m³/hr
- Pump Size* : 60 APMA
- NPSH_{required}* : 7 m (23 ft)

Motor

- Manufacture* : Louis Allis Motor
- Model* : Armor Line
- Daya* : 1192 kWh (1600 hp)
- Speed* : 331 rpm
- Volt/Hz/phase* : 6000/50/3
- Insulation Class* : F

Tabel 1. Perbandingan Beban Output Steam Turbine

Pola Operasi	1 CWP		2 CWP	
	ST _{Out} (MWh)	PS _{AuxPower} (MWh)	ST _{Out} (MWh)	PS _{AuxPower} (MWh)
1.1.1	55.9	1.192	56.2	2.384
2.2.1	94	1.192	95.3	2.384
3.3.1	168.7	1.192	171.5	2.384

Untuk menilai efisiensi operasi pada data perbandingan pengukuran operasi dilakukan dengan menggunakan metode *Cost Benefit Analisis*, yaitu dengan memperhitungkan besaran selisih produksi pada *Steam Turbine Generator Output (MWh)* yang didapatkan saat operasi 1 unit *Circulating Water Pump* dan 2 unit *Circulating Water Pump* untuk kemudian dibandingkan dengan pemakaian energi listrik sendiri yang dibutuhkan dalam pengoperasian pompa *Circulating Water Pump*.

Tabel 2. Analisa perbandingan beban Output Steam Turbine (Cost benefit Analisis)

Pola Operasi	Kenaikan MW thdp CWP		Benefit Analisis (MWh)
	Produksi	PS	
1.1.1	0.3	1.192	-0.892
2.2.1	1.3	1.192	0.108
3.3.1	2.8	1.192	1.608

Dari tabel perbandingan diatas pada saat operasi *Combined* dengan pola :

- 1) 1-1-1 *Steam Turbine Generator Output (MWh)* naik sebesar 0.3 MW saat operasi dengan 2 unit pompa *Circulating Water Pump*, tetapi dengan penambahan 1 unit *Circulating Water Pump* beban pemakaian energy listrik sendiri meningkat sebesar 1.192 MW sehingga secara operasional penambahan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* akan menimbulkan kenaikan biaya operasional sebesar 0.892 MWh.
- 2) 2-2-1 *Steam Turbine Generator Output (MWh)* naik sebesar 1.3 MW saat operasi dengan 2 unit pompa *Circulating Water Pump*, tetapi dengan penambahan 1 unit *Circulating Water Pump* beban pemakaian energy listrik sendiri meningkat sebesar 1.192 MW sehingga secara operasional penambahan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* akan menimbulkan kenaikan pendapatan operasional sebesar 0.108 MWh.
- 3) 3-3-1 *Steam Turbine Generator Output (MWh)* naik sebesar 2.8 MW saat operasi dengan 2 unit pompa *Circulating Water Pump*, tetapi dengan penambahan 1 unit *Circulating Water Pump* beban pemakaian energy listrik sendiri meningkat sebesar 1.192 MW sehingga

secara operasional penambahan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* akan menimbulkan kenaikan pendapatan operasional sebesar 1.608 MWh.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode perbandingan antara kenaikan produksi pada *Steam Turbine Generator Output (MWh)* terhadap peningkatan pemakaian energy listrik sendiri, PLTGU Tambaklorok saat operasi *Combined* pola 1-1-1 akan lebih menguntungkan apabila menggunakan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* dan pada saat operasi *Combined* pola 2-2-1 / 3-3-1 akan lebih menguntungkan apabila menggunakan 2 unit pompa *Circulating Water Pump*

3.3. Analisa dampak terhadap efisiensi thermal

Dari data pengukuran diatas di simpulkan bahwa pada kondisi operasional saat ini dengan pengoperasian 1 unit pompa *Circulating Water Pump* saat operasi *Combined* pola 1-1-1 akan meningkatkan efisiensi thermal pembangkit sebesar 0.010562261 %

4. Kesimpulan

1. Untuk kondisi saat ini dikarenakan terjadi penurunan kapasitas produksi steam pada HRSG dibandingkan kondisi design, condensor beroperasi optimal dengan 1 unit pompa *Circulating Water Pump* saat beroperasi *Combined* pola 1-1-1 dan 2 unit pompa *Circulating Water Pump* saat operasi *Combined* pola 2-2-1 atau 3-3-1.
2. Dari segi keuntungan, pengoperasian 1 unit pompa *Circulating Water Pump* saat operasi *Combined* pola 1-1-1 akan menghemat daya PS sebesar 0.892 MW atau setara dengan Rp 802,800,- per jam (asumsi rp/kWh : 900)
3. Dengan pengoperasian 1 unit pompa *Circulating Water Pump* akan dapat menaikkan efisiensi thermal netto pembangkit PLTGU Tambaklorok sebesar 0.010562261 %.

Referensi

- [1]. Kajian Engineering “Pola Operasi CWP”, Adi Leksono.Haryadi, PT Indonesia Power UP Semarang, Semarang, 2015.
- [2]. Manan.Abdul “menghitung-laju-air-pendingin-condensor-pltu-dari-heat-and-mass-balance-diagram”. 21 maret 2015. <http://www.pembangkitlistrik.com/menghitung-laju-air-pendingin-condensor-pltu-dari-heat-and-mass-balance-diagram/>
- [3]. Energi, Abdul Kadir, UI- Pers, Jakarta, 1995.
- [4]. Heatrate Improvement Reference Manual, EPRI, EPRI 3412 Hillview Avenue, Palo Alto, USA, 1998
- [5]. Analisa Performance & Efisiensi Thermal Turbine Gas untuk pembangkit tenaga listrik, Ruseno.Tulus, PT Indonesia Power, Jakarta, 2013

- [6]. Reynold, William C. dan Henry C. Parkins, 1989, “ Termodinamika Teknik “, Erlangga, Jakarta.
- [7]. Holman, J.P., 1988, “ Perpindahan Kalor “, Erlangga, Jakarta. Jones