

ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU) SICANANG BELAWAN

Rahmat Kurniawan¹, Mulfi Hazwi²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
rahmat_tm06@yahoo.co.id

ABSTRAK

Dalam berkembangnya IPTEK saat ini, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat, sementara persediaan akan energi yang ada hanya terbatas dan membutuhkan tenaga Listrik yang cukup besar, maka perlu senantiasa mengupayakan peningkatan efisiensi dalam segala hal, termasuk efisiensi operasi pembangkit listrik. Usaha peningkatan efisiensi operasi ini dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan cara meningkatkan PLTG (Open Cycle) menjadi PLTGU (Combined Cycle). Combined cycle adalah suatu siklus yang memanfaatkan panas gas buang dari PLTG untuk memanaskan air didalam Heat Recovery Steam Generator (HRSG), selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik, dan keseluruhan instalasi ini disebut PLTGU. Pada saat ini ada beberapa pola yang digunakan dalam beroperasinya PLTGU, pola ini disebut pola kombinasi. Pola ini tergantung dari jumlah turbin gas, HRSG dan turbin uap yang digunakan pada setiap blok (PLTGU). Tujuan dari perhitungan efisiensi ini adalah untuk mengetahui berapa besaran efisiensi yang diperoleh dari PLTGU ini. Dimana pada perhitungan efisiensi ini ada dua pola kombinasi. Pola kombinasi 2-2-1 dan pola kombinsi 1-1-1, pada pola kombinasi 1-1-1 masing-masing turbin gas mempunyai efisiensi rata-rata 29,50%, dengan daya Turbin Uap sebesar 108.163 kW dan pola 2-2-1 masing-masing turbin gas memiliki efisiensi rata-rata 30% dengan daya dihasilkan Turbin Uap sebesar 152.040 kW. jadi dengan semakin tinggi efisiensi masing-masing turbin gas maka semakin tinggi pula efisiensi totalnya (PLTGU).

Kata kunci : *Turbin Gas, Turbin Uap, Efisiensi*

1. PENDAHULUAN

Pada saat sekarang ini, listrik memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan suatu teknologi, karena penggunaan listrik sudah sangat luas, hampir mencakup ke segala bidang dan sangat erat pula kaitannya dengan aktivitas manusia dalam berbagai aspek kehidupan serta dalam berbagai kegiatan sehari-hari yang juga merupakan salah satu kebutuhan masyarakat banyak maupun individu.

Listrik merupakan alat yang sangat vital dan strategis dalam menunjang segala kebutuhan manusia. Kemajuan teknologi banyak mendukung

usaha pembangunan di Indonesia, sebagai negara yang memiliki wilayah serta penduduk yang sangat besar dimana pada saat sekarang ini kebutuhan akan listrik sangat meningkat hingga ke pelosok desa. Kebutuhan akan listrik yang menjadi salah satu sumber utama segala aktivitas, menghasilkan suatu perhatian yang sangat serius dalam hal penanganan produksi listrik tersebut. Hal ini membuat kita ikut andil demi menjaga kelancaran dalam proses memproduksi listrik secara aman dan efisien.

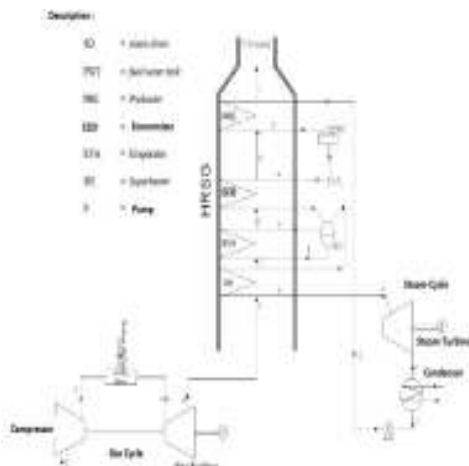
2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian PLTGU

Pembangkit daya siklus gabungan pada dasarnya terdiri dari dua siklus utama, yakni siklus Brayton (siklus gas) dan siklus Rankine (siklus uap) dengan turbin gas dan turbin uap yang menyediakan daya ke jaringan. Dalam pengoperasian turbin gas, gas buang sisa pembakaran yang keluar mempunyai suhu yang relatif tinggi. Sehingga jika dibuang langsung ke atmosfer merupakan kerugian energi. Oleh karena itu, panas hasil buangan turbin gas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas ketel uap yang dalam hal ini disebut *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*, disamping menghasilkan efisiensi yang tinggi dan keluaran daya yang lebih besar, siklus gabung bersifat luwes, mudah dinyalakan dengan beban tak penuh, cocok untuk operasi beban dasar dan turbin bersiklus dan mempunyai efisiensi yang tinggi dalam daerah beban yang luas. Kelemahan berkaitan dengan keruwetannya, karena pada dasarnya instalasi ini menggabungkan dua teknologi didalam satu kompleks pembangkit daya.

2.3.SiklusGabungan

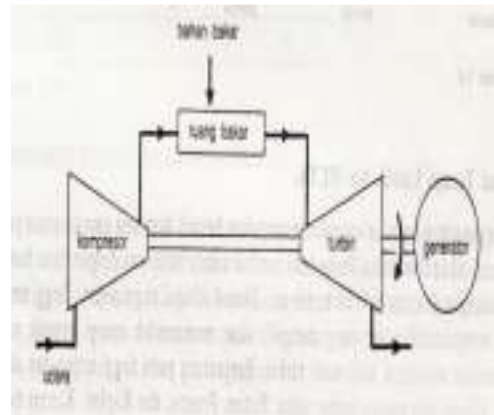
Siklusgabunganadalahsiklus yangmemanfaatkan gas buangdariturbin gas untukmemanaskanair denganmenggunakan HRSG danuap yang dihasilkan HRSG tersebutdigunakanuntukmenggerakkan generator listrik.



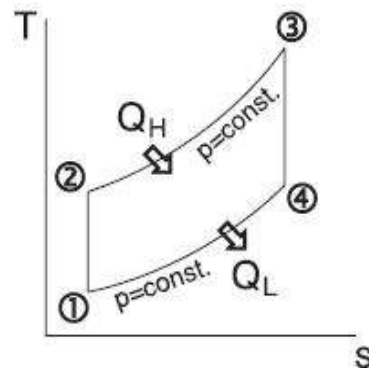
Gambar 2.1 Diagram PLTGU (Kehlhofer, Rolf, 1991)

SiklusTurbin Gas

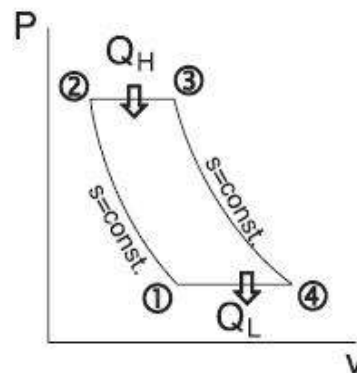
Prinsipkerja system iniadalahudaraatmosfermasukkedalamkompresoryangberfungsimenghisapdanmenaikkan tekananudara tersebut sehinggatemperaturnya naik. Kemudian udara bertekanan tinggi masuk kedalam ruang bakar yang bercampur dengan bahan bakar, sehingga terjadi proses pembakaran.



Gambar 2.2 SiklusTurbin Gas Terbuka (Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2004)



Gambar 2.3 Diagram T-s (Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2004)



Gambar 2.4 Diagram P-v (Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2004)

Jalannya proses dapat diterangkan sebagai berikut :
Keterangan :

- 1. Proses (1-2) merupakan proses dimana kompresi isentropic dalam kompresor.

$$T_2 = T_1 \cdot r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Dimana : r_p = rasio tekanan P_2/P_1
 γ = panasspesifik (1,4)

- 2. Proses (2-3) merupakan proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ruang bakar.

$$Q_{in} = C_p(T_3 - T_2)$$

- 3. Proses (3-4) merupakan proses ekspansi isentropic dalam turbin.

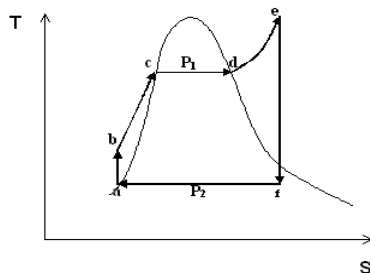
$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{1}{r_p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

- 4. Proses (4-1) merupakan proses pelepasan kalor kelingkuangan pada tekanan konstan.

$$Q_{in} = C_p(T_4 - T_1)$$

Siklus Turbin Uap

Pada dasarnya prinsip kerja suatu PLTU adalah mengikuti siklus Rankine ideal, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.5 Siklus Rankine teoritis (Dietzel, Fritz, 1990)

Proses yang terjadi pada siklus Rankine adalah sebagai berikut :

- a – b = Kompresi isentropic, terjadi dalam Boiler Feed Pump.
- b – c = Pemanasan air pada tekanan konstan, terjadi dalam Economizer.
- c – d = Penguapan air sampai menjadi uap jenuh pada tekanan dan temperatur konstan, terjadi dalam Evaporator.

- d – e = Uap jenuh dikeringkan lebih lanjut sampai menjadi uap panas lanjut pada tekanan konstan, terjadi dalam Superheater
- e – f = Ekspansi isentropic (Adiabatis), terjadi dalam Turbin Uap
- f – a = Kondensasi uap pada tekanan dan temperature konstan, terjadi dalam Kondensor.

Heat Balance HRSG Efisiensi HRSG (η_{HRSG})

Effisiensi HRSG didapat dari banyaknya panas yang diserap oleh komponen-komponen utama di HRSG dibagi dengan panas yang masuk kedalam HRSG. Rumus mencari efisiensi :

$$\eta_{HRSG} = \frac{Q_{output\ HRSG}}{Q_{input\ HRSG}} \times 100\%$$

- ✓ Panas yang masuk HRSG ($Q_{input\ HRSG}$) didapat dari panas yang terkandung didalam gas asap keluar turbin gas, untuk menghitung $Q_{input\ HRSG}$ digunakan rumus :

$$Q_{input\ HRSG} = G \times C_p \times \Delta T \text{ (kW)} \\ = G \times \Delta h \text{ (kW)}$$

Dimana :

G = Massa aliran gas asap (kg/s)
 C_p = Panas jenis gas asap tekanan konstan (kJ/kg.°C)

ΔT = Selisih antara temperatur gas asap masuk HRSG dengan temperatur udara diluar HRSG (°C)

Δh = Enthalpy gas asap masuk HRSG dikurangi dengan enthalpy gas asap keluar HRSG (kJ/kg)

- ✓ Panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air di economizer, penguapan di evaporator serta penguapan lanjut di superheater merupakan panas (Q) output dari HRSG. Adapun rumus untuk menghitung $Q_{output\ HRSG}$ adalah sebagai berikut :

$$Q_{output\ HRSG} = Q_{SH} + Q_{Eva} + Q_{Eco} \text{ (kW)}$$

- ✓ Panas di economizer (Q_{Eco}), dihitung dengan :

$$Q_{Eco} = M \times \text{Panas jenis air} \times \Delta T \text{ (kW)}$$

Dimana :

M = Massa aliran air masuk economizer (kg/s)

Panas jenis air = 4,19 kJ/kg.C

ΔT = Temperatur air masuk economizer dikurangi dengan temperatur air keluar economizer ($^{\circ}C$)

- ✓ Panas di evaporator (Q_{Eva}), dihitung dengan :

$$Q_{Eva} = M \times \Delta h \text{ (kW)}$$

Dimana :

M = Massa aliran air masuk evaporator (kg/s)

Δh = Enthalpy uap jenuh keluar evaporator dikurangi dengan enthalphy air masuk evaporator (kJ/kg)

- ✓ Panas di superheater (Q_{SH}), dihitung dengan :

$$Q_{SH} = M \times C_p \times \Delta T \text{ (kW)}$$

$$= M \times \Delta h \text{ (kW)}$$

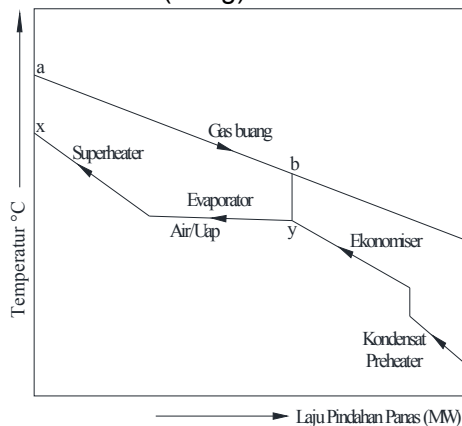
Dimana :

M = Massa aliran uap jenuh masuk SH (kg/s)

C_p = Panas jenis uap pada tekanan konstan (kJ/kg. $^{\circ}C$)

ΔT = Temperatur uap panas lanjut keluar SH dikurangi dengan temperatur uap jenuh masuk SH ($^{\circ}C$)

Δh = Enthalpy uap panas lanjut keluar SH dikurangi dengan enthalpy uap jenuh masuk SH (kJ/kg)



Gambar 2.6 Profil Diagram Temperatur (Kehlhofer, Rolf, 1991)

3. Metodologi Penelitian Data Operasional PLTGU

Pusat Listrik Tenaga Uap dan Gas (PLTGU) Sicanang Belawan terdiri dari 2 blok masing-masing blok terdiri dari tiga turbin gas dan satu turbin uap Keseluruhan paket dari turbin gas merupakan pabrikan dari *Siemens KWU Jerman* dan *Aalborg Denmark*.

Tabel 3.1 Data Operasi Turbin Gas dan HRSG PLTGU Sicanang Blok 1 dengan pola kombinasi 2-2-1

Data Operasi PLTGU Belawan	BLOK 1	
	Unit 1.1	Unit 1.2
Daya turbin gas (MW)	117,5	128,5
Bahan bakar	Gas	Gas
Temperatur udara masuk kompresor ($^{\circ}C$)	36	36
Tekanan udara masuk kompresor (bar)	1	1
Rasio Kompresi	11,5	12
Temperatur gas asap masuk Turbin Gas ($^{\circ}C$)	1011	1069
Temperatur gas asap keluar turbin gas ($^{\circ}C$)	503	535
Temperatur air masuk LP Economizer ($^{\circ}C$)	77,1	75,6
Temperatur air keluar LP Economizer ($^{\circ}C$)	122	160
Tekanan di LP Evaporator (bar)	3,2	3,1
Temperatur di LP Evaporator ($^{\circ}C$)	146	145
Massa uap (ton/jam)	52,9	77
Temperatur air masuk HP Economizer ($^{\circ}C$)	75,5	75,6
Temperatur air keluar HP Economizer ($^{\circ}C$)	269	254
Tekanan di HP Evaporator (bar)	51,5	52
Temperatur di HP Evaporator ($^{\circ}C$)	262	261
Tekanan di Superheater (bar)	51,5	52
Temperatur uap masuk Superheater ($^{\circ}C$)	263	261
Temperatur uap keluar Superheater ($^{\circ}C$)	460	490

Massa uap (ton/jam)	116	174
Temperatur gas asap masuk HRSG (°C)	501	532
Temperatur gas asap keluar HRSG (°C)	163	108
Aliran gas asap (kg/s)*	497,485	497,743

Tabel 3.2 Data Operasi Turbin Uap PLTGU Sicanang Blok 1 Pola Kombinasi 2-2-1

Daya yang Dihasilkan Generator (MW)	149
Massa Uap yang masuk ke HP Turbin (ton/jam)	456
Massa Uap yang masuk ke LP Turbin (ton/jam)	195,6
Tekanan masuk HP Turbin (bar)	44,7
Tekanan masuk LP Turbin (bar)	3,1
Temperatur uap masuk HP Turbin (°C)	473
Tekanan Kondensor (bar)	0,1
Temperatur Kondensor (°C)	45,2

Tabel 3.3 data Operasi Turbin Uap PLTGU Sicanang Blok 1 Pola Kombinasi 1-1-1

Daya yang Dihasilkan Generator (MW)	106
Massa Uap yang masuk ke HP Turbin (ton/jam)	355
Massa Uap yang masuk ke LP Turbin (ton/jam)	140,2
Tekanan masuk HP Turbin (bar)	31,7
Tekanan masuk LP Turbin (bar)	2,2
Temperatur uap masuk HP Turbin (°C)	481
Tekanan Kondensor (bar)	0,08
Temperatur Kondensor (°C)	42,8

Tabel 3.4 Data Operasi Turbin Gas dan HRSG PLTGU Sicanang Blok 1 dengan pola kombinasi 1-1-1

Data Operasi PLTGU Belawan	BLOK 1 Unit 1.2
Daya turbin gas (MW)	123
Bahan bakar	Gas
Temperatur udara masuk kompresor (°C)	36
Tekanan udara masuk kompresor (bar)	1
Rasio Kompresi	12,1
Temperatur gas asap masuk Turbin Gas (°C)	1070
Temperatur gas asap keluar turbin gas (°C)	535
Temperatur air masuk LP Economizer (°C)	76,8
Temperatur air keluar LP Economizer (°C)	156
Tekanan di LP Evaporator (bar)	2,2
Temperatur di LP Evaporator (°C)	136
Massa uap (ton/jam)	75,1
Temperatur air masuk HP Economizer (°C)	78,8
Temperatur air keluar HP Economizer (°C)	248
Tekanan di HP Evaporator (bar)	39,8
Temperatur di HP Evaporator (°C)	245
Tekanan di Superheater (bar)	39,8
Temperatur uap masuk Superheater (°C)	245
Temperatur uap keluar Superheater (°C)	488
Massa uap (ton/jam)	170
Temperatur gas asap masuk HRSG (°C)	533
Temperatur gas asap keluar HRSG (°C)	104
Aliran gas asap (kg/s)*	497,307

4. ANALISA DATA PERHITUNGAN EFISIENSI PLTGU POLA 2-2-1

Proses Efisiensi PLTG 1.1

Cycle summary :

$$\text{Net work} = -289,524 + 257,583 + 489,871$$

$$- 100,548 = 357,382 \frac{Kj}{Kg_m}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Net work}}{q_{input}} = \frac{\text{Net work}}{q_{2-3}} \\ &= \frac{357,382}{716,555} = 0,49 \\ &= 49 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi PLTG 1.2

Cycle summary :

$$\text{Net work} = - 289,524 + 257,583 + 489,871$$

$$- 100,548 = 357,382 \frac{Kj}{Kg_m}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Net work}}{q_{input}} \\ &= \frac{\text{Net work}}{q_{2-3}} = \frac{357,382}{716,555} = 0,49 \\ &= 49 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi HRSG 1.1

$$\begin{aligned} \eta_{\text{HRSG}} &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{130.844}{177.071,826} = 0,73 \\ &= 73 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi HRSG 1.2

$$\begin{aligned} \eta_{\text{HRSG}} &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{198.906,5}{221.828,625} = 0,89 \\ &= 89 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi Turbin Uap

$$\begin{aligned} \eta_{tu} &= \frac{m(\Delta h_{HP \text{ actual}}) + m(\Delta h_{LP \text{ actual}})}{m(\Delta h_{HP \text{ isentropis}}) + m(\Delta h_{LP \text{ isentropis}})} \\ &= \frac{P_{\text{Turbin Uap}}}{m(\Delta h_{HP \text{ isentropis}}) + m(\Delta h_{LP \text{ isentropis}})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{152040 \frac{kJ}{s}}{126676 \frac{kg}{s} (3.370 - 2.840) \frac{kJ}{kg} + 18109 \frac{kg}{s} (2.840 - 2.370) \frac{kJ}{kg}} \\ &= 0,89 \\ &= 89 \% \end{aligned}$$

Efisiensi Keseluruhan PLTGU Pola 2-2-1

$$\begin{aligned} \eta_{Th} &= \frac{\eta_{GT} \cdot Q_{GT} + \eta_{ST} \cdot Q_{GT} (1 - \eta_{GT})}{Q_{GT}} \\ &= \eta_{GT} + \eta_{ST} (1 - \eta_{GT}) \\ &= 0,296 + 0,30 (1 - 0,296) \\ &= 0,50 \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

PERHITUNGAN EFISIENSI PLTGU POLA 1-1-1

Proses Efisiensi PLTG 1.2

Cycle summary :

$$\text{Net work} = - 230,469 + 258,174 + 491,079$$

$$- 100,136 = 418,648 \frac{Kj}{Kg_m}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Net work}}{q_{in}} \\ &= \frac{\text{Net work}}{q_{2-3}} = \frac{357,382}{716,555} \\ &= 0,50 \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi HRSG 1.2

$$\begin{aligned} \eta_{\text{HRSG}} &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{115.892,77}{224.221,8} \\ &= 0,51 = 51 \% \end{aligned}$$

Proses Efisiensi Turbin Uap

$$\begin{aligned} \eta_{tu} &= \frac{m(\Delta h_{HP \text{ actual}}) + m(\Delta h_{LP \text{ actual}})}{m(\Delta h_{HP \text{ isentropis}}) + m(\Delta h_{LP \text{ isentropis}})} \\ &= \frac{P_{\text{Turbin Uap}}}{m(\Delta h_{HP \text{ isentropis}}) + m(\Delta h_{LP \text{ isentropis}})} \end{aligned}$$

$$= \frac{108163 \frac{kJ}{s}}{94452 \frac{kg}{s} (3.412 - 2.882) \frac{kJ}{kg} + 13399 \frac{kg}{s} (2.882 - 2.445) \frac{kJ}{kg}}$$

$$= 0,81$$

$$= 81 \%$$

Efisiensi Keseluruhan PLTGU Pola 1-1-1

$$\eta_{Th} = \frac{\eta_{GT} \cdot Q_{GT} + \eta_{ST} \cdot Q_{GT} (1 - \eta_{GT})}{Q_{GT}}$$

$$= \eta_{GT} + \eta_{ST} (1 - \eta_{GT})$$

$$= 0,299 + 0,42 (1 - 0,299)$$

$$= 0,59$$

$$= 59 \%$$

5.KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan data dan analisa yang telah yang telah diuraikan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Antara spesifikasi teknis instalasi PLTGU dengan kondisi operasinya ada beberapa perbedaan, misalnya pada sisi kompresor PLTG dimana pada spesifikasi teknis mempunyai rasio kompresi sebesar 13,8 tetapi pada kondisi operasinya kompresor ini hanya menghasilkan rasio kompresi antara 11,5 s/d 12,5. Keadaan ini mungkin terjadi karena umur dari instalasi tersebut yang sudah cukup lama sehingga banyak terjadi perubahan fisik material peralatan (misalnya korosi, pengikisan permukaan, dll) yang menyebabkan performance dari masing-masing instalasi menjadi berkurang.
2. Dari pola 2-2-1 dan 1-1-1 dapat kita nyatakan bahwa efisiensi total pada kedua pola tersebut merupakan pengaruh dari masing-masing efisiensi turbin gas. Semakin tinggi efisiensi masing-masing turbin gas

semakin tinggi pula efisiensi totalnya (PLTGU).

3. Apa yang menyebabkan pola kombinasi 1-1-1 memiliki efisiensi lebih rendah dibanding pola 2-2-1. Pada pola kombinasi 1-1-1 masing-masing turbin gas mempunyai efisiensi rata-rata 29,50%, sedangkan pola 2-2-1 masing-masing turbin gas memiliki efisiensi rata-rata 30%. Jika kita melihat pernyataan di atas, semakin tinggi efisiensi masing-masing turbin gas semakin tinggi pula efisiensi totalnya (PLTGU).
4. Pada pola kombinasi 2-2-1 daya yang dihasilkan oleh turbin uap adalah 152.040 kW, sedangkan daya yang dihasilkan oleh turbin uap pada pola kombinasi 1-1-1 adalah 108.163 kW. Hal ini disebabkan berkurangnya massa alir uap (ton/jam) yang masuk ke dalam turbin uap pada pola kombinasi 1-1-1, karena pada pola tersebut hanya 1 HRSG yang berkerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.Reynolds William dan Henry C. Perkins.1983 Termodinamikateknik,diterjemahkan oleh Ir. Filino Harahap Erlangga. Jakarta
- [2] Dietzel, Fritz. 1990 Turbin, Pompa dan Kompresor,terjemahan Dakso Sriyono, cetakan kedua, penerbit Erlangga, Jakarta.
- [3] Kehlhofer, Rolf, 1991 Combine Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant, The Fairmont Press, Inc, Lilburn.
- [4] Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2004 Alih bahasa Yulianto Sulisty NugrohoP"Termodinamika Teknik".Jilid I dan II, Edisi 4, Erlangga,Jakarta.
- [5] Yunus A. Chengel dan Michael A. Boles. 2002.Termodinamics and engineering Aproach.