

# Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw

Novi Gusnita<sup>1</sup>, Kaudir Saputra Said<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. H.R. Soebrantas Km.15 Panam Pekanbaru,  
PO Box. 1004 Telp. 0765-8359937, Fax. 0761-859428  
Email: novigusnitamzd@gmail.com

## ABSTRAK

Dalam usaha untuk meningkatkan efektifitas kerja suatu perusahaan perlu adanya perencanaan yang tepat pada operasionalnya, hal ini penting dalam mengetahui efisiensi dari suatu pembangkit listrik. Seperti diketahui gas buang dari unit PLTG Balai-Pungut hanya terbuang sia-sia dan mempunyai efisiensi termal yang rendah, seharusnya masih dapat dimanfaatkan kembali dalam meningkatkan efisiensi termalnya dengan cara penggabungan siklus (Combine cycle) turbin gas dan turbin uap menjadi (PLTGU). Dalam tugas akhir ini nantinya nilai efisiensi dari PLTG dihitung menggunakan metode siklus Brayton. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode siklus brayton didapatkan efisiensi termal dari PLTG Balai-Pungut Duri sebesar 29,20% dengan kapasitas daya 20 MW. Kemudian, setelah dilakukan perhitungan penggabungan siklus yang memanfaatkan gas buang yang tidak dimanfaatkan, didapatkan hasil peningkatan efisiensi termal menjadi 52,41% dan peningkatan kapasitas daya keluaran menjadi 63,842 MW.

**Kata Kunci :** Combine Cycle, Efisiensi Termal, Siklus Brayton, Turbin Gas

## ABSTRACT

*In order to increase the effectiveness of the work of a company is need for proper planning on operational, it's essential in knowing the efficiency of a power plant. As is known the exhaust gas from the unit PLTG Balai-Pungut wasted and has a low thermal, should still be utilized again in increasing the thermal efficiency by way of a merger cycle (Combine cycle) gas turbine and steam turbine being (PLTGU). In this final task later value the efficiency of PLTG calculated using methods brayton cycle. Based on calculations using the method of brayton cycle thermal efficiency obtained from PLTG Balai-Pungut Duri of 29,20% with a power capacity of 20 MW. Then, having done the calculation of merger cycle utilizes exhaust gas that is not utilized, the obtained results an increase in thermal efficiency become 52,41% and increased power output capacity be 63,842 MW.*

**Keywords :** Brayton Cycle, Combine Cycle, Gas Turbine, Thermal Efficiency

---

### Corresponding Author:

Novi Gusnita,  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi,  
UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Email: novigusnitamzd@gmail.com

---

## Pendahuluan

### Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang perkembangan pembangunan suatu negara. Di Indonesia, perkembangan tersebut ditandai dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatan

industri yang mengakibatkan peningkatan laju konsumsi energi listrik. Dengan peningkatan laju konsumsi tersebut menuntut pusat pembangkitan listrik untuk lebih efisien dalam pengoperasian unit pembangkit. Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan listrik. Bahan bakar PLTG bisa berwujud cair

(BBM) maupun gas (gas alam). Komponen utama PLTG adalah kompresor, ruang bakar, turbin gas dan generator. Salah satu parameter yang menunjukkan prestasi kerja PLTG adalah efisiensi.

Dari segi efisiensi termal, unit PLTG tergolong unit thermal yang efisiensiannya paling rendah, yaitu berkisar antara 20-30%. Siklus *Brayton* merupakan prinsip dasar operasi pembangkitan listrik tenaga gas. Perhitungan efisiensi sistem turbin gas dengan cara siklus *Brayton*, berbasis pada energi termal yang dikandung udara. Perhitungan efisiensi sistem turbin gas ALSTHOM menggunakan dua metode. Metode pertama berdasar pada siklus *Brayton* ideal dan metode kedua berdasarkan siklus *Brayton* aktual. Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) yang ada di Balai-Pungut Duri berjumlah 2 unit PLTG yang menghasilkan kapasitas daya per unit sebesar 20 MW. PLTG Balai-Pungut Duri beroperasi menggunakan turbin gas bermerek ALSTHOM. Dimana bahan bakar yang digunakan yaitu gas alam (*Natural gas*). *Start up* awal pengoperasian PLTG menggunakan bantuan *diesel* untuk memutar turbin gas.

Permasalahan yang terjadi di Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) Balai Pungut-Duri adalah gas buang dari unit PLTG yang hanya terbuang sia-sia. PLTG Balai-Pungut sekarang masih membuang semua sisa industri dari proses pembakaran yang terjadi di dalam turbin gas yang hanya menghasilkan daya sesuai target operasi dari proses pembakaran bahan bakar sehingga memutar turbin dan menghasilkan daya.

Didasarkan dengan banyaknya gas buang yang terbuang sia-sia. Gas buang tersebut yang seharusnya masih bisa dimanfaatkan untuk pembangkit baru dalam meningkatkan efisiensi yang rendah dari PLTG tersebut, tetapi hanya terbuang begitu saja. Besarnya temperatur gas buang yang ada di PLTG Balai-Pungut Duri dari hasil wawancara yaitu sebesar 459°C rata-rata per harinya.

Pada gas buang yang ada di PLTG Balai-pungut yang belum dimanfaatkan tersebut sehingga memiliki peluang besar untuk menghasilkan pembangkit energi baru jika gas buang tersebut dapat memanfaatkan memutar turbin yang ada di HRSG (*Heat recovery steam generator*) untuk memanaskan air. Agar air yang dipanaskan dapat dirubah menjadi uap dan uap yang dihasilkan dapat dipakai untuk memutar *steam turbine*.

Dari gas buang pembangkit di PLTG ini dapat dikelola dan dioptimalkan menjadi energi baru yaitu pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) melalui siklus kombinasi (*Combine cycle*) yaitu penggabungan antara turbin gas dan turbin uap. Tujuan utama dari siklus kombinasi

tersebut yaitu untuk meningkatkan efisiensi termal yang cukup tinggi mencapai 50% lebih. Sedangkan penggunaan turbin gas sebagai pembangkit energi listrik PLTG mempunyai efisiensi termal rendah yaitu antara 20-30%. Sehingga dibutuhkan suatu pembangkit listrik dengan siklus kombinasi yang menghasilkan efisiensi yang tinggi dan daya yang lebih besar. Hal ini dikarenakan besarnya gas buang yang cukup besar di PLTG Balai-Pungut yang hanya terbuang begitu saja tanpa dimanfaatkan kembali.

## Tinjauan Pustaka

### Turbin Gas

Turbin gas adalah turbin dengan gas fluida kerjanya. Sebenarnya turbin gas hanyalah suatu komponen dari suatu sistem turbin gas. turbin gas merupakan pembangkit sederhana yang terdiri atas empat komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas dan generator.

Turbin berfungsi merubah gas panas hasil pembakaran dan ruang bakar menjadi putaran tenaga mekanis. Turbin terdiri dari deretan sudu-sudu yang berputar (rotor) dan sudu-sudu yang tidak berputar (stator). Ada dua cara untuk memanfaatkan kecepatan aliran udara agar memutar turbin yaitu impuls dengan cara mendorong atau dengan reaksi karena gaya reaksi aliran udara panas meniggalkan sudu-sudu rotor. Pada cara impuls kecepatan udara membentur sudu-sudu rotor dan rotor bergerak dan mulai berputar.

Sedang udara kemudian berekspansi pada sudu-sudu rotor dan pada waktu meninggalkan sudu rotor menyebabkan terjadinya gaya reaksi yang menghasilkan tenaga yang menambah putaran rotor.

### Sistem Kerja Turbin Gas

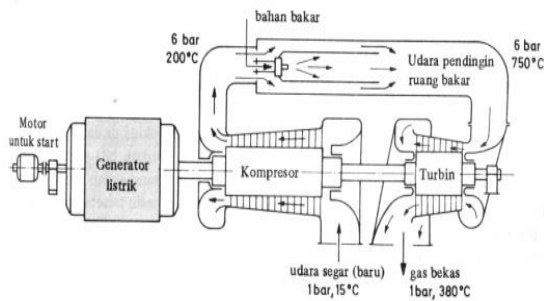
Turbin gas adalah suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Didalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin dan bagian turbin yang diam disebut stator atau rumah turbin. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban (generator listrik, pompa, kompresor atau yang lainnya).

Turbin gas adalah motor bakar yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin. Sistem ini dapat berfungsi sebagai pembangkit gas ataupun menghasilkan daya poros. Ciri utama turbin gas adalah kompak, ringan, dan mampu menghasilkan daya tnggiserta bebas getaran. Dengan demikian mudah pemasangannya dan tidak memerlukan

pondasi kuat. Membakar bahan bakar dalam api terbuka merupakan cara sederhana untuk menghasilkan panas.

Energi tersebut kemudian dipindahkan keperangkat keras dengan menggunakan fluida kerja yang sesuai. Kadang udara dengan mengalirkannya melalui mesin.

Dalam mesin bolak-balik hal itu dilakukan dengan siklus termodinamika penghisapan, kompresi, pemanasan, ekspansi, dan pembuangan yang dilakukan secara berurutan dalam ruang yang sama yang terbentuk oleh piston dan silinder yang beroperasi pada fluida kerja satu massa pada satu waktu. Sangat berbeda dengan turbin gas, fluida kerja mengalir tanpa gangguan yang mengalir secara kontinu dari satu peralatan untuk satu tujuan ke peralatan berikutnya.



Gambar 1. Turbin Gas Sederhana

Susunan turbin gas yang sederhana ditunjukkan pada gambar diatas kompresor yang bekerja seperti *fan* menggerakkan fluida kerja kedalam sistem pemanas.

Fluida dipanaskan oleh pembakaran dalam, yang karenanya disebut motor pembakaran dalam (pembakaran dengan suplai bahan bakar terkendali kedalam aliran udara) atau oleh pertukaran panas dari luar, yang karenanya disebut motor pembakaran luar (melewatkan fluida terkompresi melalui jalur yang dipanaskan). Gas panas tersebut kemudian di ekspansikan dalam turbin. Poros turbin berputar menghasilkan tenaga untuk memutar kompresor dan beban luar.

### Komponen Utama Turbin Gas

#### a. Kompresor

Kompresor yang banyak digunakan dalam turbin gas adalah jenis aksial ini mempunyai efisiensi yang tinggi. Kenaikkan tekanan berlangsung dalam setiap tingkat, diperoleh setiap tingkat perbandingan tekanan yang lebih tinggi.

Setiap tingkat-tingkat sudu menerima udara dari tingkat sebelumnya dan mempercepat atau memperlambat aliran udara tersebut sesuai fungsinya. Setiap tingkat sudu memberikan aliran udara dengan kecepatan yang sama pada saat

masuknya akan tetapi tekanannya berubah. Pada tingkat pertama kenaikan tekanan hanya sedikit, tetapi setelah sampai pada tingkat-tingkat terakhir tekanannya naik dengan cepat volume udara juga berubah. Tekanan udara yang naik membuat udara bertambah padat, maka agar tekanan dan kecepatan udara tersebut tidak berubah, rumah kompresor diameternya dibuat makin lama makin menyempit pada bagian keluarannya, namun tidak menutup kemungkinan terjadinya kehilangan-kehilangan tekanan dalam kompresor akibat gesekan yang akan naik akibat permukaan sudu-sudu yang tidak licin, sebagai akibat kosori pada sudu-sudu akan meningkatkan kehilangan tekanan selama kompresi. Kompresor dapat direncanakan menurut jenis impuls atau jenis reaksi, kompresor aksial jenis impuls dimana difusi hanya terjadi dalam stator, kompresor aksial jenis reaksi difusi terjadi baik dalam stator maupun rotornya.

Perhitungan efisiensi terhadap kompresor dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_c = \frac{W_c}{W_{cs}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

$\eta_c$  : Efisiensi kompresor

$W_c$  : Kerja kompresor aktual

$W_{cs}$  : Kerja kompresor ideal

#### b. Ruang Bakar

Tujuan utama dari ruang bakar adalah untuk memberikan atau menjamin terjadinya reaksi kimia antara bahan bakar dan udara yang berasal dari kompresor yang kemudian diekspansi dalam turbin untuk menghasilkan kerja pada proses.

Konstruksi dari ruang bakar sedikit banyak dijelaskan fungsinya. Ruang bakar terdiri dari dua buah pipa konsentrik yang mempunyai tutup pada bagian depannya. Kedua pipa linear atau out linear. Pada bagian belakang ruang bakar dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat mengarahkan gas panas hasil pembakaran kearah bagian turbin.

Aliran udara dalam ruang bakar dengan mesin torak yang disebut *recipcorating Engine*. Pada sistem turbin gas, udara yang masuk kedalam ruang bakar tidak seluruhnya terbakar dalam proses pembakaran, hanya sekitar 20-30% udarab yang digunakan untuk pembakaran pada beban penuh (*full load*), sedang sisanya akibat panas dari api pembakaran akan mengembang melalui sudu-sudu turbin. Udara yang digunakan untuk pembakaran itulah yang disebut udara primer yang jumlahnya diatur oleh banyaknya dan

besarnya lubang-lubang dari ruang bakar tempat di mana udara tersebut dapat masuk ke arah pembakaran.

c. Turbin

Turbin berfungsi merubah gas panashasil pembakaran dan ruang bakar menjadi putaran tenaga mekanis. Turbin terdiri dari deretan sudu-sudu yang berputar (rotor) dan sudu-sudu yang tidak berputar (stator).

Ada dua cara untuk memanfaatkan kecepatan aliran udara agar memutar turbin yaitu impuls dengan cara mendorong atau dengan reaksi reaksi karena gaya reaksi aliran udara panas meniggalkan sudu-sudu rotor. Pada cara impuls kecepatan udara membentur sudu-sudu rotor dan rotor bergerak dan mulai berputar. Sedang udara kemudian berekspansi pada sudu-sudu rotor dan pada waktu meninggalkan sudu rotor menyebabkan terjadinya gaya reaksi yang menghasilkan tenaga yang menambah putaran rotor.

Menghitung efisiensi turbin berdasarkan metode siklus *braython* adalah sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{W_T}{W_{Ts}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

$\eta_T$  : Efisiensi turbin

$W_T$  : Kerja turbin aktual

$W_{Ts}$  : Kerja turbin ideal

**Sistem Turbin Gas Yang Bekerja Berdasarkan Siklus Brayton**

Siklus ini merupakan siklus daya termodinamika ideal untuk turbin gas, sehingga saat ini siklus ini yang sangat populer digunakan oleh pembuat mesin turbine atau *manufacturer* dalam analisis untuk *performance upgrading*. Siklus Brayton ini terdiri dari proses kompresi isentropik yang diakhiri dengan proses pelepasan panas pada tekanan konstan.

Udara yang masuk kedalam kompresor dimana yang berfungsi menghisap dan menarik tekanan udara. Sehingga temperaturnya akan naik. Kemudian udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi itu masuk kedalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar kedalam arus udara tersebut, sehingga terjadi proses pembakaran.

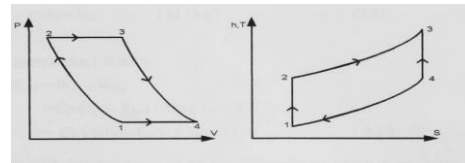
a. Siklus Brayton Ideal

Turbin gas secara termodinamika bekerja dengan siklus brayton. Siklus ini merupakan siklus ideal untuk sistem turbin gas sederhana dengan siklus terbuka.

Siklus ideal adalah suatu siklus yang dibangun berdasarkan asumsi sebagai berikut :

- a. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara reversibel adiabatik (isentropis).
- b. Perubahan energi kinetik dari fluida kerja diantara sisi masuk dan sisi keluar setiap kompresor diabaikan.
- c. Tidak ada kerugian tekanan pada sisi masuk ruang bakar dan keluar gas.
- d. Fluida kerja dianggap gas ideal dengan panas jenis konstan.

Adapun diagram h,T vs S dan P vs V dapat dilihat berikut ini:



Gambar 2. Diagram P-V dan diagram T-S (siklus ideal)

Proses proses yang terjadi dari diagram tersebut diatas adalah sebagai berikut:

- a. Proses 1-2 : Proses kompresi isentropis pada kompresor.
- b. Proses 2-3 : Proses pembakaran pada tekanan konstan (*isobar*) Didalamruangbakar,adanya pemasukan panas.
- c. Proses 3-4 : Proses ekspansi isentropik pada turbin.
- d. Proses 4-1 : Proses pelepasan kalor pada tekanan konstan.

Menghitung efisiensi termal ideal siklus *brayton* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th.s} = \frac{W_{net.s}}{Q_{in.s}} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

$\eta_{th.s}$  : Efisiensi termal ideal siklus

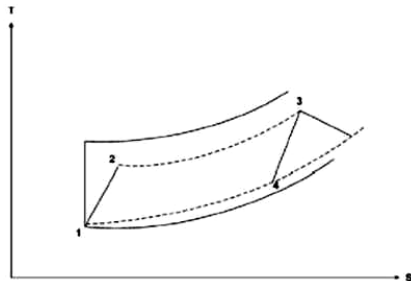
*braython*

$W_{net.s}$  : Kerja bersih generator

$Q_{in.s}$  : Panas masuk sistem ideal kompresor

b. Siklus Brayton Aktual

Seperti yang kita ketahui bahwa siklus dari turbin gas sebenarnya menyimpang dari siklus ideal. Hal ini disebabkan karena adanya kerugian pada komponen kompresor dari turbin sehingga proses kompresi dan ekspansi tidak terjadi secara *isentropic*.



Gambar 3. Diagram T-S untuk siklus Sederhana

Gambar diagram T-S dari siklus brayton diperlihatkan proses-proses yang terdiri atas:

- a. Proses 1-2 :Proses kompresi *isentropic* (Udara yang dihisap oleh kompresor).
- b. Proses 2-3 :Penambahan energi pada tekanan konstan dimana bahan bakar bertemu sehingga terjadi proses pembakaran.
- c. Proses 3-4 :Pengembangan *isentropic* udara dari udara gas panas sehingga menimbulkan tenaga putaran mekanis pada turbin.
- d. Proses 4-1 : Proses pembangunan gas panas hasil proses pembakaran pada tekanan konstan.

Menghitung efisiensi termal aktual siklus *brayton* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

$\eta_{th}$  : Efisiensi termal aktual siklus *brayton*

$W_{net}$  : kerja bersih sistem aktual generator

$q_{in}$  : Panas masuk sistem aktual kompresor

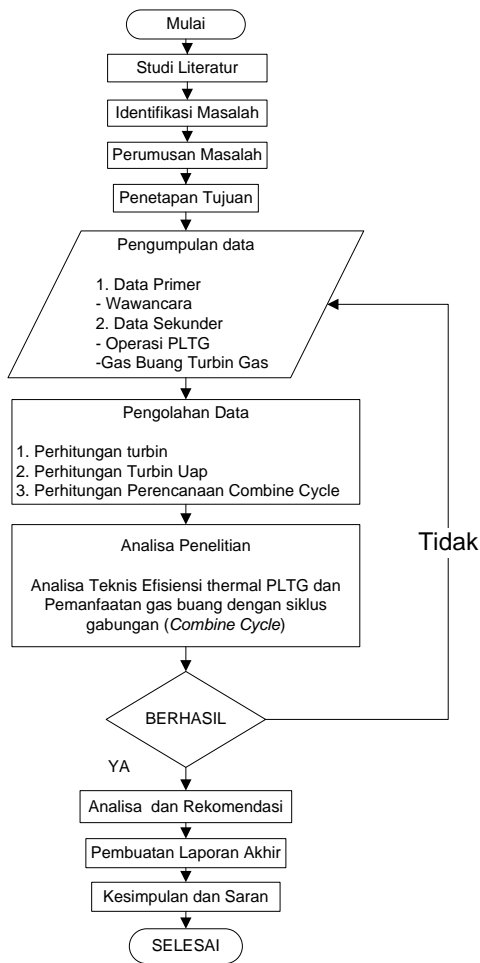
Proses – proses yang terjadi diatas berlaku secara teoritis, tetapi kenyataannya (secara aktual) terjadi penyimpangan – penyimpangan dan proses yang ideal. Penyimpangan-penyimpangan itu adalah :

- a. Fluida kerja bukanlah gas ideal dengan panas spesifik konstan.
- b. Laju aliran massa fluida kerja tidak konstan.
- c. Proses yang berlangsung disetiap komponen tidak adiabatik dan *reversibel*, karena ada kerugian energi akibat gesekan, perpindahan panas dan lain-lain.
- d. Proses kompresi didalam kompresor tidak berlangsung secara isentropik.
- e. Proses ekspansi didalam turbin tidak berlangsung secara isentropik.
- f. Proses pembakaran tidak berlangsung secara adiabatik serta tidak dapat menjamin terjadinya pembakaran sempurna, sehingga untuk mencapai temperatur gas masuk turbin yang ditetapkan diperlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak.
- g. Terjadi penurunan tekanan pada ruang bakar.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data-data operasi PLTG Balai-Pungut Duri, selanjutnya melakukan analisa efisiensi termal turbin gas dan pemanfaatan gas buang turbin gas.

Parameter digunakan untuk menganalisa efisiensi termal dan gas buang menggunakan siklus *brayton*. Setelah perhitungan tersebut dianalisa, nantinya bisa dijadikan rekomendasi buat industri dalam peningkatan efisiensi termal dan peningkatan daya dari PLTG Balai-Pungut Duri berdasarkan gas buang yang tidak dimanfaatkan di industri tersebut dengan dilakukannya penggabungan antara PLTG dan PLTU atau lebih sering disebut dengan PLTGU.



Gambar 4. Flowchart Langkah Penelitian

## HASIL DAN ANALISA

### Pengumpulan Data

Sebelum melakukan analisa, terlebih dahulu yang perlu dilakukan adalah mengumpulkan dan melengkapi data-data untuk mendapatkan hasil dari perhitungan siklus brayton. Data yang diperoleh dari Pembangkit listrik tenaga gas di Balai-Pungut Duri, diperoleh data sekunder operasi PLTG maupun melalui hasil wawancara dengan teknisi di industri tersebut.

### Pengolahan Data

1	Beban	15,0 MW	15000 kW
2	Temperatur udara lingkungan ( $T_1$ )	30°C	303 K
3	Temperatur udara tekan ( $T_2$ )	325°C	598 K
4	Temperatur gas buang ( $T_3$ )	459°C	732 K
5	Tekanan udara lingkungan ( $P_1$ )	1 atm	101,33 kPa
6	Tekanan udara tekan (gase) ( $P_{2, \text{gase}}$ )	7,3 bar	730 kPa
7	Tekanan absolut udara tekan/Tekanan keluar kompresor ( $P_2$ )	$P_{2, \text{gase}} + 1 \text{ atm}$	831,33 kPa
8	Debit aliran bahan bakar ( $Q_{fuel}$ )	334,1 m <sup>3</sup> /jam	
9	Berat jenis bahan bakar ( $\rho_{fuel}$ )	0,717 kg/m <sup>3</sup>	
10	Laju Aliran Massa Bahan Bakar ( $\dot{m}_{fuel}$ )	1,635 kg/s	
11	Nilai kalor bahan bakar (LHV)	42836,6 kJ/kg	
12	Laju Aliran Massa Udara ( $\dot{m}_{udara}$ )	115 kg/s	

Tabel 1. Data Pembangkit Listrik Tenaga Gas Balai-Pungut Duri

a. Efisiensi termal Aktual Siklus brayton

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

$\eta_{th}$  : Efisiensi termal aktual siklus brayton

$W_{net}$  : Kerja bersih sistem aktual (kerja netto turbin)

$q_{in}$  : Panas masuk ruang bakar aktual

Diketahui :

$W_{net}$  : 177,88 kJ/kg

$q_{in}$  : 609,02 kJ/kg

Jawab :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{177,88 \text{ kJ/kg}}{609,02 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 29,20\%$$

b. Daya Keluaran PLTG

$$P_{net} = \dot{m}_a \cdot W_{net}$$

Dimana :

$P_{net}$  : Daya bersih aktual

$\dot{m}_a$  : Laju aliran massa udara  
 $W_{net}$  : Kerja bersih sistem aktual (kerja netto turbin)

**Diketahui :**

$\dot{m}_a$  : 115 kg/s  
 $W_{net}$  : 177,88 kJ/kg

**Jawab :**

$$P_{net} = \dot{m}_a \cdot W_{net}$$

$$P_{net} = 115 \text{ kg/s} \cdot 177,88 \text{ kJ/kg}$$

$$P_{net} = 20456,2 \text{ kW} = 20,456 \text{ MW}$$

c. Efisiensi turbin uap

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

**Dimana :**

$W_{net}$  : Kerja netto keluaran generator  
 $Q_{in}$  : Kalor yang masuk ke sistem

**Diketahui :**

$W_{net}$  : 1014,59 kJ/kg  
 $Q_{in}$  : 3235,23 kJ/kg

**Jawab :**

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{1014,59}{3235,23} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 31,3\%$$

d. Daya Keluaran PLTU

$$P_{ST} = m_s(W_T - W_p) \text{ kW}$$

**Dimana :**

$m_s$  : Laju aliran uap masuk turbin  
 $W_T$  : Keluaran kerja turbin  
 $W_p$  : Kerja pompa

**Diketahui :**

$m_s$  : 22,6 kg/s  
 $W_T$  : 1019,72 kJ/kg  
 $W_p$  : 5,13 kJ/kg

**Jawab :**

$$P_{ST} = m_s(W_T - W_p) \text{ kW}$$

$$P_{ST} = 22,6(1019,72 - 5,13) \text{ kW}$$

$$P_{ST} = 22,6(1014,59) \text{ kW}$$

$$P_{ST} = 22929,73 \text{ kW}$$

e. Perhitungan Kapasitas Total Daya Total Gabungan

$$P_{tot} = P_{gt} + P_{ST}$$

**Dimana :**

$P_{gt}$  = Daya Total Turbin Gas  
 $P_{ST}$  = Daya Total Turbin Uap

**Diketahui :**

$P_{gt}$  = Daya turbin gas 2 unit =  $2 \times 20456,20$   
 kW = 40912,40 kW  
 $P_{ST}$  = Daya turbin uap = 22929,73 kW

**Jawab :**

$$P_{tot} = P_{gt} + P_{ST}$$

$$P_{tot} = 40912,40 \text{ kW} + 22929,73 \text{ kW}$$

$$P_{tot} = 63842,13 \text{ kW} \text{ atau } 63,842 \text{ MW}$$

f. Efisiensi Termal Instalasi Gabungan

$$\eta_c = \frac{P_{tot}}{Q_r}$$

**Dimana :**

$P_{tot}$  : Daya Total antara turbin gas dan turbin uap  
 $Q_r = Q_{in}$  : Pemasukkan Kalor pada Turbin Gas

**Diketahui :**

$P_{tot}$  : 63842,13 kW atau 63,842 MW  
 $Q_r = Q_{in}$  : 609,02 kJ/kg = 609,02 kW

**Jawab :**

Dimana, pemasukkan kalor dari ruang bakar menuju turbin gas yang di suplai pada 2 unit turbin yang ada di PLTG balai punggut adalah  $2 \times$

$$609,02 = 1218,04 \text{ kW}$$

$$\eta_c = \frac{P_{tot}}{Q_r}$$

$$\eta_c = \frac{63842,13}{1218,04}$$

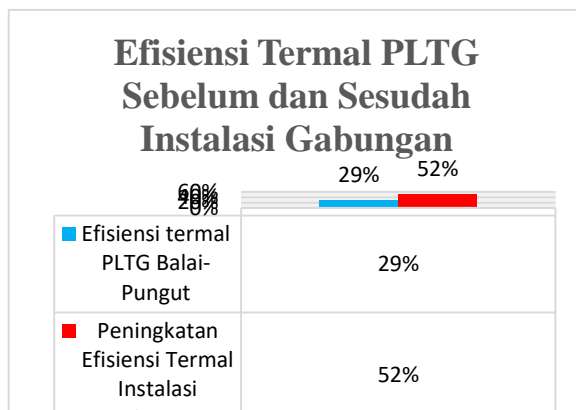
$$\eta_c = 52,41\%$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Siklus Gabungan (Combine Cycle)

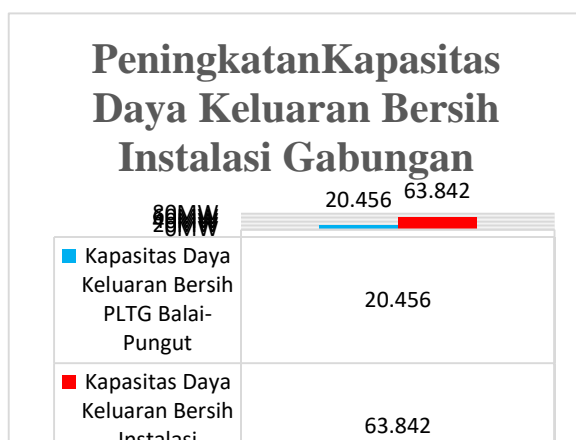
Perhitungan Siklus Gabungan (Combine Cycle)	
Kapasitas Total Instalasi Gabungan $P_{tot}$	63,842 MW
Efisiensi Termal Instalasi Gabungan (Combine Cycle) $\eta_c$	52,41%

#### 4.3 Analisa

Didasarkan bahwa efisiensi termal dari PLTG masih tergolong rendah berkisar antara 20%-30% dan unit PLTG Balai-Pungut dari masuk dalam kategori belum efisien. PLTG Balai-Pungut berjumlah 2 unit yang sama-sama berkapasitas 20 MW.



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Termal PLTG Sebelum dan Sesudah Instalasi Gabungan



Gambar 6. Perbandingan Kapasitas Daya Keluaran Bersih PLTG Sebelum dan Sesudah Instalasi Gabungan

Berdasarkan perhitungan-perhitungan turbin gas yang telah dilakukan dari unit 2 PLTG Balai-Pungut Duri diketahui bahwa efisiensi termal sebenarnya (Aktual) dari PLTG tersebut yaitu 29,20% dengan daya bersih yang dihasilkan 20,456 MW. Namun, untuk meningkatkan efisiensi termal tersebut dilakukan lah siklus penggabungan antara PLTG dan PLTU (Combine cycle) dengan memanfaatkan gas buang dari PLTG Balai-Pungut yang masih cukup besar yaitu 459°C untuk dipergunakan sistem *combine cycle* di industri PLTG Balai-Pungut antara turbin gas dan turbin uap (PLTGU).

Perencanaan PLTGU ini merupakan gabungan antara pembangkit listrik tenaga gas dan pembangkit listrik tenaga uap, dimana perencanaan PLTGU ini terdiri dari 2 (Dua) unit turbin gas yang masing-masing berkapasitas 20,456 kW atau 20 MW dan 1 (Satu) unit turbin uap yang berkapasitas 22,929 kW atau 22 MW. Jika digunakan sistem gabungan (Combine Cycle) maka didapatkan peningkatan efisiensi termal dari siklus gabungan yaitu sebesar 52,41% dengan peningkatan kapasitas daya yang dihasilkan 63,842 MW. Dengan memanfaatkan gas buang yang tinggi mampu meningkatkan efisiensi termal secara keseluruhan.

### Kesimpulan

Setelah seluruh penelitian dan analisa dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari perbandingan dengan menggunakan perhitungan metode siklus *brayton* ideal dan metode siklus aktual dilapangan diketahui setiap proses ideal dan aktual berbeda dikarenakan turbin dan kompresor dilapangan (aktual) tidak isentropik. Sejumlah rugi-rugi terjadi, sangat mengurangi efisiensi dari turbin gas (PLTG). Didapatkan panas masuk ruang bakar ideal 658,17 K dan aktualnya 609,02K, Panas keluar turbin ideal 358,12K dan aktualnya 431,15K, Kerja kompresor ideal 251,08 Kj/Kg dan aktualnya 2964,47 Kj/Kg, kerja turbin ideal 547,37 Kj/Kg dan aktualnya 474,34 Kj/Kg, Rasio kerja balik ideal 45% dan aktualnya 62%, Efisiensi termal ideal 45,27 % dan aktual dilapangan (sebenarnya) hanya didapatkan efisiensi termal dari PLTG Balai-Pungut sebesar 29,20 %.
2. Diketahui bahwa di PLTG Balai-Pungut gas buang yang terbuang sia-sia cukup besar yaitu sekitar 459°C setiap harinya,



berdasarkan gas buang tersebut kemudian diketahui efisiensi termal dari PLTG Balai-Pungut Duri yaitu 29,20% dan menghasilkan daya bersih keluar yaitu 20,456 MW. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan gas buang tersebut dilakukan penggabungan siklus antara turbin gas dan turbin uap (*Combine Cycle*) lebih banyak dikenal dengan pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). Dengan melakukan penggabungan siklus dari pemanfaatan gas buang PLTG efisiensi termal meningkat menjadi 52,41% dan kapasitas daya keluaran menjadi 63,842 MW.

3. Rekomendasi untuk memanfaatkan gas buang yang berada di PLTG Balai-Pungut perlu dilakukan kombinasi siklus, dengan dilakukan penambahan PLTU berkapasitas 22,929 MW. Setelah dilakukan perhitungan perencanaan PLTGU, diketahui besarnya daya dihasilkan oleh turbin gas (PLTG) Balai-Pungut yang terdiri dari 2 (dua) unit turbin gas (PLTG) yang masing-masing berkapasitas 20456,20 kW (20,456 MW) dan 1 (satu) unit turbin uap (PLTU) yang berkapasitas 22929,73kW (22,929 MW), sehingga peningkatan efisiensi termal dan daya totalnya adalah efisiensi termal 52,41% dan daya totalnya 63842,13 KW (63,842 MW).

### Daftar Pustaka

- [1] Ananda, Pafh Rizki, 2015. "Analisa penggunaan bahan bakar setiap jam pada turbin gas dengan kapasitas 140 MW dan putaran 3000 RPM".
- [2] Arismunandar, Wiranto. *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Jakarta : Dirjen Dikti Depdiknas. 2002.
- [3] Astu Pudjanarsa. *Mesin konversi energi*. Penerbit ANDI. Edisi Revisi, Yogyakarta, 2008.
- [4] Astuti, Yulianti Puji,. 2011. "Pembagian Beban Turbin Gas Untuk Efisiensi Bahan Bakar Pada Proses Produksi Listrik Di Pt. Indonesia Power". Vol 18, No 1.
- [5] Bogi, Adikumoro, Dkk. 2014. *Pengaruh Pembebanan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Terhadap Efisiensi Biaya Pembangkitan Listrik (Studi Kasus di PT. Indonesia Power UBP Bali Unit Pesanggaran)*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. Jurusan Teknik Industri Itenas No. 02 Vol. 02.
- [6] Buku Statistik PLN, 2015.
- [7] Dewi, Diana Kumara, 2013. "Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Gas SOLAR SATURN Pada Unit Pembangkit Daya Joint Operating Body PERTAMINA-PETROCHINA East Jawa (JOB P-PEJ)". Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- [8] Eko Saputro, Yon. 2014. *Kajian Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas G4 Pt Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Bali*. Universitas Udayana Denpasar.
- [9] Gultom, Frans Immanuel, (2014). "Pengembangan Program Perhitungan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dengan Penggabungan Siklus". Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [10] Kumara, Ketut Vidhia, 2010. "Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana-Bali.
- [11] Kartika, 2013. *Analisa Performansi Turbin Gas Unit 3 Di PLTG Glugur Kapasitas 11,5 MW*. Universitas Politeknik Negeri Medan.
- [12] Leda, Jeremias, 2010. "Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Ujung Pandang". Universitas Atma Jaya Makassar.
- [13] Luqman, Nur Imansyah, Dkk. 2014. *Kajian Potensi Kerugian Akibat Penggunaan BBM Pada PLTG Dan PLTGU Di Sistem Jawa Bali*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No. 1.
- [14] Marsudi, Djiteng. *Pembangkitan Energi Listrik*. Penerbit Erlangga. Jakarta, 2005.
- [15] Marsudi, Djiteng. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta, 2006.
- [16] Naryono, Dkk. 2013. *Analisis Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi PLTGU MuaraTawar Blok 1*. SINTEK VOL. 7 NO. 2.
- [17] Pusat Listrik Balai-Pungut Duri
- [18] Sitepu, Tekad, 2014. "Perancangan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Yang Memanfaatkan Gas Buang Turbin Gas Di PLTG PT. PLN (Persero) Pembangkitan Dan Penyaluran Sumatera Bagian Utara Sektor Belawan", Vol. 8, No. 4, Maret 2014.
- [19] Suryani, Dkk. 2006 "Analisis Efektifitas Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap (PLTGU) Pada PT. ENERGI SENGKANG". ILTEK, Vol 1, No 2, 2006.
- [20] Sunarwo, 2016. "Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah Overhaul

*Combustor Inspection Di PT. PLN  
(Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU  
Cilegon. Jurnal Teknik Energi Vol 12 No.  
2, Mei 2016*

- [21] Taufik, Dkk 2010 "*Pembangkit Listrik Tenaga Gas*" Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten.
- [22] Tipler, P.A., 1998, Fisika Untuk Sains Dan Teknik Jilid I (Terjemahan), Jakarta : Penerbit Erlangga)