

Analisa Perbandingan *Overall Efficiency* Pada *Gas Turbine Generator Based Cogeneration* Dan *Conventional* Di Pt.Pusri II

Aneka Firdaus

Jl. Bambang Utoyo Lr.Sianjur III no.217 Rt/Rw: 002/01 Palembang 30115

Telp: 0711-713852, Faximil: 0711-712176

E-mail : *nefirda@yahoo.co.id*, *anekafirdaus@ft.unsri.ac.id*

Abstract

Cogeneration system is process of generate and utilize energy in different forms to generate maximum conversion efficiency, economical, and eco-friendly simultaneously, while the conventional system is a system that generate power and heat separately, so that the efficiency result is lower. Fertilizer industry is suitable to use cogeneration system, as the system offers an efficient method for reducing the amount of heat wasted during the generating of electricity by producing electricity and useful thermal energy simultaneously. Calculation of overall efficiency ratio between cogeneration and conventional systems will demonstrate the advantages of using cogeneration system than conventional systems. From the comparison of the two systems, to generate electricity and thermal energy, the efficiency of cogeneration is 51 % while the conventional efficiency is 41,6%.

Keywords : *Cogeneration, Conventional, Efficiency*

Latar Belakang

Penggunaan gas alam dalam industri atau pembangkit cenderung meningkat ini terlihat dari banyaknya penggunaan mesin dengan bahan bakar gas. Hal ini disebabkan oleh menipisnya cadangan minyak bumi dan masih berlimpahnya cadangan gas alam. Industri pupuk merupakan salah satu industri yang sangat bergantung pada gas alam. Gas alam diperlukan dalam proses pembuatan pupuk serta sebagai sumber bahan bakar utama dalam sistem pembangkit turbin gas.

Kogenerasi menawarkan metode efisien untuk mengurangi jumlah panas terbuang selama proses pembangkitan tenaga listrik dengan jalan memproduksi energi listrik dan energi termal yang berguna secara simultan dari suatu sumber energi biasa. Sistem kogenerasi adalah proses pembangkitan dan pemanfaatan energi dalam bentuk yang berbeda secara serempak dari suatu sumber energi untuk menghasilkan tingkat efisiensi konversi yang maksimal, ekonomis dan lebih ramah lingkungan. Sistem konvensional merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik dan penghasil panas yang dilakukan secara terpisah, sehingga efisiensi yang dihasilkan rendah.

PT. Pupuk Sriwijaya menggunakan sistem kogenerasi sebagai penghasil tenaga listrik dan uap. Untuk memenuhi kebutuhan uap yang diperlukan untuk pembuatan pupuk PT. Pupuk Sriwijaya tidak hanya menggunakan HRSG sebagai penghasil steam tetapi juga menggunakan boiler untuk memproduksi uap. Penggunaan sistem kogenerasi dan boiler yang menghasilkan uap yang sama dengan HRSG kogenerasi pada PUSRI II memberikan kesempatan

untuk dapat melakukan perhitungan perbandingan Efisiensi sistem kogenerasi dan sistem konvensional.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan Efisiensi keseluruhan antara sistem yang menggunakan kogenerasi dan sistem konvensional sehingga dapat dijadikan acuan perbandingan Efisiensi yang didapatkan apabila menggunakan sistem pembangkitan listrik dan panas yang dilakukan secara bergabung atau terpisah.

Dasar Teori

Sistem pembangkit listrik dan pembangkit uap dapat dilakukan secara bersamaan ataupun terpisah. Sistem pembangkit listrik uap yang dilakukan secara terpisah disebut juga dengan sistem konvensional sedangkan sistem yang dilakukan secara bersamaan disebut juga sistem kogenerasi. Kedua sistem ini memiliki nilai efisiensi yang berbeda.

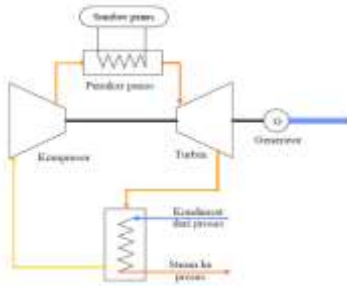
Sistem Konvensional

Sistem konvensional merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik dan penghasil panas yang dilakukan secara terpisah, sehingga efisiensi yang dihasilkan rendah. Didalam suatu Industri, ada banyak sistem atau perangkat yang memerlukan masukan energi dalam bentuk panas, yang disebut dengan proses panas. Beberapa industri yang sangat bergantung pada proses panas adalah kimia, pulp dan kertas, produksi minyak dan penyulingan, pembuatan baja, pengolahan makanan, tekstil dan industri. Energi biasanya ditransfer ke uap oleh pembakaran batu bara, minyak, gas alam, atau bahan bakar lain dalam

tungku. Industri yang menggunakan sejumlah besar proses panas juga memerlukan daya listrik yang besar.

Sistem Kogenerasi

Sistem kogenerasi adalah serangkaian atau pembangkitan secara bersamaan beberapa bentuk energi yang berguna (biasanya mekanik dan termal) dalam satu sistem yang terintegrasi. Sistem CHP (*Cogeneration Heat and Power*) terdiri dari sejumlah komponen individu mesin penggerak, generator, pemanfaatan kembali panas, dan sambungan listrik yang tergabung menjadi suatu integrasi. Jenis peralatan yang menggerakkan seluruh sistem (mesin penggerak) mengidentifikasi secara khusus sistem CHPnya. Meskipun umumnya energi mekanis dari mesin penggerak digunakan untuk menggerakkan generator untuk membangkitkan listrik, tetapi dapat juga digunakan untuk menggerakkan peralatan yang bergerak seperti kompresor, pompa, dan fan. Energi termal dari sistem dapat digunakan untuk penerapan langsung dalam proses atau tidak langsung untuk memproduksi steam, air panas, dan udara panas untuk pengeringan

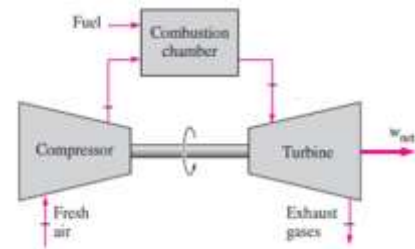


Gambar 1. Sistem Kogenerasi Siklus Tertutup

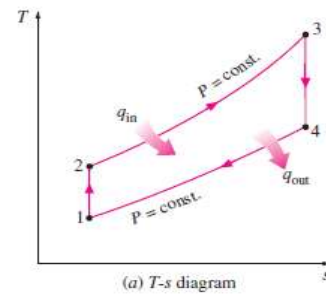
Keuntungan kogenerasi adalah: 1) Meningkatkan efisiensi konversi dan penggunaan energi, 2) Mengurangi polusi terutama CO₂ yang merupakan penyebab utama efek rumah kaca, 3) Beberapa bahan bakar biomassa dan energi buang dapat digunakan sebagai bahan bakar pada skema kogenerasi, sehingga meningkatkan efisiensi biaya dan mengurangi energi yang terbuang, dan 3) Pemangkasan biaya, terutama bagi industri dikarenakan penyediaan energi panas untuk keperluan sendiri.

Turbin Gas

Turbin Gas merupakan mesin penggerak yang memanfaatkan energi fluida yang terkandung dalam gas sebagai fluida kerjanya. Energi fluida yang mempunyai energi kinetik tinggi tersebut dimanfaatkan untuk mendorong sudu (*bucket turbine wheel*), sehingga menghasilkan gerak putar pada rotor. Energi kinetik tersebut didapatkan dari hasil proses ekspansi gas setelah gas mengalami proses pembakaran.



Gambar 2 Siklus Ideal Turbin Gas



Gambar3 Diagram T-s siklus ideal Turbin Gas

Proses yang terjadi dari diagram tersebut diatas adalah sebagai berikut (1) Proses 1-2 :Proses kompresi isentropik pada kompresor. (2) Proses 2-3: Proses pembakaran pada tekanan konstan (isobar) didalam ruang bakar, terjadi pemasukan panas (3) Proses 3-4: Proses ekspansi isentropik pada turbin.

Package Boiler

Disebut boiler paket karena boiler ini tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa steam, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket boiler biasanya merupakan tipe shell and tube dengan rancangan fire tube dengan transfer panas baik radiasi maupun konveksi yang tinggi.

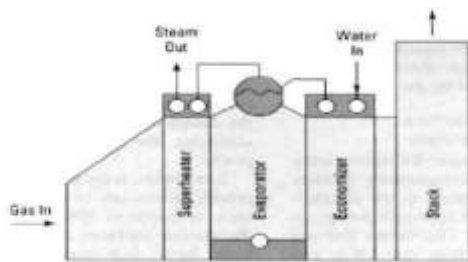
Ciri-ciri dari *package boiler* adalah: kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat, banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan panas yang baik, dan tingkat efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan boiler lainnya.

Boiler tersebut dikelompokkan berdasarkan jumlah berapa kali gas pembakaran melintasi boiler. Ruang pembakaran ditempatkan sebagai lintasan pertama setelah itu kemudian satu, dua, atau tiga set pipa api. Boiler yang paling umum dalam kelas ini adalah unit tiga lintasan dengan dua set pipa api dan gas buangnya keluar dari belakang boiler.

Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Heat Recovery Steam Generator adalah suatu sistem pembangkit uap yang memanfaatkan kalor dari turbin gas. Pada inlet HRSG dipasang alat pembakaran (*firing*) tambahan untuk meningkatkan kalor pada input HRSG. *Firing* tersebut dikombinasikan dengan gas-gas buang dari gas turbin dan untuk menjaga stabilitas tekanan dan temoeratur pembakaran yang dibutuhkan HRSG.

HRSG terdiri dari tiga bagian utama yaitu *economizer*, *evaporator*, dan *superheater*. Uap setelah keluar dari *superheater* akan dimasukkan ke *desuperheater* untuk menurunkan temperatur dan tekanan uap dengan cara menginjeksikan *Boiler feed water* (BFW), kemudian baru didistribusikan ke pemakainya.



Gambar 4. Diagram Alir HRSG

Efisiensi Turbin Gas

$$\eta_{th} = \frac{W_T - W_c}{Q_{in}} \quad (1)$$

Efisiensi Boiler

$$\eta_b = \frac{Q_{uap}}{Q_{bb}} \quad (2)$$

Efisiensi HRSG

$$\eta_{HRSG} = \frac{\dot{m}_s \times (h_u - h_{bfw})}{[\dot{m}_f \times C_p(t_{in} - t_{out})] + [\dot{m}_{aux} \times LHV]} \quad (3)$$

Efisiensi Keseluruhan Sistem Konvensional

$$\eta_{overall} = \frac{W_T + Q_{boiler}}{Q_{Turbin Fuel} + Q_{Boiler Fuel}} \quad (4)$$

Efisiensi Keseluruhan Sistem Kogenerasi

$$\eta_{overall} = \frac{W_T + Q_{HRSG}}{\sum Q_{Fuel}} \quad (5)$$

Metode Penelitian

Pendekatan Umum

Dalam penelitian ini metode penelitian yang digunakan adalah kajian teoritis dengan menggunakan data-data hasil survey lapangan dan acuan dari daftar pustaka dan beberapa jurnal yang telah diterbitkan. Berdasarkan data-data tersebut dilakukan analisis efisiensi dari sistem yang meliputi energi yang dihasilkan sistem terhadap energi yang masuk ke sistem.

Ruang Lingkup dan Batasan

Ruang lingkup penelitian ini hanya meliputi analisa efisiensi dengan membandingkan energi yang dihasilkan dari sistem turbin gas dan *package boiler* terhadap energi bahan bakar *package boiler* dan turbin gas untuk sistem konvensional. Sedangkan untuk sistem kogenerasi yaitu energi yang dihasilkan turbin gas dan HRSG terhadap energi bahan bakar total dari sistem turbin gas dan HRSG pada pabrik Pusri II

Asumsi dan Data yang Digunakan

Asumsi umum yang digunakan dalam perhitungan perbandingan efisiensi keseluruhan ini adalah :

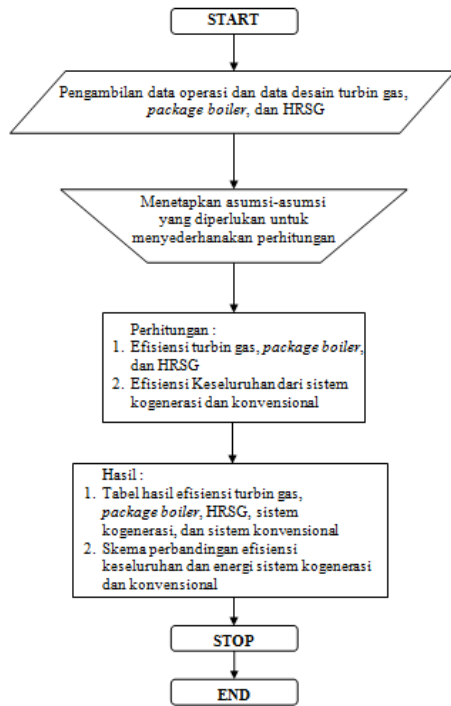
1. Sistem kogenerasi dan konvensional diasumsikan pada keadaan stedi.
2. Data perhitungan pembangkit listrik untuk turbin gas sistem konvensional diasumsikan sama dengan data pembangkit listrik dari sistem kogenerasi.
3. Faktor biaya diabaikan.
4. Kerugian-kerugian energi ke lingkungan diabaikan.

Data-data yang digunakan dalam perhitungan dan analisa nantinya adalah data-data meliputi :

1. Data operasi turbin gas, *package boiler* , dan HRSG.
2. Data komposisi bahan bakar natural gas
3. Buku pedoman operasi sistem turbin gas, *Package Boiler dan HRSG Manual Design*).

Analisis dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari ruang kontrol dan parameter kerja turbin gas, *package boiler*, dan HRSG kemudian dilakukan perhitungan dengan persamaan rumus-rumus, selanjutnya hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabel kemudian perbandingan efisiensi dari sistem kogenerasi dan konvensional ditunjukkan dalam skema aliran energi yang masuk dan keluar. Dalam perhitungan ini satuan internasional (SI) digunakan untuk semua satuan hasil perhitungan.



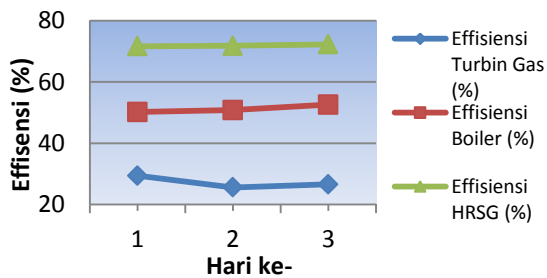
Gambar 5. Diagram Alir Perhitungan Data

Analisa dan Pembahasan

Analisa Efisiensi Turbin Gas, Package Boiler, dan HRSG

Perhitungan efisiensi dilakukan pada ketiga sistem selama tiga hari. Perubahan efisiensi yang terjadi terjadi pada turbin gas, package boiler, HRSG dapat dilihat pada tabel 1 dan Gambar 6

Sistem	Efisiensi Hari Ke- (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Turbin Gas	29,4	25,6	26,6	27,2
Package Boiler	50,2	50,8	52,6	51,2
HRSG	71,63	71,8	72,3	72,07

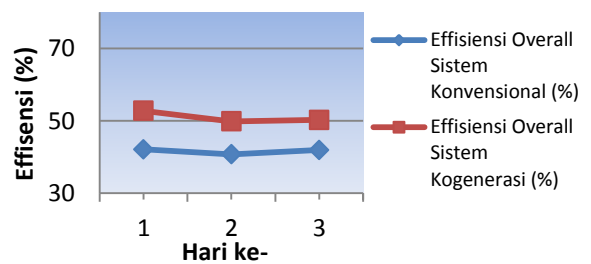


Gambar 6 Grafik Efisiensi turbin gas, Package Boiler, dan HRSG

Gambar 6 menunjukkan grafik perubahan efisiensi yang terjadi turbin gas, package boiler, dan HRSG selama tiga hari. Efisiensi yang tertinggi diperoleh dari sistem HRSG dengan nilai efisiensi rata-rata 72,07%. Efisiensi yang terendah dari ketiga sistem itu yaitu terjadi pada sistem turbin gas dengan nilai efisiensi rata-rata 27,2 %. Package boiler memiliki efisiensi 41,2% untuk beban kerja yang sama dengan HRSG. Terlihat bahwa tidak terjadi perubahan efisiensi yang signifikan dari ketiga sistem tersebut selama tiga hari pencatatan data dan perhitungan.

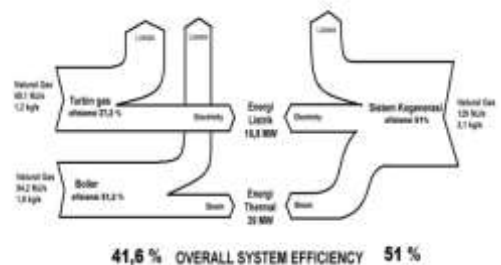
Analisa Perbandingan Efisiensi Keseluruhan Sistem Kogenerasi dan Konvensional

Sistem	Efisiensi Hari Ke- (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Sistem Konvensional	42,1	40,77	41,9	41,6
Sistem Kogenerasi	52,8	49,9	50,3	51



Gambar 7 Grafik perbandingan Efisiensi overall sistem kogenerasi dan konvensional

Perbandingan efisiensi antara sistem kogenerasi dan sistem konvensional dapat terlihat pada gambar 7 Perbedaan efisiensi yang terbesar terjadi pada tanggal 26 dengan perbedaan efisiensi mencapai 11 %. Efisiensi rata-rata dari sistem kogenerasi adalah 51 % sedangkan untuk sistem konvensional yaitu sebesar 41,6%



Gambar 8 Skema perbandingan efisiensi sistem kogenerasi dan konvensional

Nilai efisiensi keseluruhan dari sistem kogenerasi dan konvensional diperoleh dari hasil perbandingan antara total energi yang dihasilkan sistem terhadap energi yang masuk.

Energi yang dihasilkan sistem yaitu berupa energi listrik dan energi uap. Pada gambar 8 terlihat bahwa pada sistem kogenerasi, untuk menghasilkan energi listrik sebesar 16,8 MW dan energi uap sebesar 39 MW sistem kogenerasi membutuhkan energi masuk sebesar 129 MJ/s atau laju aliran bahan bakar sebesar 2,1 kilogram natural gas per detik. Sedangkan untuk sistem konvensional, energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas dan energi uap dihasilkan oleh package boiler. Dengan energi keluaran yang sama dengan sistem kogenerasi, sistem konvensional membutuhkan energi masuk 68,1 MJ/s atau 1,2 kg/s natural gas untuk menghasilkan energi listrik sebesar 16,8 MW pada turbin gas dan 94,2 MJ/s energi masuk atau 1,8 kg/s natural gas untuk menghasilkan energi uap sebesar 39 MW.

Kesimpulan

Dari analisa dan perhitungan, untuk menghasilkan energi listrik dan energi thermal yang bernilai sama, Efisiensi rata-rata dari sistem kogenerasi untuk Pusri II mencapai 43,04 % sedangkan untuk apabila panas yang terbuang dari sistem turbin gas tidak dimanfaatkan atau menggunakan sistem konvensional maka efisiensi yang dicapai hanya sebesar 35,7%.

Saran

Perlu dilakukan pemeliharaan yang rutin agar keandalan dari turbin gas, boiler, dan HRSG selalu dalam keadaan baik bahkan dapat meningkat.

Daftar Simbol

h_u	=Entalpi uap(kJ/kg)
h_{bfw}	= Entalpi boiler feed water(kJ/kg)
BFW	=Boiler Feed Water
c_{pa}	=Panas spesifik udara
c_{pg}	= Panas spesifik gas
CHP	= Cogeneration Heat and Power
LHV	=Low Heating Value
\dot{m}_a	=Laju aliran massa udara (kg/s)
\dot{m}_f	=Laju aliran bahan bakar(kg/s)
\dot{m}_{uap}	=Laju aliran massa uap(kg/s)
N	=Nomor mol
P	=Tekanan (Pa)
q	= Perpindahan panas per unit massa
R	=Konstanta gas spesifik
T	=Temperatur (K)
W_c	=Kerja kompresor
W_{nett}	= Kerja netto siklus
W_T	=Kerja Turbin
γ	=Kalor spesifik gas
α	=Kelebihan udara
η	=Efisiensi (%)
in	=Inlet
Σ	= Total

Daftar Pustaka

- Bureau of Energy Efficiency, 2004. Ministry of Power, India. *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. 2004
- Cengel, Y.A., Boles, 2006, M.A., *Thermodynamics :an engineering approach*. 5th ed. Dubuque, Iowa : Mc Graw-Hill.
- Moran, M. J., Tsatsaronis, G., 2000. *Engineering thermodynamics*. USA: CRC Press LLC.
- Saravanamuttoo H.H., Rogers G.F.C., Cohen H. *Gas Turbine Theory*, 4th edition. Longman Group Limited, England, 1996.
- Arismunandar Wiranto, 1988. *Penggerak Mula Turbin*. Edisi kedua. Bandung.
- Djokosetyaryo, M.J., 1999 *Ketel Uap*. Cetakan keempat. PT. Pradha Paramitah, Jakarta.
- Setyoko, Bambang., 2006, *Analisa Efisiensi Performa HRSG pada PLTGU*. Teknik Mesin : Universitas Diponegoro
- Sitepu, Tekad. 2010. *Kajian Penggunaan Suatu Heat Recovery Steam Generator Pada Suatu Instalasi Turbin Gas* : Universitas Sumatera Utara
- Syamsurijal. 2009. *Analisis Sistem Kogenerasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tello Makasar* : Universitas Negeri Malang
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org