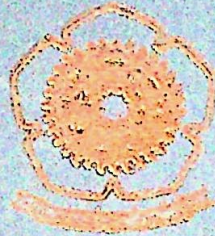


**ANALISIS ENERGI PADA SISTEM KOGENERASI TURBIN GAS  
DI FT PUSRI PALEMBANG**



**SKRIPSI**

**Untuk dapat memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

**Oleh**

**YUDELA KHOSALA**

**0862814482**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2007**

**ANALISIS EKSERGI PADA SISTEM KOGENERASI TURBIN GAS  
DI PT PUSRI PALEMBANG**



**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh

**YUDHA KHOSALA**

**03023150032**

R-6089  
16457

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2007**

621.406 07  
Kno  
a  
2007

**ANALISIS EKSERGI PADA SISTEM KOGENERASI TURBIN GAS  
DI PT.PUSRI PALEMBANG**



**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

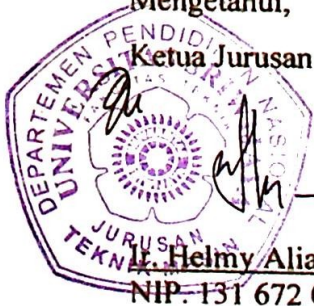
OLEH :

**YUDHA KHOSALA**

**03023150032**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin




**Ir. Helmy Alian, MT**  
NIP. 131 672 077

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing

**Ir. Dyos Santoso, MT**  
NIP. 131 933 013

UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

AGENDA : 1687 / TA/IA / 2007  
DITERIMA: 7 September 2007  
PARAF : 

---

SKRIPSI

Nama : Yudha Khosala  
NIM : 03023150032  
Mata Kuliah : Analisis Eksergi  
Judul Skripsi : Analisis Eksergi Pada Sistem Kogenerasi Turbin Gas Di PT.  
PUSRI Palembang  
Diberikan : 19 Maret 2007  
Selesai : 31 Agustus 2007

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ir. Helmy Alian, MT  
NIP. 131 672 077

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing



Ir. Dyos Santoso, MT  
NIP. 131 933 013

" Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya" (Qs. Al-Baqarah : 286)

" Niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat " (Qs. Al-Mujaadilah : 11)

Kupersambahkan untuk:

- Bapak dan emak tercinta terima kasih atas kasih sayang & kesabaran nya dalam membesarkan ku, Jasa mu takkan terbalaskan olehku, maafkan atas kenakulan anakmu ini
- Kakakku yudhi kshoito thanks atas teladan & motivasinya
- Adikku Yumis ivo yang telah menjadi adik terbaik
- Kekasihku Shinta Novarianti yang telah memberikan semangat disaat ku tlah putus asa...
- Teman-teman angkatan 2002.
- Almamater yang tercinta

## ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas tentang analisis eksergi pada sistem kogenerasi Turbin gas di PT Pusri unit I-B. berdasarkan analisis ini dapat diketahui besarnya irreversibilitas yang terjadi selama proses berlangsung pada tiap-tiap komponen dalam sistem tersebut.

Berdasarkan analisis perhitungan maka didapatkan irreversibilitas pada tiap-tiap komponen, pada sistem turbin gas irreversibilitas tertinggi terdapat pada ruang bakar yaitu sebesar 25,2 MW, kompresor 3,77 MW, turbin 0,57 MW, dan efisiensi rasional terendah terdapat pada ruang bakar 66,1 %, kompresor 84,7 %, turbin 98,4 %. sedangkan pada HRSG kerugian irreversibilitas tertinggi terdapat pada ruang bakar, 22,04 MW, superheater 9,27 MW, evaporator 0,53 MW, economizer 0,53 MW. dan nilai efisiensi rasional terendah terdapat pada superheater 31,26 %, ruang bakar 59,2 %, economiser 70,9 %, evaporator 95,6 %. Efisiensi rasional eksergetik pada sistem turbin gas 20,5 %, Efisiensi rasional eksergetik pada HRSG 37,18 %. Sedangkan efisiensi gabungan sistem sebesar 32,75 %.

Kata Kunci : Eksergi, irreversibilitas, efisiensi rasional.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan karunia-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Adapun penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS EKSERGI PADA SISTEM KOGENERASI TURBIN GAS DI PT. PUSRI PALEMBANG ”** merupakan persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut memberikan bantuan baik berupa pikiran maupun dukungan moral dan spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Hasan Basri, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bantuan dan saran serta atas kesabarannya dalam membimbing penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Helmy Alian, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Zahri Kadir, M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dewi Puspita Sari, ST.MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik.

6. Seluruh staf dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
7. Staf Tata Usaha (Ayu' Umi dan Pak Gunawan) di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
8. Bapak Arya Azhari dan Bapak Hidayat terimakasih atas bantuannya selama pengambilan data di PT.PUSRI
9. Teman-teman yang telah membantu selama ini, Hadi (atas peminatan n internet gratisnya), coy van basten (laen kali numpang nginep lagi yo... ). Ozkar, peres, dalah, alfin, hardi, hengki, yoyon, acep.dan semua teman-teman angkatan 02 kelas A maupun kelas B.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan baik dalam hal isi maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai masukan untuk dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

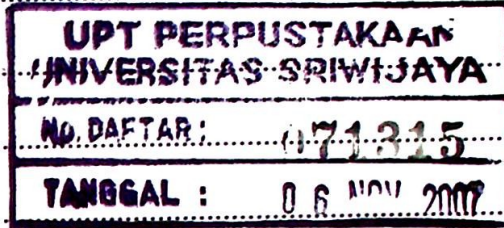
Inderalaya, Agustus 2007

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Abstrak.....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Lampiran.....	x



### BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang.....	I - 1
I.2. Rumusan Masalah.....	I - 4
I.3. Tujuan Penulisan.....	I - 5

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Perkembangan Analisa Eksergi.....	II - 1
II.2. Pengertian dan Konsep Dasar Eksergi.....	II - 3
II.3. Sistem Kogenerasi.....	II - 8
II.4. Analisis eksergi pada sistem turbin gas.....	II - 28
II.5. Analisis eksergi pada HRSG.....	II - 34

### BAB III. DESKRIPSI SISTEM KOGENERASI TURBIN GAS PABRIK PUSRI I-B

III.1. Gambaran Umum.....	III - 1
III.2. Spesifikasi sistem turbin gas.....	III - 2
III.3. Spesifikasi HRSG.....	III - 4
III.4. Data Operasi Turbin Gas.....	III - 5
III.5. Data Operasi HRSG.....	III - 5

## **BAB IV. METODE PENELITIAN**

IV.1. Pandangan Umum .....	IV – 1
IV.2. Ruang Lingkup dan Pembatasan .....	IV – 1
IV.3. Asumsi umum .....	IV – 1
IV.4. Sumber data.....	IV – 2
IV.5. Langkah perhitungan.....	IV – 2

## **BAB V. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

V.1. Data hasil Survey .....	V – 1
V.2. Reaksi kimia gas alam.....	V – 2
V.3. Perhitungan eksergi pada sistem kogenerasi turbin gas .....	V – 5
V.3.1 Perhitungan nilai eksergi, irreversibilitas dan efisiensi rasional pada turbin gas.....	V – 5
V.3.2 Perhitungan nilai eksergi, irreversibilitas dan efisiensi rasional pada WHB/HRSG .....	V – 12
V.4. Pembahasan.....	V – 24

## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

VI.1 Kesimpulan.....	VI – 1
VI.2 Saran.....	VI – 2

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xi</b>
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN-LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram T-s <i>closed cycle</i> untuk mesin kalor.....	II - 5
2.2 Sistem kogenerasi siklus bawah ( <i>bottoming cycle</i> ).....	II - 10
2.3 Sistem kogenerasi turbin gas siklus tertutup .....	II - 13
2.4 Sistem kogenerasi turbin gas siklus terbuka.....	II - 14
2.5 Siklus terbuka dan Tertutup.....	II - 15
2.6 Skema aliran gas.....	II - 17
2.7 Kompresor aksial.....	II - 18
2.8 Ruang bakar turbin gas .....	II - 20
2.9 Turbin Gas.....	II - 21
2.10 Economizer.....	II - 25
2.11 Evaporator .....	II - 26
2.12 Superheater .....	II - 26
2.13 Proses kompresi, (a) <i>control region</i> , (b) Diagramgrassman .	II - 28
2.14 Diagram Grassman pada ruang bakar.....	II - 30
2.15 Proses ekspansi (a) <i>control region</i> (b) Diagram Grassman ....	II - 31
2.16 Diagram grassman pada Firing .....	II - 34
2.17 Diagram grassman pada penukar proses perpindahan panas	II - 36
3.1 Diagram alir sistem kogenerasi turbin gas .....	III - 6
4.1 Diagram Alir Perhitungan Eksergi Sistem KogenerasiTurbin Gas.....	IV - 3

5.1 Diagram Grassman pada Proses kompresi .....	V- 5
5.2 Diagram Grassman pada ruang bakar.....	V – 7
5.3 Diagram grassman pada Proses ekspansi .....	V – 9
5.4 Diagram Grassman pada firing .....	V – 12
5.5 Diagram Grassman pada proses perpindahan panas.....	V – 14
5.6 Diagram Grassman pada sistem kogenerasi turbin gas .....	V – 23

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Empat Jenis Sistem Kogenerasi Siklus Atas .....	II - 9
2.1. Penggolongan Bahan Bakar .....	II - 22
3.1. Spesifikasi Teknik Desain HRSG .....	III - 4
3.2. Data Turbin Gas GE 5006-J .....	III - 5
3.3. Data Operasi HRSG 5003 U.....	III - 5
3.4. Data Aliran <i>Flue Gas</i> pada HRSG .....	III - 5
5.1 Data Kondisi Operasi Turbin Gas .....	V - 1
5.2. Data Operasi WHB/HRSG .....	V - 1
5.3 Data Aliran <i>Flue Gas</i> pada WHB.....	V - 2
5.4. Data Komposisi Gas Alam .....	V - 2
5.5. Hasil Perhitungan pada Turbin Gas .....	V - 21
5.6. Hasil Perhitungan pada Ruang Bakar WHB.....	V - 22
5.7. Hasil Perhitungan pada Proses Perpindahan Panas .....	V - 22

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Rasio nilai eksergi terhadap NCV bahan bakar .....	xii
2. Nilai kalor spesifik udara .....	xiii
3. Tabel <i>compressed liquid</i> .....	xiv
4. Tabel <i>saturated vapour</i> .....	xv
5. Tabel <i>superheated vapour</i> .....	xvi
6. Diagram alir <i>flue gas</i> HRSG .....	xvii
7. Diagram alir <i>steam</i> pada HRSG .....	xviii



## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Populasi penduduk dan Kegiatan industri yang semakin meningkat tentunya menyebabkan pemakaian pembangkit listrik berbahan bakar fosil meningkat dan pada gilirannya pemakaian bahan bakar fosil meningkat pula. Sedangkan ketersediaan akan bahan bakar fosil semakin menipis, sehingga menyebabkan harga energi semakin mahal. Selain dari itu pembangkit ini mempunyai dua permasalahan pertama efisiensinya rendah kedua mengeluarkan gas buang yang mengandung bahan pencemar. Rendahnya efisiensi ini disebabkan karena banyaknya panas yang terkandung dalam gas buang pada peralatan pembangkit. Oleh sebab itu perlu diadakan penghematan energi dan diperlukan pendekatan yang tepat untuk memanfaatkan sumber daya yang tersedia dengan penggunaan yang seefisien dan seefektif mungkin.

Kajian konsep eksergi dalam penghitungan konversi energi telah dilakukan terhadap beberapa negara maju, seperti Jepang dan Swedia. Kajian ini menunjukkan bahwa secara umum ditemukan adanya ketidakefisienan dalam penggunaan energi. Di Jepang, pada tahun 1985 dari total aliran sumber daya energi dan material sebesar 18 EJ (=  $18 \times 10^{18}$  Joule), hanya 21% mencapai penggunaan akhir. Kerugian besar ini dapat dikurangi dengan pembuatan anggaran sumber daya dan

---

*Yudha Khosala (03023150032)*



ekonomisasi di semua tingkat dalam masyarakat. Kajian ini mendorong pula perbaikan teknologi seperti pada teknik bangunan. Pada sisi lain analisa ini memberikan rekomendasi jangka panjang mengenai penggunaan sumber daya yang terbarui (*renewable resources*) dalam memasok kebutuhan masyarakat. Hal yang sama juga terjadi dalam masyarakat Swedia pada tahun 1994, dari total aliran energi sebesar 2.72 EJ hanya 14% mencapai penggunaan akhir. Jika diperhitungkan pula energi nuklir, kondisinya menjadi lebih buruk, dari total 58 EJ hanya 0.65% yang mencapai penggunaan akhir. Ditemukan pula bahwa sejumlah besar energi listrik yang dibangkitkan tenaga nuklir digunakan untuk keperluan pemanas ruangan. Efisiensi penggunaan energi komersial yang berasal dari tenaga air, bahan bakar nuklir dan bahan bakar fosil mencapai kurang dari 10%.

Pesatnya perkembangan perekonomian di Jepang telah mengakibatkan tingginya peningkatan konsumsi energi pada tahun 1960–1970. Namun hal ini tidak berlanjut lama, peristiwa “Oil shock” pada tahun 1973, telah membawa beberapa perubahan, terutama kesadaran akan penghematan energi. Semenjak tahun 1973 hingga sekarang (tahun 2000) penggunaan energi dalam bidang industri dapat dikatakan stabil. Hal ini sangat bertolak belakang dengan penggunaan energi oleh masyarakat dan transportasi. Pemakaian peralatan elektronik dan kendaraan bermotor telah mengakibatkan jumlah penggunaan energi tahun 1997 dua kali lipat tahun 1973. Akibatnya, jumlah total penggunaan energi di Jepang pada tahun





1997 adalah 1.4 kali tahun 1973. Menurut data tahun 1993, kemampuan Jepang untuk menyediakan energi sendiri hanya sekitar 18 % saja. Sebagian besar dari sumber energi Jepang, berasal dari luar negeri. Terutama minyak bumi, bisa dikatakan seluruhnya adalah hasil impor. Sekitar 80 % dari minyak buminya berasal dari timur tengah. Tingginya ketergantungan Jepang akan luar negeri dan lemahnya persediaan energi dalam negeri, menyebabkan kepentingan akan penghematan energi dan penyediaan berbagai macam jenis energi, lebih banyak dibandingkan negara-negara lainnya. Selain dari pada itu sebagai konsumen pemakai minyak bumi masalah pencemaran udara akibat dari gas NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, begitu pula kenaikan suhu permukaan bumi akibat dari CO<sub>2</sub> telah mendorong Jepang untuk bersegera mencari pengganti minyak bumi sebagai sumber energinya.

Selama ini analisis yang selalu dipakai adalah menggunakan *analisis energi* berdasarkan Hukum Termodinamika Pertama, yaitu “energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan.” Akan tetapi dalam analisis ini penurunan kualitas energi tidak diperhitungkan, hal ini disebabkan karena Hukum Termodinamika Pertama tidak membedakan antara kalor dan kerja, serta tidak ada ketentuan untuk besarnya kualitas energi. Sebaliknya pada analisis eksergi yang didasarkan pada Hukum Termodinamika Pertama dan Kedua, kalor adalah energi berkualitas rendah, tidak semua kalor dapat dirubah menjadi kerja (Hukum Termodinamika Kedua) sedangkan kerja adalah energi berkualitas tinggi



dimana seluruh kerja dapat dirubah menjadi kalor. Analisis eksergi mempunyai keunggulan bila dibandingkan dengan analisis energi yaitu:

- Lebih teliti dalam menentukan energi yang hilang dalam proses maupun yang dibuang ke udara
- Lebih akurat dalam menentukan letak efisiensi baik untuk peralatan industri maupun sistem pembangkit listrik
- Dapat menentukan kualitas energi.
- Eksergi merupakan suatu metode efektif yang menggunakan prinsip kekekalan energi dan kekekalan massa bersama-sama dengan hukum kedua termodinamika untuk desain dan analisa sistem energi.
- Eksergi merupakan suatu teknik yang tepat untuk mencapai penggunaan sumber energy yang lebih efisien untuk memungkinkan penentuan penempatan, jenis, sisa barang yang benar dan kerugian.

Dengan latar belakang tersebut di atas, penulis tertarik untuk mengadakan penelitian pada PT. PUPUK SRIWIJAYA dengan judul **“Analisis Eksergi pada Sistem Kogenerasi Turbin Gas Di PT. Pupuk Sriwijaya Sumatera Selatan.”**

## **I.2 Rumusan Masalah**

Dalam menganalisa suatu sistem, selain untuk mengetahui kinerja sistem tersebut, juga untuk mengetahui letak kekurangan/kerugian terbesar pada sistem tersebut. Dengan menggunakan analisa energi (hukum pertama termodinamika), hasil yang diperoleh belum memuaskan karena



dengan menggunakan analisis energi kita tidak dapat mengetahui kerugian yang terdapat pada tiap-tiap komponen. Untuk meningkatkan efisiensi sistem maka perlu diketahui sistem mana yang mengalami pemborosan paling tinggi. Permasalahan ini bisa terjawab apabila kita menganalisis sistem dengan menggunakan analisis eksergi (hukum pertama dan kedua termodinamika)

### **I.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa komponen mana yang mengalami kerugian kalor terbesar pada sistem kogenerasi turbin gas, sehingga nantinya dapat digunakan sebagai pedoman dalam program peningkatan efisiensi sistem yang pada akhirnya dapat menghemat pemakaian energi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahern, John E. 1980. *The Exergy Method of Energy System Analysis*. Canada : John Willey & Sons, Inc.
- Cengel, Yunus A. 1994. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 4th Edition. New York : McGraw-Hill, Inc.
- Ebadi, Mohamad Javad dan Mofid Gorji-Bandpy. 2005. *Exergy Analysis of Gas Turbine Plants*. Iran : Departement of Mechanical Engineering University of Mazandaran Babol.
- Kotas, T. J. 1985. *The Exergy Method of Thermal Plant analysis*. London : Department of Mechanical Engineering, Queen Marry College University of London.
- Moran, Michael J. dan Howard N. Shapiro. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. Second Edition. New York : John Willey & Son Inc.
- Nag, P. K. 2002. *Power Plant Engineering 2nd edition*. Department of Mechanical Engineering India Institute of Technology Kharagpur. Kharagpur : Mc Graw – Hill International Edition.