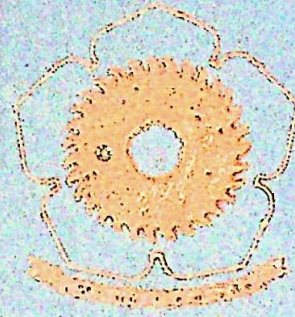


**ANALISIS EKSERGOEKONOMI  
PAKET KETEL UAP UNIT IV BEDAN 65 MW  
DI PLTU SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM  
Kabupaten Enrekang, Sumatera Selatan**



**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

OLEH

**HENGI IRAWAN**  
02433190162

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN  
INDRALAYA**

2007

S  
621.107

IRa

A

2007

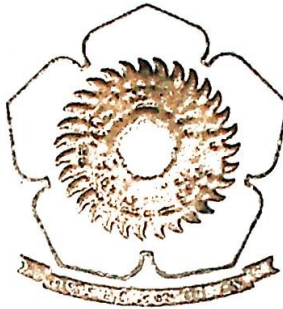


**ANALISIS EKSERGOEKONOMI**

**PAKET KETEL UAP UNIT IV BEBAN 65 MW**

**DI PLTU SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAH**

**Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

R. 17226  
i. 17608

**OLEH**

**HENGKI IRAWAN  
03033150103**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN  
INDRALAYA**

**2007**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

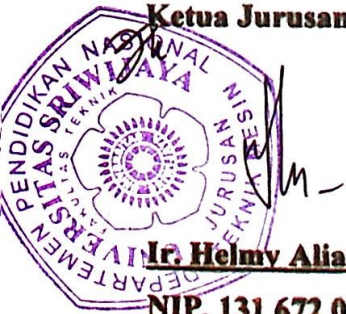
**SKRIPSI**

**ANALISIS EKSERGOEKONOMI  
PAKET KETEL UAP UNIT IV BEBAN 65 MW  
DI PLTU SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM  
Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan**

**OLEH :**

**HENGKI IRAWAN  
03033150103**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin**



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

**Indralaya, Agustus 2007  
Dosen Pembimbing**



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

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**AGENDA NO  
DITERIMA TANGGAL  
PARAF**

: 1686/TA/EA/07  
: 7 September 2007  
:

## SKRIPSI

**Nama : HENGKI IRAWAN**

**NIM : 03033150103**

**Mata Kuliah : Analisis Eksergi**

**Spesifikasi : Analisis Eksergoekonomi Paket Ketel Uap  
Unit IV Beban 65 MW Di PLTU Sektor  
Pembangkitan Bukit Asam, Kabupaten  
Muara Enim, Sumatera Selatan**

**Diberikan : Maret 2007**

**Selesai : Agustus 2007**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Indralaya, Agustus 2007**

**Dosen Pembimbing**



**Ir. Dyos Santoso, MT**

**NIP. 131 933 013**

*"Sesungguhnya setelah kesukaran ada kemudahan, apabila engkau telah selesai (mengerjakan suatu pekerjaan), maka bersusahpayahlah (mengerjakan yang lain). Dan kepada tuhanmu, berharaplah"*

*(Q.S Al - Insyirah : 6 - 8)*

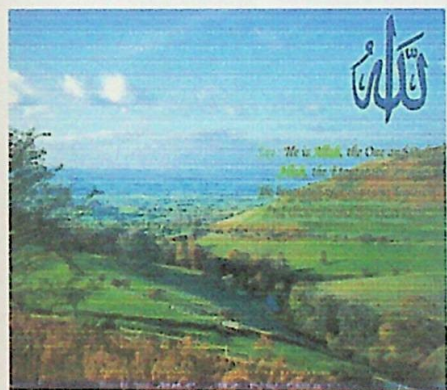
*"Janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah, Sesungguhnya Dia-lah yang maha pengampun lagi maha penyayang"*

*(Q.S Az-Zumar : 48)*

*"Sesungguhnya, Aku mengingatkan kepadamu supaya kamu tidak termasuk orang-orang yang tidak berpengetahuan"*

*(Q.S Hud : 46 )*

*Enki..... Jadilah cahaya bagi orang-orang di sekitarmu dan bagi orang-orang yang kamu sayangi.....*



*Teruslah melangkah menggapai cita,  
maju terus beriring iman dan doa,  
Ingat orang tua jauh di sana,  
Bahagiakan mereka selagi ada...*

*Hanya dengan izin-Mu aku melangkah  
dan bisa kugapai semua asa.....  
Kepada-Mu Allah aku berdoa...  
dan berpasrah.....*

*Kupersembahkan kepada :*

- Ayahanda & Ibunda tercinta*
- Dek Ndutku yang lucu (Hendri ide dinata)*
- Almarhum Mbah Kakungku*
- Keluarga Besar ku di Kijang dan di Batam (Om Di dan klrq)*
- Juwita-ku (H.F. Dewi andeska)*
- Almamaterku*

# UCAPAN TERIMA KASIH

**Kupersembahkan Kepada :**

**Nabi Allah Sayyidina Muhammad SAW - Teladan Tercinta**  
Yang telah menyampaikan risalah yang begitu berharga kepada kita

**Ayahanda dan Ibunda Tercinta**

Yang tanpa jemu terus mendidikku, memberiku kasih sayang, dan terus mendoakanku hingga diriku menjadi saat ini

**Pembimbing Skripsiku**

yang mengajarkanku arti pentingnya membaca dan menimba ilmu

**Dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin**

Atas kesabaran dan kesungguhan mengajarkan ilmu yang bermanfaat

**Dek Ndutku yang lucu**

**Keluarga Besariku di Kijang dan di Batam**

Atas dukungan dan doa yang diberikan

**Kepada Teman-teman baikku:**

(Fay Ganteng - Baungan, Sastra-Bungo be, Anton-Pak Jo, Faisal-Duta, Abank-Prabu, Doko-sky, Anfre-gagatu)

**Kepada Seluruh karyawan PT. PLN (Persero) SBA**

(Ka Nufi, ka Ardani, ka Adi, pa lajandra, pa Joko, ka Rozie, ka syafii)

**Mesin 2003 :**

(Edi, Eka, yoyon, lula, Erwin, pito, Aan, hendri-batam, yandho, tirta, omen, mas geng, acep, juni, fajar, ridwan, mun, awal, Adi, keder, dll)

**Ka2 Tingkat :**

(ka Edi, ka yuda, ka uda, ka dodit, ka ardilla, ka alvin dll)

**Alumni serumping indah :**

(Tufus - carrick, banu, nurhadi, Asep, mbah kandar, agung)

**Adexan yang konyol:**

(adhi-ndut, oji-nidji, tan-cool, darma-heny, ian, wahyudin)

**Warga masjid al-khoiriah:**

(ustadz firdian, ka Dodo, ustadz Edi dll)

**Penghuni kompleks citra**

(Gunawan, Ade-tekim, Ahmad, dll)

**Dan kepada semua pihak yang telah banyak membantu  
Selama menjalani perkuliahan dan penyelesaian skripsi  
Di Universitas tercinta ini.....**

**Semoga Allah membalas budi baik mereka ....Amien**

## ABSTRAK

*Tugas akhir ini membahas sebuah metode analisis eksergi dan termoekonomi dalam menentukan kinerja dari ketel uap. Metode ini merupakan penerapan dari hukum termodinamika satu dan hukum termodinamika dua yang dikombinasikan berdasarkan kondisi referensi lingkungan. Dari analisis tersebut didapat suatu gambaran hasil dari kuantitas dan tingkat kualitas energi yang dapat dimanfaatkan serta dikaitkan dalam sebuah metode perhitungan matematika ekonomi untuk mendapatkan harga uap per-kWh yang dihasilkan. Di dalam penulisan ini penulis membahas kerugian kalor yang terjadi dipaket ketel uap pada tiga kondisi beban operasi yang berbeda dan menentukan harga uap per-kWh. Dengan beban operasi 96 %, diperoleh eksergi yang hilang sebesar 48.260,2083 kW perdetik (24,88%) di ketel uap bagian I, 44.636,1054 kW perdetik (23,89%) di ketel uap bagian II, dan 2.627,411 kW perdetik (0,00135%) di ketel uap bagian III, efisiensi eksergetik 41,26 %, dan harga uap per-kWh Rp. 300,-. Pada beban operasi 85 % diperoleh eksergi yang hilang sebesar 45.419,469 kW perdetik (25,115%) di ketel uap bagian I, 45.720,3984 kW perdetik (25,28%) di ketel uap bagian II dan 1.472,2621 kW perdetik (0,0109%) ketel uap bagian III, efisiensi eksergetik 39,6%, dan harga uap per-kWh Rp. 313,-. Pada beban operasi 70 % diperoleh eksergi yang hilang sebesar 44.242,9kW perdetik (25,32%) di ketel uap bagian I, 45.963,42kW perdetik (26,3%) di ketel uap bagian II, dan 1.362,447kW perdetik (0,008%) di ketel uap bagian III, efisiensi eksergetik 38,3%, dan harga uap per-kWh Rp. 342,-.*

Kata kunci : eksergi, termoekonomi, efisiensi eksergetik, energi, harga uap

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat nikmat dan karunia-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Adapun penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS EKSERGOEKONOMI KETEL UAP UNIT IV BEBAN 65 MW DI PLTU SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM, MUARA ENIM ”** 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. Bapak Ir. Firmansyah Burlian, MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Staf Tata Usaha di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

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

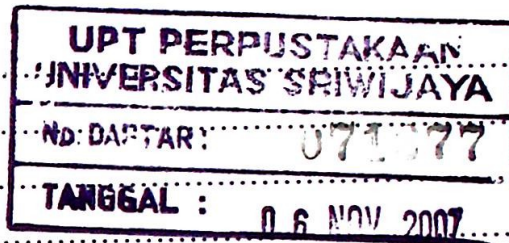
HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMBANG.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv



### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	I - 1
1.2. Rumusan Masalah.....	I - 3
1.4. Tujuan Penulisan.....	I - 4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkembangan Metode Eksergoekonomi.....	II - 1
2.2 Konsep Dasar Eksergi.....	II - 2
2.2.1 Eksergi Fisika.....	II - 7
2.2.2 Eksergi dari Aliran Material.....	II - 8
2.2.3 Eksergi Kimia.....	II - 8
2.2.4 Eksergi Kimia Bahan bakar Industri .....	II - 10
2.2.5 Eksergi Kimia yang terjadi di Ruang Bakar .....	II - 13
2.2.6 <i>Pulverized Fuel Boiler</i> .....	II - 14
2.2.7 Analisis Eksergi pada Ketel Uap .....	II - 18

2.2.8 Analisis Eksergoekonomi .....	II - 23
2.2.9 Perhitungan Ekonomi pada Sistem Pembangkit.....	II - 27
<b>BAB III DESKRIPSI ALAT DAN PROSES.....</b>	<b>III - 1</b>
<b>BAB IV METODOLOGI.....</b>	<b>IV - 1</b>
4.1 Pendekatan Umum .....	IV - 1
4.2 Sumber Data.....	IV - 2
4.3 Langkah-langkah Pengolahan Data.....	IV - 2
4.4 Batasan Permasalahan.....	IV - 6
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Data-data Operasi Acuan.....	V - 1
5.2 Menghitung Nilai Eksergi Tiap Komponen .....	V - 3
5.2.1 Perhitungan Nilai Eksergi pada Beban 61,75 MW.....	V - 3
5.2.1.1 Menghitung Nilai Eksergi pada Force Draft Fan .....	V - 3
5.2.1.2 Menghitung Nilai Eksergi pada Pemanas Awal .....	V - 5
5.2.1.3 Menghitung Nilai Eksergi pada Ekonomizer .....	V - 7
5.2.1.4 Menghitung temperatur ruang bakar dan besarnya Kontribusi Batubara yang diperlukan .....	V - 9
5.2.1.5 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian I	V - 11
5.2.1.6 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian II	V - 13
5.2.1.7 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian III	V - 15
5.2.2 Perhitungan Nilai Eksergi pada Beban 55,25 MW.....	V - 16
5.2.1.1 Menghitung Nilai Eksergi pada Force Draft Fan .....	V - 16
5.2.1.2 Menghitung Nilai Eksergi pada Pemanas Awal .....	V - 17
5.2.1.3 Menghitung Nilai Eksergi pada Ekonomizer .....	V - 19
5.2.1.4 Menghitung temperatur ruang bakar dan besarnya Kontribusi Batubara yang diperlukan .....	V - 21

5.2.1.5 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian I	V – 22
5.2.1.6 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian II	V – 25
5.2.1.7 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian III	V – 27
5.2.2 Perhitungan Nilai Eksergi pada Beban 45,5 MW.....	V – 28
5.2.1.1 Menghitung Nilai Eksergi pada Force Draft Fan .....	V – 28
5.2.1.2 Menghitung Nilai Eksergi pada Pemanas Awal .....	V – 29
5.2.1.3 Menghitung Nilai Eksergi pada Ekonomizer .....	V – 31
5.2.1.4 Menghitung temperatur ruang bakar dan besarnya Kontribusi Batubara yang diperlukan .....	V - 32
5.2.1.5 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian I	V – 34
5.2.1.6 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian II	V – 36
5.2.1.7 Menghitung Nilai Eksergi pada Ketel Uap Bagian III	V – 39
5.3 Menghitung besarnya efisiensi eksergetik tiga variasi beban.....	V – 40
5.4 Menghitung besarnya biaya pengembalian modal dan Operasional tiap komponen .....	V – 41
5.4.1 Menghitung dana investasi dan operasional pada FDF .....	V – 42
5.4.2 Menghitung dana investasi dan operasional pada pemanas Udara .....	V – 43
5.4.3 Menghitung dana investasi dan operasional pada ekonomizer	V – 44
5.4.4 Menghitung dana investasi dan operasional pada ketel uap ..	V – 44
5.4.5 Menghitung dana investasi dan operasional pada kondenser..	V – 45
5.4.6 Menghitung dana investasi dan operasional pada pompa Kondensat .....	V – 46
5.4.7 Menghitung dana investasi dan operasional pada HPH .....	V – 46
5.4.8 Menghitung dana investasi dan operasional pada LPH .....	V – 47
5.4.9 Menghitung dana investasi dan operasional pada daerator..	V – 48
5.4.10 Menghitung dana investasi dan operasional pada pompa Pompa ketel uap .....	V – 49

5.5	Menghitung Eksergoekonomi pada Ketel Uap .....	V – 50
5.4.1	Menghitung Eksergoekonomi pada FDF .....	V - 50
5.4.2	Menghitung Eksergoekonomi pada Pemanas Udara .....	V – 51
5.4.3	Menghitung Eksergoekonomi pada Ketel Uap Bagian I.....	V – 53
5.4.4	Menghitung Eksergoekonomi pada Ekonomizer.....	V – 55
5.4.5	Menghitung Eksergoekonomi pada Ketel Uap Bagian II..	V – 57
5.6	Pembahasan.....	V - 67
 <b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>		<b>VI - 1</b>

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Diagram T-s untuk mesin kalor .....	II - 4
2.2 Diagram alir pada persamaan eksergi pada keadaan tunak .....	II - 5
2.3 Nilai eksergi fisika yang diwakili oleh T-s Diagram .....	II - 7
2.4 Gambar Ilustrasi Aliran Eksergi pada Sistem Terbuka .....	II - 13
2.5 Pembakaran Tangensial untuk Bahan bakar halus.....	II - 14
2.6 Ketel Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap Bukit Asam .....	II - 15
2.7 Skematis aliran <i>flue gas</i> di paket boiler.....	II - 15
2.8 Gambar ilustrasi ketel uap .....	II - 16
2.9 Diagram T-s kerja ketel uap .....	II - 17
2.10 Tiga sub-bagian dari ketel uap sistem pembangkit .....	II - 17
2.11 Diagram Grassman pada Sistem Pembangkit .....	II - 18
2.12 Konsep rantai logika dari eksergoekonomi .....	II - 20
2.13 Diagram Fisikal Pembangkit Kogenerasi sederhana.....	II - 23
3.1 Sirkulasi uap dan air PLTU Bukit Asam.....	III- 2
3.2 Sirkulasi udara dan gas asap PLTU Bukit Asam .....	III- 3
4.1 Bagan Alir Perhitungan .....	IV- 5
5.1 Skema aliran eksergi pada paket Ketel Uap PLTU Bukit Asam .....	V - 1
5.2 Skema aliran proses pada ketel uap di beban 61,75 MW .....	V - 2
5.3 Skema aliran proses pada ketel uap di beban 55,25 MW .....	V - 2
5.4 Skema aliran proses pada ketel uap di beban 45,5 MW .....	V - 3

5.5	Skema aliran eksergi pada kipas pengembus udara .....	V – 3
5.6	Skema aliran eksergi pada pemanas udara .....	V – 5
5.7	Skema aliran eksergi pada ekonomizer .....	V – 7
5.8	Bentuk visual program perhitungan pada beban 61,75 MW .....	V – 10
5.9	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian 1 .....	V – 11
5.10	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian II .....	V – 13
5.11	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian III .....	V – 15
5.12	Skema aliran eksergi pada kipas pengembus udara .....	V – 16
5.13	Skema aliran eksergi pada pemanas udara .....	V – 17
5.14	Skema aliran eksergi pada ekonomizer .....	V – 19
5.15	Bentuk visual program perhitungan pada beban 55,25 MW .....	V – 22
5.16	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian 1 .....	V – 23
5.17	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian II .....	V – 25
5.18	Gambar aliran eksergi pada ketel uap bagian III .....	V – 27
5.19	Skema aliran eksergi pada kipas pengembus udara .....	V – 28
5.20	Skema aliran eksergi pada pemanas udara .....	V – 29
5.21	Skema aliran eksergi pada ekonomizer .....	V – 31
5.22	Bentuk visual program perhitungan pada beban 45,5 MW .....	V – 33
5.23	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian 1 .....	V – 34
5.24	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian II .....	V – 37
5.25	Skema aliran eksergi pada ketel uap bagian III .....	V – 39
5.26	Skema aliran eksergi dan biaya unit eksergi .....	V – 49
5.27	Aliran unit eksergi dan unit biaya eksergi pada FDF .....	V – 49

5.28 Aliran unit eksergi dan unit biaya eksergi Pemanas Udara .....	V – 51
5.29 Gambar aliran eksergi dan unit eksergi ketel uap bagian I .....	V – 52
5.30 Aliran eksergi dan unit biaya eksergi ekonomizer beban.....	V – 55
5.31 Aliran eksergi dan unit biaya eksergi Ketel Uap bagian II .....	V – 56
5.32 Diagram balok eksergi yang hilang tiap komponen di paket ketel uap pada beban 61,75 MW .....	V – 60
5.33 Diagram balok eksergi yang hilang tiap komponen di paket ketel uap pada beban 55,25 MW .....	V – 60
5.34 Diagram balok ekergi yang hilang tiap komponen di paket ketel uap pada beban 45,5 MW .....	V – 61
5.35 Diagram balok persentase kerugian eksergi ketel uap dalam tiga kondisi .....	V – 61
5.36 Diagram balok biaya bahanbakar perdetik Vs Kondisi beban .....	V – 62
5.37 Diagram balok temperature flame ruang bakar Vs Kondisi beban....	V – 62
5.38 Diagram balok Biaya uap per unit produk Vs Kondisi beban .....	V – 63
5.39 Diagram balok efisiensi eksergetik Vs Kondisi beban .....	V – 63
5.40 Diagram Grassman Paket Ketel Uap beban operasi 61,75 MW.....	V - 64
5.41 Diagram Grassman Paket Ketel Uap beban operasi 55,25 MW.....	V – 65
5.42 Diagram Grassman Paket Ketel Uap beban operasi 45,5 MW .....	V – 66



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Besarnya Nilai $\phi$ untuk beberapa Bahan Bakar untuk Industri .....	II - 9
3.1 Spesifikasi Batubara PLTU PT. PLN (Persero) Sektor Bukit asam .....	III - 4
3.2 Data-data teknis PLTU Bukit Asam.....	III - 5
5.1 Jumlah Nilai Molal Produk Pembakaran Beban 61,75 MW .....	V - 9
5.2 Jumlah Nilai Molal Kalor jenis Senyawa Produk di Beban 61,75 MW .....	V - 9
5.3 Nilai Eksergi Kimia dalam Senyawa pada Beban 61,75 MW.....	V - 11
5.4 Nilai eksergi fisika produk pembakaran pada beban 61,75 MW.....	V - 12
5.5 Nilai kalor jenis energi senyawa produk pembakaran suhu 733° C...	V - 15
5.6 Jumlah nilai molal produk pembakaran beban 55,25 MW.....	V - 21
5.7 Jumlah Nilai Molal Kalor jenis Senyawa Produk di Beban 55,25 MW .....	V - 22
5.8 Nilai eksergi kimia senyawa produk pada beban 55,25 MW .....	V - 23
5.9 Nilai eksergi Fisika dalam tiap senyawa dibeban 55,25 MW .....	V - 24
5.10 Nilai kalor jenis energi senyawa produk pembakaran suhu 718° C...	V - 27
5.11 Jumlah Nilai Molal Produk Pembakaran Beban 45,5 MW .....	V - 32
5.12 Jumlah Nilai Molal Kalor jenis Senyawa Produk di Beban 45,5 MW .....	V - 34
5.13 Nilai eksergi kimia senyawa produk pada beban 45,5 MW .....	V - 35

5.14 Nilai eksergi Fisika dalam tiap senyawa dibeban 55,25 MW .....	V – 35
5.15 Nilai eksergi fisika senyawa produk pembakaran suhu 705°C.....	V – 38
5.16 Hasil dari perhitungan analisis eksergi dan eksergoekonomi.....	V – 57

## DAFTAR LAMBANG

### 1. Huruf Latin

$E_{in}$	Eksergi masuk ke FDF (kW)
$E_1$	Eksergi keluar dari FDF $_1$ (kW)
$E_2$	Eksergi keluar dari FDF $_2$ (kW)
$W_{el}$	Daya listrik motor FDF (kW)
$E_5$	Eksergi <i>flue gas</i> masuk ke pemanas udara (kW)
$E_{dust collector}$	Eksergi <i>flue gas</i> keluar dari pemanas udara (kW)
$E_3$	Eksergi udara panas masuk ke ketel uap (kW)
$E_4$	Eksergi <i>Flue gas</i> masuk ke ekonomizer (kW)
$E_{out HPH}$	Eksergi aliran air masuk ke ekonomizer (kW)
$E_W$	Eksergi aliran air keluar dari ekonomizer (kW)
$X_k$	Rasio molekul massa reaktif tiap senyawa jumlah produk
$M_f$	Aliran massa bahan bakar (kg/s)
NCV	Nilai kalor bersih dari bahan bakar (kJ/kg)
$h_{ph,k}$	Entalpi (kJ/kg)
$E_f$	Eksergi bahan bakar (kW)
$E_{air preheater}$	Eksergi keluar dari pemanas udara (kW)
$E_I$	Eksergi <i>flue gas</i> yang dihasilkan dari pembakaran
I	Kerugian kalor
$E_{II}$	Eksergi aliran <i>steam</i> keluar ketel uap (kW)
$E_{III}$	Eksergi aliran <i>flue gas</i> keluar evaporator

$I_R$	Faktor bunga pembayaran
$t_{op}$	Jam operasi pembangkit di dalam tiap tahunnya
$N_y$	Lamanya waktu pembayaran
$Z^{CI+OM}$	Biaya operasional dan perawatan tiap detik
$c_1$	Biaya unit eksergi keluar FDF (Rp/kJ)
$c_5$	Biaya unit eksergi flue gas masuk pemanas udara (Rp/kJ)
$c_{dust}$	Biaya unit eksergi flue gas keluar pemanas udara (Rp/kJ)
$c_3$	Biaya unit eksergi udara panas keluar pemanas udara (Rp/kJ)
$c_f^{sp}$	Biaya bahan bakar tiap detik (Rp/kJ)
$c_f$	Biaya unit eksergi bahan bakar (Rp/kJ)
$c_1$	Biaya unit eksergi <i>flue gas</i> hasil pembakaran (Rp/kJ)
$c_4$	Biaya unit eksergi <i>flue gas</i> masuk ekonomizer (Rp/kJ)
$c_{out\ HPH}$	Biaya unit eksergi aliran air masuk ekonomizer (Rp/kJ)
$c_w$	Biaya unit eksergi aliran air masuk ketel uap (Rp/kJ)
$c_{III}$	Biaya unit eksergi <i>flue gas</i> keluar superheater (Rp/kJ)
$c_{II}$	Harga uap per-kWh
$s_0$	Entropi pada temperatur lingkungan
$s$	Entropi
$T_0$	Temperatur lingkungan

## 2. Huruf Yunani

$\eta_k$	Molekul massa relative tiap senyawa
$Cp_{ph}^{-a}$	kalor jenis perubahan entalpi tiap senyawa zat (kJ/kmol.K)
$\theta_2$	Temperatur pembakaran ( $^{\circ}$ C)
$\theta_0$	Temperatur lingkungan ( $^{\circ}$ C)
$\theta_{ap}$	Temperatur keluar dari pemanas udara ( $^{\circ}$ C)
$\varepsilon^{-o}$	Eksergi kimiamolal tiap senyawa (kJ/kmol)
$\varepsilon_{p2}^{-o}$	Eksergi kimia molal seluruh produk (kJ/kmol)
$Cp_{p,k}^{-\varepsilon}$	Kalor jenis dari perubahan nilai eksergi (kJ/kmol.K)
$\rho_{udara}$	Massa jenis udara (kg/m <sup>3</sup> )
$\psi$	Efisiensi rasional

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran

- A Analisa perhitungan keseimbangan molal produk pembakaran
- B Analisa Eksergoekonomi aliran uap sisa
- C Kode perumusan program visual basic 6.0
- D Data analisa proximate batubara dari PT. Sucofindo
- E Tabel nilai perhitungan kalor jenis perubahan entalpi, entropi, dan  
Perubahan eksergi senyawa zat
- F Tabel properti uap dan gas

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kegiatan industri yang semakin meningkat tentunya menyebabkan pemakaian beban listrik semakin tinggi seiring itu pula terjadi peningkatan drastis harga bahan bakar minyak dan gas. Hal ini menyebabkan pembangkit listrik berbahan bakar minyak dan gas tidak bisa lagi dioperasikan secara total. Keadaan inilah yang memicu penggunaan sistem pembangkit tenaga air dan uap. Selain harga pengoperasian masih terjangkau, bahan bakar pendukung masih menjanjikan untuk beberapa puluh tahun ke depan. Namun masih terdapat beberapa permasalahan di dalamnya yaitu efisiensi pembangkit yang rendah dan masih tingginya kadar pencemaran udara ke lingkungan. Rendahnya efisiensi ini disebabkan karena banyaknya kalor yang terkandung dalam gas buang tidak bisa dimanfaatkan secara maksimal. Jika hal ini terus terjadi maka semakin banyaklah pemborosan energi. Dan kita ketahui cadangan energi tidak selamanya berada pada posisi yang aman.

Oleh karena itu diperlukan suatu pendekatan yang tepat untuk memanfaatkan sumber daya energi yang tersedia dengan penggunaan yang seefisien mungkin. Dalam hal ini diperkenalkanlah metode *analisis eksergi* yang dilakukan berdasarkan Hukum Termodinamika Pertama dan Kedua berdasarkan referensi lingkungan.



Selama ini analisis yang digunakan adalah *analisis energi* yang 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. Sebaliknya pada analisis eksergi yang didasarkan pada Hukum Termodinamika Pertama dan Kedua, kalor adalah energi berkualitas rendah, tidak semua kalor dapat berubah menjadi kerja (Hukum Termodinamika Kedua) sedangkan kerja adalah energi berkualitas tinggi dimana seluruh kerja berubah menjadi kalor. Analisis eksergi mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan analisis energi yaitu; lebih akurat dalam membuat desain optimal, lebih teliti dalam menentukan energi yang hilang di dalam proses dan dapat menentukan kualitas energi.

Di dalam pembangkit tenaga uap komponen yang banyak mengalami kerugian kalor adalah ketel uap. Ketel uap adalah komponen utama di dalam proses pembentukan uap. Kinerja ketel uap di dalam pembangkit tenaga uap sangat tergantung kepada besarnya beban yang di layani oleh PT. PLN (persero). Banyak faktor yang dapat dilakukan dalam meningkatkan kinerja ketel uap yaitu : dengan penambahan beberapa komponen seperti *blow down control*, penambahan isolasi, pengurangan tekanan steam di ketel uap, pengurangan pembentukan *fouling* (endapan di dalam pipa) dan *sludging* (endapan diluar pipa), dan pengendalian beban operasi yang optimal. Untuk

---





itu hal yang masih mungkin dilakukan dalam peningkatan kinerja adalah pengendalian beban operasi dan pengurangan *fouling* dan *sludging*.

Dengan latar belakang itulah penulis menganalisis kinerja dari ketel uap di PT. PLN (persero) Sektor Pembangkitan Bukit Asam dengan tiga variasi beban yaitu beban puncak, beban medium dan beban rendah. Dengan menggunakan metode analisis eksergi yang direlasikan dengan perhitungan ekonomi yang lebih dikenal dengan metode analisis eksergoekonomi penulis akan membandingkan adanya fluktuasi biaya produk uap yang dihasilkan tiap kWh. Sehingga kita mengetahui dengan jelas bahwa kualitas energi di beban berapa yang menghasilkan kerugian kalor paling sedikit. Untuk mempermudah perhitungan penulis menggunakan program perangkat lunak yaitu Visual Basic 6.0 dan Microsoft Excel 2007.

## 1.2. Rumusan masalah

Pengunaan analisis energi (penerapan hukum termodinamika 1), sebagai dasar perhitungan dalam penentuan besarnya unit produk yang dihasilkan tidak dapat memberikan gambaran yang rinci bahwa di dalam sistem yang melakukan proses terjadi suatu irreversibilitas. Sehingga sulit menentukan peralatan dalam sistem yang memiliki kerugian energi paling besar. Sedangkan di dalam analisis eksergi (penerapan hukum termodinamika 1 dan termodinamika 2), diketahui besarnya irriversibilitas di dalam proses dan dapat mengetahui peralatan yang memiliki kerugian

---



eksergi terbesar. Di dalam Sistem Pembangkit Tenaga Uap peralatan yang memiliki kerugian eksergi terbesar adalah Ketel Uap.

Dengan pertimbangan inilah peneliti mencoba menganalisis kinerja Ketel Uap melalui perhitungan menentukan besarnya kerugian-kerugian yang terjadi di dalam sistem Ketel Uap dan menentukan besarnya harga uap per satuan kWh pada tiga variasi beban dengan menggunakan analisis eksergi yang direlasikan dengan perhitungan matematika ekonomi yang lebih dikenal dengan sebutan analisis metode eksergoekonomi.

### **1.3 Tujuan penulisan**

Tujuan Penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui besarnya nilai eksergi masuk dan keluar sistem tiap komponen pembangkit serta besarnya irreversibilitas yang terjadi dalam satu paket ketel uap
2. Mengetahui besarnya perubahan efisiensi pada ketel uap pada penurunan beban-beban tertentu
3. Menghitung nilai ekonomi eksergi masuk dan keluar dari komponen ketel uap
4. Mengetahui besarnya biaya pembentukan uap dalam tiga variasi beban operasi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. T.J. Kotas. 1985. *The Exergy Methode Of Thermal Plant Analysis*. Edisi pertama. Butterworths, Inc. London
2. Cengel. Yunus A. 2002. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. Edisi Keempat. McGraw-Hill Higher Education. New York
3. Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro. 1992. *Termodinamika Teknik*. Edisi keempat. Erlangga. Jakarta.
4. Lindsley, David. 1991. *Boiler control systems*. Edisi Pertama. McGraw-Hill, Inc. New York.
5. P.K. Nag. 2002. *Power Plant Engineering*. Edisi Kedua. Mc Graw-Hills, Inc. New York.
6. A.S. Nafey, H.E.S. Fath dan A.A. Mabrouk .2005. *Exergy and thermoeconomic evaluation of MSF process using a new visual package*. Faculty Of Petroleum & Mining Engineering, Suez canal Univesity Egypt,
7. Weisman, Joel dan L.E. Eckart. 1985. *Modern Power Plant engineering* . Prentice-Hall, Inc. New jersey.
8. Bejan, Adrian; Tsatsaronis, George dan Moran, Michael. 1996. *Thermal Design and Optimization*. John Willey & Sons, Inc. Neew York.
9. Sipahutar, Riman. 2006. Sistem Pembangkit Uap. Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. Indralaya
10. Asmanov, Bobby.2002. *Perencanaan Generator Uap Kapasitas 6 Ton/jam, tekanan 30 ATM*. Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

11. Peters, Max S. 1985. *Plant Design And Economics For Chemical Engineering*. Edisi ketiga. Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo.
12. Bejan, Adrian. 1989. *Advanced Engineering Thermodynamics*. Edisi Pertama. Wiley Interscience. New York.
13. Ahern, John E. 1980. *The Exergy Method of Thermal of Energy Systems Analysis*. First Edition. Wiley Interscience. New York.