

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SISTEM  
PEMBAANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)  
PT. TANJUNG ENIM LESTARI PULP AND PAPER**



**Dijukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menjalankan Gelar Sarjana  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**KARAPAN ARYTO SALOM FERDINAND**

**03091005091**

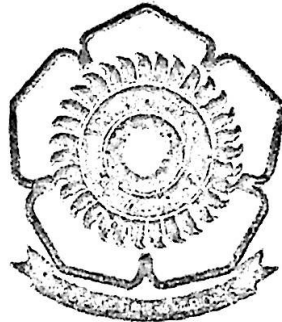
**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2013**

S  
621.1807  
Har  
a  
2013

R: 26825 / 27386

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SISTEM  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)  
PT. TANJUNG ENIM LESTARI PULP AND PAPER**



**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Mendapatkan Gelar Sarjana  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**HARAPAN ARYTO SALOM FERDINAND**

**03091005091**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2013**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
INDERALAYA**



**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SISTEM  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)  
PT. TANJUNG ENIM LESTARI *PULP AND PAPER***

**Oleh:**

**HARAPAN ARYTO SALOM FERDINAND**

**03091005091**

**Disetujui dan disahkan sebagai Skripsi**

**Diketahui oleh,**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Qomarul Hadi, ST. MT.**  
**NIP. 19690213 199503 1 001**

**Diperiksa dan disetujui oleh,**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Dyos Santoso, M.T**  
**NIP. 19601223 199102 1 001**

UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda : 010/TA/TA/2014  
Diterima Tgl. : 23/1-14  
Paraf : *Kewajap*


### SKRIPSI

NAMA : HARAPAN ARYTO SALOM FERDINAND  
NIM : 03091005091  
MATA KULIAH : ANALISA EKSERGI  
SPESIFIKASI : ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SISTEM  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)  
PT. TANJUNG ENIM LESTARI *PULP AND PAPER*


DIBERIKAN TGL : *September 2013*  
SELESAI TGL : *November 2013*

Diketahui oleh,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Qomarul Hadi, ST. MT.  
NIP. 19690213 199503 1 001

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing

  
Ir. Dvos Santoso, M.T  
NIP. 19601223 199102 1 001



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

Kampus UNSRI Jl. Raya Prabumulih – Indralaya Ogan Ilir Telp. (0711) 580272

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa berikut ini :

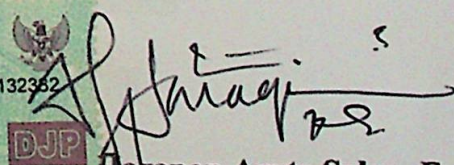
Nama : Harapan Aryto Salom Ferdinand  
NIM : 03091005091  
Jurusan : Teknik Mesin  
Bidang Studi : Konversi Energi  
Judul : Analisis Energi dan Eksergi pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Tanjung Enim Lestari *Pulp and Paper*

Skripsi / Tugas Akhir ini adalah benar hasil karya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah dinyatakan dengan benar dan saya dapat mempertanggung jawabkan bahwa hasil yang saya tulis tidak plagiat.

Demikianlah surat ini dibuat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Januari 2014  
Penulis,



  
**Harapan Aryto Salom Ferdinand**  
NIM. 03091005091

## **Motto dan Persembahan**

- **Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepada ku.**
- **Aku bisa karena aku berfikir aku bisa.**
- **Apapun yang kau lakukan, lakukanlah seolah kau melakukannya untuk Tuhan.**

### **Kupersembahkan Karya Tulis ini kepada :**

- **Tuhan Yesus Kristus**
- **Kedua Orang Tuaku**
- **Keluarga Besarku**
- **Dosen Pembimbing Skripsiku**
- **Teman-temanku**
- **Almamaterku**

## ABSTRAK

Makalah ini menyajikan analisis energi dan eksergi pada sistem pembangkit listrik tenaga uap di PT. Tanjung Enim Lestari *Pulp and Paper* (PT.Telpp) yang bertujuan untuk melakukan peningkatan performansi dengan cara melakukan analisis pada komponen-komponen serta sistem secara keseluruhan. Analisis eksergi mampu mengetahui letak, jenis serta kerugian yang terjadi selama proses berlangsung. Laju energi, eksergi, efisiensi energi dan eksergi serta ireversibilitas dihitung berdasarkan data operasi pada PT.Telpp.

Pembangkit listrik tenaga uap yang diteliti adalah pembangkit listrik dengan menggunakan turbin ekstraksi pada daya keluaran 47,7 MW. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, *condensate tank* memiliki efisiensi eksergi terendah yaitu 17,3054 %, sedangkan *condensate pump 2* merupakan komponen yang memiliki efisiensi eksergi tertinggi yaitu 76,3126 %. *Deaerator* merupakan komponen yang memiliki efisiensi energi tertinggi yaitu 99,3562 %, sedangkan power boiler merupakan komponen yang memiliki efisiensi energi terendah yaitu 29,7757 %. Ireversibilitas yang paling besar terjadi di *recovery boiler*, yaitu sebesar 163,0488 MW, sedangkan ireversibilitas yang paling kecil terjadi pada *condensate pump 1* yaitu sebesar 0,0025 MW.

**Kata Kunci :** analisis eksergi, analisis energi, PLTU.

## ABSTRACT

*This paper presents exergy and energy analysis of steam power plant system at PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper (PT.Telpp) that aims to improve performance by analyze the components and the overall system. Exergy analysis is able to know location, type and losses that occur during the process. Energy rate, exergy, energy and exergy efficiency and irreversibility is calculated based on the operating data of PT.Telpp.*

*The steam power plant that studied is power plant by using extraction turbine with output power is 47,7 MW. Based on the research that has been done, condensate tank has the lowest of exergy efficiency is equal to 17,3054 %, meanwhile second condensate pump is component with the highest exergy efficiency of 76,3126 %. Deaerator is component with the highest energy efficiency of 99,3562 %, meanwhile power boiler is component with the lowest energy efficiency of 29,7757 %. The greatest Irreversibility occurs in the recovery boiler, that is equal to 163.0488 MW , meanwhile the lowest irreversibility occurs in first condensate pump, that is equal to 0,00231 MW.*

**Keyword :** exergy analysis, energy analysis, steam power plant

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala berkat dan anugerah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, adapun pihak tersebut :

1. PT. Tanjung Enim Lestari *Pulp and Paper* (PT.Telpp).
2. Bapak Ir. Dyos Santoso, MT selaku Dosen Pembimbing yang dengan sabar membimbing, mengarahkan, dan memotivasi penulis dari awal hingga selesainya skripsi ini.
3. Bapak Sartono selaku Pembimbing Lapangan di PT.Telpp.
4. Bapak Qomarul Hadi, S.T. M.T. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Al Antoni Akhmad, S.T, M.T selaku Pembimbing Akademik.
6. Staf Pengajar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
8. Keluarga besar, ayah ,Ibu selaku orang tua yang terus membimbing serta saudara yang tetap mendukung.
9. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) Universitas Sriwijaya terutama Teknik Mesin Angkatan 2008.
10. Seluruh keluarga besar sivitas akademika Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak pengembangan yang perlu dilakukan, pasti banyak terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu



kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan guna membantu dalam perbaikan untuk penulisan selanjutnya.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga skripsi dengan judul “*Analisis Energi dan Eksergi Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT.Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper*” dapat berguna dan memberikan manfaat bagi kita semua untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Palembang, November 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	I.1
I.1 Latar Belakang.....	I.3
I.2 Rumusan Masalah.....	I.3
I.3 Batasan Masalah.....	I.3
I.4 Tujuan.....	I.3
I.5 Manfaat.....	I.4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	II.1
II.1 Energi.....	II.1
II.1.1 Neraca Energi.....	II.2
II.2 Eksergi.....	II.3
II.2.1 Definisi Eksergi.....	II.3
II.2.2 Penggunaan Analisis Eksergi.....	II.5
II.2.3 Eksergi Sistem Tertutup.....	II.10
II.2.3.1 Neraca Eksergi Sistem Tertutup.....	II.10
II.2.4 Neraca Eksergi Volume Atur.....	II.13
II.2.5 Bentuk-bentuk Eksergi.....	II.14

II.2.5.1 <i>Work Exergy</i> .....	II.14
II.2.5.2 <i>Heat Transfer Energy</i> .....	II.15
II.2.5.3 Eksergi Fisik.....	II.15
II.2.5.4 Eksergi Kimia.....	II.16
II.2.6 <i>Exergy Losses</i> .....	II.16
II.2.7 Efisiensi.....	II.17
II.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	II.17
II.4 Perhitungan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	II.19
II.4.1 Turbin.....	II.19
II.4.2 Kondensor.....	II.21
II.4.3 <i>Condensate Pump 1</i> .....	II.22
II.4.4 <i>Condensate Pump 2</i> .....	II.23
II.4.5 <i>Deaerator</i> .....	II.24
II.4.6 <i>Feed Water Pump</i> .....	II.25
II.4.7 <i>Recovery Boiler</i> .....	II.27
II.4.8 <i>Power Boiler</i> .....	II.28
II.4.9 <i>Condensate tank</i> .....	II.29
<b>BAB III PLTU PT.TANJUNG ENIM LESTARI PULP AND PAPER..</b>	III.1
III.1 Penjelasan Sistem.....	III.1
III.2 Spesifikasi Komponen.....	III.5
III.2.1 Turbin.....	III.5
III.2.1 Boiler.....	III.5
III.2.2 <i>Condenser</i> .....	III.8
III.2.3 <i>Condensate Pump</i> .....	III.8
III.3 Data Operasi PLTU PT.Telpp.....	III.8
<b>BAB IV METODOLOGI.....</b>	IV.1
IV.1 Pendekatan Umum.....	IV.1
IV.2 Ruang Lingkup dan Batasan.....	IV.1
IV.3 Sumber Data.....	IV.3

III.5 Analisis dan Pengolahan Data.....	IV.3
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>V.1</b>
V.1 Analisis Data.....	V.1
V.2 Analisis Energi dan Eksergi pada Komponen.....	V.3
V.3 Pembahasan.....	V.7
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>VI.1</b>
VI.1 Kesimpulan.....	VI.1
VI.2 Saran.....	VI.1

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Komposisi Energi, Eksergi dan Anergi.....	II.5
2.2 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	II.17
2.3 Siklus <i>Rankine</i> .....	II.18
2.4 Turbin.....	II.19
2.5 Kondensor.....	II.21
2.6 <i>Condensate Pump1</i> .....	II.22
2.7 <i>Condensate pump 2</i> .....	II.23
2.8 <i>Deaerator</i> .....	II.24
2.9 <i>Feed Water Pump</i> .....	II.25
2.10 <i>Recovery Boiler</i> .....	II.27
2.11 <i>Power Boiler</i> .....	II.28
2.12 <i>Condensate Tank</i> .....	II.30
3.1 Skema PLTU di PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper.....	III.2
5.1 Perbandingan Analisis Energi dan Analisis Eksergi.....	V.4
5.2 Ireversibilitas pada tiap komponen.....	V.5
5.3 Diagram Grassman PLTU PT.Telpp.....	V.6

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Data Operasi Harian PT. Telpp.....	III.9
5.1 Perhitungan pada Tiap <i>State</i> dengan Daya Keluaran Turbin 47,7 MW.....	V.2
5.2 Efisiensi energi dan eksergi pada komponen.....	V.3
5.3 Ireversibilitas pada komponen.....	V.4

## DAFTAR NOTASI

### Simbol Umum

$E, e$	Energi, energi spesifik
$E_k, e_k$	Energi kinetik, spesifik energi kinetik
$E_p, e_p$	Energi potensial, spesifik energi potensial
$H, h$	Entalpi, entalpi spesifik
$H_{ph}, h_{ph}$	Entalpi fisik, spesifik entalpi fisik
$h_T$	Entalpi spesifik keseluruhan
$\Delta H_o$	Entalpi dari reaksi
$I, i$	Ireversibilitas
$I^o$	Ireversibilitas akibat perpidahan panas terhadap lingkungan
$m$	Massa
$\dot{m}$	Laju aliran massa
$P$	Tekanan
$Q, q$	Perpindahan panas, perpindahan per massa
$Q_A$	Fluks Kalor
$S, s$	Entropi, spesifik entropi
$T$	Temperatur
$U, u$	Energi dalam, spesifik energi dalam
$V, v$	Volume, spesifik volume
$W, w$	Power
$\dot{W}_{ei}$	Power listrik
$X$	Kualitas uap

### Greek symbol

$E, \varepsilon$	Exergi, spesifik eksergi
$E^r, \varepsilon^r$	Eksergi relatif, spesifik eksergi relatif
$E_k, \varepsilon_k$	Eksergi kinetik, spesifik eksergi kinetik
$E_p, \varepsilon_p$	Eksergi potensial, spesifik eksergi potensial

$E_O, \varepsilon_O$	Eksergi kimia, spesifik eksergi kimia
$E_{ph}, \varepsilon_{ph}$	Eksergi fisik, spesifik eksergi fisik
$E^{AP}, \varepsilon^{AP}$	Komponen tekanan dari eksergi dan spesifik eksergi
$E^{\Delta T}, \varepsilon^{\Delta T}$	Komponen kalor dari eksergi dan spesifik eksergi
$E^O, \varepsilon^O$	Eksergi kalor, spesifik eksergi kalor, dalam sistem terbuka
$\eta$	Efisiensi
$\eta_s$	Efisiensi isentropik



# BAB I

## PENDAHULUAN



### I.1. Latar Belakang

Pada era ini, energi memiliki peran yang sangat krusial dalam kehidupan sehari-hari bahkan di dunia industri. Kebutuhan energi dunia terus mengalami peningkatan. Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (*International Energy Agency-IEA*), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% pertahun, tidak terkecuali di Indonesia [1]. Kebutuhan energi terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kegiatan pembangunan ekonomi suatu negara. Indonesia merupakan salah satu negara ekonomi berkembang yang terus melakukan kegiatan pembangunan di sektor industri. Keberlangsungan suatu industri sangat tergantung oleh energi yang tersedia. Berdasarkan data dari *blueprint* Pengelolaan Energi Nasional tahun 2006, Indonesia merupakan salah satu negara dengan persediaan sumber energi terbesar, namun dalam hal pemanfaatannya, Indonesia merupakan negara dengan pemanfaatan terendah [2]. Hal ini menunjukkan, bahwa Indonesia merupakan negara yang tidak efisien dalam pemanfaatan sumber energi.

Seiring dengan hal tersebut, maka pemanfaatan sumber energi seefisien mungkin perlu dilakukan. Dengan melakukan analisis eksergi secara menyeluruh dan analisis pada tiap komponen/subsistem pada sistem

pembangkit serta melakukan pengoptimalan, maka efisiensi sistem pembangkit akan meningkat. Metode analisis eksergi ini sesuai dengan tujuan yang lebih jauh dalam kaitan pengelolaan sumber daya yang efisien, karena cara ini mampu mengidentifikasi lokasi, jenis serta besar kerugiannya. Informasi ini dapat dimanfaatkan pada perancangan sistem termal dan menuntun usaha mengurangi sumber pemborosan energi dalam sistem yang sudah ada, dan evaluasi sistem ekonomi [3].

Banyak jurnal atau tulisan yang membahas tentang analisis eksergi, terutama tentang sistem pembangkit listrik pada perusahaan listrik semisal PLN di Indonesia [4]. Analisis eksergi pada proses industri juga sudah dilakukan [5,6], namun analisis eksergi pada sistem pembangkit listrik di industri masih sangat jarang dilakukan. Analisis eksergi pada industri *pulp and paper* sudah pernah dilakukan, salah satunya oleh Mei Gong [7]. Telah terbukti, bahwa analisis eksergi sangat berguna dalam meningkatkan efisiensi sistem dan proses. Mei Gong menganalisis industri *pulp and paper* secara menyeluruh, dan dalam tulisannya hanya memperlihatkan efisiensi pada sistem pembangkit secara keseluruhan tanpa memperlihatkan analisis yang dilakukan pada tiap komponen. Untuk itu penulis akan fokus melakukan analisis eksergi pada sistem pembangkit di industri *pulp and paper*.

## I.2 Rumusan Masalah

Sistem pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa komponen antara lain : boiler, pompa, turbin, kondensor, deaerator yang perlu dikaji performansinya secara keseluruhan dan tiap-tiap komponen untuk mengetahui losses dan efisiensinya.

## I.3 Batasan Masalah

1. Pembahasan diarahkan kepada analisis termodinamika untuk mengetahui performansi dengan menggunakan analisis energi dan eksergi pada sistem pembangkit dari setiap komponen/ subsistem.
2. Lingkungan sekitar pembangkit menjadi referensi terhadap perhitungan eksergi.
3. Sistem pembangkit di PT. Tanjung Enim Lestari *Pulp and Paper* terintegrasi dengan pabrik (*mill process*), sehingga perlu dilakukan batasan komponen yang akan dianalisis sehingga bisa menjadi satu siklus pembangkit, dalam hal ini meliputi : *power boiler, recovery boiler, turbin, kondensor, condensate pump, deaerator dan feed water pump.*

## I.4 Tujuan

Mengevaluasi performansi PLTU PT. Tanjung Enim Lestari *Pulp and Paper* berdasarkan analisis energi dan analisis eksergi serta mengidentifikasi komponen yang mengalami pemusnahan eksergi (ireversibilitas) yang cukup besar.

## **I.5 Manfaat**

Penelitian ini sama halnya dengan audit energi yang dilakukan pada PLTU, sehingga dari *output* yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan bagi perusahaan dalam rangka meningkatkan performansi sistem pembangkit tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonim, *Hingga 2030 Permintaan Energi Dunia Meningkat*. website www.esdm.go.id (diakses tanggal 17 September 2013).
- [2]. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, 2006. *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta : Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral RI.
- [3]. Moran MJ, Shapiro HN., 1988. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley, New York.
- [4]. Basri, H., Santoso, D. 2010. *Analisis Eksergi pada Siklus Turbin Gas Sederhana 14 MW Instalasi Pembangkit Tenaga Keramasan*. Palembang : Jurnal Teknik Mesin Indonesia.
- [5]. Çamdali,Ü., Tunç, M., 2003. *Exergy analysis and efficiency in an industrial AC ARC furnace*. Turkey : Applied Thermal Engineering 23 (2003) 2255–2267.
- [6]. Utlu,Z., Sogut,Z., Hepbasli,A., Oktay,Z., 2006. *Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production*. Turkey : Applied Thermal Engineering 26 (2006) 2479–2489.
- [7]. Gong,M., 2005. *Exergy analysis of a pulp and paper mill*. Linkoping, Sweden : INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH.
- [8]. S.C. Kaushik, V.Siva Reddy, S.K.Tyagi, 2010. *Energi and exergy analyses of thermal power plants: A review*, Elsevier, India.
- [9]. Sugiyono, M.Eng., Agus,2000. *Studi Pendahuluan untuk Analisis Energi-Eksergi Kota Jakarta*, Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT, Jakarta.
- [10]. Moran, M. J., 1982. *Availability Analysis : A Guide to Efficient Energy Use*. New Jersey : Pantice-Hall Inc.
- [11]. Vosough, A., Noghrehabadi, A., Ghalambaz, M., and Vosough, S., 2011. *Exergy Concept and its Characteristic*. Iran : International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, Vol. 2, No. 4.

- [12]. Hongbin, Z., 2009. *Exergy Analysis of a Steam Power Plant with Direct Air-Cooling System in China*, Beijing : Power and Energi Engineering Conference, APPEEC 2009. Asia-Pacific.
- [13]. Bejan, A.,Tsatsaronis, G.,Moran M. J., 1996. *Thermal design and optimization*. U.S.A: John Wiley and Sons Inc.
- [14]. Ray ,T.K, Ranjan,G., Gupta,G.A, 2007. *Exergy Analysis for Performance Optimization of a Steam Turbine Cycle*, Kolkata: Department of Power Engineering, Jadavpur University.
- [15]. Cengel, Y. A. & Boles, M. A.,2002. *Thermodynamics, An Engineering Approach 4th Edition In SI Units*,Singapore.
- [16]. Kotas, T. J., 1985. *The exergy method of thermal plant analysis*. London: Butterworths.
- [17]. Gundersen, T., 2011. *An Introduction The Concept of Exergy and Energy Quality*. Norway : Department of Energy and Process Engineering.