



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SISTEM *COMBINED COOLING, HEATING AND POWER*
GENERATION (CCHP) PADA APLIKASI PERHOTELAN**

TESIS

AMIR ERLANGGA
0606002856

**FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SISTEM *COMBINED COOLING, HEATING AND POWER
GENERATION* (CCHP) PADA APLIKASI PERHOTELAN**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**AMIR ERLANGGA
0606002856**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KONVERSI ENERGI
DEPOK
DESEMBER 2008**

PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Amir Erlangga.

NPM : 0606002856.

Tanda Tangan :

Tanggal : 31 Desember 2008.

PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Amir Erlangga.
NPM : 0606002856.
Program Studi : Magister.
Judul Tesis : Analisis Sistem *Combined Cooling, Heating And Power Generation* (CCHP) Pada Aplikasi Perhotelan.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : DR-Ing. Ir. Nasruddin, MEng. ()
Pembimbing II : Ir. Rama Usvika, MSc. ()
Penguji : DR. Ir. M. Idrus Alhamid. ()
Penguji : DR. Ir. Engkos A. Kosasih, MT. ()

Ditetapkan di : Depok.
Tanggal : 6 Januari 2009.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puja dan puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan tesis ini dan salam dan salawat semoga tetap tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Penulisan tesis ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari betul tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan hingga penyusunan tesis ini, sangatlah sulit untuk menyelesaikannya. Oleh karenanya saya mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak antara lain:

- (1) DR-Ing. Ir. Nasruddin, MEng selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
- (2) Ir. Rama Usvika, MSc selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikirannya untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
- (3) Bapak Andre, Sumarno dan Ibu Ida dari pihak Hotel yang telah menyediakan data-data untuk penulisan tesis ini.
- (4) Yang tercinta Ibunda Trisnowati, Ayahanda Baruno Marsudi dan Bapak Djiteng Marsudi yang telah memberikan bantuan berupa dukungan moral, material dan semangat.
- (5) Rekan-rekan seangkatan program magister teknik dan para sahabat di Kompleks TNI AL Ciangsana yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 31 Desember 2008

Amir Erlangga

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

=====

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amir Erlangga.

NPM : 0606002856.

Program Studi : Magister.

Departemen : Teknik Mesin.

Fakultas : Teknik.

Jenis Karya : Tesis.

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS SISTEM *COMBINED COOLING, HEATING AND POWER GENERATION* (CCHP) PADA APLIKASI PERHOTELAN.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak untuk menyimpan, mengalihmedia/forma-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 31 Desember 2008.

(Amir Erlangga)

ABSTRAK

Nama : Amir Erlangga.
Program Studi : Magister.
Judul : Analisis Sistem *Combined Cooling, Heating and Power Generation* (CCHP) Pada Aplikasi Perhotelan.

Dalam aplikasi enjineriing baik dalam bidang industri atau lainnya, kadang kala ditemukan bahwa kebutuhan akan daya listrik, pendinginan dan pemanasan diperlukan secara bersamaan. Salah satu contohnya adalah dalam bidang perhotelan yang membutuhkan daya listrik, pendinginan untuk ruangan dan pemanasan baik untuk ruangan atau air hangat. Sistem *combined cooling, heating and power generation* (CCHP) atau disebut juga *trigeneration* adalah sistem yang terdiri dari *power system*, mesin pendingin absorpsi dan sebuah penukar kalor. Untuk aplikasi dan perancangan CCHP, sebelumnya dibuat sebuah model sistem dan dilakukan perhitungan biaya energi (bahan bakar) berdasarkan pada kesetimbangan energi hingga biaya investasi dan *payback period* sehingga dapat diputuskan selanjutnya apakah sistem ini dan konfigurasi seperti apa yang dapat diaplikasikan. Pilihan konfigurasi sistem CCHP yang digunakan adalah dengan menggunakan *diesel engine*, *gas engine* dan turbin gas pada *power system* nya.

Dari hasil perhitungan ketiga konfigurasi sistem CCHP yang coba diaplikasikan pada perhotelan diperoleh bahwa untuk konfigurasi dengan *diesel engine* dan turbin gas tidak dapat digunakan karena dari sisi biaya energi lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan sistem CCHP dan *saving cost* yang terlalu rendah sehingga mengakibatkan *payback period* yang lama. Untuk konfigurasi dengan *gas engine* diperoleh biaya energi hotel dapat ditekan maksimum sebesar Rp. 180.590.337,31, dengan biaya investasi total sebesar Rp. 7.510.550.179,3 dan *payback period* selama 6,57 tahun.

Kata kunci :
CCHP, *Trigeneration*, Biaya energi, Perhotelan.

ABSTRACT

Name : Amir Erlangga.
Study Program: Master's Degree.
Title : Analysis of Combined Cooling, Heating and Power Generation (CCHP) System Applied to Hotel Business.

Engineering application in industrial or etc sometimes found there is a simultaneous need for electricity, cooling and heating. For example is in hotel business, we can found that it need of electricity, cooling for rooms and heating to heat water. Combined cooling, heating and power generation (CCHP) or called trigeneration is a system consists of power system, absorption cooling system and heat exchanger for heating system. For application and planning, we make a model and calculate the energy cost (fuel cost) based on energy balance, investment, and payback period so later can be decided the feasibility and what configuration of the system can be applied. The configurations of CCHP that chosen is use Diesel engine, gas engine and gas turbine as a power system.

The results of three configurations applied to hotel business that used; show that configuration using Diesel engine and gas turbine couldn't be applied because energy cost (fuel cost) is more expensive compared to energy cost without CCHP system and saving cost is too small so it affected to too long payback period. By using gas engine, the energy cost for hotel can be reduced maximum at Rp. 180,590,337.31; investment cost estimated is Rp. 7,510,550,179.3 with payback period is 6.57 years.

Key words:
CCHP, Trigeneration, Energy cost, Hotel business.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
PERNYATAAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
2. TEORI DASAR.....	7
2.1 Sistem Pembangkitan Daya (<i>Power System</i>).....	7
2.2 Sistem Pendingin.....	10
2.3 Sistem Pemanas.....	13
2.4 <i>Combined Cooling, Heating And Power Generation</i>	15
3. PEMODELAN SISTEM CCHP.....	17
3.1 Konfigurasi Sistem CCHP.....	17
3.1.1 Konfigurasi Sistem CCHP Dengan Turbin Gas.....	17
3.1.2 Konfigurasi Sistem CCHP Dengan <i>Gas Engine</i>	24
3.1.3 Konfigurasi Sistem CCHP Dengan <i>Diesel Engine</i>	28
3.2 Data-data Penelitian.....	32
3.2.1 Data Kebutuhan Daya Listrik.....	32
3.2.2 Data Kebutuhan Pendinginan.....	33
3.2.3 Data Kebutuhan Pemanasan.....	35
3.2.4 Distribusi Beban.....	37
4. PERHITUNGAN BIAYA ENERGI.....	41
4.1 Biaya Energi Hotel.....	41
4.2 Biaya Bahan Bakar.....	42
4.2.1 Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan <i>Diesel Engine</i>	43
4.2.2 Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan <i>Gas Engine</i>	47
4.2.3 Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan Turbin Gas.....	51

4.3	Biaya Investasi.....	55
4.3.1	Biaya Komponen Utama Sistem CCHP.....	55
4.3.2	<i>Payback Period</i>	57
5.	KESIMPULAN.....	59
	DAFTAR ACUAN.....	60
	DAFTAR PUSTAKA.....	63
	LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram alir metode penelitian.....	5
Gambar 2.1.	Sistem turbin gas dan komponen utamanya.....	9
Gambar 2.2.	Mesin pendingin absorpsi amoniak-air.....	10
Gambar 2.3.	Diagram Temperatur-fraksi masa suatu campuran pada tekanan konstan.....	12
Gambar 2.4.	Diagram Temperatur-fraksi masa suatu campuran pada tekanan bervariasi.....	12
Gambar 2.5.	Profil temperatur dan arah aliran alat penukar kalor.....	14
Gambar 2.6.	Skema sistem <i>trigeneration</i> (CCHP).....	16
Gambar 3.1.	Konfigurasi sistem Absorpsi.....	17
Gambar 3.2.	Model sistem CCHP pada <i>Cycle Tempo 5.0</i> dengan konfigurasi Turbin Gas sebagai <i>power system</i>	18
Gambar 3.3.	Perhitungan model sistem CCHP pada <i>Cycle Tempo 5.0</i> dengan konfigurasi Turbin Gas sebagai <i>power system</i>	21
Gambar 3.4.	<i>Piechart</i> distribusi energi bahan bakar sistem CCHP dengan Turbin Gas.....	23
Gambar 3.5.	Model sistem CCHP dengan konfigurasi <i>Gas Engine</i>	24
Gambar 3.6.	<i>Piechart</i> distribusi energi bahan bakar sistem CCHP dengan <i>Gas Engine</i>	27
Gambar 3.7.	Model sistem CCHP dengan konfigurasi <i>Diesel Engine</i>	28
Gambar 3.8.	<i>Piechart</i> distribusi energi bahan bakar sistem CCHP dengan <i>Diesel Engine</i>	31
Gambar 4.1.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan <i>Diesel engine</i> beroperasi 24 jam.....	43
Gambar 4.2.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan <i>Diesel engine</i>	43
Gambar 4.3.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan <i>Diesel engine</i> pada WBP).....	44

Gambar 4.4.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan <i>Diesel engine</i> pada LWBP).....	44
Gambar 4.5.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan <i>Diesel engine</i> dan menjual surplus energi listrik.....	45
Gambar 4.6.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan <i>Gas engine</i> beroperasi 24 jam.....	47
Gambar 4.7.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan <i>Gas engine</i>	47
Gambar 4.8.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan <i>Gas engine</i> pada WBP).....	48
Gambar 4.9.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada LWBP CCHP dengan <i>Gas engine</i>	48
Gambar 4.10.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan <i>Gas engine</i> pada LWBP).....	49
Gambar 4.11.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan turbin gas beroperasi 24 jam.....	51
Gambar 4.12.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan Turbin gas.....	52
Gambar 4.13.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan Turbin gas pada WBP).....	52
Gambar 4.14.	Biaya-biaya yang dikeluarkan pada LWBP CCHP dengan Turbin gas.....	53
Gambar 4.15.	Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan Turbin gas pada LWBP).....	53
Gambar 4.16.	Efek perubahan harga gas terhadap <i>Annual Saving</i> dan <i>Payback Period</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel III.1.	Total kebutuhan energi listrik untuk hotel.....	33
Tabel III.2.	Total kebutuhan energi listrik untuk <i>club</i>	33
Tabel III.3.	Jumlah ruangan dan daya AC terpasang hotel.....	34
Tabel III.4.	Jumlah ruangan dan daya AC terpasang <i>club</i>	35
Tabel III.5.	Konsumsi air hotel dan <i>club</i> tiap bulan.....	36
Tabel III.6.	Distribusi beban hotel dan <i>club</i>	40
Tabel IV.1.	Biaya energi listrik dan bahan bakar solar tiap bulan.....	41
Tabel IV.2.	Penurunan biaya untuk konfigurasi sistem CCHP berbeda...	55
Tabel IV.3.	Biaya investasi untuk konfigurasi dengan <i>gas engine</i>	56
Tabel IV.4.	Biaya investasi untuk konfigurasi dengan turbin gas.....	56
Tabel IV.5.	Perubahan harga gas terhadap <i>Annual Saving</i> dan <i>Payback Period</i>	58

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I Perhitungan Kebutuhan Air Panas Rata-rata Untuk Hotel.
- Lampiran II Tabel Perhitungan Sistem CCHP Dengan Konfigurasi *Diesel Engine*.
- Lampiran III Tabel Perhitungan Sistem CCHP Dengan Konfigurasi *Gas Engine*.
- Lampiran IV Tabel Perhitungan Sistem CCHP Dengan Konfigurasi Turbin Gas.
- Lampiran V Perhitungan Alat Penukar Kalor.



DAFTAR SINGKATAN

CCHP : *Combined Cooling, Heating and Power Generation*

COP : *Coefficient Of Performance*

LWBP : *Luar Waktu Beban Puncak*

WBP : *Waktu Beban Puncak*

LMTD : *Log Mean Temperatur Difference*

Varh : *Volt Amper Reactive Hour*



DAFTAR SIMBOL

A	Luas perpindahan panas	(m ²).
bp	Daya poros	(kW).
CV	Nilai kalor	(kJ/liter).
C	Biaya bahan bakar	(Rp/detik).
C _{EL}	Biaya energi listrik pada CCHP	(Rp/kWh).
C _p	Kalor jenis	(kJ/kg°C)
E _L	Daya listrik dari sistem CCHP	(kW)
F	Faktor koreksi penukar kalor	
fc	<i>Fuel Consumption</i>	(kg/s)
h	entalpi	(kJ/kg).
\dot{m}	Laju masa	(kg/detik).
N	Kurs tukar Rupiah terhadap Dolar	(Rp/\$).
p	Tekanan	(bar).
P	Daya	(kW).
\dot{Q}	Laju energi termal	(kW).
t	Waktu	(Jam).
T	Temperatur	(°C).
U	Koefisien Perpindahan Panas	(W/m ² °C).
\dot{W}	Kerja	(kW).
x	Persentase	(%).
Δ	Perbedaan / perubahan	
η	Efisiensi	