

**ANALISA TERMODINAMIKA DAN EKONOMI PADA SUMUR PANAS
BUMI DENGAN KANDUNGAN *NON-CONDENSABLE GAS* (NCG) YANG
TINGGI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK
MENGURANGI *HOUSE LOAD* PADA POMPA KONDENSAT DI PLTP**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Pendidikan Strata Dua (S-2)
Sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



DISUSUN OLEH:

Revki Romadhon

NIM: 30000421420036

**MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2023

PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini. Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Revki Romadhon
NIM : 30000421420036
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : **ANALISA TERMODINAMIKA DAN EKONOMI PADA SUMUR PANAS BUMI DENGAN KANDUNGAN *NON-CONDENSABLE GAS* (NCG) YANG TINGGI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI *HOUSE LOAD* PADA POMPA KONDENSAT DI PLTP**

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal Tesis dan Ujian Seminar Hasil Tesis sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 19 Juni 2023

Pembimbing I



Dr. Udi Harmoko S.Si., M.Si.
NIP. 197108101999031001

Pembimbing II



Ir. Sulisty M.T., Ph.D.
NIP. 196209171991021001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Semarang, 26 Juni 2023



Revki Romadhon
NIM. 30000421420036

HALAMAN PENGESAHAN
TESIS

ANALISA TERMODINAMIKA DAN EKONOMI PADA SUMUR PANAS
BUMI DENGAN KANDUNGAN NON-CONDENSABLE GAS (NCG) YANG
TINGGI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK
MENGURANGI HOUSE LOAD PADA POMPA KONDENSAT DI PLTP

Disusun Oleh :
REVKI ROMADHON
30000421420036

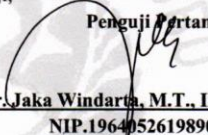
Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal, 26 Juni 2023

Tim Penguji,


Pembimbing Pertama


Dr. Udi Hartono S.Si., M.Si.
NIP. 197108101999031001


Penguji Pertama


Dr. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng
NIP.196405261989031002

Pembimbing Kedua


Ir. Sulistyo M.T., Ph.D.
NIP. 196209171991021001

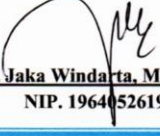
Penguji Kedua


Ir. Marcelinus Christwardana, ST, M.T, PhD
NIP.H7.199004152022041001


Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Energi

Tanggal, 26 Juni 2023

Ketua Program Studi Magister Energi


Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng
NIP. 196405261989031002

Dekan Sekolah Pascasarjana


Dr. RB. Sularjo, S.H., M. Hum
NIP. 196701011991031005

**PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Revki Romadhon
NIM : 30000421420036
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ANALISA TERMODINAMIKA DAN EKONOMI PADA SUMUR PANAS BUMI DENGAN KANDUNGAN *NON-CONDENSABLE GAS* (NCG) YANG TINGGI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI *HOUSE LOAD* PADA POMPA KONDENSAT DI PLTP”

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di: Semarang
Pada Tanggal, 26 Juni 2023
Yang menyatakan



Revki Romadhon
30000421420036

w

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warohmaturohi wabbarokatu. Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, rejeki dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyesuaikan Tesis tesis yang berjudul “ **ANALISA TERMODINAMIKA DAN EKONOMI PADA SUMUR PANAS BUMI DENGAN KANDUNGAN NON-CONDENSABLE GAS (NCG) YANG TINGGI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI HOUSE LOAD PADA POMPA KONDENSAT DI PLTP**”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Master Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan Proposal Tesis ini yaitu kepada:

1. Dr. RB Sularto, S.H., M.Hum selaku Dekan Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng selaku Ketua Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang
3. Dr. Udi Harmoko S.Si., M.Si selaku Pembimbing I atas segala waktu, bimbingan, dan arahan selama penyusunan laporan tesis ini.
4. Ir. Sulistyio M.T., Ph.D selaku Pembimbing II atas segala waktu, bimbingan, dan arahan selama penyusunan laporan tesis ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan ilmunya.
6. Rekan - rekan Magister Energi yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Laporan Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan Laporan Tesis ini kearah yang lebih baik. Semoga segala yang tertuang dalam Laporan Tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua baik sekarang maupun dimasa akan datang. Mudah-mudahan usaha penyusunan Laporan Tesis ini memperoleh berkat dan kasih karunia dari Tuhan.

Semarang, 26 Juni 2023

Revki Romadhon

DAFTAR ISI

JUDUL TESIS	i
PERSETUJUAN UJIAN TESIS	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS..	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I	Error! Bookmark not defined.
PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Perumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.4 Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5 Orisinalitas Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB II.....	Error! Bookmark not defined.
TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	Error! Bookmark not defined.
2.2 Kandungan <i>Non-Condensable Gas</i> (NCG) di Panas Bumi.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Pompa Centrifugal	Error! Bookmark not defined.
2.4 Turbin Uap	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Turbin Uap <i>Back-Pressure</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 <i>Turbine Condensing Type</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5 Perangkat Lunak Aspen Hysis	Error! Bookmark not defined.

2.6	Persamaan Termodinamika.....	Error! Bookmark not defined.
2.7	Analisa Investasi Ekonomi.....	Error! Bookmark not defined.
2.7.1	<i>Net Present Value (NPV)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.2	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.3	<i>Payback Period</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III.....		Error! Bookmark not defined.
METODE PENELITIAN.....		Error! Bookmark not defined.
3.1	Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Jenis Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Kerangka Pikir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4	Ruang Lingkup Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.5	Jenis dan Sumber Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.6	Teknik Pengumpulan Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.7	Teknik Analisa Data.....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV		Error! Bookmark not defined.
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		Error! Bookmark not defined.
4.1	Data Sumur Produksi	Error! Bookmark not defined.
4.2	Turbin Uap <i>Back-Pressure</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3	Data Pompa Kondensat.....	Error! Bookmark not defined.
4.4	Analisis Termodinamika	Error! Bookmark not defined.
4.4.1	Pompa	Error! Bookmark not defined.
4.4.2	Turbin uap.....	Error! Bookmark not defined.
4.5	Simulasi Perangkat Lunak.....	Error! Bookmark not defined.
4.6	Ekonomikal Analisis	Error! Bookmark not defined.
BAB V.....		Error! Bookmark not defined.
KESIMPULAN DAN SARAN.....		Error! Bookmark not defined.
5.1	Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA		Error! Bookmark not defined.
Lampiran 1		Error! Bookmark not defined.
Lampiran 2		Error! Bookmark not defined.
Lampiran 3		Error! Bookmark not defined.

Lampiran 4	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 5	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 6	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 7	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1 Total Kapasitas Pembangkit Listrik Terpasang per Tahun **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2 Skematik diagram single flash system ..**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3 T-S Diagram PLTP jenis fluida dua fasa **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4 Skema kerja Pompa.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 5 Klasifikasi jenis pompa**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 6 Komponen pompa sentrifugal**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 7 Komponen turbin uap.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 8 Skema diagram turbin uap back-pressure **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 9 Skema diagram turbin uap condensing **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 10 Tampilan awal pada Hysis**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 11 Kerangka pikir penelitian**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 12 Skematik diagram sistem turbin uap back-pressure penggerak pompa
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 13 Skematik potensi energi**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 14 Skema turbin dan pompa.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 15 Kurva uji pompa kondensat.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 16 *Process flow diagram* pada perangkat lunak Aspen Hysis **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

- Tabel 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3 Data sumur produksi per tahun**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4 Kandungan NCG dalam uap pada sumur produksi. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5 Data uji performa pompa kondensat**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 6 Perhitungan daya pompa kondensat.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 7 Hasil perhitungan termodinamika pada turbin..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 8 Hasil analisa perangkat lunak**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 9 Data input ekonomikal analisis**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 10 Hasil perhitungan ekonomikal analisis ...**Error! Bookmark not defined.**

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1.	NCG	:	Non Condensable Gas
2.	%Wt	:	Persen Weight (berat)
3.	PLTP	:	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
4.	kg/s	:	Kilogram per second
5.	kW	:	Kilowatt
6.	kWh	:	Kilowatt hour
7.	MW	:	Megawatt
8.	GW	:	Gigawatt
9.	kJ/kg	:	KiloJoule per Kilogram
10.	GRS	:	Gas Removal System
11.	Kg/m ³	:	Kilogram per meter kubik
12.	KJ/kg	:	Kilo Joule per kilogram
13.	m ³ /hr	:	Meter kubik per hour
14.	TDH	:	Total Differential Head
15.	NH ₃	:	Ammonia
16.	H ₂ S	:	Hydrogen Sulfida
17.	SO ₂	:	Sulphure dioksida
18.	NO ₂	:	Nitrogen Oksida
19.	CO ₂	:	Karbon dioksida
20.	PFD	:	Process Flow Diagram
21.	FCV	:	Flow Control Valve
22.	NPV	:	Net Present Value
23.	IRR	:	Internal Rate of Return

INTISARI

Non Condensable Gas (NCG) merupakan gas yang tidak dapat dikondensasikan. Dalam pembangkit panas bumi, semakin besar jumlah kandungan NCG akan berpengaruh terhadap kinerja pembangkit secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, terdapat salah satu sumur produksi di PLTP yang memiliki kandungan NCG tinggi yaitu 6-8 wt% sehingga uap dari sumur produksi tersebut saat ini tidak bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Penulis melakukan penelitian terkait potensi energi yang masih dimiliki oleh sumur produksi dengan kandungan NCG yang tinggi. Sejumlah potensi energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengurangi beban houseload di PLTP. Salah satu beban houseload yang dapat dikurangi adalah pompa kondensat karena lokasinya yang dekat dengan sumur produksi tersebut. Pada kondisi saat ini, pompa kondensat digerakkan oleh motor listrik yang mengambil daya dari houseload. Houseload adalah sejumlah daya listrik yang diambil dari hasil produksi listrik pada PLTP. Penulis melakukan penelitian untuk mengganti motor listrik tersebut dengan turbin back-pressure yang digerakkan oleh uap dari sumur produksi dengan kandungan NCG tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi pada sumur produksi dengan NCG tinggi, menganalisa secara termodinamika pada sumur panas bumi yang memiliki NCG tinggi untuk mengurangi houseload pada pompa kondensat dan menganalisa dari sisi ekonomikal. Metodologi penelitian adalah mengumpulkan data aktual dari sumur panas bumi dan pompa kondensat di PLTP. Analisis data akan difokuskan pada kajian termodinamika dan pemodelan proses menggunakan software Hysis sebagai validasi. Hasil studi menunjukkan bahwa sumur panas bumi dengan NCG tinggi masih berpotensi menghasilkan energi sebesar 929 kW. Laju aliran uap total yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa kondensat pada kondisi maksimum adalah sekitar 0,66 kg/s, dan laju aliran uap aktual dari sumur NCG tinggi adalah sekitar 4,53 kg/s. Ini menunjukkan bahwa sumur panas bumi NCG yang tinggi memiliki lebih banyak uap untuk menggerakkan pompa kondensat dengan tekanan balik turbin uap. Dari analisa ekonomi, Net Present Value (NPV) dari investasi ini adalah \$270.284 dengan IRR 40.732% dan Payback Period 2.28 tahun. Dari sisi ekonomi, investasi ini sangat menguntungkan dan dapat diterapkan.

Kata kunci: Panas bumi, Non-Condensable Gas (NCG), turbin uap back-pressure, pompa kondensat, termodinamika

ABSTRACT

Non-Condensable Gas (NCG) is a gas that cannot be condensed. In geothermal power plants, the greater the amount of NCG content will affect the overall plant performance. In this study, one of the production wells at the PLTP has a high NCG content of 6-8 wt%, so the steam from the production well currently cannot be used to produce electricity. The author conducted research related to the potential energy of production wells with high NCG content. A number of these energy potentials can be utilized to reduce the household load at PLTP. One of the household loads that can be reduced is the condensate pump due to its location close to the production well. In existing conditions, the condensate pump is driven by an electric motor that takes power from the household. Household is the amount of electric power taken from the electricity production at the PLTP. The author conducted a study to replace the electric motor with a back-pressure turbine driven by steam. This study aims to analyze the energy potential of production wells with high NCG, analyze thermodynamically geothermal wells that have high NCG to reduce household load on condensate pumps and analyze it from an economic perspective. The research methodology is to collect actual data from geothermal wells and condensate pumps at PLTP. Data analysis will be focused on thermodynamic studies and process modeling using Hysis software as validation. The study results show that geothermal wells with high NCG still have the potential to produce 929 kW. The total steam flow rate required to drive the condensate pump at maximum conditions is about 0.66 kg/s, and the actual steam flow rate from a high NCG well is about 4.53 kg/s. This shows that the high NCG geothermal well has more steam to drive the condensate pump with the back pressure of the steam turbine. From economic analysis, the Net Present Value (NPV) of this investment is \$270,284 with an IRR of 40,732% and a Payback Period of 2.28 years. From an economic analysis, this investment is very profitable and can be implemented.

Keywords: Geothermal, Non-Condensable Gas (NCG), back-pressure steam turbine, condensate