

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SIKLUS RANKINE
ORGANIK TERINTERGERASI UNTUK PEMULIHAN PANAS
LIMBAH DARI SISTEM AC**

Tesis

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



Disusun Oleh :

PRADIPTA AHLURIZA

30000420420035

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI SEKOLAH
PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2023

PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini. Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Pradipta Ahluriza
NIM : 30000420420035
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : Analisis Energi dan Exergi Pada Siklus Rankine Organik
Terintegrasi Untuk Pemulihan Panas Limbah Dari
Sistem AC

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal dan Ujian Seminar

Hasil sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

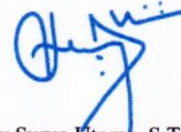
Semarang, 12 Juni 2023

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Dipl. Ing. Berkah Fajar T.K
NIP. 195907221987031003

Pembimbing Kedua



M.S.K Tony Suryo Utomo, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197104211999031003

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, 12 Juni 2023



Pradipta Ahluriza
NIM. 30000420420035

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PADA SIKLUS RANKINE
ORGANIK TERINTEGRASI UNTUK PEMULIHAN PANAS LIMBAH
DARI SISTEM AC**

Disusun Oleh :
PRADIPTA AHLURIZA
30000420420035

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 14 Agustus 2023**

Pembimbing Pertama

Prof. Dr. Dipl. Ing. Berkah Fajar T.K
NIP. 195907221987031003

Tim Penguji,

Penguji Pertama

Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.
NIP. 197206091998031001

Pembimbing Kedua

M.S.K. Tony Survo Utomo, S.T.M.T., Ph.D
NIP. 197104211999031003

Penguji Kedua

Dr. Muchammad, S.T., M.T
NIP. 197303051997021001

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar**

Magister Energi

Tanggal 14 Agustus 2023

Ketua Program Studi Magister Energi

Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng
NIP. 196405261989031001

Dekan Sekolah Pascasarjana



Dr. RB. Sularto, 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 : Pradipta Ahluriza
NIM : 30000420420035
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:

“Analisis Energi Dan Eksergi Siklus Rankine Organik Terintegerasi Untuk Pembulihan Panas Limbah Dari Sistem AC.”

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, 12 Juni 2023

Yang menyatakan



Pradipta Ahluriza
30000420420035

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas hidayah dan karunia-Nya proposal tesis ini dapat diselesaikan. Shalawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabatnya, dan semoga sampai kepada kita sebagai umatnya. Proposal tesis ini berjudul Analisis Energi Dan Eksergi Pada Siklus *Organic Rankine Cycle* (ORC) Terintegrasi Untuk Pemulihan Panas Limbah Dari Sistem AC. Proposal tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro Semarang.

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

1. Prof. Dr. Dipl.Ing. Ir. Berkah Fajar T.K selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing peneliti mengerjakan proposal tesis.
2. M.S.K Tony Suryo Utomo, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing peneliti mengerjakan proposal ini.
3. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
4. Dr. R.B Sularto, S.H, M.Hum, selaku Dekan Pasca sarjana, Universitas Diponegoro Semarang.
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran
6. Ayahanda dan ibunda yang selalu memberikan dukungan moril dan materil.
7. Teman – teman Magister Energi yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada peneliti.
8. Pak Hendar Wirawan sebagai sesama teman Magister Energi yang selalu memberikan *support* kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
9. Bilqis Ar-Rohman yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.

Akhir kata peneliti memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan proposal ini kearah yang lebih baik. Mudah-mudahan usaha penyusunan tesis ini memperoleh ridha dari Allah SWT. Amin.

Semarang, 12 Juni 2023

Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Persetujuan Ujian Tesis.....	ii
Pernyataan Orisinilitas	iii
Halaman Pengesahan	iv
Pernyataan Persetujuan Publikasi Tesis Untuk Kepentingan Akademis	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Lampiran.....	xix
Arti Lambang dan Singkatan	xx
Abstrak	xxii
<i>Abstract</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Orisinilitas Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Waste Heat Recovery System</i>	7
2.2 <i>Organic Rankine Cycle</i>	15
2.3 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	19
2.4 Kinerja Sistem Refrigerasi.....	22
2.5 Pemodelan Sistem Dan Pemilihan Fluida.....	23
2.6 Pendekatan Berbasis Energi.....	27

2.7	Pendekatan Berbasis Eksergi	28
2.8	Perbedaan Energi Dan Eksergi	32
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1	Lokasi Penelitian.....	33
3.2	Jenis Penelitian	33
3.3	Kerangka Pikir Penelitian	33
3.4	Ruang Lingkup Penelitian	35
3.5	Jenis Dan Sumber Data.....	35
3.6	Teknik Pengumpulan Data.....	35
3.7	Teknik Analisa Data	36
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Diagram P-h Pada Refrigeran Sistem AC.....	45
4.2	Diagram T-s Pasangan Refrigeran Pada Sistem AC-ORC	51
4.3	Diagram P-h Refrigeran Pada Sistem ORC.....	87
4.4	Efek Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Performa Sistem	92
4.5	Efek Suhu Kondensor AC Terhadap Performa Sistem.....	105
4.6	Efek Suhu Kondensor ORC Terhadap Performa Sistem.....	114
4.7	Analisis Exergi.....	124
BAB V	KESIMPULAN.....	143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	144
DAFTAR PUSTAKA.....		152
Lampiran A.....		152
Lampiran B		157
Lampiran C		158
Lampiran D.....		161

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Orisinilitas Penelitian	5
Tabel 3.1	Parameter Sistem AC-ORC.....	37
Tabel 4.1	Analisis Kinerja Sistem Gabungan AC-ORC Terintegrasi	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Desain Recuperator Radiasi Logam	12
Gambar 2.2	Recuperator Konvektif.....	13
Gambar 2.3	Recuperator Gabungan Radiasi/Konveksi	13
Gambar 2.4	Skema ORC	18
Gambar 2.5	Jenis Siklus ORC	19
Gambar 2.6	Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana.....	20
Gambar 2.7	Diagram P-h Untuk Siklus Kompresi Uap Sederhana.....	20
Gambar 2.8	Skema AC-ORC Waste Heat Recovery System.....	23
Gambar 3.1	Training Center Universitas Diponegoro.....	34
Gambar 3.2	Kerangka Pikir Penelitian	35
Gambar 3.3	Skematik Sistem AC-ORC	37
Gambar 3.4	Diagram P-h (R134a).....	39
Gambar 3.5	Diagram T-s Sistem AC.....	39
Gambar 3.6	Diagram T-s Sistem ORC	40
Gambar 3.7	<i>Flowchart</i> Simulasi EES Sistem Terintegrasi AC-ORC.....	41
Gambar 4.1	Diagram P-h R600a	45
Gambar 4.2	Diagram P-h R22	46
Gambar 4.3	Diagram P-h R134a	46
Gambar 4.4	Diagram P-h R290	47
Gambar 4.5	Diagram P-h R407C.....	48
Gambar 4.6	Diagram P-h R410A	49
Gambar 4.7	Diagram P-h Pada Siklus Kompresi Uap Standar	50
Gambar 4.8	Diagram T-s R22-R600 dengan PPTD	51
Gambar 4.9	Diagram T-s R22-R123 dengan PPTD	52
Gambar 4.10	Diagram T-s R22-R141b dengan PPTD	53
Gambar 4.11	Diagram T-s R22-R227ea dengan PPTD	54
Gambar 4.12	Diagram T-s R22-R245fa dengan PPTD	55
Gambar 4.13	Diagram T-s R22-R1233zd(E) dengan PPTD	56
Gambar 4.14	Diagram T-s R290-R600 dengan PPTD	57
Gambar 4.15	Diagram T-s R290-R123 dengan PPTD	58
Gambar 4.16	Diagram T-s R290-R141b dengan PPTD	59
Gambar 4.17	Diagram T-s R290-R227ea dengan PPTD	60
Gambar 4.18	Diagram T-s R290-R245fa dengan PPTD	61
Gambar 4.19	Diagram T-s R290-R1233zd(E) dengan PPTD	62
Gambar 4.20	Diagram T-s R134a-R600 dengan PPTD	63
Gambar 4.21	Diagram T-s R134a-R123 dengan PPTD	64
Gambar 4.22	Diagram T-s R134a-R141b dengan PPTD	65
Gambar 4.23	Diagram T-s R134a-R227ea dengan PPTD	66
Gambar 4.24	Diagram T-s R134a-R245fa dengan PPTD	67
Gambar 4.25	Diagram T-s R134a-R1233zd(E) dengan PPTD	68
Gambar 4.26	Diagram T-s R407C-R600 dengan PPTD	69
Gambar 4.27	Diagram T-s R407C-R123 dengan PPTD	70
Gambar 4.28	Diagram T-s R407C-R141b dengan PPTD	71

Gambar 4.29	Diagram T-s R407C-R227ea dengan PPTD	72
Gambar 4.30	Diagram T-s R407C-R245fa dengan PPTD	72
Gambar 4.31	Diagram T-s R407C-R1233zd(E) dengan PPTD	73
Gambar 4.32	Diagram T-s R600a-R600 dengan PPTD	74
Gambar 4.33	Diagram T-s R600a-R123 dengan PPTD	75
Gambar 4.34	Diagram T-s R600a-R141b dengan PPTD	76
Gambar 4.35	Diagram T-s R600a-R227ea dengan PPTD	77
Gambar 4.36	Diagram T-s R600a-R245fa dengan PPTD	78
Gambar 4.37	Diagram T-s R600a-R1233zd(E) dengan PPTD	79
Gambar 4.38	Diagram T-s R410A-R600 dengan PPTD	80
Gambar 4.39	Diagram T-s R410A-R123 dengan PPTD	81
Gambar 4.40	Diagram T-s R410A-R141b dengan PPTD	82
Gambar 4.41	Diagram T-s R410A-R227ea dengan PPTD	83
Gambar 4.42	Diagram T-s R410A-R245fa dengan PPTD	84
Gambar 4.43	Diagram T-s R410A-R1233zd(E) dengan PPTD	85
Gambar 4.44	Diagram T-s Untuk Tiga Jenis Refrigeran Yang Berbeda.....	86
Gambar 4.45	Diagram P-h R600	87
Gambar 4.46	Diagram P-h R123	88
Gambar 4.47	Diagram P-h R141b	88
Gambar 4.48	Diagram P-h R227ea.....	89
Gambar 4.49	Diagram P-h R245fa	89
Gambar 4.50	Diagram P-h R1233zd(E)	90
Gambar 4.51	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP AC Untuk Setiap Refrigeran AC.....	92
Gambar 4.52	Efek Suhu Evaporator dan Suhu Kondensor Terhadap COP	93
Gambar 4.53	Siklus Refrigerasi Pada Diagram T-s.....	94
Gambar 4.54	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	95
Gambar 4.55	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	95
Gambar 4.56	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC.....	96
Gambar 4.57	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC.....	96
Gambar 4.58	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC.....	97
Gambar 4.59	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC.....	97
Gambar 4.60	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	98
Gambar 4.61	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	99
Gambar 4.62	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC.....	99
Gambar 4.63	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC.....	100

Gambar 4.63	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC.....	100
Gambar 4.64	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC.....	101
Gambar 4.65	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Termal Untuk Setiap Refrigeran ORC	103
Gambar 4.66	Variasi COP Kombinasi, Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Termal Terhadap Suhu <i>Chilled Water</i>	104
Gambar 4.67	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP AC Untuk Setiap Refrigeran AC.....	105
Gambar 4.68	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC.....	106
Gambar 4.69	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	106
Gambar 4.70	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC	107
Gambar 4.71	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC	107
Gambar 4.72	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC	108
Gambar 4.73	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC.....	108
Gambar 4.74	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	109
Gambar 4.75	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	110
Gambar 4.76	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC.....	110
Gambar 4.77	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC.....	111
Gambar 4.78	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC.....	111
Gambar 4.79	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC.....	112
Gambar 4.80	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Termal Untuk Setiap Refrigeran ORC.....	113
Gambar 4.81	Variasi COP AC, COP Kombinasi, Kerja Turbin, dan Efisiensi Termal Terhadap Suhu Kondensor AC	113
Gambar 4.82	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP AC Untuk Setiap Refrigeran AC.....	114
Gambar 4.83	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC.....	115
Gambar 4.84	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC.....	115
Gambar 4.85	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC	116

Gambar 4.86	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC116
Gambar 4.87	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC117
Gambar 4.88	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap COP Kombinasi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC117
Gambar 4.89	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC118
Gambar 4.90	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC119
Gambar 4.91	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC119
Gambar 4.92	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC120
Gambar 4.93	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC120
Gambar 4.94	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Daya Turbin Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC121
Gambar 4.95	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Termal Untuk Setiap Refrigeran ORC122
Gambar 4.96	Variasi COP AC, COP Kombinasi, Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Termal Terhadap Suhu Kondensor ORC Pada Pasangan Fluida R600a-R141b123
Gambar 4.97	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC124
Gambar 4.98	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC124
Gambar 4.99	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC124
Gambar 4.100	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC125
Gambar 4.101	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC125
Gambar 4.102	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC125
Gambar 4.103	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC127
Gambar 4.104	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC127
Gambar 4.105	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC127
Gambar 4.106	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC128
Gambar 4.107	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC128

Gambar 4.108	Grafik Perubahan Suhu <i>Chilled Water</i> Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC.....	128
Gambar 4.109	Variasi Efisiensi Exergy dan Kerusakan Exergy Sistem Terhadap Suhu <i>Chilled Water</i> Pada Pasangan Fluida R600a-R141b	129
Gambar 4.110	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	130
Gambar 4.111	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	130
Gambar 4.112	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC	131
Gambar 4.113	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC	131
Gambar 4.114	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC	131
Gambar 4.115	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC	132
Gambar 4.116	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	133
Gambar 4.117	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	133
Gambar 4.118	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC	133
Gambar 4.119	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC	134
Gambar 4.120	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC	134
Gambar 4.121	Grafik Perubahan Suhu Kondensor AC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC	134
Gambar 4.122	Variasi Efisiensi Exergy dan Kerusakan Exergy Sistem Terhadap Suhu Kondensor AC Pada Pasangan Fluida R600a-R141b.....	135
Gambar 4.123	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	136
Gambar 4.124	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	136
Gambar 4.125	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC	137
Gambar 4.126	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC	137
Gambar 4.127	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC	137
Gambar 4.128	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Kerusakan Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC	138
Gambar 4.129	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R22 Pada Sistem AC	138
Gambar 4.130	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R290 Pada Sistem AC	139

Gambar 4.131	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R134a Pada Sistem AC139
Gambar 4.132	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R407C Pada Sistem AC139
Gambar 4.133	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R600a Pada Sistem AC140
Gambar 4.134	Grafik Perubahan Suhu Kondensor ORC Terhadap Efisiensi Eksergi Untuk Refrigeran R410A Pada Sistem AC140
Gambar 4.135	Variasi Efisiensi Exergy dan Kerusakan Exergy Sistem Terhadap Suhu Kondensor ORC Pada Pasangan Fluida R600a-R141b..141

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Program <i>Software Engineering Equation Solver</i>	152
Lampiran B Simulasi Sistem AC-ORC.....	157
Lampiran C Program <i>Software EES</i> Sistem AC	158
Lampiran D Program <i>Software EES</i> Sistem ORC	161

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

AC	: <i>Air Conditioning</i>
ASHRAE	: <i>American Society of Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>
COP	: <i>Coefficient of Performance</i>
EES	: <i>Engineering Equation Solver</i>
GWP	: <i>Global Warming Potential</i>
HCFC	: <i>Hydrochlorofluorocarbon</i>
HFC	: <i>Hydrofluorocarbon</i>
IHX	: <i>Internal Heat Exchanger</i>
ODP	: <i>Ozone Depletion Potential</i>
ORC	: <i>Organic Rankine Cycle</i>
VCRS	: <i>Vapor Compression Refrigeration System</i>
P	: <i>Pressure</i>
Ex	: <i>Exergy</i>
h	: <i>Entalpi</i>
m	: <i>Mass Flow Rate</i>
Q	: <i>Kalor</i>
s	: <i>Entropi</i>
T	: <i>Temperature</i>
W	: <i>Work</i>
η	: <i>Efisiensi</i>
E	: <i>Energi Total</i>
U	: <i>Koefisien Perpindahan Panas</i>
A	: <i>Luas Permukaan</i>
T _C	: <i>Temperatur Dingin</i>
T _H	: <i>Temperatur Panas</i>
T ₀	: <i>Temperatur Kondisi Dead State</i>
\dot{W}_{Comp}	: <i>Kerja Kompresi</i>
\dot{Q}_{Cond}	: <i>Kalor yang dilepas Kondensor</i>
\dot{Q}_{Evap}	: <i>Kapasitas Pendinginan</i>

T_{Evap}	: Suhu di Evaporator
T_{Cond}	: Suhu di Kondensor
η_{ref}	: Efisiensi Sistem Refrigerasi
\diamond_{Reco}	: Kalor yang di <i>Recovery</i> oleh Sistem ORC
$\diamond\diamond_{\text{Turb}}$: Daya yang dihasilkan Turbin
$\diamond\diamond_{\text{Net}}$: Listrik bersih yang dihasilkan
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Comp}}$: Kerusakan Eksergi di Kompresor
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Cond}}$: Kerusakan Eksergi di Kondensor AC
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Exp}}$: Kerusakan Eksergi di Katup Eksepanasi
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Evap}}$: Kerusakan Eksergi di Evaporator
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Pump}}$: Kerusakan Eksergi di Pompa
$\diamond\diamond\diamond_{\text{HE}}$: Kerusakan Eksergi di <i>Heat Exchanger</i>
$\diamond\diamond\diamond_{\text{Turb}}$: Kerusakan Eksergi di Turbin
$\diamond\diamond\diamond_{\text{ORC,Cond}}$: Kerusakan Eksergi di Kondensor ORC
η_{thermal}	: Efisiensi Termal
$\eta_{\text{ex,AC}}$: Efisiensi Eksergi Pada Sistem AC
$\eta_{\text{ex,ORC}}$: Efisiensi Eksergi Pada Sistem ORC
$\eta_{\text{ex,Net}}$: Efisiensi Eksergi Keseluruhan Sistem AC-ORC

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis energi dan eksergi dari sistem gabungan AC dan ORC menggunakan berbagai jenis refrigeran. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh isu lingkungan terkait kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh limbah panas dari sistem AC.

Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi menggunakan perangkat lunak EES (Engineering Equation Program). Parameter sistem AC divariasikan untuk 36 kombinasi refrigeran AC-ORC dengan tujuan menghitung kinerja sistem AC-ORC menggunakan pendekatan energi dan eksergi. Data yang dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif dengan membandingkan performa subsistem AC dan ORC dengan refrigeran yang berbeda.

Hasil analisis termodinamika menunjukkan bahwa pasangan fluida R600a-R141b dipilih untuk siklus Rankine organik dan integrasi AC. Koefisien kinerja kombinasi (COP Kombinasi) dari sistem terintegrasi berdasarkan suhu *chilled water* meningkat dari 3,329 menjadi 4,728. Sistem siklus Rankine organik mampu menghasilkan daya turbin sebesar 1,531 kW dengan efisiensi termal sebesar 3,068%. Sistem gabungan AC-ORC terintegrasi beroperasi dengan efisiensi eksergi sebesar 30,34%.

ABSTRACT

This study aims to analyze the energy and exergy of a combined AC and ORC system using various types of refrigerants. This research was motivated by the problem where heat waste from the AC system is one of the causes of environmental damage caused by waste heat from the AC system.

The research method used is simulation using EES (Engineering Equation Program) software. AC system parameters were varied for 36 AC-ORC refrigerant combinations with the aim of calculating the performance of the AC-ORC system using energy and exergy approaches. The data were analyzed using a quantitative approach by comparing the performance of AC and ORC subsystems with different refrigerants.

The results of thermodynamic analysis showed that the fluid pair R600a-R141b was selected for the organic Rankine cycle and AC integration. The combined performance coefficient (COP Combination) of the integrated system based on chilled water temperature increased from 3.329 to 4.728. The organic Rankine cycle system is capable of producing turbine power of 1.531 kW with a thermal efficiency of 3.068%. The combined integrated AC-ORC system operates with an exergetic efficiency of 30,34%.