

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM *ORGANIC RANKINE CYCLE* (ORC) DENGAN FLUIDA KERJA R-134a

Clinton Naibaho<sup>1</sup>, Awaludin Martin<sup>2</sup>

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

<sup>1</sup>clinton22naibaho@gmail.com, <sup>2</sup>awaludinmartin01@gmail.com

## ABSTRACT

*Organic Rankine Cycle* is a modified power generation system from Rankine Cycle that uses organic working fluid. In this study the working fluid used is R-134a. The ORC system has four main components, namely the evaporator, turbine, condenser and pump. Flate Plate Collector as a component that converts solar energy into heat energy, in this study used a compressor AC type scroll as a turbine. The overall component scheme and system measurement instrumentation have been made in the form of piping instrumentation diagrams. The initial data determined for the design and calculation of the ORC system analysis is the evaporator temperature 90°C, the temperature of the condenser is 10°C, the fluid entering the pump is runny with a pressure of 5 bar inlet and entering the turbine under a saturated steam pressure of 12.5 bar, resulting in an efficiency of 6.65%. For the design of Solar Collector the water intake temperature is 50°C and exits 95°C, so that the evaporator tube length is produced 14.53 m, 13.89 m condenser and 9.44 m Solar Collector. Solar Collector produce a temperature of 52°C then turn on the ORC system by adjusting the evaporator and condenser temperature by 95°C, and 10°C, the inlet pressure of the 5 bar pump and 5.2 bar turbine, resulting in a system efficiency of 4,29 %.

**Keywords :** *Organic Rankine Cycle, Evaporator, condenser, R134a, Design*

## 1. Pendahuluan

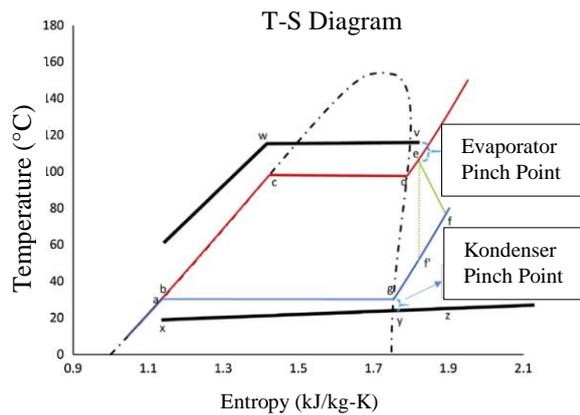
Energi mempunyai peranan sangat penting dalam kehidupan manusia. Energi merupakan pendukung utama bagi kegiatan ekonomi nasional dan dipakai sebagai alat untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan.

Permintaan energi diseluruh dunia semakin meningkat secara bertahap sebagai akibat dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, kebangkitan negara-negara industri baru seperti Cina dan India, dan peningkatan populasi dunia. Kebanyakan energi dunia pada abad yang lalu disediakan oleh bahan bakar fosil karena murah dan nyaman digunakan namun memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan seperti pemanasan global dan hujan asam [1].

Pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbaharui seperti energi angin, biomassa, panas surya, geothermal dan panas buang merupakan cara untuk mengatasi permasalahan diatas. [2], Sumber daya energi surya merupakan sumber daya yang ketersediaannya paling universal. Dengan penerapan teknologi, energi surya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi dalam bentuk listrik atau energi termal (panas). Potensi sumber energi matahari di Indonesia rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga tergolong kaya sumber energi matahari [3].

Ada dua metode komersial untuk menghasilkan tenaga dari energi surya: (1) sistem solar photovoltaic (PV) di mana penyinaran matahari secara langsung dikonversi menjadi listrik dan (2) sistem panas matahari di mana energi matahari ditangkap dan langsung digunakan dalam pemanasan aplikasi atau panas diubah menjadi kerja mekanis melalui salah satu siklus daya yang umum yang digunakan yaitu salah satunya adalah *Organic Rankine Cycle* (ORC) [4].

*Organic Rankine Cycle* (ORC) adalah salah satu sistem pembangkit listrik yang merupakan modifikasi dari *Rankine Cycle* (gambar 1) dimana fluida kerja yang digunakan adalah fluida kerja organik (refrigerant dan Hidrokarbon) [5]. *Organic Rankine Cycle* (ORC) memiliki empat komponen utama yaitu evaporator, turbin, kondensor, dan pompa. Fluida kerja dipompa menuju evaporator untuk dipanaskan sehingga membangkitkan uap, uap tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap, hasil putaran turbin akan digunakan untuk memutar generator dan akan menghasilkan sumber listrik, uap hasil ekspansi turbin dikondensasi dan dialirkan oleh pompa kembali ke evaporator [6].



Gambar 1. T-s diagram dari sistem *Organic Rankine Cycle* [7]

Keuntungan utama menggunakan ORC untuk menghasilkan daya-nya adalah ia dapat memanfaatkan energi yang seharusnya terbuang menjadi berguna. Berbagai sumber panas tingkat rendah seperti solar, biomassa, panas limbah mesin, industri buang panas, dan energi panas bumi bisa dimanfaatkan dengan menggunakan ORC. Ini secara signifikan dapat mengurangi polusi termal serta konsumsi fosil bahan bakar [8].

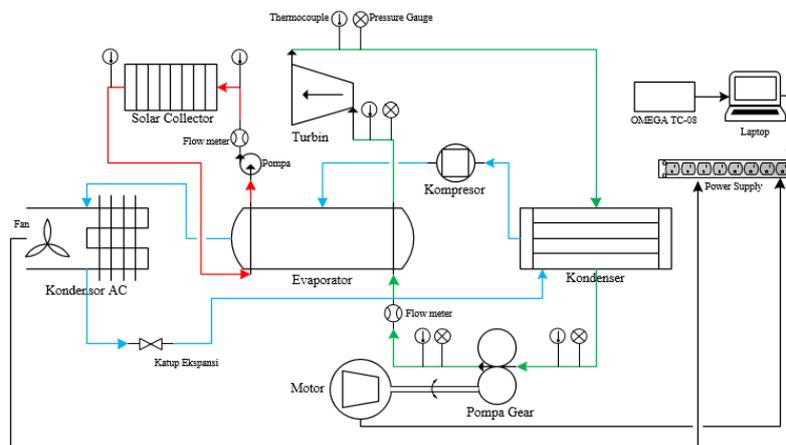
Martin dkk juga melakukan penelitian ORC dimana mereka memanfaatkan panas buang dari PLTU yang digunakan sebagai sumber panas, mereka membangun sistem ORC dengan daya 1 kW dan menghasilkan efisiensi 3,33% [9].

## 2. Metodologi

Proses perancangan, pembuatan evaporator, kondensor dan sistem ORC, serta pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau.

### 2.1 Alur Penelitian

Dalam perancangan ini terdapat skema atau gambaran perancangan sistem ORC yang akan dibuat, skema tersebut juga menjelaskan bagaimana proses kerja pada sistem ORC, seperti pada gambar 2:



Gambar 2. Skema Perancangan Sistem Kerja ORC

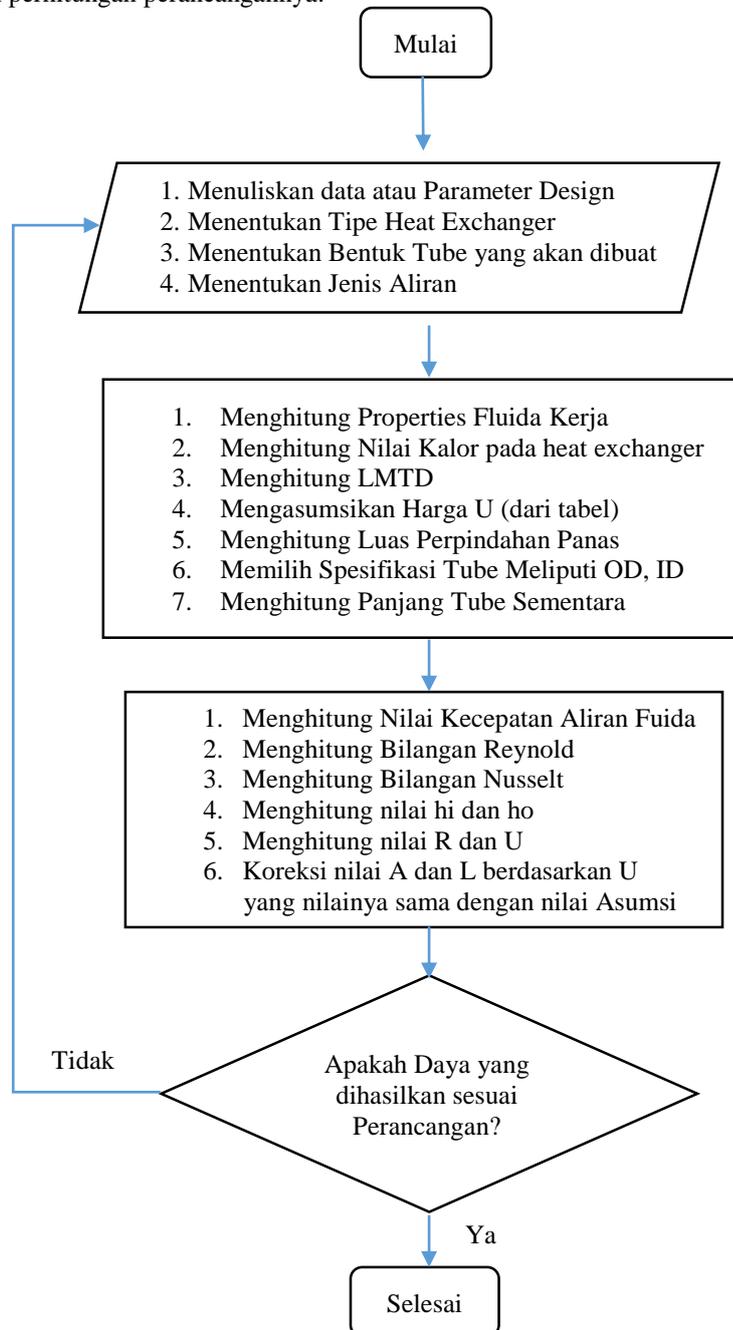
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan dan pembuatan. Metode ini dilakukan untuk perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem orc. Adapun alur penelitian dapat dilihat seperti di bawah ini:

- a) Studi Literatur  
Tahap ini dilakukan dengan mempelajari literatur, jurnal, buku dan referensi lainnya yang berkaitan dengan sistem *Organic Rankine Cycle*.
- b) Identifikasi Masalah  
Pada tahap ini dilakukan penentuan dan pengidentifikasian masalah yang akan diteliti yaitu Perancangan dan Pembuatan Sistem *Organic Rankine Cycle*.
- c) Perancangan menggunakan simulasi di Cycle Tempo  
Setelah mengetahui masalah, maka tahap selanjutnya adalah merancang. Pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan simulasi siklus rankine menggunakan *software Cycle Tempo* untuk menentukan fluida kerja yang tepat untuk digunakan pada penelitian nanti, pemilihan fluida kerja berdasarkan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Selain itu perancangan dilakukan juga untuk mendapatkan kondisi yang pas dan masuk akal untuk pengujian nanti.
- d) Setelah melakukan simulasi pada sistem maka selanjutnya adalah perancangan komponen utama (evaporator, kondensor). Komponen utama ini menggunakan material tembaga dengan ukuran diameter tube masing-masing sama dan tipe *heat exchanger* yang dirancang adalah *shell and tube*.
- e) Pembuatan Alat  
Tahap selanjutnya adalah pembuatan alat sesuai dengan hasil perancangan.
- f) Pengujian Alat  
Tahap terakhir adalah pengujian alat untuk memastikan apakah hasil pengujian sesuai dengan desain yang telah dibuat.

Pada gambar diatas terdiri dari tiga siklus, yaitu siklus *Organic Rankine Cycle* yang ditunjukkan dengan garis berwarna hijau, siklus refrigerasi ditunjukkan dengan garis berwarna biru dan siklus *Solar Collector* ditunjukkan dengan garis berwarna merah. Pada siklus ORC, setiap tahap diberikan

*pressure gauge* dan *thermocouple* yang berguna untuk mengetahui tekanan dan temperatur fluida kerja disaat sistem beroperasi, kecuali pada *solar collector* yang hanya diberikan *thermocouple*, yang bisa dijadikan data untuk analisis nanti. Serta diberikan flowmeter juga untuk mengukur laju aliran massa fluida kerja.

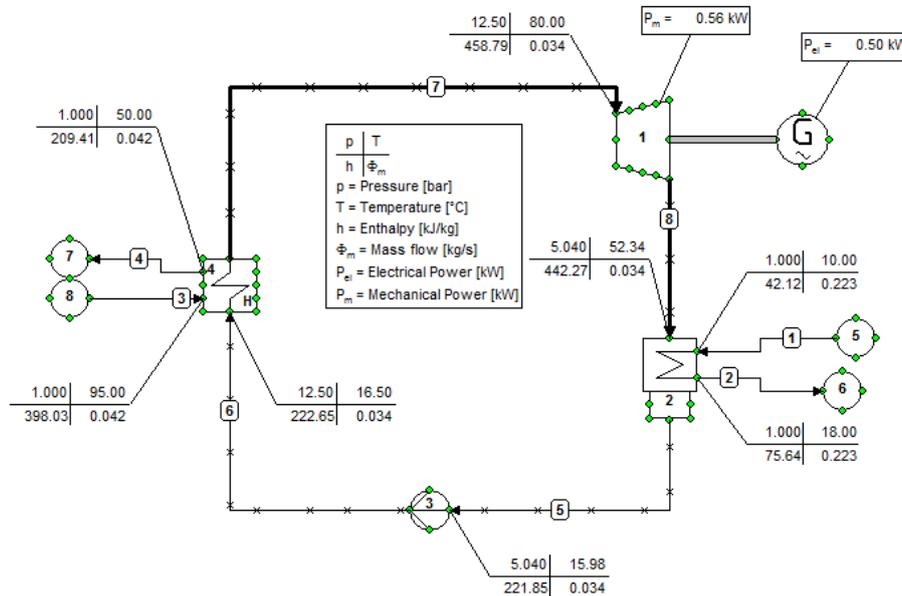
Agar memperjelas bagaimana perancangan evaporator dan kondensor, maka gambar 3 dibawah ini merupakan alur atau tahapan perhitungan perancangannya:



Gambar 3. Diagram Alir Perhitungan

## 2.2 Perancangan Evaporator dan Kondensator

Dasar perancangan menggunakan perangkat lunak cycle tempo 5.0, dimana temperatur pada evaporator dirancang 95°C dan kondensator 10°C, karena semakin tinggi temperatur evaporasi semakin tinggi efisiensi [10].



Gambar 4. Hasil Perancangan Menggunakan Cycle Tempo

Hasil Perancangan menggunakan cycle tempo (gambar 4) dengan parameter perancangan sebagai berikut :

Daya Generator : 560 W  
 Fluida : R-134a  
 Do tube : 3/8" = 0,009525 m

Di tube : 0,296" = 0,007525 m  
 U : 300 W/m<sup>2</sup>.°C  
 Rf,i : 0,0002 m<sup>2</sup>.°C /W  
 Rf,o : 0,0004 m<sup>2</sup>.°C /W  
 k tembaga : 385 W/m.°C

Jenis aliran Counter Flow – Shell and Tube  
 Heat Exchanger – Helical Tube

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk perancangan evaporator dan kondensator menggunakan data yang berasal dari cycle tempo tersebut, berikut ini alur perhitungan perancangan penukar kalor [11]:

a. Mencari nilai Qh dan Qc pada evaporator dan kondensator

$$Q_h = Q_c = m \cdot \Delta h \quad (1)$$

b. Mencari  $\Delta T_{lm}$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2)$$

c. Mencari Surface Area (As)

$$Q_c = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm} \quad (3)$$

$$A_s = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (4)$$

d. Mencari Panjang Tube (L) sementara

$$L = \frac{A_s}{\pi \cdot D_o} \quad (5)$$

e. Mencari nilai  $\rho_{mix}$ ,  $k_{mix}$ ,  $\mu_{mix}$ ,  $Pr$  pada refrigerant R-134a

Karena pada saat proses evaporasi, fluida yang mengalir berubah fase sehingga tidak sepenuhnya fluida tersebut dalam kondisi cair atau uap maka dicarilah nilai-nilai tersebut untuk keadaan/kondisi campuran, yaitu dengan cara:

$$\rho_{mix} = \frac{\rho_{Dalam\ Fase\ Liquid} + \rho_{Dalam\ Fase\ Gas}}{2} \quad (6)$$

Untuk nilai konduktivitas termal, Prandtl number, dan viskositas dynamic menggunakan cara yang sama seperti persamaan diatas, nilainya diperoleh dengan menggunakan REFROP dan metode interpolasi,

f. Mencari nilai  $\rho_f$ ,  $k_f$ ,  $\mu_f$ ,  $Pr$  pada air

$$T_{ave} = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \quad (7)$$

g. Mencari nilai kecepatan aliran fluida

$$V_{air} = \frac{\dot{m}_h}{\rho_f \cdot A} \quad (8)$$

h. Mencari nilai Bilangan Reynold

$$Re, air = \frac{\rho V D_o}{\mu} \quad (9)$$

i. Mencari nilai Bilangan Nusselt

$$Nu_{air} = 0.027 \times Re^{0.805} Pr^{1/3} \quad (10)$$

j. Mencari nilai hi dan ho

$$hi = \frac{k}{Di} Nu \quad (11)$$

k. Mencari nilai R dan U

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (12)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (13)$$

l. Mencari nilai luas total (A) dan panjang total evaporator (L).

$$A_{total} = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (14)$$

$$L_{total} = \frac{A}{\pi D} \quad (15)$$

Setelah melakukan perancangan, selanjutnya adalah mengetahui nilai efisiensi sistem ORC ini. Adapun tahapan perhitungan yang dilakukan adalah:

1. Menghitung Daya Turbin

$$P_t = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4) \quad (16)$$

2. Menghitung Daya Pompa

$$P_p = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad (17)$$

3. Menghitung Kalor Masuk

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \quad (18)$$

4. Menghitung  $W_{net}$

$$W_{met} = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) \quad (19)$$

5. Menghitung Efisiensi

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (20)$$

### 2.3 Proses Pembuatan

Di bawah ini adalah tahap-tahap pembuatan sistem *Organic Rankine Cycle*:

1. Pembuatan Meja
2. Pembuatan Evaporator dan Kondensor
3. Perakitan Sistem ORC
4. Pemasangan Alat Ukur

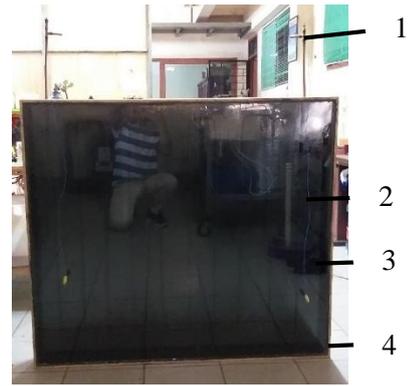


Gambar 5. Hasil Pembuatan Sistem ORC

Keterangan gambar 5: (1) Pompa, (2) Motor, (3) Kondensor, (4) *Temperature Control*, (5) *Pressure Gauge*, (6) Kompresor, (7) *Thermocouple*, (8) Evaporator, (9) *Flowmeter*, (10) Kompresor untuk sistem refrigerasi, (11) Kondensor Pendingin.

Dibawah ini adalah tahap-tahap pembuatan *Solar Collector*:

1. Pembuatan Box *Solar Collector*
2. Pembuatan Tube Serpentine
3. Perakitan seluruh komponen *Solar Collector*
4. Pemasangan Alat Ukur



Gambar 6. Hasil Pembuatan *Solar Collector*

Keterangan Gambar 6: (1) Thermocouple, (2) Kaca, (3) Tube Serpentine, (4) Box Kayu

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil

Setelah sistem ORC dan *Solar Collector* selesai dibuat, maka merakit kedua sistem ini agar dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan dengan menambahkan kaki bagian *Solar Collector* yang dapat dibuka dan dilepas serta selang masukan dan keluaran dari *Solar Collector* ke evaporator. Berikut tampak samping (gambar 7) dan depan (gambar 8) sistem ORC dengan solar collector.



Gambar 7. Rangkaian ORC dan *Solar Collector* Tampak Samping



Gambar 8. Rangkaian ORC dan *Solar Collector* Tampak Depan

Setelah melakukan perhitungan perancangan evaporator, kondensor dan *Solar Collector*, berikut ini hasil rekapitulasi perhitungan perancangan ditampilkan pada tabel 1:

Tabel 1. Rekapitulasi Data Hasil Perancangan Evaporator dan Kondensor

	Evaporator	Kondensor
Panjang Tube	14,53 m	13,89 m
Diameter Helical	250 mm	250 mm
Pitch	5 mm	5 mm
Revolution	19,5	18,5
Tinggi Helical	300 mm	290 mm

### 3.2 Pembahasan

Untuk mengetahui apakah hasil perancangan sistem sama atau mendekati dengan hasil pengujian, maka hasil pengujian akan dibahas disini:

Pada *Solar Collector* temperatur awal air pada evaporator adalah 27 °C kemudian pompa air dinyalakan lalu didiamkan, data diambil dari jam 11:00 WIB – 13:00 WIB, berdasarkan data pengujian temperatur air meningkat dan memiliki temperatur tertinggi yaitu pada 52 °C, setelah itu berlanjut ke pengujian sistem ORC. Sebelum pengujian dilakukan maka semua data temperatur dan tekanan dicatat sebagai berikut:

Th : 95°C adalah temperatur air pada evaporator  
 Tc : 8°C adalah temperatur air pada kondensor  
 P1 : 5,5 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 1 (masuk pompa)  
 P2 : 5 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 2 (keluar pompa)  
 P3 : 6 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 3 (masuk turbin)  
 P4 : 5,5 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 4 (keluar turbin)

Pengujian dan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan per 15 detik selama 10 menit. Kondisi temperatur akhir pada evaporator dan kondensor setelah pengujian adalah Th = 75 °C dan Tc = 14 °C Dan dari semua data yang diperoleh maka pada menit ketiga menunjukkan bahwa efisiensi sistem ORC hasilnya mendekati efisiensi sistem yang di desain. Adapun hasil pengujian pada menit ketiga adalah sebagai berikut:

T1 : 22,54 °C	P1 : 9 bar
T2 : 28,01 °C	P2 : 12 bar
T3 : 67,91 °C	P3 : 15 bar
T4 : 52,54 °C	P4 : 14 bar
m <sub>act</sub> : 2,5 LPM	

Setelah itu dihitung efisiensi dari hasil uji coba dan didapatkan hasil seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Analisis Energi antara waaaaaAPerancangan dan Uji Coba

	Perancangan	Uji Coba
Laju Aliran Massa	0,034 kg/s	0,03514 kg/s
Daya Turbin	0,560 kJ/s	0,5784 kJ/s

Daya Pompa	0,0272 kJ/s	0,27339 kJ/s
Kalor masuk	236,14 kJ/kg	202,06 kJ/kg
W <sub>net</sub>	15,72 kJ/kg	8,68 kJ/kg
Efisiensi Sistem	6,65 %	4,29 %

### 4. Simpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah dirancang dan dibuat sistem *Organic Rankine Cycle* dengan *Solar Collector* daya 560 watt dengan evaporator, kondenser dan *Solar Collector* sebagai heat exchanger, kompresor mobil tipe scroll sebagai expander turbin dan pompa tipe gear sebagai pompa.
2. Evaporator dirancang dengan temperatur inlet air pemanas 95°C dan outlet 50°C sehingga panas yang ditransfer ke fluida kerja R-134a adalah 80°C, setelah pengujian panas tertinggi yang dapat ditransfer adalah 75,57°C. Pada kondensor temperatur inlet air pendingin 10°C dan outlet 18°C sehingga dapat mendinginkan fluida kerja hingga 15,98°C, setelah pengujian kondensor mampu mendinginkan hingga 22,54°C. Dan pada *Solar Collector* dirancang mampu untuk menghasilkan temperatur outlet 95°C, setelah pengujian temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 52°C.
3. Daya turbin pada perancangan adalah 560 Watt, setelah uji coba, daya yang dihasilkan adalah 578 Watt, artinya terjadi *overdesign* sebesar 3,2% dimana nilai ini masih dalam range aman yaitu 10%.
4. Setelah sistem dibuat dan kemudian di uji didapat efisiensi tertinggi sebesar 4,29 % yang dalam perancangan efisiensi bernilai 6,65 %.

### 5. Daftar Pustaka

- [1]. Aboelwafa, Omar, Seif-Eddeen K.Fateen, Ahmed Soliman, Ibrahim M.Ismail. 2017. "A Review On Solar Rankine Cycles: Working fluids, Applications, And Cycle Modifications". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82 (2018) 868–885. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.097>.
- [2]. IEA (2014), *Energy Technology Perspectives 2014*, IEA, Paris, [https://doi.org/10.1787/energy\\_tech-2014-en](https://doi.org/10.1787/energy_tech-2014-en).
- [3]. Rahmandhika, Andinusa. 2015. "Analisis Siklus Rankine Organik Memanfaatkan Tenaga Surya Dengan Kolektor Tipe Tabung Vakum". *Skripsi*. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- [4]. Twomey, B, P.A. Jacobs, H. Gurgenci. 2013. "Dynamic Performance Estimation Of Small-Scale Solar Cogeneration With An *Organic Rankine Cycle* Using A Scroll Expander". *Applied Thermal Engineering*. (51)1307-1316.

- <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.06.054>.
- [5]. Pamungkas, aria Halim, and Ary Bachtiar Khrisna Putra. 2013. "Studi Variasi Flowrate Refrigerant Pada Sistem *Organic Rankine Cycle* Dengan Fluida Kerja R-123." *Teknik Pomtis* 2 (2): 2–6.
- [6]. Nurhilal, Otong, Cukup Mulyana, and Nendi Suhendi. 2014. "Disain Pembangkit Listrik Tenaga Uap Siklus Rankine Organik 100 KW Dengan Fluida Kerja R-123," no. April: 136–39.
- [7]. Douvartzides, S., and I. Karmalis. 2016. "Working Fluid Selection for the *Organic Rankine Cycle* (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 161 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012087>.
- [8]. Dutta, Shilpi Pratim, Dr. Ramesh Chandra Borah. 2018. "Design of a Solar *Organic Rankine Cycle* Prototype for 1 kW Power Output". *Jurnal*. (6) 23-33.
- [9]. Martin, A, Romy, D Agustina, A M Ibra. 2019. "Design and Manufacturing of *Organic Rankine Cycle* (ORC) System Using Working Fluid R-134a with Helical Evaporator and Condenser". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 539 (2019) 012027. doi:10.1088/1757-899X/539/1/012027
- [10]. Martin, A, Romy, D Agustina, A M Ibra. 2019. "Experimental Study of an *Organic Rankine Cycle* System Using R134a as Working Fluid with Helical Evaporator and Condenser". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 539 (2019) 012026. doi:10.1088/1757-899X/539/1/012026.
- [11]. Okvitasari, Dwi Yani, Awaludin Martin. 2018. "Perancangan Dan Pembuatan Evaporator Pada Sistem *Organic Rankine Cycle* (Orc) Menggunakan Fluida Kerja R-134a Untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 1 Kw". *Jom FTEKNIK* Volume 5 Edisi 2 Juli s/d Desember 2018. Fakultas Teknik: Universitas Riau.