

UNJUK KERJA ORGANIC RANKINE CYCLE DENGAN PENYERAP ENERGI MATAHARI TYPE CONCAVE PLATE COLLECTOR PADA TEMPERATUR SUMBER PANAS 75 °C

Arifful Rahman¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹ariffulrahman.bbm@gmail.com, ²awaludinmartin01@gmail.com

Abstrak

This study discusses the experimental study of the efficiency of the Organic Rankine Cycle (ORC) system with concave plate collectors as a heat source system. ORC is a conventional rankine cycle modification, where the ORC fluid works is an refrigerant or organic fluid which has a low boiling point, so that to produce steam only requires a low temperature. A good working fluid is R134a obtained from the reference of previous studies. Concave plate collector is heat source system at electricity generation system that is concentrated using the sun as a source of heat, so it can be said that this system uses environmentally friendly renewable energy sources. Experiments were carried out by varying the heat source temperature of 75 °C by keeping the pump output pressure at 10 bar and comparing the test results between the use of a water heater and a combined water heater with a concave plate collector. From the experimental results obtained a maximum efficiency of 0.7% on the variation of heat source 75 °C with a turbine inlet pressure of 10.1 bar and turbine intake temperature of 46.9 °C with ORC power of 170.4 Watt. The biggest savings or energy supply for solar collectors is 68.33% at solar collector temperatures of 56.8 °C with average temperature of heat sources of 70.38 °C.

Keyword : Organic Rankine Cycle, R134a, Solar collector, Renewable Energy.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk Indonesia berkembang dengan sangat pesat. menurut Badan Pusat Statistik dengan data SP10 diketahui jumlah penduduk 2010 adalah 238,518 juta jiwa dimana diproyeksikan pada tahun 2020 proyeksi pertumbuhan penduduk 271,066 juta jiwa dan terus meningkat setiap tahunnya sekitar 2-3 juta jiwa pertahun [1]. Peningkatan penduduk akan berdampak pada peningkatan permintaan listrik. Dimana sumber energi Indonesia di dominasi oleh batu bara, gas, minyak, EBT, dan listrik [2]. Dimana batubara, gas, dan minyak merupakan sumber energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui sehingga ketersediaannya semakin lama semakin berkurang. Selain itu penggunaan energi fosil memiliki emisi gas buang yang menyebabkan meningkatnya masalah lingkungan seperti polusi udara, pemanasan global, penipisan lapisan ozon dan hujan asam. Sehingga untuk mengurangi dampak polusi udara maka digunakanlah energi baru dan terbarukan sebagai alternatif pembangkit energi listrik [3].

Beberapa solusi telah dipertimbangkan untuk menghasilkan pembangkit panas pada temperatur dan tekanan rendah seperti panas energi matahari, biogas, gas buang mesin, panas bumi dan sebagainya. Diantara solusi yang ada, untuk saat ini sistem *organic rankine cycle* (ORC) adalah yang paling banyak dipelajari. ORC memiliki setidaknya dua keunggulan, yaitu ORC memiliki komponen

sederhana dan ketersediaan komponen yang cukup banyak di pasaran. Selain itu, ORC juga menggunakan fluida kerja organik yang berperforma lebih baik dari pada air sebagai fluida kerja pada temperatur dan tekanan rendah [4].

Keuntungan utama menggunakan ORC untuk menghasilkan daya-nya adalah ia dapat memanfaatkan energi yang seharusnya terbuang menjadi berguna. Berbagai sumber panas tingkat rendah seperti panas matahari, 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[5].

Beberapa penelitian mengenai sistem pembangkit ORC telah dilakukan yaitu Pikra dan Rohmah dengan fluida kerja R227ea dengan sumber panas dari *hot spring*. didapat daya 3,8kW dan efisiensi termal 7,8%[6]. Usman dkk, dengan fluida kerja R245fae dengan sumber panas dari *waste heat*. didapat daya 1,02kW dan efisiensi termal 5,64% [7]. Bianci dkk, dengan fluida kerja R134a dan sumber panas dari *water heater*. dari penelitian ini sistem ORC mampu menghasilkan energi listrik 1,2 kW dan efisiensi termal 4,4%[8]. Kemudian Ahmad dengan fluida kerja R134a dan sumber panas dari *plate plate collector*. dari penelitian ini sistem ORC mampu menghasilkan energi listrik 0,3 kW dan efisiensi termal 4,3%[9].

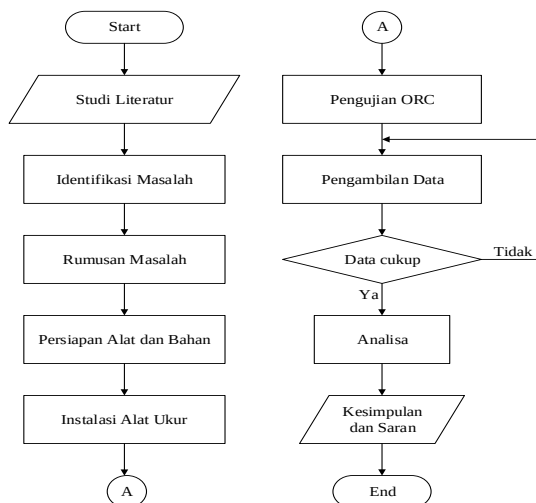
Dengan adanya penelitian tersebut terlihat bahwa ORC menunjukkan performa yang menjanjikan untuk pembangkit skala kecil dengan

temperatur rendah dimana pada penelitian sebelumnya ORC dikombinasikan dengan *Flat Plate Collector* dan didapatkan efisiensi maksimum 4,3 % [9] sehingga pada penelitian ini diharapkan dapat mengetahui penghematan yang diberikan serta seberapa besar efisiensi yang didapat dari ORC dengan menerapkan *Concave plate collector*.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metoda kaji eksperimental yang merupakan perencanaan atau proses untuk mencari data sebab akibat melalui berbagai perlakuan atau eksperimen. Sistem ORC yang akan diuji memiliki daya maksimum generator 0,56 kW dengan menggunakan fluida kerja R-134a dengan sumber penyerap panas matahari dari *concave plate collector*. Sistem akan diuji dengan memvariasikan temperatur sumber panas yang berasal dari air panas serta menjaga tekanan keluaran pompa sekitar 10 bar. Kemudian dibandingkan hasil pengujian menggunakan antara *heater* dan kombinasi *heater* dengan *concave plate collector* untuk mengetahui seberapa besar penghematan energi yang diberikan oleh *concave plate collector* dengan membandingkan konsumsi energi yang digunakan yang terbaca pada kWh meter digital.

Diagram alir keseluruhan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Dimana pada penelitian ini menggunakan tiga variabel penelitian sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel yang nilainya mempengaruhi nilai variabel lain dikenal sebagai variabel *independen* atau variabel bebas. Umumnya, pengaruh variabel tersebut terhadap variabel lain diukur atau dipelajari selama studi penelitian [11]. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan yaitu variasi temperatur sumber panas atau temperatur air pada

evaporator 75°C dengan menggunakan *heater* dan kombinasi *heater* dengan *concave plate collector*

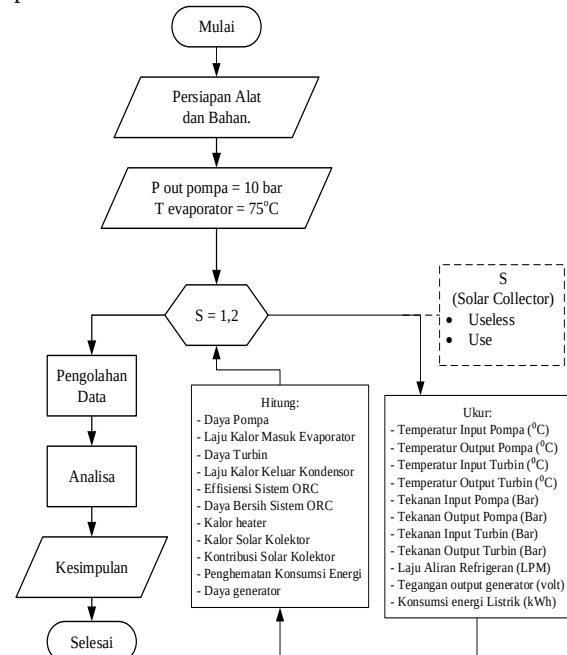
2. Variabel Terikat

Variabel yang nilainya dapat berubah karena perubahan nilai variabel lain disebut variabel *dependen* atau variabel terikat. Dengan kata lain, karakteristik tersebut disebut variabel *dependen* dimana nilai yang berbeda dapat diperoleh dalam rangka perubahan variabel *independen*. Dengan cara ini, kita dapat mengatakan bahwa nilai variabel *dependen* dapat berubah karena adanya perubahan nilai variabel *independen* [11]. Dalam penelitian ini, variabel terikat adalah daya pompa, laju kalor masuk pompa, daya turbin, laju kalor keluar kondensor, efisiensi sistem ORC, daya bersih sistem ORC, kalor *concave plate collector*, kalor *heater*, kontribusi *concave plate collector*, penghematan energi yang diberikan oleh *concave plate collector*.

3. Variabel kontrol

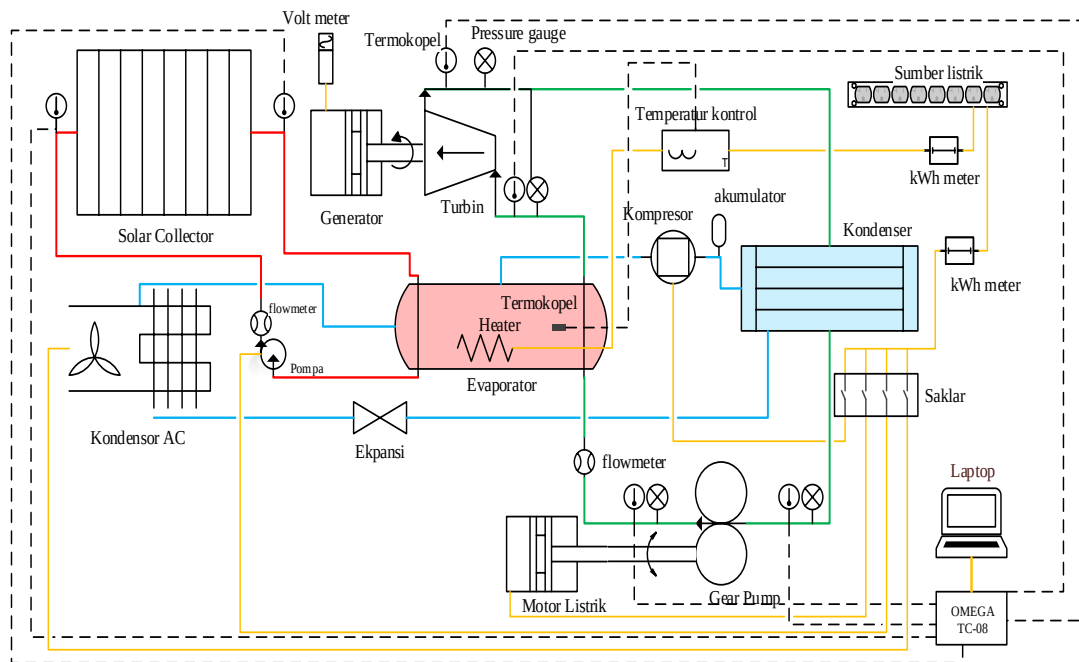
Jika pengaruh dari variabel-variabel yang dapat mempengaruhi hubungan sebab akibat antara variabel *dependen* dan variabel *independen* dihilangkan disebut variabel kontrol. Dengan kata lain, jika pengaruh variabel lain dikendalikan maka disebut variabel terkontrol [11]. pengujian dilakukan dengan menggunakan *heater* dan kombinasi *heater* dengan *concave plate collector*. Lama pengujian sistem ORC selama 1 jam dengan pengambilan data setiap 5 menit. Dan tekanan keluaran pompa ORC diatur sekitar 10 bar.

Diagram alir pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2 Diagram Alir Pengambilan Data

Skematik pembangkit listrik *Organic Rankine Cycle* (ORC) dengan *concave plate collector* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3 Skematis Pembangkit Listrik Sistem ORC

Pada pengujian unjuk kerja sistem pembangkit listrik ORC, sumber panas yang digunakan berasal dari air yang dipanaskan dengan kombinasi *concave plate collector* dengan heater, penggunaan heater disini bertujuan untuk menjaga apabila temperatur yang di-supply *concave plate collector* tidak tercukupi sampai temperatur sumber panas 75°C pada evaporator. Sedangkan pada kondensor menggunakan sistem *air conditioning* dengan temperatur maksimal yang dicapai 5°C .

Pengukuran temperatur menggunakan *thermokopel* tipe K yang terhubung ke data logger USB TC-08. Pengukuran tekanan menggunakan *pressure gauge*. Untuk laju aliran R134a yang dibaca secara manual, menggunakan *flowmeter*. Tegangan keluaran generator dibaca dengan Voltmeter dan konsumsi energi dibaca dengan menggunakan kWh meter digital.

Pengambilan data temperatur (T), tekanan (P) dan debit fluida (Q) dilakukan pada empat titik pengujian, yaitu:

1. Titik uji 1, terletak diantara sisi keluar kondensor dan sisi masuk pompa.
2. Titik uji 2, terletak diantara sisi keluar pompa dan sisi masuk evaporator.
3. Titik uji 3, terletak diantara sisi keluar evaporator dan sisi masuk turbin.
4. Titik uji 4, terletak diantara sisi keluar turbin dan sisi masuk kondensor.

Sedangkan pengukuran debit fluida dilakukan dengan memasang *flowmeter* diantara sisi keluar pompa dan sisi masuk evaporator.

Turbin yang digunakan adalah kompresor AC mobil tipe *scroll* untuk fluida kerja R134a. Pompa yang digunakan adalah jenis pompa gir eksternal. Alat penukar panas (evaporator dan kondensor) serta sistem perpipaan terbuat dari *tube* dengan material tembaga. Pemilihan material tembaga karena memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah menyerap dan melepas panas. Alat ORC yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Gambar Sistem ORC dengan *Concave Plate Collector*

2.1 Parameter Perhitungan

Pada kondisi ideal, komponen utama sistem ORC seperti pompa, evaporator, turbin, dan kondensor bekerja pada aliran *steady*, sehingga dengan demikian semua proses yang terjadi pada sistem ORC dapat dianalisis sebagai sistem aliran *steady*. Semua persamaan (1-11) dibawah ini diadopsi dari [10]

1. Pompa
Pompa adalah sebuah kontrol *volume* yang konstan sehingga membutuhkan kerja untuk dapat mendorong massa keluar dengan menggunakan perubahan *enthalpy* yang terjadi selama fluida mengalir. Kerja pompa dapat dihitung dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$w_{in,p} = (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Daya yang diperlukan pompa dapat ditentukan dari persamaan 2 berikut :

$$\dot{W}_{in,p} = \dot{m} w_p \quad (2)$$

2. Evaporator
Evaporator bekerja dengan asumsi kondisi tekanan konstan dan tidak ada kerja yang terjadi ($w = 0$), sehingga dengan demikian kalor masuk yang bekerja dapat dihitung berdasarkan persamaan 3, yaitu:

$$q_{in,evap} = (h_3 - h_2) \quad (3)$$

Laju aliran kalor masuk evaporator dapat dihitung dari persamaan 4 berikut :

$$\dot{Q}_{in,evap} = \dot{m} q_{in} \quad (4)$$

3. Turbin
Turbin bekerja dengan temperatur yang diasumsikan konstan pada kondisi ideal ($\Delta T \cong 0$). Maka kerja yang dihasilkan oleh turbin dapat dinyatakan dengan persamaan 5:

$$w_{out,t} = (h_3 - h_4) \quad (5)$$

Daya yang dihasilkan turbin dapat dihitung dengan persamaan 6, yaitu:

$$\dot{W}_{out} = \dot{m} w_t \quad (6)$$

4. Kondensor
Kondensor bekerja pada kondisi tekanan konstan dan tidak ada kerja yang terjadi ($w = 0$). Besarnya kalor yang dikeluarkan oleh kondensor dapat dihitung dengan persamaan 7 berikut:

$$q_{out,kond} = (h_4 - h_1) \quad (7)$$

Laju aliran kalor keluar kondensor dapat dihitung dari persamaan 8, yaitu:

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m} q_{out} \quad (8)$$

5. Efisiensi
Efisiensi secara umum adalah ukuran untuk menyatakan banyaknya energi yang diubah atau ditransfer selama proses berlangsung. Efisiensi termal sistem ORC merupakan ukuran berapa banyak energi yang masuk ke dalam fluida yang mengalir ke dalam evaporator untuk dikonversi menjadi keluaran kerja bersih. Untuk menentukan nilai efisiensi digunakan persamaan 9 berikut:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{in,evap}} \times 100\% = 1 - \frac{q_{out,kond}}{q_{in,evap}} \quad 100\% \quad (9)$$

Dimana

$$w_{net} = q_{in,evap} - q_{out,kond} = w_{out,t} - w_{in,p} \quad (10)$$

6. Daya bersih

Daya bersih sistem ORC adalah besar daya dihasilkan oleh turbin ($W_{out,t}$) dikurangi dengan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa ($W_{in,p}$). Untuk mendapatkan daya bersih sistem digunakan persamaan 11 berikut:

$$W_{net,ORC} = W_{out,t} - W_{in,p} \quad (11)$$

3. HASIL

Berdasarkan hasil pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan untuk menghitung parameter mengenai kinerja Sistem ORC. Dimana pengujian dilakukan selama satu jam. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut :

Tabel 1 Data Pengujian Temperatur Sumber Panas 75 °C (*Heater* dengan temperatur rata-rata sumber panas 70°C dan Konsumsi Energi Total 7,58 kWh)

No	Tekanan				Temperatur				Q	Voltase
	P1 bar	P2 bar	P3 bar	P3 bar	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	LPM	V
1	6,4	9,5	10	9	23,3	27,8	44,3	39,2	1,8	8
2	6,5	9,8	10,1	9,1	23,7	27,9	45,7	39,6	2	11
3	6,5	10	10	9	23,5	27,7	46,1	39,7	1,9	11
4	6,5	10	10,1	9	23,5	27	46,9	39,9	2	11
5	6,5	10	10	9	23,6	27,3	47,2	39,8	2,1	11
6	6,5	10	10	9	24	27,1	46,2	40	2	11
7	6,5	10	10	9,1	24,2	26,9	45,9	39,8	2	11
8	6,5	10	10,1	9,1	24,1	27	46,3	40,1	2	10
9	6,6	10	10,1	9	24,3	27,1	46,4	40,3	1,9	10
10	6,7	10	10,2	9	24,5	27,4	45,9	39,9	2	10
11	6,7	10	10,2	9,1	25	27,9	44,7	39,5	2,1	9
12	6,8	10,3	10,4	9,2	25,1	28,5	44,6	40,2	2,3	9
13	6,6	10,5	10,5	9,4	27,3	29,8	44,8	40,7	2,4	8

Tabel 2 Data Pengujian Temperatur Sumber Panas 75 °C (*Concave plate collector* dengan temperatur rata-rata sumber panas 70,38°C dan Konsumsi Energi Total 7,09 kWh)

No	Tekanan				Temperatur				Q	Voltase
	P1 bar	P2 bar	P3 bar	P3 bar	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	LPM	V
1	6,4	9,7	10,2	8,9	22,5	27,6	44,7	39,2	1,8	8
2	6,5	9,9	10,2	9	23,9	27,3	46,3	39,6	1,9	10
3	6,5	10	10,1	9,1	24,2	27,3	46,9	39,5	2	11
4	6,5	10	10,1	9	23,9	27,2	47,5	39,9	2,1	11
5	6,5	10	10,1	9	24,1	27,2	47,1	40,1	2	11
6	6,5	10	10	9	24,2	27,3	46,5	40,1	2	11
7	6,5	10	10	9	24,2	27,1	46,4	39,8	1,9	11
8	6,5	10	10	9	24,1	27,3	46,1	40,2	2	10
9	6,6	10	10,1	9,1	24,5	27,5	45,8	39,9	2	10
10	6,6	0	10,1	9,2	24,5	27,5	45,1	40,2	2,1	9
11	6,7	10	10,1	9,2	24,9	27,9	44,7	40,3	2,1	9
12	6,7	10	10,2	9,3	25,2	28,6	43,9	40,2	2,1	7
13	6,7	10,2	10,3	9,5	28,3	32	43,6	40,2	2,2	7

Setelah didapatkan data pengujian, kemudian dicari nilai *enthalpy* pada tiap titik pengujian menggunakan software miniREFPROP dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan. Dimana data yang dimasukan harus memenuhi kondisi teoritis agar dapat di analisa dengan kondisi sebagai berikut:

1. kualitas fluida untuk titik uji 1 (*input pompa*) adalah *subcooled*
2. kualitas fluida untuk titik uji 2 (*output pompa*) adalah *subcooled*
3. kualitas fluida untuk titik uji 3 (*input turbin*) adalah *superheated*
4. kualitas fluida untuk titik uji 4 (*output turbin*) adalah *superheated*

Setelah dilakukan pengecekan kualitas fluida maka dapat dilakukan perhitungan [9]

Untuk perhitungan kontribusi *concave plate collector* dapat dilihat pada Tabel 3. Dan untuk data daya generator yang terbangkitkan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3 Hasil Perhitungan kontribusi *Concave Plate Collector (CPC)*

Temperatur Sumber Panas	70,38°C
Temperatur Awal	27,5°C
Temperatur CPC	56,8°C
Kalor CPC	4985,288 kJ
Kalor Heater	2310,311 kJ
Kalor Total	7295,003 kJ
Kontribusi CPC	68,33 %

Tabel 4 Data Daya Generator

Time	Concave Plate Collector		Heater	
	tegangan	Daya generator	tegangan	Daya generator
	v	watt	v	watt
1	8	84,48	8	84,48
5	9	95,04	11	116,16
10	10	105,6	11	116,16
15	11	116,16	11	116,16
20	11	116,16	11	116,16
25	11	116,16	11	116,16
30	11	116,16	11	116,16
35	10	10,6	10	105,6
40	10	105,6	10	105,6
45	9	95,04	10	105,6
50	8	84,48	9	95,04
55	7	73,92	9	95,04
60	6	63,36	8	84,48

4. PEMBAHASAN

Kaji yang telah dilakukan menghasilkan berbagai variasi data temperatur dan tekanan serta tegangan keluaran generator. Pengujian dilakukan

dengan cara memasang *thermocouple* untuk mengukur temperatur pada tiap titik pengujian. *Thermocouple* tersebut dihubungkan ke *data logger* OMEGA TC-08 yang sudah terhubung ke PC. Hal tersebut untuk merekam perubahan temperatur yang terjadi pada tiap titik ukur. Kemudian *pressure gauge* yang digunakan untuk mengetahui tekanan di tiap titik pengujian, Voltmeter untuk mengukur tegangan keluaran generator. Dan kWh meter untuk mengetahui berapa banyak konsumsi energi listrik yang digunakan.

Pengujian dijalankan dengan persiapan 1 jam untuk mendinginkan dan memanaskan air dan uji kerja ORC selama 1 jam setelahnya. Perekaman data pada pengujian tersebut dilakukan dengan interval 5 menit. Sementara untuk *concave plate collector*, dijalankan 2 jam sebelum persiapan sehingga total penggunaan *concave plate collector* menjadi 4 jam sehingga dapat dimulai pengujian pada pukul 10.00 sampai 14.00 yang merupakan waktu optimum untuk mendapatkan panas matahari.

Berdasarkan data pengujian dan hasil perhitungan yang diperoleh selama pengujian, diketahui temperatur awal air dievaporator 27,5°C kemampuan *concave plate collector* yaitu 56,8°C sementara temperatur sumber panas rata-rata yang didapat yaitu 70,88 °C sehingga dapat diketahui nilai kalor untuk *concave plate collector* sebesar 4985,288 kJ dari kalor total yang dibutuhkan yaitu 7295,003 kJ, sehingga didapat kontribusi *concave plate collector* sebesar 68,33 %.

Untuk daya maksimum dapat yang dicapai ORC dengan daya turbin sebesar 170,4 Watt yaitu pada menit ke 20 saat menggunakan *heater* dan 170,4 Watt yaitu pada menit ke 15 saat menggunakan *concave plate collector*. Sementara untuk efisiensi tertinggi yaitu 0,7% pada menit ke 10 saat menggunakan *concave plate collector*. Namun hal berbeda di jumpai pada daya generator yang terbangkitkan yaitu dengan tegangan keluaran sebesar 11 Volt dengan daya yang terbangkitkan 116,16 Watt. Hal ini dapat terjadi karena pada saat menggunakan perhitungan teoritis yaitu menggunakan data temperatur dan data tekanan, sehingga sekecil apapun perbedaan data tersebut mempengaruhi nilai daya yang dihasilkan.

Pada penelitian ini juga diketahui konsumsi energi listrik yang digunakan yaitu 7,58 kWh dengan menggunakan *heater* dan 7,09 kWh dengan menggunakan kombinasi *heater* dan *concave plate collector*. sehingga didapat penghematan sebesar 0,49 kWh.

5. SIMPULAN

Berdasarkan Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penghematan energi terhitung pada sistem *organic rankine cycle* (ORC) dengan penghemataan maksimum sebesar 68,33 % pada temperatur *solar collector* 56,8 °C untuk temperatur sumber panas rata-rata 70,38 °C, dengan besar 4985,288 kJ dari panas totalnya sebesar 7295,003 kJ yang diberikan ke sumber panas.
2. sistem ORC mampu menghasilkan unjuk kerja teoritis maksimal sebesar 170,4 Watt dengan efisiensi tertinggi sebesar 0,7 % dengan temperatur dan tekanan masuk tubin 46,9°C dan 10,1 Bar.
3. Daya generator maksimum yang mampu dicapai yaitu 116,16 Watt dengan tegangan 11 Volt.
4. Penghematan energi listrik yang didapat yaitu sebesar 0,49 kWh.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BPPN). (2019). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2010 – 2035*. Jakarta : Indonesia (ISBN: 978-979-064-606-3).
- [2] Dewan Energi Nasional (DEN). (2019). *Indonesian Energy Outlook 2019*. Jakarta : Indonesia (ISSN 2527 3000).
- [3] Bao, J and Li Zhao. 2013. *A review of working fluid and expander selections for organic rankine cycle*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 325–342.
- [4] Susanto, H., Kamaruddin abdula, Aep Saepul Uyun, Syukri Muhammad Nur and Teuku Meurah Indra Mahlia. 2018. *Turbine Design for Low Heat Organic Rankine Cycle Power Generation using Renewable Energy Sources*. *MATEC Web of Conferences*. 164.
- [5] Dutta, Shilpi Pratim, Dr. Ramesh Chandra Borah. 2018. “*Design of a Solar Organic Rankine Cycle Prototype for 1 kW Power Output*”. *International Journal of Engineering Trends and Technology* (IJETT). Vol 62 No 1
- [6] Pikra, G and Rohmah,N. 2014. Pengaruh Temperatur Fluida Pendingin pada Kinerja Pembangkit Listrik Rankine Organik dari Sumber Kalor Mata Air Panas Cimanggu, Ciwidey. *Seminar Nasional Fisika*. 2014, 13-17.
- [7] Usman, M., Byung Sik Park, Muhammad Imran. 2015. *Design and experimental investigation of a 1 kW organic rankine cycle system using R245fa as working fluid for low-grade waste heat recovery from steam*. *Energy Conversion and Management*. 1089-1100..
- [8] Bianchi, M. Branchini, L. De Pascale A. Orladini V. Ottaviano S. Pinelli M. Spina P,R. & Suman A. 2017. *Experimental Performance of a Micro-ORC Energy System for Low Grade Heat Recovery*. *International Seminar on ORC Power Systems*. *Energy Procedia* 129 (2017) 899-906
- [9] Ahmad, Muhammad Nur. 2019. Kaji Eksperimen Sistem *Organic Rankine Cycle* Dengan *Solar Collector* Sebagai Sumber Panas. *Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau (JOM F.Teknik Volume 6 No.2 Desember 2019)*.
- [10] Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2016. *An Approach of Engineering Thermodynamic*. New-York: McGraw-Hill.
- [11] Shukla, Satishprakash. 2018. *Variables, Hypotheses And Stages Of Research*. Conference Paper. Gujarat University.