

KAJI EKSPERIMEN SISTEM ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) PADA TEMPERATUR SUMBER PANAS 95 °C

Muhammad Nur Ahmad H.¹, Awaludin Martin²

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

Kampus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

¹mhdnur11@gmail.com, ²awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

This study discusses the experiment of Organic rankine cycle (ORC) system at 95 °C heat source . Organic rankine cycle is a conventional modification cycle, where ORC fuels move is organic fluid (refrigerant), which has a low boiling point, so that it produces steam only requires low temperatures. The working fluid used is R134a obtained from the reference of previous studies. Renewable energy sources such as solar heat, geothermal energy and industrial waste heat are energy sources capable of meeting the world's electricity needs. However, the low temperatur of the heat source cannot be used as electric power, so the organic ranking cycle can be used as a renewable energy source that uses low temperatur heat. Data collected in the from temperatur, pressure and mass flow rate. From the results of the experiment, the maximum power is 305.02 Watts and the maximum efficiency is 4.29% at the turbine inlet pressure of 1.5 MPa and the turbine inlet temperatur is 67.91 °C.

Keywords: Organic rankine cycle, R134a, Renewable Energy.

1. Pendahuluan

Energi telah berperan penting untuk menciptakan dunia seperti yang kita lihat hari ini. Bahan bakar fosil merupakan sebagian besar konsumsi energi dunia, tetapi bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang terbatas karena tingkat penggunaan sumber daya jauh lebih tinggi daripada tingkat penemuan reservoir baru. Karena penipisan sumber daya bahan bakar fosil yang cepat dan dampak lingkungannya yang berbahaya, dunia ditantang untuk mengalihkan ketergantungan energi dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan [1].

Ketertarikan dalam pemanfaatan energi terbarukan telah meningkat dalam dekade terakhir karena meningkatnya masalah lingkungan seperti polusi udara, pemanasan global, penipisan lapisan ozon dan hujan asam yang disebabkan oleh konsumsi bahan bakar fosil yang berlebihan. Beberapa solusi baru telah diusulkan untuk menghasilkan pembangkit panas pada temperatur dan tekanan rendah seperti panas energi matahari, biogas, gas buang mesin, panas bumi dan sebagainya. Solusi yang ditawarkan untuk saat ini adalah sistem *Organic rankine cycle* (ORC). ORC memiliki dua keunggulan, yaitu ORC memiliki komponen sederhana dan ketersediaan komponen yang cukup banyak di pasaran. Selain itu, ORC juga menggunakan cairan kerja organik yang berperforma lebih baik daripada air sebagai fluida kerja pada temperatur dan tekanan rendah [2].

Sumber energi terbarukan, seperti panas matahari, panas bumi, dan panas limbah industri

berpotensi menjadi sumber energi yang mampu memenuhi kebutuhan listrik dunia [3]. Namun, temperatur yang rendah dari sumber-sumber panas ini tidak dapat dikonversi secara efisien menjadi daya listrik dengan metode pembangkit listrik konvensional. Pada konteks ini adalah penelitian tentang bagaimana mengkonversi panas temperatur rendah menjadi energi listrik, sebagai alternatif, *organic rankine cycle* (ORC) dapat dijadikan alternatif sumber energi terbarukan [4]. Sistem ORC menggunakan panas dengan temperatur rendah untuk memanaskan fluida organik yang memiliki titik didih rendah untuk menghasilkan uap yang nantinya akan memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Perbedaan utama antara ORC dan Rankine uap tradisional adalah penggunaan fluida kerja organik. Penerapan fluida kerja organik memungkinkan ekstraksi energi dari sumber panas dengan temperatur yang rendah yang menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada siklus rankine konvensional. Meskipun sistem ORC dan Siklus Rankine konvensional sangat mirip secara konseptual, namun penggunaan fluida kerja organik membutuhkan tingkat kehati-hatian yang lebih tinggi untuk menghindari kebocoran atau kontaminasi [5].

Salah satu energi panas yang dapat di manfaatkan untuk menjadi sumber panas pada sistem ORC adalah panas dari matahari (solar sistem). Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi yang sangat baik dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga panas surya

(PLTS). Sistem ini dapat digunakan di daerah-daerah terpencil dimana pasokan listrik belum terpenuhi. Beberapa daerah di Indonesia yang memiliki potensi pengembangan sistem PLTS adalah daerah-daerah Timur. Sistem yang digunakan dalam pemanfaatan energi matahari adalah sistem *solar collector* yaitu merupakan sistem pembangkit listrik terkonsentrasi dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber panas. Sistem *solar collector* dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Matahari dipilih sebagai sumber energi alternatif, karena ketersediaannya yang sangat melimpah dan tidak terbatas, bebas biaya dan bebas polusi. Sistem *solar collector* ini beroperasi pada temperatur rendah, sehingga diperlukan sistem penghasil listrik dengan metode *organic rankine cycle* turbin (ORC) yang dapat beroperasi pada temperatur rendah [6].

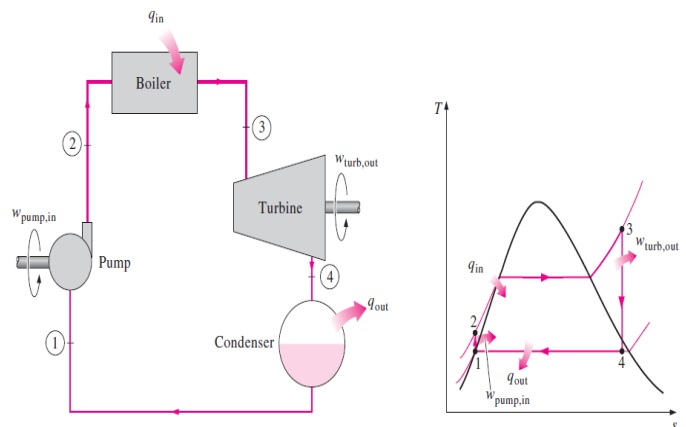
Organic rankine cycle (ORC) adalah modifikasi siklus Rankine, pada *Rankine Cycle* biasanya menggunakan air bertekanan dan bertemperatur tinggi sebagai fluida kerja. Sedangkan pada ORC, titik didih dari siklus ini lebih rendah sehingga air tidak cocok digunakan sebagai fluida kerja. Oleh karena itu digunakan *silicone oil*, *hydrocarbon*, dan *fluorocarbon* yang mempunyai titik didih rendah sebagai fluida kerja pengganti air [7]. *Organic rankine cycle (ORC)* memiliki empat komponen utama, yaitu evaporator, turbin, kondensor, dan pompa [8].

Berbeda dengan siklus Rankine, Siklus ORC merupakan suatu siklus uap dimana siklus ini menggunakan fluida kerja organik (*refrigerant*). Selain dalam penggunaan fluida kerjanya, perbedaan siklus Rankine dan ORC terletak pada alat penambah panasnya. Jika siklus *rankine* menggunakan *boiler* sebagai tempat penambahan panas sedangkan pada ORC menggunakan evaporator sebagai tempat penyerapan panas. Sehingga pada siklus ini, kita tidak menggunakan tempat atau alat untuk proses pembakaran sehingga tidak akan terbentuk emisi gas buang penyebab polusi udara akibat proses pembakaran. Secara umum, ORC ideal memiliki empat tahap proses: kompresi isentropik pada pompa, penguapan isobarik *boiler*, ekspansi isentropik pada turbin, dan kondensasi isobarik pada kondensor. Keuntungan dari siklus ini adalah menggunakan refrigeran dengan titik didih dan titik kondensasi lebih rendah dari air yang digunakan dalam siklus rankine biasa. Dampak dari menggunakan refrigeran adalah bahwa siklus dapat memanfaatkan sumber panas yang temperaturnya lebih rendah dari temperatur air mendidih [2].

Pemilihan fluida kerja yang akan digunakan pada sistem ORC merupakan hal yang penting untuk diperhatikan karena berpengaruh pada performa sistem yang dirancang. Pemilihan fluida kerja pada sistem ORC lebih rumit karena beberapa alasan mendasar sebagai berikut [5].

1. Kondisi kerja dan sumber panas yang dapat digunakan pada sistem ORC memiliki variasi yang luas. Temperatur sumber panas yang dapat digunakan mulai dari yang paling rendah 80 °C seperti panas bumi dan penyerapan panas matahari hingga sumber panas dengan temperatur mencapai 500 °C seperti contohnya panas yang dapat dihasilkan oleh biomassa.
2. Jumlah fluida organik yang berpotensi untuk dapat digunakan pada sistem ORC mencapai ratusan. Jenis fluida organik tersebut antara lain dapat berupa *hydrocarbons*, CFCs, HCFCs, PFCs, eter dan lainnya.

Siklus ORC dan diagram T-s dari sistem ORC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Siklus Rankine Sederhana

Keterangan:

- Proses 1-2 : kompresi fluida cair pada pompa
- Proses 2-3 : penambahan panas secara isobar pada evaporator
- Proses 3-4 : ekspansi uap pada turbin
- Proses 4-1 : pembuangan panas secara isobar pada kondensor

Berbagai penelitian mengenai penerapan dari sistem ORC telah banyak dikaji sebelumnya dengan variasi sumber energi panas bertemperatur rendah yang dipakai salah satunya adalah energi panas bumi. Di Indonesia sendiri potensi energi panas bumi merupakan yang terbesar di seluruh dunia, yaitu sebesar 40% dari keseluruhan yang ada di dunia. Namun pemanfaatannya untuk pembangkit listrik hingga saat ini hanya 4,1% dari total potensi yang ada.

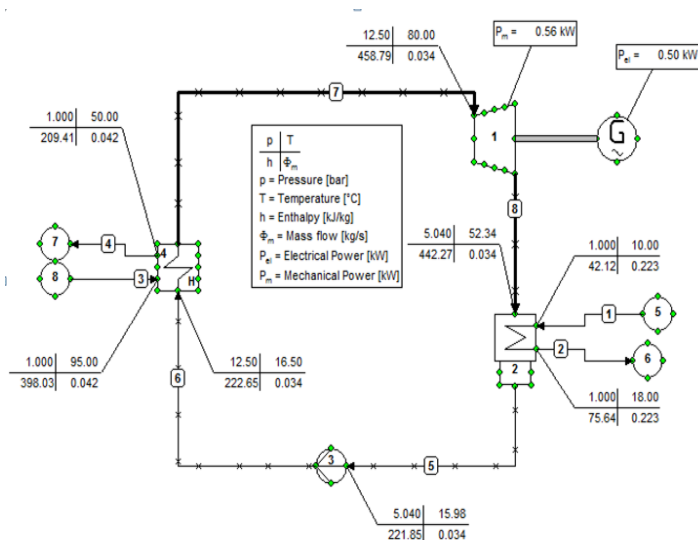
Pikra dkk [9] melakukan penelitian mengenai kemungkinan pemanfaatan energi panas bumi untuk sistem ORC dengan membandingkan potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari beberapa sumber mata air panas dengan temperatur 70-80 °C di seluruh Indonesia menggunakan refrigeran R227ea sebagai fluida kerja. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa nilai laju

aliran massa dari mata air panas berpengaruh signifikan terhadap energi listrik yang dihasilkan. Mata air panas Lompio-1 di Sulawesi Tengah yang memiliki temperatur 78 °C dengan laju aliran massa terbesar yaitu 3000 l/menit mampu menghasilkan potensi daya turbin sebesar 130,13 kW. Usman dkk [1] melakukan perancangan dan kaji eksperimen untuk aplikasi sistem ORC berkapasitas 1 kW dengan pemanfaatan panas uap sisa bertemperatur 120 °C menggunakan R245fa sebagai fluida kerja. Dari penelitian ini, sistem ORC mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1,02 kW dan efisiensi termal 5,64%. Ibra A., M, [9] Melakukan kaji eksperimen sistem *organic rankine cycle* menggunakan fluida kerja R134a berkapasitas 1 kw, mendapatkan efisiensi tertinggi sebesar 3,34 % pada temperatur sumber panas 95 °C.

Dari berbagai hasil penelitian tersebut terlihat bahwa sistem pembangkit listrik ORC menunjukkan performa yang menjanjikan untuk pembangkit listrik skala kecil dengan pemanfaatan sumber panas bertemperatur rendah. Oleh karena itu, penulis memilih penelitian tentang unjuk kerja dari sistem pembangkit listrik ORC menggunakan solar collector sebagai sumber panas.

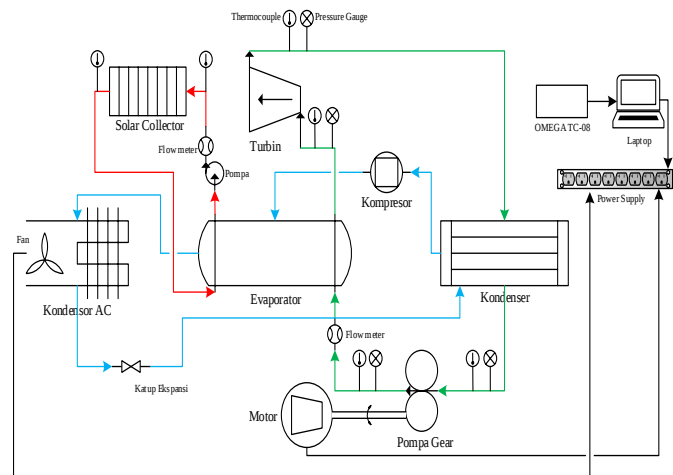
2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yaitu proses perencanaan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen. Sistem ORC yang akan diuji memiliki daya generator 0,56 kW dengan menggunakan fluida kerja R-134a. Perancangan alat ORC dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak pembantu Cycle Tempo 5.0 seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain Simulasi Sistem ORC Menggunakan Cycle Tempo 5.0

Pada pengujian unjuk kerja sistem pembangkit listrik ORC, sumber panas yang digunakan berasal dari air yang dipanaskan dengan *solar collector* dan dibantu dengan *heater* sampai temperatur sumber panas 95 °C pada evaporator. Sedangkan pada kondensor menggunakan sistem *air conditioning* - (AC) untuk menjaga temperatur air pendingin tetap pada temperatur 10 °C. Skematik sistem ORC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skematik Pembangkit Listrik Sistem ORC

Untuk menjaga temperatur air tetap konstan pada evaporator dan kondensor, digunakan *temperature controller* merek Autonic. Pengukuran temperatur menggunakan thermokopel tipe K yang terhubung ke *data logger* USB TC-08. Pengukuran tekanan menggunakan *pressure gauge* khusus untuk R134a yang dibaca secara manual, sedangkan untuk mengetahui laju aliran volume menggunakan *flowmeter*. 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 telah selesai dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pembangkit Listrik Sistem ORC dengan solar collector

Adapun prosedur pengujian sistem pembangkit listrik ORC dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Persiapan alat uji.
2. Panaskan air dengan solar collector hingga mencapai temperatur maksimum.
3. Setelah solar collector mencapai temperatur maksimum matikan solar collector, dan panaskan dengan bantuan heater hingga mencapai variasi temperatur 95 °C dan hidupkan *temperature controller* untuk evaporator.
4. Masukkan refrigeran ke dalam sistem hingga tekanan 5 bar.
5. Install USB TC-08 ke laptop hingga indikator lampu menyala dan atur waktu perekaman data selama 10 menit.
6. Jalankan pengujian selama 10 menit dengan menghidupkan pompa.
7. Catat tekanan dan debit setiap 15 detik.
8. Setelah pengujian selesai, matikan pompa, sistem AC dan *temperatur controller*.

3. Hasil

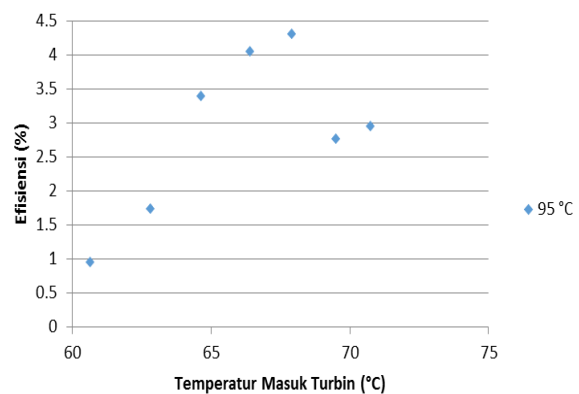
Pengujian dilakukan pada alat ORC yang telah dirancang dengan kapasitas generator 0.56 kW bertempat di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau dengan mengondisikan temperatur sumber panas 95 °C dan temperatur pendingin dijaga konstan 10 °C. Data yang didapat setelah melakukan pengujian adalah berupa temperatur, tekanan, dan debit aliran fluida. Hasil pengujian selanjutnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik.

Selanjutnya dilakukan pengecekan kualitas fluida menggunakan perangkat lunak REFPROP 9.0 dengan memasukkan data tekanan dan temperatur. Data yang dapat diterima untuk

selanjutnya bisa diolah harus memenuhi kondisi teoretis pada saat pencatatan data setiap 15 detik, yaitu:

1. Kualitas fluida pada titik uji 1 adalah *subcooled*.
2. Kualitas fluida pada titik uji 2 adalah *subcooled*.
3. Kualitas fluida pada titik uji 3 adalah *superheated*.
4. Kualitas fluida pada titik uji 4 adalah *superheated*.

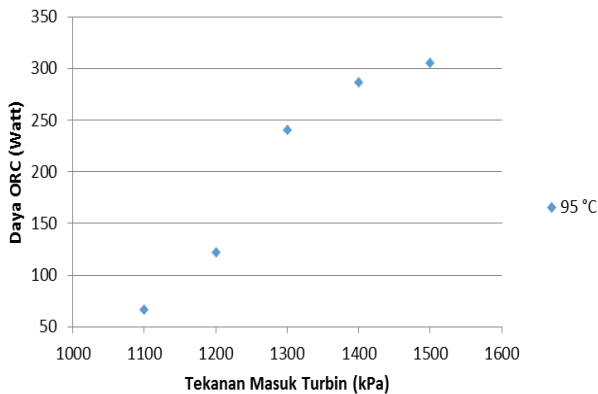
Data pengujian selanjutnya dilakukan perhitungan kemudian hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan Temperatur Masuk Turbin dan Efisiensi

Menurut Cengel (2006) [11] Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi siklus Rankine adalah dengan meningkatkan temperatur uap fluida kerja. Berdasarkan data hasil pengujian, efisiensi termal tertinggi adalah sebesar 4,29 % terjadi pada temperatur sumber panas 95 °C pada temperatur masuk turbin 67.91 °C. Nilai efisiensi tertinggi tidak selalu terjadi pada temperatur masuk turbin yang tinggi pula, apabila diperhatikan grafik pada Gambar 5. Hal ini disebabkan peningkatan temperatur pada sisi masuk turbin memang merupakan hal yang baik untuk menghasilkan uap kering bertemperatur dan bertekanan tinggi, akan tetapi peningkatan temperatur juga terjadi pada sisi keluar turbin, sehingga tidak terjadi selisih temperatur yang signifikan yang mempengaruhi nilai dari selisih entalpi sehingga berdampak pada penurunan efisiensi. Apabila kerja kondensor tidak maksimal, hal ini berarti uap yang mengalir keluar memiliki temperatur yang meningkat, sehingga apabila sistem tetap berjalan, maka semakin lama temperatur fluida akan meningkat dengan sendirinya. Hal ini menjadi kerugian terutama pada masuk pompa yang membutuhkan daya semakin besar untuk memompa fluida uap bertemperatur tinggi. Karena pada dasarnya pompa hanya digunakan untuk menaikkan tekanan fluida yang *compressible* seperti fluida cair.

Daya yang dihasilkan dan tekanan masuk turbin pada pengujian, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

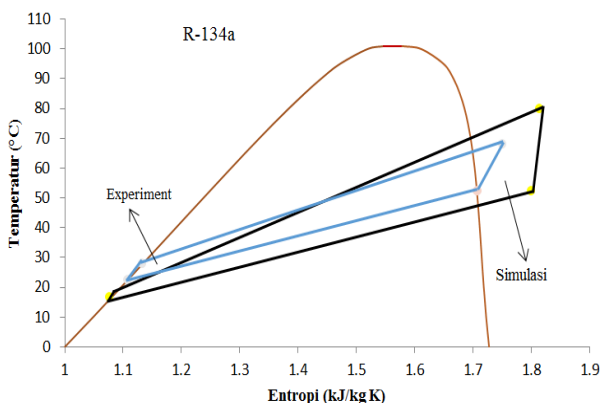


Gambar 6 Hubungan Tekanan Masuk Turbin dengan Efisiensi dan Daya ORC

Dari hasil pengujian, daya ORC maksimum yang mampu dihasilkan adalah sebesar 305,02 Watt dan efisiensi tertinggi adalah sebesar 4,29 % pada tekanan masuk turbin 1,5 MPa pada variasi sumber panas 95 °C pada temperatur masuk turbin 67,91 °C. Daya turbin yang dihasilkan oleh pembangkit listrik ORC merupakan kerja dari turbin dikalikan dengan laju aliran massanya.

Untuk sistem *solar collector* pada temperatur sumber panas 95 °C dapat mensuplai kalor sebesar 26,98 % dari total panas yang dibutuhkan oleh sumber panas pada variasi temperatur 95 °C, sehingga *renewable* energi dari matahari atau kalor yang dapat dihemat adalah 26,98 % dari kalor total yang dibutuhkan.

Data hasil eksperimen yang menghasilkan efisiensi tertinggi data kemudian dibandingkan dengan hasil perancangan atau simulasi, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Perbandingan Hasil Eksperimen Tertinggi dan Hasil Simulasi

Selanjutnya unjuk kerja hasil pengujian dibandingkan dengan hasil perancangan yang ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi

Data Hasil	Temperatur Tiap Titik				Tekanan Tiap Titik				Efisiensi	Daya ORC
	T1	T2	T3	T4	P1	P2	P3	P4		
	°C	°C	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa		
Simulasi	15,98	16,5	80	52,34	504	1250	1250	504	6,65	560
Eksperimen	22,54	28,01	67,91	52,54	900	1200	1500	1400	4,29	305,02

Dari grafik perbandingan diatas terlihat bahwa area pada hasil simulasi lebih besar dari area hasil eksperimen, hal ini mengidentifikasikan bahwa efisiensi siklus pada area hasil simulasi lebih besar daripada area hasil eksperimen. Pada tabel 1 dapat dilihat nilai efisiensi dari hasil normalisasi lebih tinggi daripada hasil eksperimen dengan selisih nilai sebesar 2,36 %. Menurut Cengel (2006) [11], salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi siklus *rankine* adalah dengan meningkatkan temperatur uap fluida kerja setinggi mungkin saat penambahan kalor dan menurunkannya serendah mungkin saat pembuangan kalor, pernyataan Cengel ini sesuai dengan hasil simulasi dimana temperatur (T3) saat masuk turbin atau temperatur keluar dari evaporator memiliki nilai temperatur yang tinggi dibanding hasil eksperimen, kemudian nilai temperatur saat keluar turbin memiliki selisih yang besar antara temperatur keluar turbin hal ini juga akan berpengaruh pada besarnya nilai entalpi yang dihasilkan yang nantinya akan berpengaruh pada nilai efisiensi yang dihasilkan.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa temperatur air pemanas dan air pendingin cenderung berubah ke temperatur kesetimbangan. Akibatnya, kualitas fluida yang mengalir semakin lama akan berubah fase menjadi uap keseluruhan sehingga tidak semua data pengujian dapat diolah. Berdasarkan hasil pengujian pada temperatur sumber air panas 95 °C, setelah dirata-ratakan diperoleh daya turbin yang dapat dihasilkan pembangkit listrik sistem ORC yaitu 185,54 Watt.

4. Kesimpulan

Penelitian tentang pembangkit listrik sistem *organic rankine cycle* (ORC) menggunakan R134a sebagai fluida kerja, telah dilakukan dengan mengondisikan temperatur sumber panas sebesar 95 °C dan temperatur air pendingin 10 °C. Dari hasil pengujian, sistem ORC mampu menghasilkan unjuk kerja teoritis sebesar 305,02 Watt dengan efisiensi tertinggi sebesar 4,29 % pada tekanan masuk turbin 1,5 MPa.

Daftar Pustaka

- [1] Usman, Muhammad dkk. 2015. *Design and Experimental Investigation of a 1 kW Organic rankine cycle System using R245fa as Working*

- Fluid for low-grade Waste Heat Recovery. Energy Conversion and Management.* 103(2015) 1089-1100.
- [2] 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.
 - [3] Hung, T,-C., Duen-Sheng lee and Jaw-Ren Li (2014), An Innovative Application of a Solar Storage Wall Combined, *International Journal of Photoenergy*, 12.
 - [4] Chen, H., D, Yogi Goswami, Elias K, Stefanakos, (2010), A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3059–3067.
 - [5] Meyer, D., Choon Wong, Frithjof Engel, and Dr, Susan Krumdiek, (2013), DESIGN AND BUILD OF A 1 KILOWATT ORGANIC RANKINE CYCLE, *35th New Zealand Geothermal Workshop*.
 - [6] Pikra, G, (2012), ANALISIS TERMAL BEBERAPA FLUIDA ORGANIK PADA SISTEM ORC, *Seminar Nasional Fisika*, 2088-4176.
 - [7] Pamungkas, A, H, dan Ary Bachtiar Kharisna Putra, (2013), Studi Variasi Flowrate Refrigerant pada Sistem *Organic rankine cycle* dengan Fluida Kerja R-123, *JURNAL TEKNIK POMITS*, 2301-9271.
 - [8] A Martin, Romy, D Agustina and A M Ibra, (2018), Design and manufacturing of *organic rankine cycle* (orc) system using working fluid r-134a with helical evaporator and condenser, *Materials Science and Enggining*. 539 012027.
 - [9] Pikra, Ghalya. Rohmah, Nur. Praman, Rakhmad Indra. Purwanto, Andru Joko. 2016. *Energi and Exergy Assesment of Organic rankine cycle Electricity Generation With Hot Spring as The Heat Source In Aceh, Indonesia*. International Conference on Sustainable Energi Engineering And Application (ICSEEA).
 - [10] Ibra, A, M, (2018) Kaji Eksperimen Sistem *Organic rankine cycle* Menggunakan Fluida Kerja R134a Berkapasitas 1 Kw.
 - [11] Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2006. *An Approach of Engineering Thermodynamic*. New-York: McGraw-Hill.