

Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap Kinerja Siklus Rankine Organik yang Menggunakan R600a, R245fa dan R1233zd(E)

Christine Bintang Karina Bau^{1)*}, Erich Umbu K. Maliwemu¹⁾, Matheus M. Dwinanto²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adi Sucipto, Penfui, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85001 Indonesia

Naskah diterima 06 07 2023; direvisi 22 09 2023; disetujui 04 12 2023
doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2023.v16.i02.p04>

Abstrak

Siklus Rankine organik adalah sebuah sistem yang menggunakan fluida kerja organik dan dapat mengkonversi panas dengan temperatur rendah menjadi energi listrik. Pemilihan jenis fluida kerja merupakan faktor terpenting dalam mengembangkan ORC. Namun penggunaan fluida kerja organik jenis HFC masih memiliki karakteristik yang merusak lingkungan, oleh karena itu diharapkan adanya peningkatan penggunaan fluida kerja organik yang ramah lingkungan yaitu HC dan HFO. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja R600a dan R1233zd sebagai pengganti R245fa. Analisis termodinamika yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Genetron Properties dan Scilab, dengan temperatur kondensasi yang dipertahankan pada 45°C dan temperatur evaporasi 70-80°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur evaporasi sangat berdampak pada meningkatnya konsumsi daya pemompaan, rasio tekanan di turbinn, dan efisiensi termal. Namun peningkatan evaporasi dapat mengakibatkan semakin berkurangnya efisiensi eksergi. Sistem ORC yang menggunakan R1233zd memiliki efisiensi termal dan lebih tinggi ±8,69% dibandingkan dengan R600a dan R245fa. Selain itu efisiensi eksergi sistem yang menggunakan R1233zd juga memiliki nilai lebih tinggi ±3,5% dibandingkan dengan R245fa dan lebih tinggi ±5,11% dibandingkan dengan R600a.

Katakunci: ORC, temperatur evaporasi, energi, eksergi

Abstract

The Organic Rankine Cycle (ORC) is a system that utilizes organic working fluids to convert low-temperature heat into electricity. The selection of the working fluid is a crucial factor in the development of ORC. However, the use of environmentally harmful organics fluids, such as HFCs, poses significant environmental concerns. Therefore, there is a need to increase the use of environmentally friendly organic fluids, namely hydrocarbons (HC) and hydrofluorolefins (HFOs). This study aims to analyze the performance of R600a and R1233zd as alternatives to R245fa. Thermodynamic analysis was conducted using Genetron Properties and Scilab software, with a maintained condensation temperature of 45°C and evaporation temperature of 70-80°C. The research result indicates that an increase in the evaporation temperature has a significant impact on the power consumption of the pump, turbine isentropic ratio, and thermal efficiency. However, an increase in evaporation can lead to a decrease in exergy efficiency. The ORC system that utilizes R1233zd demonstrates a higher thermal efficiency by approximately 8.69% compared to R600a and R245fa. Additionally, the exergy efficiency of the system using R1233zd is approximately 3.5% higher than that of R245fa and 5.11% higher than that of R600a.

Keywords: ORC, evaporation temperature, energi, exergy

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring dengan populasi manusia yang semakin bertambah, salah satunya adalah kebutuhan akan energi listrik. Namun konsumsi bahan bakar untuk pembangkit listrik paling banyak berasal dari batu bara yaitu sekitar 66% [1]. Konsumsi bahan bakar fosil yang terus meningkat akan mengakibatkan berbagai permasalahan lingkungan yang muncul, seperti: *Global Warming*, penipisan ozon dan polusi. Oleh karena itu pemerintah meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan (Perpres, No 5, 2006) [2]. Salah satu contoh penerapan energi baru dan terbarukan adalah *Organic Rankine Cycle* (ORC).

Siklus Rankine organik adalah sebuah sistem yang dapat mengkonversi panas dengan temperatur rendah menjadi energi listrik. Pada umumnya ORC memiliki kemiripan dengan siklus konversi energi uap konvensional namun, perbedaan paling mendasar terletak pada jenis fluida kerja yang digunakan yaitu

fluida kerja organik. Pemilihan fluida kerja yang digunakan harus memiliki beberapa kriteria seperti *Global Warming Potential* (GWP), *Ozon Depletion Potential* (ODP), toksisitas dan titik beku yang rendah, dan dari segi ekonomi dapat dijangkau [3]. Penggunaan fluida kerja R245fa walaupun tidak berpotensi merusak ozon, namun memiliki nilai GWP yang tinggi, sehingga pada masa yang akan datang diharapkan menggunakan fluida kerja jenis hidrokarbon dan hidrofluorolefin [4]. Dengan memperhartikan kriteria tersebut maka, dalam penelitian ini jenis fluida kerja yang akan dianalisis yaitu fluida kerja R600a, R1233zd dan sebagai pembandingnya maka digunakan juga R245fa.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bachtihar & ambarita [5] mengungkapkan bahwa temperatur pembakaran lebih rendah dari 80°C, merupakan salah satu ciri yang dimiliki oleh fluida kerja organik. Selain itu karena negara tropis biasanya memiliki suhu atmosfer lebih dari 25°C dan suhu kondensator $\geq 30^\circ\text{C}$ dan tekanan kondensator harus lebih tinggi dari tekanan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 081237711575
E-mail: erich.umbu@staf.undana.ac.id
©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

atmosfer, yang berguna untuk mencegah kebocoran udara kedalam sistem [6]. Sehingga dari pertimbangan tersebut, temperatur evaporasi yang digunakan yaitu berkisar antara 70-80°C dan temperatur kondensasi Dewasa ini telah banyak penelitian yang dilakukan terhadap *Organic Rankine Cycle* salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Yamamoto et al [7] yang menggunakan fluida kerja dengan titik didih rendah dan temperatur masuk turbin <120°C pada sistem ORC, dan menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada air. Selain itu pada tahun 2017, sebuah penelitian yang menganalisis energi dan eksergi siklus Rankine organik menggunakan beberapa fluida kerja yaitu R600a, R600, R245fa, R123 dan R113 mengungkapkan bahwa kinerja terbaik berada pada fluida kerja jenis R600a [8]. Studi yang dilakukan dengan membandingkan 7 jenis fluida kerja organik (R1234a, R245fa, Benzene, Methanol, Ethanol, Acetone, dan Propane) mengungkapkan bahwa ketika terjadi peningkatan temperatur dan tekanan evaporasi maka, dapat mengakibatkan peningkatan efisiensi termal ORC [6].

Dalam menganalisis siklus Rankine organik tidak cukup jika hanya menganalisis hukum I termodinamika, tetapi juga harus mencapai hukum II termodinamika. Analisis eksergi pada sistem ORC sangat berguna, untuk mengetahui letak kerugian dalam sistem tersebut. Melalui penelitian yang dilakukan oleh Sharma, mengungkapkan bahwa analisis eksergi merupakan salah satu parameter terpenting dalam mempelajari dan menganalisis siklus, sehingga dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai maksimum efisiensi eksergi sekitar 61,78% [9]. Jadi semakin tinggi nilai efisiensi eksergi yang dicapai, maka sistem tersebut semakin efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membahas analisis energi dan eksergi sistem ORC yang menggunakan fluida kerja R600a, R245fa dan R1233zd.

2. Metode Penelitian

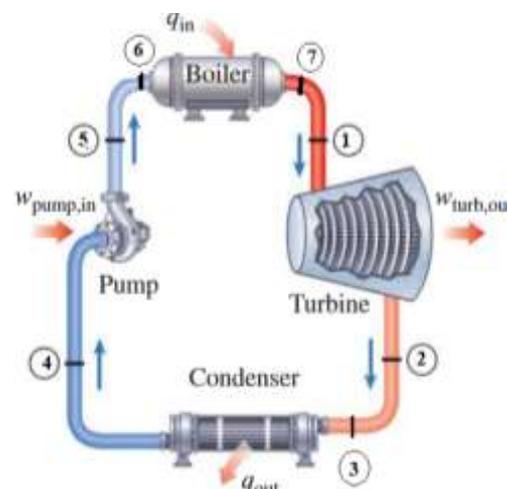
Studi ini menggunakan perangkat lunak *Genetron Properties 1.4* yang dikembangkan oleh anggota tim pemodelan di Laboratorium Penelitian Buffalo-Honeywell International, Inc. Perangkat lunak ini berfungsi untuk mensimulasikan kinerja termodinamika sistem ORC dan refrigerasi dengan menggunakan beberapa jenis refrigeran. Semua perhitungan yang dilakukan oleh *software* ini didasarkan pada database NIST (Refprop 9.1). Selain itu juga terdapat Scilab yang merupakan software Bahasa pemrograman tingkat tinggi yang berorientasi numerik dan berfungsi dalam pemrosesan sinyal, analisis statik, simulasi aliran, optimasi dan pemodelan numerik [10].

2.1 Prinsip Kerja

Organik Rankine Cycle terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin, dan kondensor. Gambar 1 memperlihatkan skematik dari siklus Rankine ideal, prinsip kerja dari sistem tersebut yaitu [11]:

dipertahankan konstan pada 45°C. Sedangkan karena pompa dan turbin bekerja secara isentropik maka efisiensi isentropik pompa dan turbin yang digunakan adalah 0,80 (80%) dan 0,75 (75%).

- Proses 4-5: pemompaan refrigeran cair secara adiabatik reversibel di dalam pompa. Fluida kerja dipompa dari tekanan rendah ke tekanan tinggi
- Proses 6-7: Penambahan kalor secara konstan di dalam boiler, sehingga mengakibatkan fluida kerja mengalami perubahan fasa
- Proses 1-2: Ekspansi adiabatik reversibel di dalam turbin sehingga turbin menghasilkan kerja
- Proses 3-4: Pelepasan kalor ke lingkungan di dalam kondensor dalam tekanan yang tetap, sehingga mengakibatkan gas berubah fasa menjadi cair.



Gambar 1 Skematik Siklus Rankine Ideal [11]

Beberapa parameter dan asumsi dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 yang dipilih berdasarkan asumsi-asumsi yang digunakan

Tabel 1 Parameter penelitian dan asumsi

Parameter	Nilai	Satuan
Daya keluaran turbin	80	kW
Temperatur evaporasi	70-80	°C
Temperatur kondensasi	45	°C
Temperatur masuk kondensor	45	°C
Temperatur masuk turbin	86,85	°C
Efisiensi isentropik turbin	0,80	-
Efisiensi isentropik pompa	0,75	-

Tabel 2. Sifat-sifat fisik dan efek terhadap lingkungan

Fluida Kerja	Densitas pada Temperatur Kritis (kg/m ³)	Temperatur Didih Normal (°C)	Temperatur Kritis (°C)	OD P	GW P	Tingkat Keamanan (ASHRAE)
R600a	225,5	-11,75	134,66	0	4	A3
R245fa	480,22	18,26	166,45	0	5	A1
R1233zd	516,08	15,4	154,01	0	858	B1

2.2 Fluida kerja

Pemilihan fluida kerja merupakan faktor terpenting dalam pengembangan teknologi siklus Rankine organik [12]. Tabel 2 menyajikan sifat-sifat fisik dan efek terhadap lingkungan dari R600a, R245fa dan R1233zd. Faktor terpenting dalam pemilihan jenis fluida kerja yang digunakan, seperti:

1. Tingkat keamanan tinggi: keselamatan melibatkan dua parameter yaitu toksisitas dan mudah terbakar.
2. Potensi pemanasan global rendah
3. Potensi penipisan ozon rendah
4. Densitas tinggi
5. Viskositas rendah

2.3 Energi dan Eksergi

Energi adalah sesuatu yang dapat dirubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain dan dapat ditransfer antar sistem. Keempat komponen pada sistem ORC yaitu pompa, generator uap, turbin dan kondensor termasuk kedalam aliran stedi. Oleh karena itu keempat proses yang terjadi pada sistem ORC dianalisis kedalam aliran stedi yang dapat dinyatakan dengan persamaan [13, 14]:

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_p - W_t) = h_{out} - h_{in} \quad (1)$$

- a. Daya pompa yang berguna untuk memompa fluida.

$$W_p = \frac{\dot{m}_r (h_5 - h_4)}{\eta_p} \quad (2)$$

- b. Kalor evaporasi atau kalor input yang berguna untuk mengubah fase fluida kerja menjadi gas.

$$Q_{in} = \dot{m}_r (h_7 - h_6) \quad (3)$$

- c. Daya yang dihasilkan oleh turbin

$$W_t = \dot{m}_r \eta_t (h_1 - h_2) \quad (4)$$

- d. Kalor yang dilepaskan oleh kondensor

$$Q_{out} = \dot{m}_r (h_3 - h_4) \quad (5)$$

Pada umumnya kinerja sistem ORC dinyatakan dengan efisiensi termal dan persamaan:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{(W_t - W_p)}{Q_{in}} \quad (6)$$

Eksergi atau yang biasa disebut *availability* atau *available* sangat bergantung pada keadaan lingkungan dan sistem. Suatu sistem dapat dikatakan *dead state* ketika berada pada kesetimbangan termal dan mekanik, tidak memiliki energi kinetik dan energi potensial. Properties dari sistem pada keadaan *dead state* ditulis dengan subscript 0, contohnya P_0 dan h_0 [11]. Irreversibilitas atau *exergy destruction* merupakan sumber hilangnya kinerja, dan dapat dianalisis pada setiap komponen dalam sistem ORC [14, 15].

- a. Turbin

$$I_t = \dot{m}_{ref} T_0 (s_2 - s_1) \quad (7)$$

- b. Kondensor

$$I_c = T_0 (\dot{m}_{ref} (s_4 - s_3) + Q_{out} / T_{con}) \quad (8)$$

- c. Pompa

$$I_p = \dot{m}_{ref} T_0 (s_5 - s_4) \quad (9)$$

- d. Boiler

$$I_b = T_0 (\dot{m}_{ref} (s_7 - s_6) - Q_{in} / T_e) \quad (10)$$

Oleh karena itu, dalam menentukan total penghancuran eksergi adalah dengan menjumlahkan semua penghancuran eksergi yang terjadi, seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$I_{tot} = I_t + I_c + I_p + I_b \quad (11)$$

Sedangkan untuk menentukan eksergi dari kalor yang disuplai ke uap dalam boiler dan eksergi yang dikeluarkan dari sistem, dapat menggunakan persamaan:

$$Ex_{heat,in} = \left(1 - \frac{T_0}{T_e}\right) Q_e \quad (12)$$

$$Ex_{expended,cycle} = Ex_{heat,in} + W_p \quad (13)$$

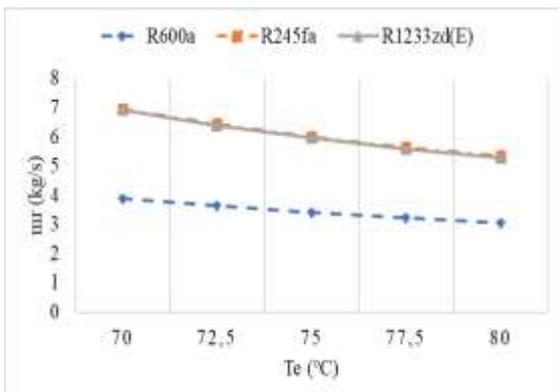
Jadi, efisiensi eksergi pada sistem ORC dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{I_{tot}}{Ex_{expended,cycle}} \quad (14)$$

3. Hasil dan Pembahasan

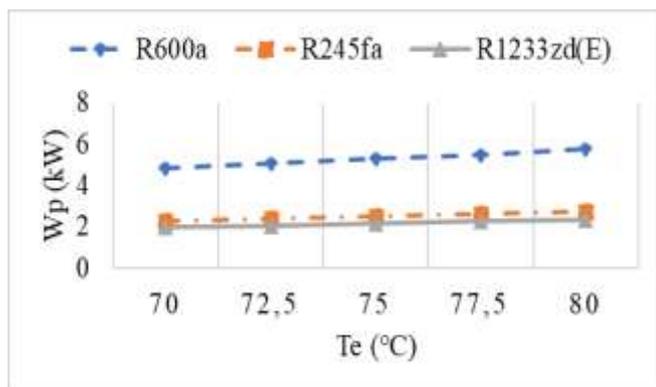
3.1 Energi

Pengaruh temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa ketiga fluida kerja yang ditinjau (R600a, R245fa, dan R1233zd) dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan pada 45°C seperti yang disajikan pada Gambar 2. Dari gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi mengakibatkan penurunan laju aliran massa fluida kerja dalam sistem, begitupun sebaliknya. Laju aliran massa fluida kerja R245fa dan R1233zd tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sedangkan R600a lebih rendah $\pm 74\%$ dari R245fa dan R1233zd.



Gambar 2. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa fluida.

Peningkatan temperatur evaporasi akan sangat berdampak pada konsumsi daya pemompaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi akan mengakibatkan meningkatnya daya pemompaan yang dibutuhkan, begitupun sebaliknya.

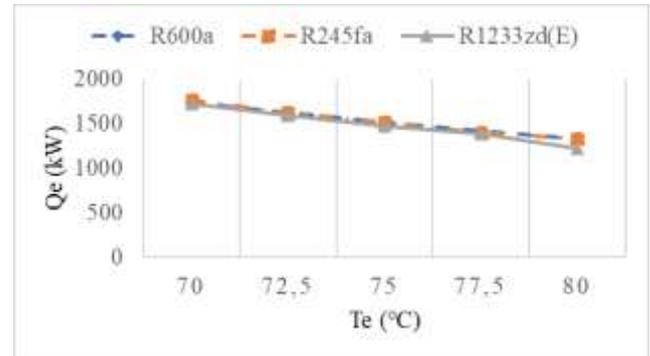


Gambar 3. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap daya pemompaan

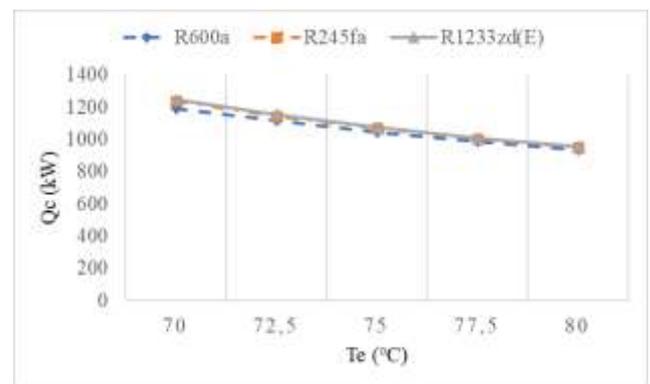
Selama proses evaporasi berlangsung, peningkatan temperatur evaporasi akan mengakibatkan kalor yang diserap oleh boiler akan menurun, begitupun sebaliknya. Fenomena ini ditunjukkan oleh Gambar 4, dimana ini terjadi untuk ketiga fluida kerja yang ditinjau tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensor, dan menghitung besarnya

aliran fluida pendingin kondensor. Hubungan antara temperatur evaporasi terhadap pelepasan kalor di kondensor disajikan pada Gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka pelepasan kalor di kondensor akan menurun, begitupun sebaliknya. Pelepasan kalor di kondensor untuk sistem ORC yang menggunakan R600a, R245fa dan R1233zd tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

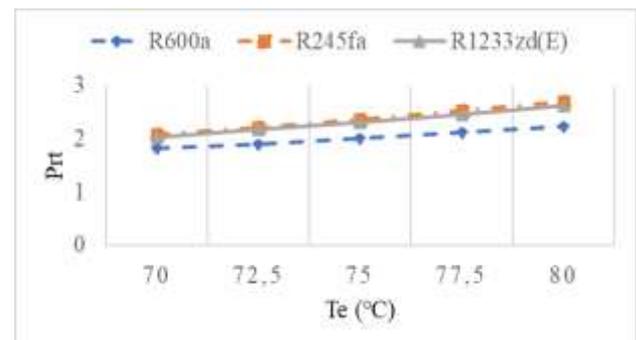


Gambar 4. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap kalor penyerapan di evaporator



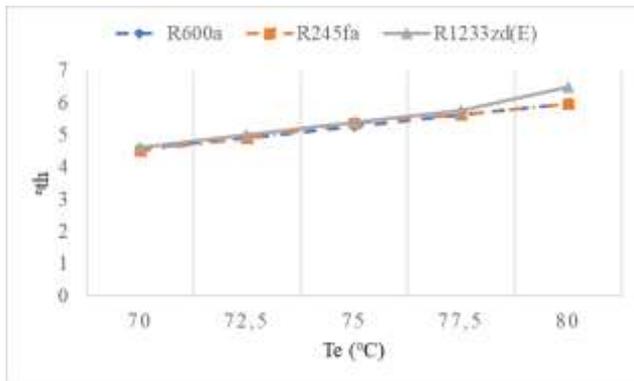
Gambar 5. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap kalor pelepasan di kondensor

Perubahan temperatur evaporasi akan berdampak pada rasio tekanan di turbin, dan hal ini ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka rasio tekanan di turbin juga akan meningkat, begitupun sebaliknya. Sistem ORC yang menggunakan R245fa memiliki rasio tekanan di turbin lebih tinggi $\pm 2,77\%$ dibandingkan dengan menggunakan R1233zd, dan lebih tinggi $\pm 20,6\%$ dibandingkan dengan menggunakan R600a.



Gambar 6. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap rasio tekanan di turbin

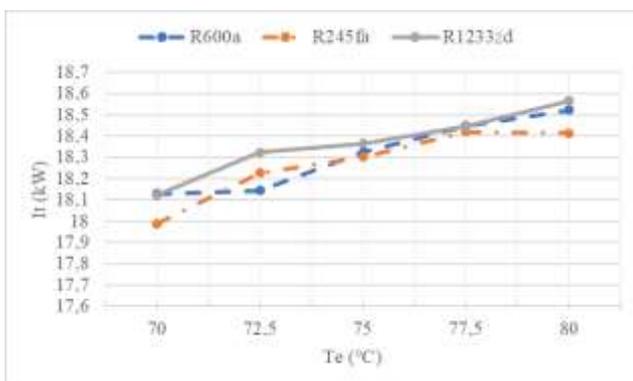
Pada kasus temperatur kondensasi dipertahankan konstan dan temperatur evaporasi divariasikan terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka efisiensi termal sistem ORC juga akan meningkat, fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 7. Pada gambar terlihat bahwa sistem ORC yang menggunakan R1233zd memiliki efisiensi eksergi lebih tinggi $\pm 8,69\%$ dibandingkan R600a dan R245fa yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



Gambar 7. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi termal sistem.

3.2 Eksergi

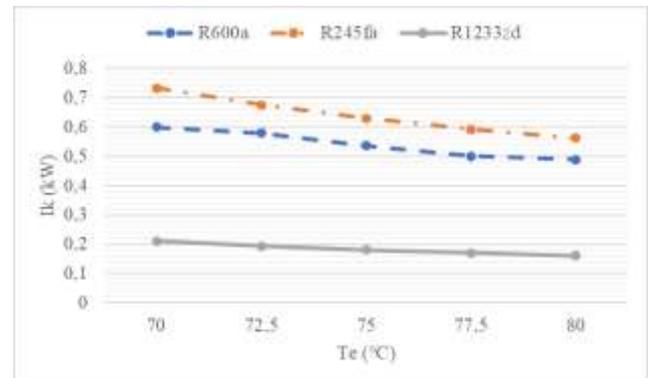
Pengaruh peningkatan temperatur evaporasi terhadap irreversibilitas turbin yang menggunakan fluida kerja R600a, R245fa dan R1233zd dalam sistem ORC dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan pada 45°C seperti yang terlihat pada Gambar 8. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi mengakibatkan semakin meningkatnya irreversibilitas yang terjadi di turbin, begitupun sebaliknya. Sistem ORC yang menggunakan R1233zd cenderung memiliki irreversibilitas yang lebih tinggi dibandingkan R600a dan R245fa yaitu masing-masingnya lebih tinggi $\pm 0,23\%$ dan $\pm 0,82\%$.



Gambar 8. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap irreversibilitas turbin

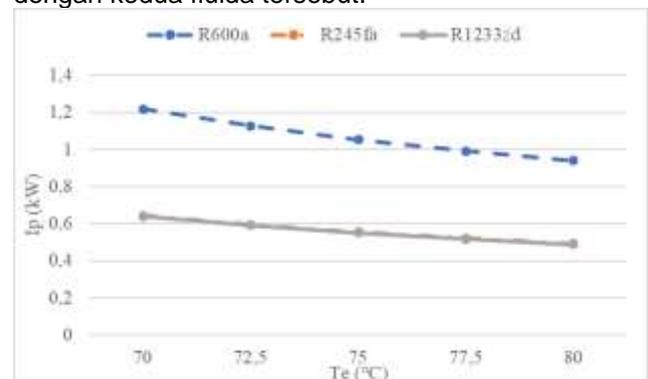
Nilai irreversibilitas kondensator diperlukan untuk mengetahui ukuran kerugian energi yang terjadi dalam proses kondensasi fluida kerja pada sistem. Peningkatan temperatur evaporasi akan sangat berdampak pada penurunan irreversibilitas di

kondensator seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Pada gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi dapat mengakibatkan semakin menurunnya irreversibilitas turbin, begitupun sebaliknya. Dari ketiga fluida kerja yang ditinjau terlihat bahwa irreversibilitas kondensator yang menggunakan R245fa dalam sistem 1,5 kali lebih besar dibandingkan dengan R600a, dan $\pm 2,47$ kali lebih besar dibandingkan dengan R1233zd.



Gambar 9. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap irreversibilitas kondensator.

Hubungan antara temperatur evaporasi dan irreversibilitas pompa seperti yang terlihat pada Gambar 10. Pada gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi mengakibatkan terjadi penurunan irreversibilitas di pompa. Nilai irreversibilitas pompa yang menggunakan R245fa dan R1233zd tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sedangkan R600a lebih tinggi $\pm 90,5\%$ dibandingkan dengan kedua fluida tersebut.

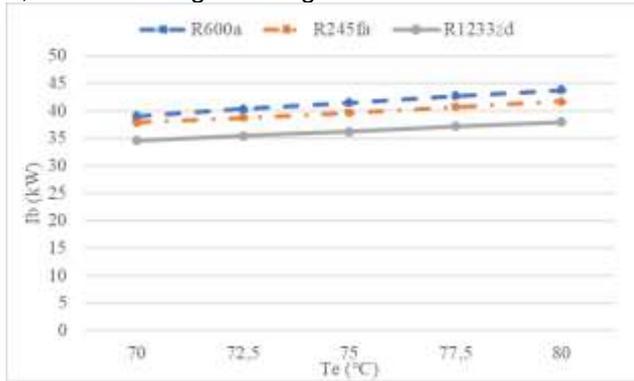


Gambar 10. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap irreversibilitas pompa

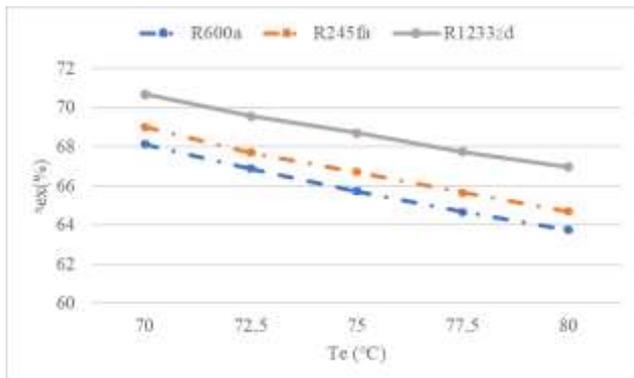
Semakin meningkatnya temperatur evaporasi mengakibatkan semakin meningkatnya irreversibilitas yang terjadi di boiler, seperti yang dilihat pada Gambar 11. Dari gambar terlihat bahwa R600a memiliki nilai irreversibilitas boiler terbesar dibandingkan R245fa dan R1233zd, yaitu masing-masing $\pm 5,46\%$ dan $\pm 15,78\%$ lebih kecil dibandingkan dengan R600a.

Untuk kasus temperatur kondensasi dipertahankan konstan dan temperatur evaporasi divariasikan, terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka efisiensi eksergi sistem ORC akan menurun, begitupun sebaliknya. Fenomena ini ditunjukkan oleh gambar 12 dan pada gambar terlihat bahwa sistem ORC yang menggunakan R1233zd lebih tinggi dibandingkan dengan kedua

fluida yang ditinjau, yaitu masing-masing lebih tinggi \pm 3,5% dibandingkan dengan R245fa dan lebih tinggi \pm 5,11% dibandingkan dengan R600a.



Gambar 11. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap irreversibilitas boiler



Gambar 12. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi eksergi

4. Simpulan

Kesimpulan dari penelitian tentang pengaruh temperatur evaporasi terhadap kinerja sistem ORC yang menggunakan fluida kerja jenis R600a, R245fa dan R1233zd ini adalah dengan meningkatnya temperatur evaporasi akan sangat berdampak pada peningkatan konsumsi daya pemompaan, rasio tekanan di turbin, dan efisiensi termal tetapi menurunkan efisiensi eksergi pada sistem. Selain itu daya yang dibutuhkan untuk mensirkulasikan R600a lebih besar dibandingkan dengan mensirkulasikan R245fa dan R1233zd. Oleh karena itu sistem ORC yang menggunakan R1233zd memiliki efisiensi termal dan efisiensi eksergi tertinggi bila dibandingkan dengan R245fa dan R1233zd. Sehingga pada masa yang akan datang fluida kerja tersebut sangat cocok untuk menggantikan R245fa.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kegiatan penelitian ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian.

Daftar Pustaka

[1] BBPT, "Indonesia Energy Outlook 2018." Center for Assessment of Process and Energy Industries, 2018.

- [2] 2006 PERPRES, "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional." Jan. 25, 2006.
- [3] H. Chen, D. Goswami, and E. Stefanakos, "Tinjauan Siklus Termodinamika dan Fluida Kerja Untuk Konversi Panas Tingkat Rendah," vol. 14, no. 9, pp. 3059–3067, Dec. 2010.
- [4] M. M. Dwinanto, W. Bunganaen, A. Y. Tobe, and B. V. Tarigan, "Pengaruh Temperatur Kondensasi terhadap Kinerja Siklus Rankine Organik yang Menggunakan R245fa, R600a, R1234yf, dan R1234ze," vol. 23, no. 4, pp. 28–34, 2021.
- [5] C. Bachtiyar and H. Ambarita, "Identifikasi dan Analisa Refrigerant Sebagai Fluida Kerja Organik Untuk Aplikasi di Indonesia," vol. IV, pp. 19–28, 2010.
- [6] H. M. D. P. Herath, M. A. Wijewardane, R. A. C. P. Ranasinghe, and J. G. A. S. Jayasekera, "Working fluid selection of Organic Rankine Cycles," *Energy Rep.*, vol. 6, pp. 680–686, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.11.150.
- [7] T. Yamamoto, T. Furuhashi, N. Arai, and K. Mori, "Design and testing of the Organic Rankine Cycle," *Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 239–251, Dec. 2010, doi: 10.1016/S0360-5442(00)00063-3.
- [8] E. Özdemir and M. Kiliç, "Energy and Exergy Analysis of an Organic Rankine Cycle Using Different Working Fluids from Waste Heat Recovery," 2017.
- [9] M. Sharma, "Exergetic Performance Analysis of kW Scale Organic Rankine Cycle," *Procedia Environ. Sci. Eng. Manag.*, vol. VI, pp. 383–393, 2019.
- [10] S. Arief, *Pengenalan Scilab: Perangkat Lunak Gratis untuk Komputasi Numerik dan Visualisasi Data*. 2015.
- [11] Y. A. Çengel, M. A. Boles, and M. Kanoglu, *Thermodynamics: an engineering approach*, 9th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2019.
- [12] T. C. Hung, S. K. Wang, C. H. Kuo, B. S. Pei, and K. F. Tsai, "A study of organic working fluids on system efficiency of an ORC using low-grade energy sources," *Energy*, vol. 35, no. 3, pp. 1403–1411, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.11.025.
- [13] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. Moran, *Thermal Design & Optimization*. A Wiley-Interscience, 1995.
- [14] G. Pikra and Sudibyo, "Comparative Study of Rankine Cycle Power Generation using Water and Organic Fluids in Saturated and Superheated States," *Makara J. Technol.*, vol. 25, no. 3, Dec. 2021, doi: 10.7454/mst.v25i3.3942.
- [15] A. H. Bademlioglu, "Exergy Analysis of the Organic Rankine Cycle Based on the Pinch Point Temperatur Difference," *J. Therm. Eng.*, vol. V, no. 3, pp. 157–165, Mar. 2019, doi: 10.18186/thermal.540149.



Christine Bintang Karina Bau
menyelesaikan pendidikan S1
Teknik Mesin di Universitas Nusa
Cendana pada tahun 2023.