REVIEW FLUIDA KERJA PADA SISTEM *ORGANIC RANKINE CYCLE* (ORC)

WORKING FLUID REVIEW ON THE SYSTEM ORGANIC RANKINE CYCLE

Iwan Gunawan¹⁾, Nazaruddin Sinaga²⁾

¹⁾Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.

²⁾Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.

email: iwangunawan@students.undip.ac.id*, nsinaga19.undip@gmail.com

Received:
18 Mei 2021

Accepted:
28 Juni 2021

Published:
30 Juni 2021

© 2021 SJME
Kinematika All
Rights Reserved.

Abstrak

Pada penelitian ini, penulis melakukan review penggunaan fluida kerja ORC yang disimulasikan menggunakan EES dan melakukan review pada beberapa jurnal yang dilakukan sebelumnya. Fluida kerja yang dianalisa adalah isopentane sebagai fluida kerja yang dipakai, isobutane dan R245fa, dimana isobutane menghasilkan power output yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida sekunder lainnya karena enthalpi uap yang masuk ke turbine dan enthalpi uap yang masuk ke kondenser yang dihasilkan lebih tinggi dan ini menyebabkan kalor yang masuk ke dalam sistem ORC lebih tinggi dibandingkan dengan fluida kerja lainnya. Pada sistem ORC banyak pilihan fluida kerja dan bisa diaplikasikan dalam sistem baik secara aktual maupun masih dalam research, baik dalam off design dalam bentuk paper, jurnal maupun aplikasi teknologi secara langsung dalam pembangkit listrik panas bumi, waste heat recovery plant atau tipe combine cycle lainnya. Pada beberapa sistem yang diteliti, R227ea memiliki efisiensi thermal yang lebih baik daripada fluida sekunder lainnya. Sedangkan pada waste heat power plant, R134a memiliki efisiensi yang lebih baik dari fluida sekunder yang diteliti. Dan pada research lainnya HFE-301 memiliki efisiensi thermal sebesar 85% pada aplikasi Radial inflow turbine dengan kecepatan sekitar 60.000 rpm dan menghasilkan daya sebesar 1,5 kW.

Kata Kunci: panas bumi, *combine cycle*, fluida sekunder, fluida kerja, ORC.

Abstract

In this study, the authors reviewed the use of the ORC working fluid which was simulated using EES and reviewed several previous journals. The working fluids analyzed are isopentane as the working fluid used, isobutane and R245fa, where isobutane produces a higher power output compared to other secondary fluids because the enthalpy of steam entering the turbine and the enthalpy of steam entering the condenser produced is higher and this causes The heat that enters the ORC system is higher than that of other working fluids. In the ORC system, there are many choices of working fluids and can be applied to the system both actually and still in research, both in off design in the form of papers, journals and direct technology applications in geothermal power plants, waste heat recovery plants or other types of combine cycles. In several systems studied, R227ea has better thermal efficiency than other secondary fluids. While in the waste heat power plant, R134a has a better efficiency than the secondary fluid

studied. And in other research, HFE-301 has a thermal efficiency of 85% in Radial inflow turbine applications with a speed of about 60,000 rpm and produces a power of 1.5 kW.

Keywords: *geothermal, combine cycle, secondary fluids, working fluids, ORC*

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v6i1.188

How to cite: Gunawan, I., & Sinaga, N., "Review Fluida Kerja Pada Sistem *Organic Rankine Cycle*". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 6(1), 53-64, 2021.

PENDAHULUAN

Dalam KBBI arti kata geotermal adalah yang bersangkutan dengan panas yang berasal dari pusat bumi. Secara bahasa geothermal berasal dari kata Yunani; *geo* berarti bumi, dan *termal* berarti panas, dan dapat diartikan sebagai panas bumi atau energi yang dihasilkan dari bumi. Energi yang terkandung di dalam fluida panas bumi adalah air yang dapat berbentuk uap, cair dan atau keduanya sebagai campuran. Indonesia sebagai salah satu negara yang dilintasi *ring of fire* dunia, menyimpan potensi panas bumi ditunjukkan dengan adanya 117 gunung api aktif yang tersebar di seluruh pelosok tanah air [1]. Energi panas bumi Indonesia tersebut diperkirakan sekitar 29.544 MW Namun, hanya sekitar 7,2% atau 2.130,7 MW yang dimanfaatkan sebagai energi listrik di dalam negeri. Pemerintah Indonesia terus berupaya meningkatkan kapasitas pembangkit listrik tenaga panas bumi. Adapun target pemerintah Indonesia untuk meningkatkan bauran pembangkit listrik panas bumi di tahun 2025 sebesar 7,2 GW dan 17,6 GW ditahun 2050 [2].

Klasifikasi utilisasi sumber geotermal berdasarkan temperatur dari reservoir sesuai dengan gambar.1 Lindal diagram. Berdasarkan temperatur dan entalpi panas bumi diklasifikasikan menjadi rendah, sedang dan tinggi [3]. Tabel 1 dapat dijadikan acuan untuk 5 kategori panas bumi yaitu: *hot-water systems, twophase, liquid-dominated systems, low-enthalpy systems, twophase, liquid-dominated, medium-enthalpy system, two-phase, liquid-dominated-high-enthalpy system* dan *two-phase, vapor dominated systems* [4].

Pembangkit listrik tenaga panas bumi ORC adalah salah satu yang paling menarik konfigurasinya karena mengubah panas menjadi listrik dari sumber suhu panas yang rendah [5]. Kinerja ORC sangat sensitif terhadap suhu geofluid, jenis fluida sekunder (fluida organik), *expander* dan pompa. ORC *performance* lebih baik, dalam termodinamika assessment, di komparasi antara sistem *double flash, flash* ORC, dan *flash* kalina dalam segi *power output*, energi dan *exergy* efisiensi, dimana *flash* ORC menghasilkan *exergy* efisiensi 46% lebih tinggi. Terlebih lagi, optimalisasi performance sistem ORC yang diperoleh berdasarkan parameter operasi, meminimalisasikan biaya pengeluaran, dan mengoptimalkan kinerja *thermal*, didapatkan hasil lebih tinggi daripada tipe pembangkit yang lain [6].

ORC *power plant performance* ditentukan berdasarkan fluida sekunder yang digunakan untuk mendapatkan *best performance* dari ORC yang digunakan dari pembangkit listrik geothermal. Hasil studi yang dilakukan, didapatkan bahwa fluida sekunder yang paling baik adalah butane, neopentane dan R245A untuk temperatur 100 - 150°C. Untuk fluida sekunder yang lain yang bisa dijadikan referensi dengan *range* temperatur 100 - 150°C R245A, R11, R113, R114, R114b, R601 dan R601a [7].

Gambar 1. Lindal Diagram

Tabel 1. Kategori Panas Bumi

Category	Temperatur	Production Enthalpy
Hot Water	$T < 220^{\circ}\text{C}$	$h < 943 \text{ kJ/kg}$
Two - Phase, liquid dominated	Low enthalpy $220^{\circ}\text{C} < T < 250^{\circ}\text{C}$	$943 \text{ kJ/kg} < h < 1100 \text{ kJ/kg}$
	Medium Enthalpy $250^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$	$1100 \text{ kJ/kg} < h < 1500 \text{ kJ/kg}$
	High Enthalpy $250^{\circ}\text{C} < T < 330^{\circ}\text{C}$	$1500 \text{ kJ/kg} < h < 2600 \text{ kJ/kg}$
Two - Phase, Vapor dominated	$250^{\circ}\text{C} < T < 330^{\circ}\text{C}$	$2600 \text{ kJ/kg} < h < 2800 \text{ kJ/kg}$

METODE PENELITIAN

Pada paper ini, penulis menggunakan metode deskriptif dimana data-data yang didapatkan berasal dari jurnal ilmiah, data laporan dari pihak pemerintah yang kredibel dan buku. Penulis juga menggunakan EES atau *Engineering Equation Solver* untuk menganalisa *performance* fluida sekunder dengan data lapangan yang berasal dari data *heat and mass balance*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi pembangkit listrik tenaga panas bumi saat ini di bagi menjadi *Single Flash*, *Dry steam*, dan *Binary* atau *Organic Rankine Cycle* [8]. *Organic Rankine Cycle* sebagai salah satu teknologi dalam pembangkitan listrik yang digunakan dalam pemanfaatan sumber panas bumi dari potensi geotermal di Indonesia belum di dimanfaatkan secara maksimal. Pada umum nya beberapa pembangkit yang ada di Indonesia saat ini masih menggunakan sistem *single flash steam power plant* dan beberapa menggunakan *dry steam power plant*. *Single flash power plant*, dimana geofluid yang berasal dari sumur produksi kemudian masuk ke dalam *cyclone separator* dimana di dalam separator ini dipisahkan antara liquid dan *vapor*. Kemudian *vapor* akan masuk ke dalam turbine dan memutar

Tabel 2. Jenis fluida sekunder yang dipakai dalam sistem ORC [10]

12	Alkanes	Propane, isobutane, butane, neopentane, isopentane, pentane, isohexane, hexane, heptane, octane, nonane, decane
16	Other hydrocarbons	Cyclopropane, cyclopentane, cyclohexane, methylcyclohexane, propylcyclohexane, isobutene, 1-butene, trans-butene, cis-butene, benzene, propyne, methanol, ethanol, toluene, acetone, dimethylether
13	HFC	R125, R143a, R32, R1234yf, R134a, R227ea, R161, R1234ze, R152a, R236fa, R236ea, R245fa, R365mfc
3	FC	R218, perfluorobutane (C ₄ F ₁₀), RC318
8	Siloxanes	MM, Mdm, Md2m, Md3m, Md4m, D4, D5, D6
2	Other non-organic fluids	Ammonia, water

Gambar 4. Skema ORC

Data *heat and mass balance* dari lapangan dimana diketahui nilai dari *mass flowrate* adalah 802000 kg/hr atau 222 kg/s, dengan temperatur 154,1°C atau 427 K. Sementara temperatur keluaran dari *condenser* sebesar 43,6°C atau 316,7 K [11]. Dari data tersebut kemudian di hitung *power output turbine* generator menggunakan persamaan

$$W_t = \dot{m}_{wf} (h_1 - h_2) = \dot{m}_{wf} \eta_t (h_1 - h_{2s}) \quad (1)$$

$\dot{m}_{wf}$ adalah *mass flow rate* fluida sekunder yang masuk ke dalam turbin (kg/s), h_1 adalah *enthalpy* yang masuk ke turbin (kJ/kg), h_2 adalah *enthalpy* yang keluar dari turbin (kJ/kg), η_t adalah efisiensi turbin, sedangkan h_{2s} adalah fluida sekunder (kJ/kg)

Penulis mencoba mensimulasikan beberapa kandidat dari fluida sekunder untuk mengetahui *performance* dari masing masing fluida sekunder dengan melakukan perubahan parameter pada *mass flowrate* dan temperatur keluaran dari kondenser. Dimana kandidat fluida sekunder yang dipakai adalah pentane sebagai fluida aktual yang digunakan di SOL, kemudian R245fa dan isobutane. Beberapa kandidat fluida sekunder yang dapat dipakai di Tabel 1, bisa di teliti untuk mendapatkan hasil *performance* yang baik. Dalam hal ini penulis menggunakan persamaan *Rankine cycle* dengan menggunakan EES untuk mengetahui masing-masing *performance* dari fluida sekunder tersebut. Didapatkan hasil adalah sebagai berikut :

A. Isopentane

1. Fluida sekunder isopentane dengan melakukan perubahan *pressure* pada *mass flowrate vapor* yang masuk ke *inlet turbine*, dimana di dapatkan hasil bahwa *performance power output* turbin naik ketika mendapatkan kenaikan *pressure vapor steam inlet* turbin. Temperatur pada fluida sekunder ini dijaga pada temperatur 427 K.

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Parametric

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Table 1 Table 2 Table 3 Table 4 **Table 5**

1..10	1 P ₂ [Pa]	2 T ₁ [K]	3 W _{turbine} [MW]	4 W _{net} [MW]
Run 1	2.200E+06	317	9.405	8.516
Run 2	2.250E+06	317	9.413	8.502
Run 3	2.300E+06	317	9.421	8.489
Run 4	2.350E+06	317	9.43	8.475
Run 5	2.400E+06	317	9.438	8.462
Run 6	2.450E+06	317	9.447	8.449
Run 7	2.500E+06	317	9.456	8.436
Run 8	2.550E+06	317	9.465	8.423
Run 9	2.600E+06	317	9.474	8.41
Run 10	2.650E+06	317	9.483	8.397

2. Fluida sekunder isopentane dengan melakukan perubahan pada *pressure mass flowrate inlet* turbin dan temperatur keluaran dari condenser, dimana didapatkan hasil bahwa ketika suhu condenser semakin turun, *performance power output* yang dihasilkan turbin naik. Fan cooler dan ambient temperatur lingkungan sangat mempengaruhi *performance* dari sistem ORC ini.

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Parameter]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Table 1 | Table 2 | Table 3 | Table 4 | **Table 5**

	1	2	3	4
	P ₂ [Pa]	T ₁ [K]	W _{turbine} [MW]	W _{net} [MW]
Run 1	2.200E+06	310	10.55	9.653
Run 2	2.250E+06	311	10.39	9.472
Run 3	2.300E+06	312	10.23	9.293
Run 4	2.350E+06	313	10.07	9.115
Run 5	2.400E+06	314	9.917	8.939
Run 6	2.450E+06	315	9.765	8.765
Run 7	2.500E+06	316	9.614	8.593
Run 8	2.550E+06	317	9.465	8.423
Run 9	2.600E+06	318	9.317	8.254
Run 10	2.650E+06	319	9.172	8.087

B. R245fa

- Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa fluida sekunder R245fa memiliki kesamaan dengan isopentane dan isobutane, akan tetapi dari hasil menunjukkan bahwa *power output* yang dihasilkan masih lebih rendah dari pada isopentane.

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Parameter]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Table 1 | Table 2 | Table 3 | **Table 4**

	1	2	3	4
	P ₂ [Pa]	T ₁ [K]	W _{net} [MW]	W _{turbine} [MW]
Run 1	2.200E+06	317	8.065	8.454
Run 2	2.250E+06	317	8.105	8.504
Run 3	2.300E+06	317	8.141	8.55
Run 4	2.350E+06	317	8.174	8.593
Run 5	2.400E+06	317	8.203	8.632
Run 6	2.450E+06	317	8.229	8.668
Run 7	2.500E+06	317	8.252	8.701
Run 8	2.550E+06	317	8.271	8.73
Run 9	2.600E+06	317	8.287	8.756
Run 10	2.650E+06	317	8.299	8.779

- Pada tahap ini dilakukan perlakuan yang sama, dimana dilakukan perubahan *pressure mass flowrate inlet* turbin dan perubahan temperatur pada keluaran dari *condenser*. Dimana dihasilkan *power output* yang lebih tinggi ketika temperatur *condenser* turun.

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Parameter]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Table 1 | Table 2 | Table 3 | **Table 4**

1..10	1 P ₂ [Pa]	2 T ₁ [K]	3 W _{net} [MW]	4 W _{turbine} [MW]
Run 1	2.200E+06	310	9.011	9.405
Run 2	2.250E+06	311	8.91	9.314
Run 3	2.300E+06	312	8.807	9.22
Run 4	2.350E+06	313	8.703	9.126
Run 5	2.400E+06	314	8.598	9.029
Run 6	2.450E+06	315	8.49	8.931
Run 7	2.500E+06	316	8.381	8.832
Run 8	2.550E+06	317	8.271	8.73
Run 9	2.600E+06	318	8.159	8.628
Run 10	2.650E+06	319	8.045	8.523

C. Isobutane

1. Fluida sekunder isobutane dengan melakukan perubahan pressure pada *mass flowrate vapor* yang masuk ke *inlet* turbin, dimana di dapatkan hasil bahwa *performance power output* turbin naik ketika mendapatkan kenaikan pada *pressure vapor steam inlet* turbin. Temperatur pada fluida sekunder ini dijaga pada temperatur 427 K. Terdapat kenaikan *power output* yang dihasilkan ketika menggunakan fluida sekunder isobutane

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Parameter]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Table 1 | Table 2 | Table 3 | Table 4 | **Table 5**

1..10	1 P ₂ [Pa]	2 T ₁ [K]	3 W _{turbine} [MW]	4 W _{net} [MW]
Run 1	2.200E+06	317	12.86	12.06
Run 2	2.250E+06	317	13.03	12.2
Run 3	2.300E+06	317	13.18	12.33
Run 4	2.350E+06	317	13.33	12.46
Run 5	2.400E+06	317	13.47	12.58
Run 6	2.450E+06	317	13.61	12.69
Run 7	2.500E+06	317	13.74	12.79
Run 8	2.550E+06	317	13.87	12.89
Run 9	2.600E+06	317	13.99	12.99
Run 10	2.650E+06	317	14.1	13.08

2. Pada tahap ini dilakukan perlakuan yang sama, dimana dilakukan perubahan *pressure mass flowrate* dan perubahan temperatur pada keluaran dari *condenser*.

Dimana temperatur di setting pada temperatur 310 – 319 K. Dimana mendapatkan hasil *power output* yang lebih tinggi.

EES Professional: F:\SOFTWARE\EES\Organic Rankine cycle Sarulla.EES - [Param

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows He

Table 1 Table 2 Table 3 Table 4 **Table 5**

1..10	1 P_2 [Pa]	2 T_1 [K]	3 W_{turbine} [MW]	4 W_{net} [MW]
Run 1	2.200E+06	310	14.66	13.82
Run 2	2.250E+06	311	14.56	13.7
Run 3	2.300E+06	312	14.45	13.57
Run 4	2.350E+06	313	14.34	13.44
Run 5	2.400E+06	314	14.23	13.31
Run 6	2.450E+06	315	14.11	13.18
Run 7	2.500E+06	316	13.99	13.04
Run 8	2.550E+06	317	13.87	12.89
Run 9	2.600E+06	318	13.74	12.75
Run 10	2.650E+06	319	13.62	12.6

D. Performance Fluida sekunder

Dari tiga fluida sekunder yang digunakan, isobutane cenderung menghasilkan *power output* yang tinggi di dibandingkan dengan isopentane dan R245fa. Hal ini bisa dilihat dari gambar 5a,5b, 6a dan 6b.

E. Penelitian terkait yang mendukung

Pada penelitian yang dilakukan oleh [13] didapatkan kesimpulan bahwa 3 fluida sekunder dari siloxaner dan satu refrigerant R124. Sistem ORC ini mendapatkan hasil maksimal ketika menggunakan recuperator dan R124 adalah fluida sekunder yang paling baik dari *performance* ORC yang dihasilkan.

(a)

Perubahan pressure mass flowrate (Pa)	Power Generation Turbine (MW)		
	isopentane	R245fa	isobutane
2200000	9,045	8,454	12,86
2250000	9,413	8,504	13,03
2300000	9,421	8,55	13,18
2350000	9,43	8,593	13,33
2400000	9,438	8,632	13,47
2450000	9,447	8,668	13,61
2500000	9,456	8,701	13,74
2550000	9,465	8,73	13,87
2600000	9,474	8,756	13,99
2650000	9,483	8,779	14,1

(b)

Gambar 5a & 5b. Perubahan pada *pressure inlet turbine*

Gambar 6a & 6b. Perubahan pada *pressure inlet turbine* dan temperatur keluaran condenser

Penelitian yang dilakukan oleh Florian Heberle dan Dieter Bruggemann dimana membandingkan 4 fluida sekunder dalam ORC yaitu isobutane, isopentane, R245fa dan R227ea dimana didapatkan fluida sekunder dengan ORC sistem *paralell circuit* didapatkan hasil R227ea paling efisien di bandingkan dengan fluida sekunder lainnya [14]. Pada penelitian yang dilakukan, [15] didapatkan kesimpulan bahwa R11 *thermal* efisiensi nya lebih tinggi dari pada fluida sekunder lainnya R123, R113, R114, R245fa, R236fa, R134a pada aplikasi *waste heat power*. Sedangkan penelitian lain yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa isobutane menghasilkan *power output* yang paling tinggi dibandingkan dengan fluida sekunder lainnya sesuai gambar 7.

Gambar. 7 Net power output pada ORC-CHP sistem dengan sumber panas medium temperatur

Penelitian lainnya yang dilakukan, pada beberapa penelitian fluida sekunder dengan menggunakan *prototype* dimana di dapatkan hasil sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Fluida sekunder pada *prototype research*

The prototype researches of various types of expansion machines.

Researchers	Expander type	Working fluids	Isentropic efficiency (%)	Power [kW]	Rotate speed [rpm]	Pressure ratio
Yamamoto et al. [150]	Radial-inflow turbine	R123	48	0.15	17,000	–
Nguyen et al. [151]	Radial-inflow turbine	n-pentane	49.8	1.44	65,000	3.45
Yagoub et al. [152]	Radial-inflow turbine	HFE-301	85	1.50	60,000	1.1
		n-pentane	40	1.50	60,000	1.3
Inoue et al. [153]	Radial-inflow turbine	TFE	70–85	5–10	15,000–30,000	4.8
Kang [154]	Radial-inflow turbine	R245fa	78.7	32.7	63,000	4.11
Pei et al. [155]	Radial-inflow turbine	R123	65	1.36	24,000	5.2
Li et al. [156]	Radial-inflow turbine	R123	68	2.40	40,000	6.3
Zanelli and Favrat [157]	Scroll expander	R134a	63–65	1–3.5	2400–3600	2.4–4.0
Mathias et al. [158]	Scroll expander	R123	67, 81, 83	1.2, 1.38, 1.75	3670	8.8, 5.5, 3.1
Peterson et al. [159]	Scroll expander	R123	45–50	0.14–0.34	600–1400	3.28–3.87
Wang et al. [160]	Scroll expander	R134a	70–77	0.5–0.8	1015–3670	2.65–4.84
Saitoh et al. [160]	Scroll expander	R113	65	0–0.46	1800–4800	–
Kim et al. [161]	Scroll expander	Water	33.8	11–12	1000–1400	10.54–11.5
Manolakes et al. [162]	Scroll expander	R134a	10–65	0.35–2	300–390	–
Lemort et al. [163]	Scroll expander	R123	42.5–67	0.4–1.8	1771–2660	2.75–5.4
	Scroll expander	R245fa	45–71	0.2–2	–	2–5.7
Guangbin et al. [163]	Scroll expander	Air	–	0.4–1.1	1740–2340	3.66
Wang et al. [164]	Screw expander	Air	26–40	0.5–3	400–2900	–
Smith et al. [165]	Screw expander	R113	48–76	6–15.5	1300–3600	2.11
Bank et al. [166]	Reciprocating piston expander	CO ₂	10.5	24.35	114	2.1
Zhang et al. [167]	Reciprocating piston expander	CO ₂	62	–	306	2.4
Mohd et al. [167]	Rotary vane expander	R245fa	43–48	0.025–0.1	2200–3000	21.54–24.1
				0.12		7
Yang et al. [168]	Rotary vane expander	CO ₂	17.8–23	–	300–1500	–
Qiu et al. [168]	Rotary vane expander	HFE7000	52.88–55.45	1.66–1.7	841–860	2.063–2.09
				2		5

Pada Tabel 3 dijelaskan bahwa R134a fluida sekunder dengan *isentropic* efisiensi yang tinggi yang digunakan pada scroll expander dengan putaran mesin 1015-3670 dengan power yang dihasilkan sebesar 0.5 - 0.8 kW. Sedangkan pentane memiliki efisiensi isentropik sebesar 40% dan 49.8% pada aplikasi radial *inflow turbine* dengan putaran turbine sebesar 60.000 dan 65.000. HFE-301 adalah fluida sekunder yang memiliki efisiensi isentropik paling tinggi sebesar 85% pada putaran turbin radial inflow sebesar 60.000 rpm.

Penelitian yang dilakukan lainnya dimana R245fa cenderung memiliki maksimum *output* yang tinggi dimana dipengaruhi oleh temperatur *heat source*. Ketika *heat source* temperatur 80°C *power output* yang dihasilkan 53,73 kW. Ketika *heat source* 130 °C *power output* yang dihasilkan 264.14 kW. Ketika *heat source* 180 °C *power output* 713,31 kW dan 1666,47 kW ketika *heat source* 230 °C.

Penelitian yang dilakukan lainnya R141b menghasilkan *power output* lebih tinggi dibandingkan acetone, R113, R245fa, R365mfc dan R152a tergantung dari turbin *inlet* temperatur dan tekanan.

Jing Han et al, 2020, melakukan uji coba, dimana campuran pentane dan butane (31%/69% dan 41%/59%) menghasilkan *power output* yang lebih tinggi bila dikomparasikan dengan campuran fluida sekunder lainnya.

KESIMPULAN

Performance ORC menggunakan fluida sekunder isopentane, isobutane dan R245fa adalah salah satu pilihan dari banyaknya opsi fluida sekunder yang tersedia. Pada paper ini isobutane cenderung memiliki *power output* yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan fluida sekunder lainnya. Pemilihan fluida sekunder tidak hanya dikarenakan karena efisiensi dan *power output* saja, tetapi mempertimbangkan dampak lingkungan, *cost* dan ketersediaannya di lapangan. Dengan perbedaan 1-2 MW dari *power output* yang dihasilkan maka isobutane bisa menjadi salah satu pilihan dalam sistem ORC dari beberapa pilihan fluida sekunder yang ada. Pada paper ini, kenaikan *power output* pada isobutane lebih tinggi dari pada isopentane dan R245fa di sebabkan karena nilai enthalpi uap yang masuk ke turbine dan enthalpi uap yang masuk ke kondenser yang dihasilkan lebih tinggi dan hal ini menyebabkan kalor yang masuk ke dalam sistem ORC lebih tinggi dibandingkan dengan fluida sekunder lainnya. Dalam penelitian ini kalor yang masuk ke dalam sistem ORC pada isobutane 491366 J/kg, isopentane 299390 J/kg, dan R245fa 260710 J/kg pada kondisi temperatur yang keluar dari pompa sebesar 317 K dan *pressure outlet* pompa 2600000 Pa.

REFERENSI

- [1] Nasruddin, M. I. Alhamid, Y. Daud, A. Surachman, A. Sugiyono, H.B.Aditya, T.M.I. Mahlia, 2016. "Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 733–740, 2016.
- [2] Ditjen EBTKE 2020-2024, "Buku Rencana Strategis Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi", 2020.
- [3] A. Ahmadi, M. E. H. Assad, D.H. Jamali, R. Kumar, Z.X. Li, T. Salameh, M. Al-Shabi, M.A. Ehyaei, "Applications of geothermal organic rankine cycle for electricity production," *J. Clean. Prod.*, vol. 274, 2020.
- [4] S. M. Bina, S. Jalilinasrabady, H. Fujiic, N. A. Pambudi, "Classification of geothermal resources in Indonesia by applying exergy concept," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 93, June, pp. 499–506, 2018.
- [5] R. Dipippo, *Geothermal Power Plants: principle, application, case studies, and environment impact, Thrid Edition*, 2012.
- [6] M. Astolfi, M. C. Romano, P. Bombarda, and E. Macchi, "Binary ORC (Organic Rankine Cycles) power plants for the exploitation of medium-low temperature geothermal sources - Part B: Techno-economic optimization," *Energy*, vol. 66, pp. 435–446, 2014.
- [7] *Heat and Mass Balance*, 2012.
- [8] H. Nami, I. S. Ertesvåg, R. Agromayor, L. Riboldi, and L. O. Nord, "Gas turbine exhaust gas heat recovery by organic Rankine cycles (ORC) for offshore combined heat and power applications - Energy and exergy analysis," *Energy*, vol. 165, pp. 1060–1071, 2018.
- [9] F. Heberle and D. Brüggemann, "Exergy based fluid selection for a geothermal Organic Rankine Cycle for combined heat and power generation," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, pp. 1326–1332, 2010.
- [10] L. J. Brasz and W. M. Bilbow, "Ranking of Working Fluids for Organic Rankine Cycle Applications," *Int. Refrig. Air Cond. Conf.*, pp. 1–8, 2004.
- [11] O. A. Oyewunmi, A. M. Pantaleo, C. N. Markides, "ORC cogeneration system in waste heat recovery applications", vol 142, *Applied Energy*, 2017.
- [12] J. Bao and L. Zhao, "A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 325–342, 2013.
- [13] J. Zhao, L. Hu, Y. Wang, H. Yin, S. Deng, W. Li, Y. Du, Q. An, "How to rapidly predict the performance of ORC: Optimal empirical correlation based on cycle separation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 188, December, pp. 86–93, 2019.
- [14] Ö. Köse, Y. Koç, and H. Yağlı, "Performance improvement of the bottoming steam Rankine cycle (SRC) and organic Rankine cycle (ORC) systems for a triple combined system using gas turbine (GT) as topping cycle," *Energy Convers. Manag.*, vol. 211, November, 2020.
- [15] J. Han, X. Wang, J. Xu, and N. Yi, "ScienceDirect Thermodynamic analysis and optimization of an innovative geothermal-based organic Rankine cycle using zeotropic mixtures for power and hydrogen production," vol. 5, 2020.