

## ANALISIS ORC SEBUAH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI DENGAN VARIASI FLUIDA KRJA R123, R141B, dan PENTANA

\*Ditto Aryasena Pribadie<sup>1</sup>, \*\*Berkah Fajar Tamtomo Kiono<sup>2</sup>, Khoiri Rozi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: dittoarya8@gmail.com; \*\*E-mail: berkahfajar@undip.ac.id

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan fluida kerja sekunder yang digunakan untuk mengetahui jenis fluida kerja yang memiliki efisiensi dan menghasilkan kerja paling tinggi. Fluida kerja yang digunakan adalah n-pentane, isopentane, R141b, dan R123. Standar operasional pembangkit didapatkan berdasarkan data laporan produksi pada lapangan. Metode yang dilakukan adalah dengan simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak Engineering Equation Solver. Persamaan yang digunakan lalu divalidasi dengan data lapangan. Setelah hasil sesuai keinginan, dilanjutkan dengan memvariasikan dengan fluida kerja lainnya. Dari hasil pembahasan didapatkan bahwa performa fluida kerja n-pentane memiliki nilai efisiensi dan kerja yang paling baik. Hasil lain dari penelitian ini adalah menganalisis sifat kimia fluida kerja yang digunakan yang memiliki pengaruh terhadap lingkungan. Didapatkan data bahwa nilai Global Warming Potential dan Ozone Depletion Potential fluida kerja jenis pentane memiliki nilai terendah yaitu 0 dan 0,1. Sedangkan dari semua fluida kerja yang digunakan, fluida kerja R123 memiliki kelas B1 dimana kelas tersebut mengindikasikan bahwa fluida kerja ini memiliki tingkat racun rendah dan tidak mudah terbakar.

**Kata kunci:** eksergi; energi; gwp; odp; *organic rankine cycle*

### Abstract

The purpose of this research is to compare the secondary working fluids used to find out which type of working fluid has the highest efficiency and produces the highest work. The working fluids used were n-pentane, isopentane, R141b, and R123. The operational standard of the power plant is obtained based on production report data in the field. The method used is numerical simulation with the help of software Engineering Equation Solver. The equation used is then validated with field data. After the results are as desired, proceed with varying them with other working fluids. From the results of the discussion it was found that the performance of the n-pentane working fluid has the best efficiency and work values. Another result of this study is to analyze the chemical properties of the working fluids used which have an impact on the environment. It was found that the GWP and ODP values of the pentane-type working fluid have the lowest values, 0 and 0.1. Meanwhile, of all the working fluids used, the working fluid R123 has class B1 where this class indicates that the working fluid R123 has a low level of toxicity and is not flammable.

**Keywords:** energy; exergy; gwp; odp; *organic rankine cycle*

### 1. Pendahuluan

Sebagai negara yang memiliki beragam sumber daya alam, Indonesia memiliki potensi besar dalam hal pembangkitan energi mulai dari energi fosil sampai energi terbarukan. Potensi sumber daya alam yang besar salah satunya adalah panas bumi yang penggunaannya belum optimal [1]. Salah satu metode yang terbukti efektif untuk menggunakan panas bumi serta panas sisanya untuk membangkitkan listrik adalah siklus rankine organik atau ORC [2]. Sistem ORC juga terbukti potensial untuk memanfaatkan kembali panas buang karena memiliki efisiensi termal tinggi, konfigurasi sistem yang sederhana, dan keandalan tinggi [3]. Sistem ORC beroperasi dengan memanfaatkan panas sisa bertemperatur rendah yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja sekunder berupa fluida kerja organik yang

memiliki titik didih jauh lebih rendah dibanding air [4]. Sistem ORC semacam ini disebut siklus biner dimana sumber panas yang telah digunakan untuk memutar turbin digunakan kembali untuk memanaskan fluida kerja sekunder melalui alat penukar panas sehingga fluida kerja sekunder tersebut dapat menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin pada sistem ORC [5].

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1 Pemilihan Fluida Kerja

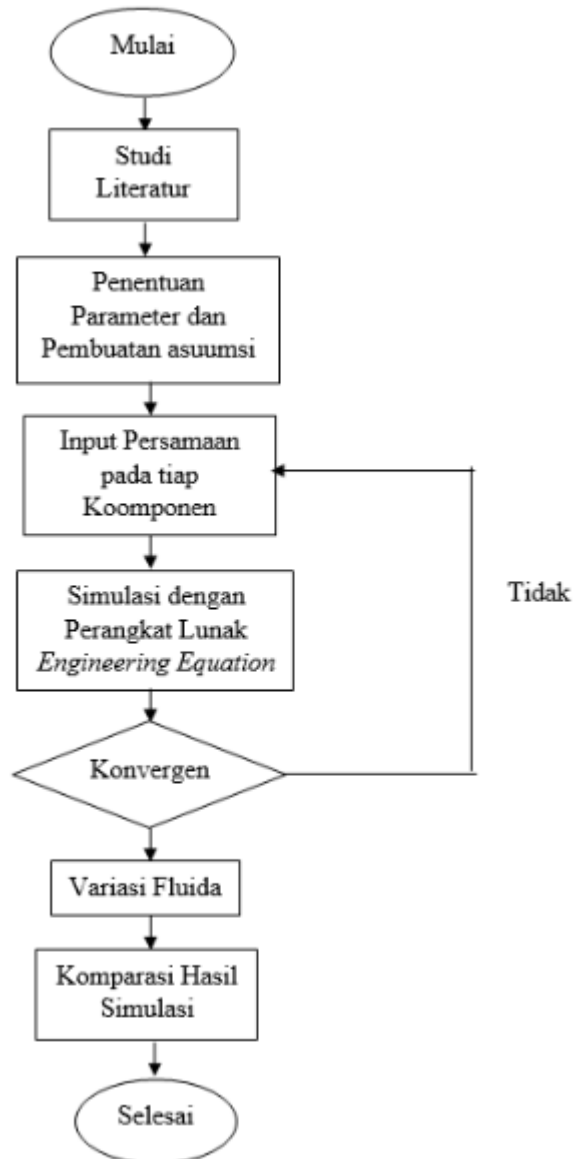
Fluida kerja organik yang digunakan secara umum termasuk kategori refrigeran yang secara teori refrigeran mampu berubah fasa dari cair ke gas dengan mudah [6]. Fluida kerja yang umumnya digunakan dibedakan menjadi tiga kategori, fluida kerja basah, kering, dan isentropic [7]. Maka dari itu, pemilihan fluida kerja bergantung pada properti termofisik seperti entalpi entalpi, temperatur kritis, temperatur stabil maksimum, panas laten, stabilitas kimia, *Ozone Depletion Potential* (ODP), *Global Warming Potential* (GWP), keamanan, ketersediaan fluida dan juga pengaruh pemilihan fluida kerja untuk aplikasi yang spesifik seperti ditunjukkan pada Tabel 1 [8].

**Tabel 1.** Perbandingan Sifat Fluida Kerja

| Sifat                               | Isopentane | n-Pentane | R123   | R141b  |
|-------------------------------------|------------|-----------|--------|--------|
| GWP                                 | 0.1        | 0.1       | 77     | 725    |
| ODP                                 | 0          | 0         | 0.02   | 0.12   |
| Massa Jenis<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 236.0      | 232       | 550    | 458.56 |
| NBP (K)                             | 300.98     | 309.32    | 300.97 | 305.2  |
| Tekanan Kritis<br>(MPa)             | 3.378      | 3.47      | 3.661  | 4.212  |
| Temperatur Kritis<br>(K)            | 460.35     | 469.75    | 456.83 | 477.5  |
| Temperatur<br>Minimum (K)           | 112.65     | 141.47    | 166    | 169.68 |
| Tekanan<br>Maksimum (MPa)           | 1000       | 100       | 40     | 400    |
| Temperatur<br>Maksimum (K)          | 500        | 600       | 600    | 500    |
| <i>Flammability</i>                 | 4          | 4         | 0      | 1      |
| <i>Toxicity</i>                     | 1          | 1         | 2      | 2      |

### 2.2 Diagram Alir Penelitian

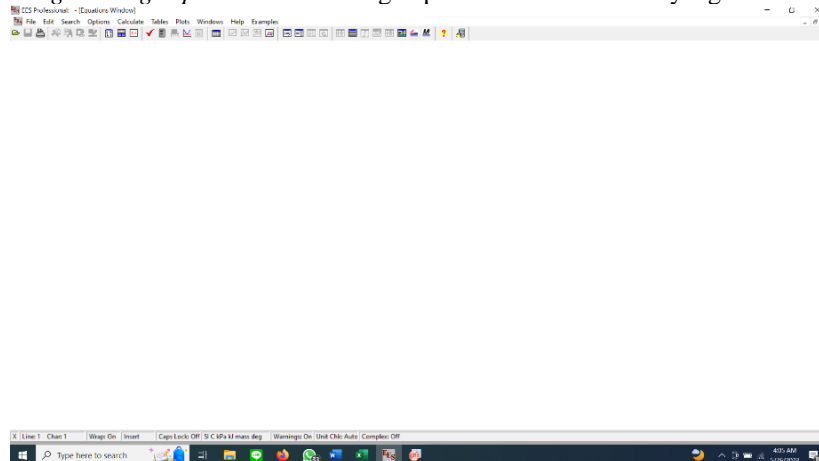
Pada penelitian ini langkah-langkah kegiatan mengacu pada diagram alir yang bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

### 2.3 Perangkat Lunak *Engineering Equation Solver*

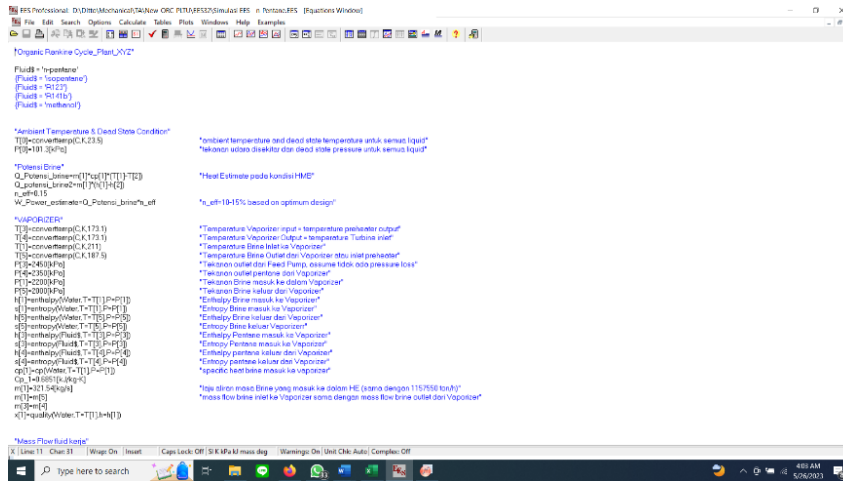
Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan memasukan persamaan pada jendela persamaan atau *equation window* perangkat lunak *Engineering Equation Solver* dengan persamaan dan asumsi yang telah didapatkan.



Gambar 2. *Equation Window*

## 2.4 Pembuatan Asumsi dan Input Persamaan

Studi literatur yang dilakukan menghasilkan persamaan dan asumsi yang digunakan untuk perhitungan. Persamaan yang didapatkan dimasukkan kedalam jendela persamaan dengan teknik penulisan yang ditentukan oleh perangkat lunak. Persamaan yang dimasukkan diberi keterangan untuk memudahkan persamaan mana yang belum dimasukkan ke dalam perangkat lunak



Gambar 3. Input Parameter dan Asumsi

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Uji Validasi

Uji validasi dilakukan dengan melakukan komparasi nilai simulasi dengan data eksisting untuk melihat besar error yang terjadi pada simulasi.

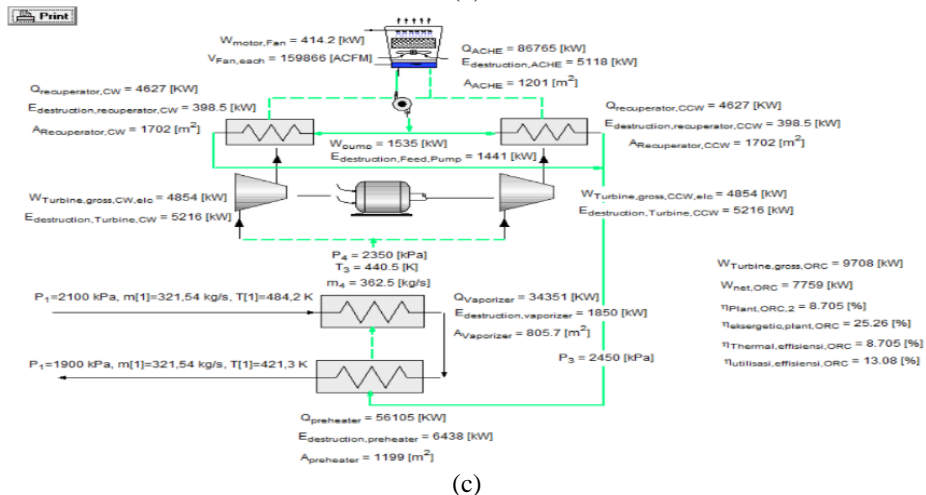
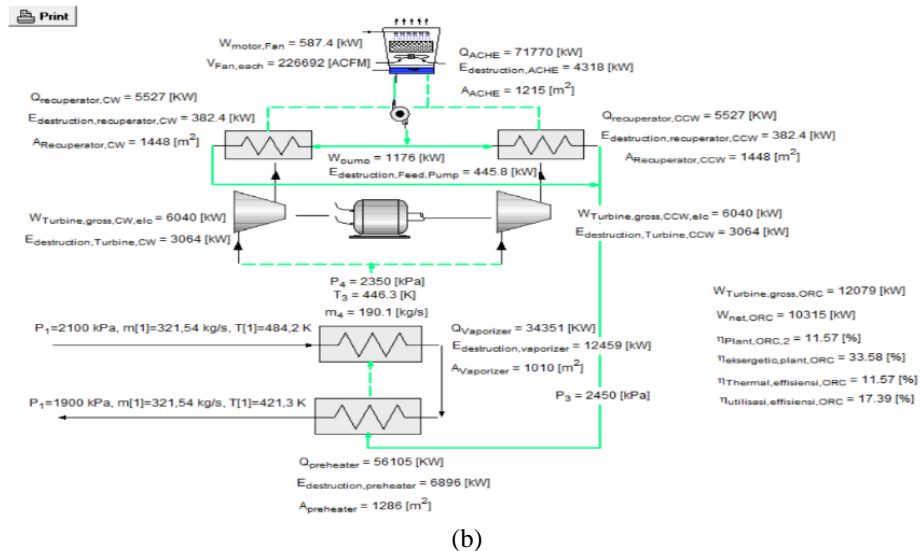
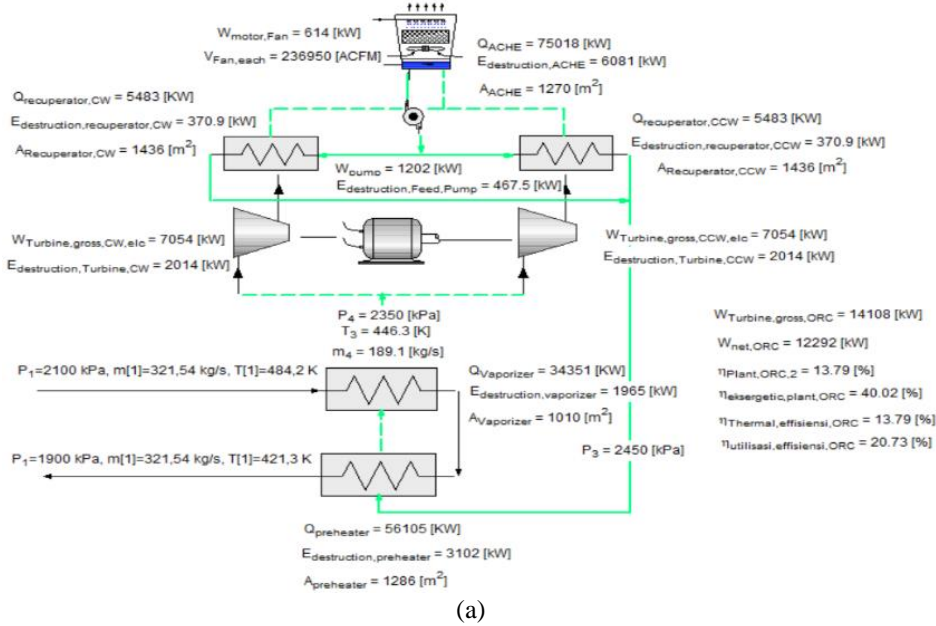
Tabel 2. Uji Validasi Fluida Kerja n-Pentane

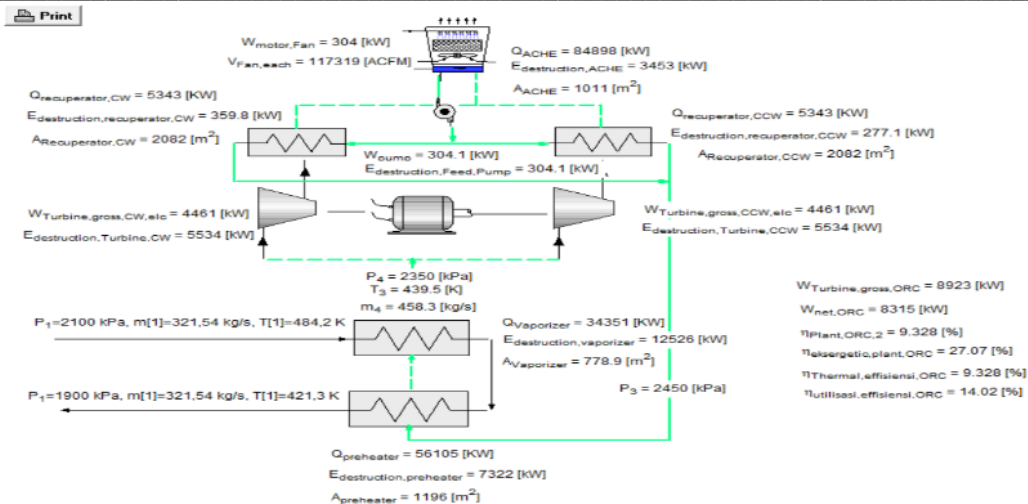
| No. | Komponen          | Data Eksisting (kW) | Hasil Simulasi (kW) |
|-----|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1.  | ACHE              | 76030               | 75018               |
| 2.  | Preheater         | 55220               | 56105               |
| 3.  | Recuperator CW    | 5560                | 5483                |
| 4.  | Recuperator CCW   | 5560                | 5483                |
| 5.  | Vaporizer         | 34000               | 34351               |
| 6.  | Pompa Sirkulasi   | 1215                | 1202                |
| 7.  | Fan               | 625                 | 614                 |
| 8.  | Turbine Gross CW  | 6945                | 7054                |
| 9.  | Turbine Gross CCW | 6945                | 7054                |
| 10. | Work Nett ORC     | 12050               | 12292               |

Berdasarkan hasil simulasi yang didapatkan dengan fluida kerja n-Pentane yang dikomparasikan hasilnya dengan data eksisting yang ada, persamaan yang digunakan sudah tervalidasi ditandai dengan nilai error yang kecil pada setiap komponen ORC. Nilai error terbesar terdapat pada hasil Kerja Net ORC yaitu sebesar 2.008% dan nilai error terkecil terdapat pada komponen vaporizer dengan nilai 1.032%

### 3.2 Hasil Simulasi dengan Variasi Fluida Kerja

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ORC biner ini memiliki kelebihan dalam rendahnya *mechanical stress* di turbin tidak adanya erosi pada bilah turbin akibat tidak ada kandungan air saat proses ekspansi turbin, dan juga dengan ukuran turbin ORC yang lebih kecil membuat biaya lebih rendah [9]. Perhitungan pada simulasi ini juga meliputi persamaan energi, entropi, dan massa yang termasuk dari hukum kedua termodinamika [10]





**Gambar 6.** Hasil Simulasi dengan Variasi  
 (a) n-pentane, (b) isopentane, (c) R141b, (d) R123

Berdasarkan empat simulasi di atas, didapati bahwa fluida kerja dengan hasil perhitungan terbaik adalah n-pentane dengan kerja turbin gross sebesar 14,1 MW, kerja net ORC 12,2 MW, efisiensi pembangkit 13,79%, efisiensi termal 13,79%, dan efisiensi eksergi 40,02%

#### 4. Kesimpulan

Nilai efisiensi pembangkit dan efisiensi termal tertinggi dimiliki oleh n-pentane dengan 13,79% dan terendah dimiliki oleh R141b dengan nilai 8,705%. Pada aspek efisiensi eksergi nilai terbesar dimiliki n-pentane dengan nilai 40,02% sedangkan pada aspek kerja turbin terbesar didapatkan oleh n-pentane dengan nilai 14,1 MW dan yang terendah adalah R123 dengan nilai 8.9 MW. Pada aspek lingkungan, fluida kerja memiliki standar keamanan tertinggi yaitu B1 yang berarti tidak mudah terbakar dan memiliki tingkat racun yang lebih tinggi.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Khasmadin, M. F., & Harmoko, U. (2021). Kajian Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Patuha Ciwidey. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(2), 101–113
- [2] Li, Z., Yu, X., Wang, L., Jiang, R., Yu, X., Huang, R., & Wu, J. (2022). Comparative investigations on dynamic characteristics of basic ORC and cascaded LTES-ORC under transient heat sources. In *Applied Thermal Engineering* (Vol. 207). Elsevier Ltd.
- [3] Ozdemir, E., & Kilic, M. (2017). Energy and Exergy Analysis of an Organic Rankine Cycle Using Different Working Fluids from Waste Heat Recovery. *International Journal of Environmental Trends*.
- [4] Rettig, A., Ch, A. R., Lagler, M., Mahadea, V., Mu, V. M., Mccallion, S., Rettig, A., Lagler, M., Lamare, T., Li, S., Mahadea, V., Mccallion, S., & Chernushevich, J. (2011). *Application of Organic Rankine Cycles (ORC)*.
- [5] Thurairaja, K., Wijewardane, A., Jayasekara, S., & Ranasinghe, C. (2019). Working fluid selection and performance evaluation of ORC. *Energy Procedia*, 156, 244–248
- [6] Pratama, F. A., Mitrakusuma, W. H., Falahuddin, M. A., Ayu, W. S., Refrigerasi, J. T., Udara, T., Bandung, N., & 40012, B. (2021). *Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*.
- [7] Herath, H. M. D. P., Wijewardane, M. A., Ranasinghe, R. A. C. P., & Jayasekera, J. G. A. S. (2020). Working fluid selection of Organic Rankine Cycles. *Energy Reports*, 6, 680–686.
- [8] Thurairaja, K., Wijewardane, A., Jayasekara, S., & Ranasinghe, C. (2019). Working fluid selection and performance evaluation of ORC. *Energy Procedia*, 156, 244–248.
- [9] El Haj Assad, M., Bani-Hani, E., & Khalil, M. (2017). Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study. *Geothermal Energy*, 5(1).
- [10] Haider, S. M. A., Ratlamwala, T. A. H., Kamal, K., Alqahtani, F., Alkahtani, M., Mohammad, E., & Alatefi, M. (2023). Energy and Exergy Analysis of a Geothermal Sourced Multigeneration System for Sustainable City. *Energies*, 16(4), 1616.