

Pemilihan Fluida Kerja pada Pengembangan Organic Rankine Cycle

Selection Working Fluids in the Organic Rankine Cycle Development

Yogi Sirodz Gaos^{1*}, Mulya Juarsa¹, Edi Marzuki¹, Muhamad Yulianto^{1,2}

¹*Engineering Development for Energy Conversion and Conservation
(EDfEC) Research Laboratory,
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UIKA Bogor*

²*Departemen Teknik Mesin dan Biosistem
Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Bogor*

*Corresponding author: yogi@ft.uika-bogor.ac.id

Abstract: In this study presents the comparisson of 3 working fluids for use in the development of Organic Rankine cycle. According to the list of refrigerant mostly-applied, in this paper provide many of working fluid that are : R 134a, R141b, n-Pentane. Analysis the use of working fluid in the development of ORC based on : Thermodynamics, environmental and economic criteria, such as : efficiency, non-flammability, low toxicity, no ozon depletion and low cost. The method to analysis working fluids, in this paper use cycle tempo and the properties of working fluid use Refprop . The result of this analysis are R 134a have efficiency 8,42% with condition temperature inlet at turbine is 90°C, then R141b have efficiency 11,79% with condition temperature inlet at turbin is 160°C, and the last for n-Pentane have efficiency 16,92% with condition temperature inlet at turbine is 160°C. Based on this result, the best working fluid for the development of ORC is R134a with lowest temperatur inlet at Turbine.

Key words: ORC, Working Fluid, Cycle Tempo, Refprop

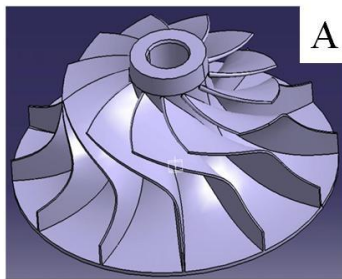
1. PENDAHULUAN

Organic Rankine Cycle (ORC) merupakan salah satu pembangkit listrik dengan temperatur rendah. Definisi ORC oleh peneliti lain yaitu pembangkit listrik dengan karakteristik fluida yang menguap pada temperature lebih rendah dari pembangkit listrik tenaga uap konvensional [1]. ORC saat ini banyak diminati untuk dikembangkan dan diaplikasikan karena penggunaan turbin konvensional digerakan dengan bahan bakar fosil yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Permasalahan lingkungan yang dapat disebabkan karena polusi udara, pemanasan global, kebocoran lapisan ozon, dan juga Hujan asam [2].

Perkembangan-perkembangan penelitian baik secara simulasi maupun eksperimen sudah banyak dilakukan dibidang sumber energi panas, fluida kerjanya maupun design dari turbin. Perkembangan penelitian tersebut diantaranya adalah : Penggunaan sumber panas dari sinar matahari dengan plat datar, sedangkan fluida kerja menggunakan R245fa dan R123 hasilnya adalah untuk refrigeran R245 dan R123 mempunyai performansi efisiensi lebih baik dibandingkan penggunaan refrigerasi Isobutane dan R134a [3]. Simulasi untuk perbandingan optimasi

untuk 8 fluida kerja, yaitu HFE7000, HFE7100, PF5050, R123, n-pentane, R245fa, R134a dan Isobutane, sedangkan simulasi ini ditunjukkan untuk sumber panas dari panas matahari, panas bumi, biomass, dan recovery dari panas buang. Hasil dari penelitian ini berupa susunan efisiensi berdasarkan metode spinal point adalah HFE7000, HFE7100, PF5050, R123, n-pentane, R245fa, R134a, Isobuthane [2] hal ini berbeda dengan susunan yang dikemukakan oleh peneliti lainnya yang menyebutkan susunan efisiensi tertinggi adalah : n-buthane, R245fa, R123, n-pentane, HFE7000, SES 36, R134a, R1234yf [4]. Penelitian dengan mengubah design dari turbin radial pada blade dan nozzle seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 dengan fluida kerja R245fa dan pemanas dari heater menghasilkan bahwa efisiensi rata-rata siklus, efisiensi turbin, Daya listrik yang dihasilkan sebesar 5,22%, 78,7%, 32,7 kW [5].

Penelitian dengan membandingkan antara Kalina dengan ORC menggunakan fluida kerja Hexa methylsiloxane dan pemanas dari panas buang diesel menghasilkan performansi dengan menggunakan siklus kalina lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan siklus ORC [6]. Penelitian dengan menggunakan fluida kerja R245a dengan pemanas dari panas matahari yang menghasilkan daya maksimum 2250 W dengan temperatur 60oC [7]



A

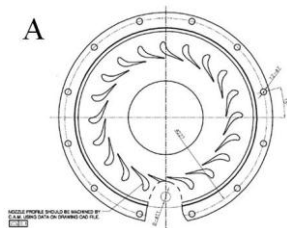
Drawing



B

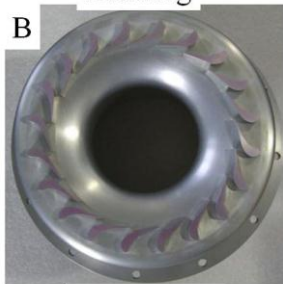
Photograph

Gambar 1. Blade turbin : a. Drawing, b. Photograph [5]



A

Drawing



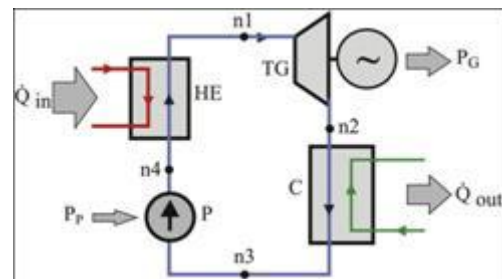
B

Photograph

Gambar 2 Nozzle Turbin : a. Drawing, b. Photograph [5]

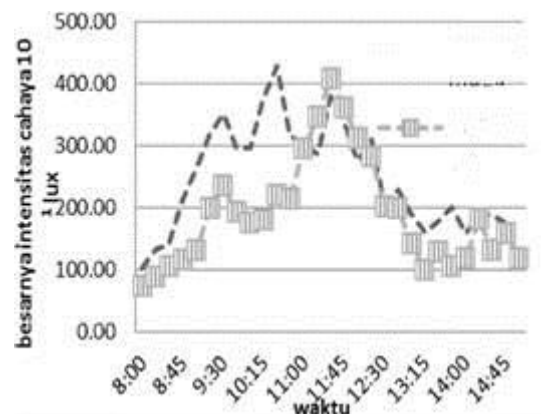
Penelitian yang dilakukan lainnya adalah ORC yang dihubungkan dengan pemanas dari pompa pemanas dengan fluida kerja HFC-134a, hasil dari penelitian ini

adalah daya yang dibutuhkan dari heat pump untuk dapat menguapkan HFC 134a 20kW dengan diameter kompresor dan turbin adalah 20 mm dan 18 mm [8]. Penelitian dengan pemanas menggunakan dari gas panas buang diesel dengan fluida kerja R245fa menghasilkan daya ORC sebesar 15.5 kW, 14.5 kW, dan 13.7 kW dengan efisiensi 9.1%, 9.2% dan 9.4% [9]. Penelitian dengan menggunakan fluida kerja R245fa dengan pemanas dari recovery panas buang yang menghasilkan bahwa temperatur masuk turbin mempengaruhi efisiensi dari sistem ORC dengan fluida kerja 245fa [10]. Secara umum siklus Organic Rankine Cycle digambarkan pada gambar 3 dimana terdiri dari Turbin generator, Heat Exchanger, Pompa, kondenser [11]



Gambar 3. Skematik siklus ORC. TG : Turbin Generator, HE : Heat Exchanger – Evaporator+Preheater, P : Pompa, C : Condenser [11]

Sedangkan potensi penggunaan panas dari tenaga matahari sudah dipaparkan dengan hasil intensitas pada gambar 4 dibawah ini [12]



Gambar 4. Intensitas cahaya daerah Bogor [12]

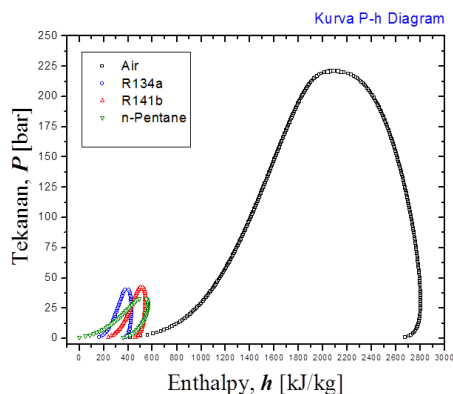
Dari pemaparan diatas maka, pada penelitian ini akan dibahas tentang pemilihan fluida kerja dari R134a, R141b dan n-pentane dengan rencana penggunaan pemanas dari panas matahari. Analisis penelitian ini menggunakan alat bantu software Cycle tempo dan Refprop sebagai analisis thermodinamik.

2. METODE SIMULASI

Penelitian ini merupakan analisis thermodynamika dengan menggunakan bantuan software cycle tempo yang terlebih dahulu mendapatkan sifat refrigeran menggunakan software Refprop.

2.1. Tipe fluida kerja

Siklus uap air menghasilkan rasio tekanan tinggi dan sifat perpindahan panas yang baik tetapi mempunyai kelemahan pada kondisi masuk turbin pada tekanan 100 bar dan temperatur 450°C [2] hal ini mempunyai kelemahan dalam permasalahan keamanan sehingga dengan ORC yang menggunakan fluida refrigeran hal ini dapat dianulir karena menguap pada temperatur rendah. Gambar 5 menunjukkan diagram P-H yang didapat dari Refprop. Diagram tersebut memperlihatkan dengan jelas bahwa untuk menguapkan air diperlukan tekanan dan enthalpy lebih besar dibanding 3 fluida kerja yang lain (R134a, R141b dan n-pentane). Hal inilah yang menjadi salah satu dasar dalam pemilihan fluida kerja pada ORC. Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan analisis thermodynamika untuk mengetahui efisiensi dari sistem ORC.



Gambar 5. Diagram P-H fluida kerja R134a, R141b, air dan n-Pentane

2.2. Sifat fluida kerja

Sifat fluida yang akan dianalisa pada penelitian ini sesuai dengan tekanan dan temperatur yang dapat dilihat pada Tabel 1. Di dalam Tabel 1, untuk memastikan bahwa fluida kerja tersebut pada kondisi fase uap agar dapat menggerakkan turbin dilakukan simulasi dengan menggunakan Refprop.

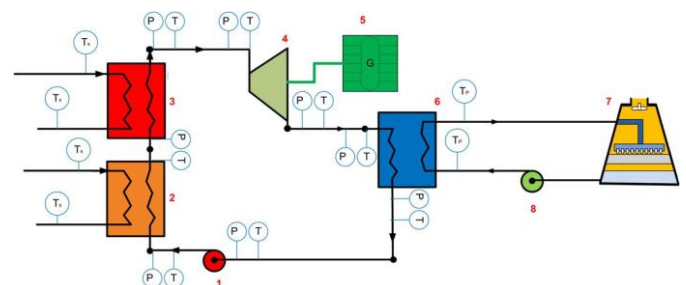
Tabel 1. Kondisi pada saat simulasi

| No | Refrigeran | Tekanan (bar) | Temperatur (°C) | Kualitas |
|----|------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1 | R134a | 25 | 90 | Uap Superheated |
| 2 | R141b | 20 | 160 | Uap Superheated |
| 3 | n-pentane | 15 | 160 | Uap Superheated |

2.3. Pembuatan Cycle tempo

Pada gambar 6 merupakan skema diagram yang digunakan untuk analisa thermodynamika menggunakan Cycle tempo. Pada cycle tempo tersebut komponen-komponennya terdiri dari :

1. Pompa
2. Heater
3. Pre-Heater
4. Turbin
5. Generator
6. Kondenser
7. Cooling Tower
8. Pompa Cooling Tower

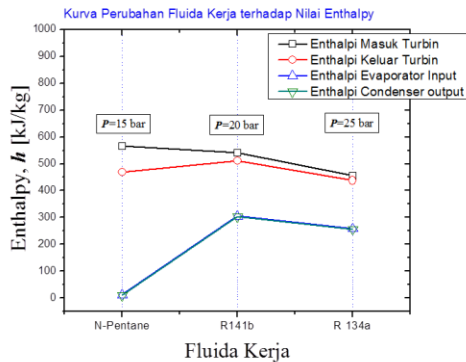


Gambar 6. Skema pada cycle tempo

3. HASIL DAN DISKUSI

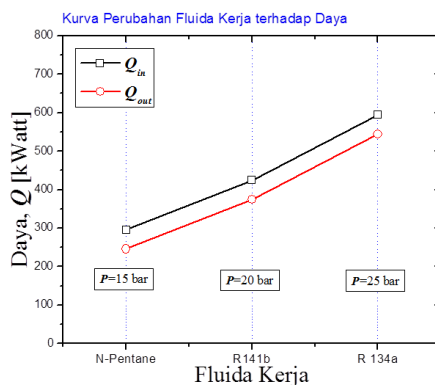
Gambar 7 memperlihatkan bahwa untuk masing-masing fluida kerja n-pentane, R141b dan R134a mempunyai nilai enthalpy yang maksimum pada n-Pentane pada tekanan yang paling rendah dibandingkan dengan fluida kerja lainnya. Sehingga energi yang digunakan untuk menguapkan fluida kerja lebih kecil dibandingkan dengan fluida kerja R141b dan R134a seperti yang terlihat pada Gambar 8. Aspek lainnya adalah efisiensi maksimum seperti yang terlihat pada Gambar 9 yang bisa dicapai oleh ORC yang pada simulasi ini terjadi pada penggunaan n -

pentane sebesar 16,92% kemudian R141b sebesar 11,79% dan yang terakhir adalah R134a sebesar 8,42%. Hal ini dikarenakan penggunaan energi minimum yang dibutuhkan ada di n-pentane.

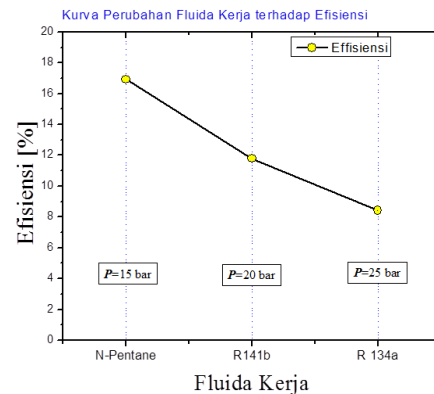


Gambar 7. Nilai enthalpy pada 3 fluida kerja pada tekanan dan temperature tertentu

Sehingga jika diurutkan, maka fluida yang membutuhkan energi input paling kecil dan efisiensi terbesar adalah n-Pentane, R141b dan R134a. Tetapi hal ini sangat bertolak belakang dengan tujuan pengembangan ORC karena ORC bertujuan agar dapat menguapkan fluida pada temperatur rendah, sehingga jika dilihat pada Tabel 1, maka temperatur paling rendah masuk turbin dimana fluida kerja sudah dalam keadaan uap superheated adalah R134a baru kemudian n-pentane dan yang terakhir adalah R141b. Perimbangan lainnya adalah secara ekonomis, dimana n-pentane merupakan fluida kerja yang tergolong lebih mahal dari R134a. Secara keamanan juga menjadi pertimbangan karena n-pentane bersifat *flammable*.



Gambar 8. Daya input dan output yang dihasilkan



Gambar 9. Efisiensi Organic Rankine Cycle

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari pengujian ini adalah :

1. Secara analisa thermodinamik, urutan fluida kerja yang mempunyai efisiensi tertinggi adalah n-pentane, R141b, dan R134a karena n-pentane mempunyai nilai efisiensi yang tertinggi dengan energy yang dibutuhkan untuk menguapkan fluida kerja lebih sedikit.
2. Jika dilihat dari temperatur yang paling rendah, maka R134a mempunyai temperature penguapan yang paling rendah yaitu 90°C dan memungkinkan penggunaan panas matahari sebagai sumber panasnya
3. Secara ekonomis dan faktor keselamatan maka R134a merupakan fluida kerja yang paling ekonomis dan tidak flammable jika dibandingkan dengan n-pentane sehingga pada paper ini lebih disarankan untuk menggunakan R134a sebagai fluida kerja dibandingkan dengan n-pentane dan R141b

DAFTAR PUSTAKA

1. Torres. Agustin M. Delgado, Lourdes Garcia-Rodriguez. Journal of Energy Conversion and Management 51 (2010) 2846 – 2856
2. Qiu. Guoquan. Journal of Renewable Energy 48 (2012) 565 – 570
3. Wang. Man, Jiangfeng. Wang, Yuzhu. Zhao, Pan. Zhao, Yiping. Dai. Journal of Applied Thermal Engineering 50 (2010) 816 – 825

4. Quoilin, S. Declay. S, Tchance.B.F, Lemort. V. Journal of Therm Eng 31 (2011) 2885 – 2895
5. Kang, Seok Hun. Journal of Energy 41 (2012) : 514 – 524.
6. Bombarda. Paola, Costante. M. Invernizzi, Claudio. Pietra. Journal of Applied Thermal Engineering 30 (2010) 212-219.
7. Ksayer. E. Bou. Lawz. Journal of Energy Procedia 6 (2011) 389 – 395.
8. Demierre. J, S. Hechoz, D. Favrat. Journal of Energy 41 (2012) 10 – 17.
9. Yu. Guepeng, Gequn. Shu, Hua. Tian, Haiqiao. Wei, Lina. Liu. Journal of Energy 51 (2013) 281 – 290.
10. Bracco. Roberto, Stefano. Clemente, Diego. Micheli, Mauro. Reini. Journal of Energy xxx (2013) 1 – 10
11. Gozdur, Aleksandra Borsukiewics. Journal of Applied Thermal Engineering 56 (2013) 126 - 133
12. Wijayanto, Nurheni. Nurunnajah. Jurnal Silvikultur Tropika 03 (2012) 8 – 13.