

PEMILIHAN FLUIDA KERJA PADA PENGEMBANGAN *ORGANIC RANKINE CYCLE*

Oleh:

Yogi Sirodz Gaos, Mulya Juarsa, Edi Marzuki, Muhamad Yulianto

Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

Abstrak

Studi ini menjelaskan perbandingan 3 fluida kerja yang digunakan dalam pengembangan Siklus Rankine Cycle. Menurut Tabel refrigerant yang sering digunakan, makalah ini menggunakan fluida kerja R134a, R141b dan n-pentane. Analisis menggunakan fluida kerja untuk pengembangan ORC berdasarkan kriteria termodinamika, lingkungan dan ekonomi seperti efisiensi, non-flammability, toksin rendah, tidak ada penipisan ozon dan cost yg rendah. Metode penelitian untuk analisis menggunakan software Cycle Tempo dan penentuan sifat-sifat fluida kerjanya dengan software Refprop. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi sistem adalah 8,42%, 11,79% dan 16,92% secara berturut-turut untuk R134a, R141b dan n-pentane pada temperature inlet 160°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan fluida kerja terbaik adalah fluida R134.

Kata Kunci: ORC, Fluida Kerja, Cycle Tempo, Efisiensi

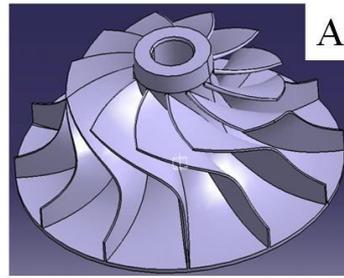
A. Latar Belakang

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 fossil yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Permasalah lingkungan yang dapat disebabkan karena polusi udara, pemanasan global, kebocoran lapisan ozon, dan juga Hujan asam [2].

Berbagai penelitian terkait ORC baik secara simulasi maupun eksperimen sudah banyak dilakukan berdasarkan analisis terhadap sumber energi panas, fluida kerja maupun pengembangan design turbin. Salah satu penelitian tersebut adalah penggunaan sumber panas dari sinar matahari dengan panel plat datar, sedangkan fluida kerjanya menggunakan R245fa dan R123. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa refrigeran R245fa dan R123

mempunyai performansi efisiensi lebih baik dibandingkan penggunaan refrigerasi Isobutane dan R134a [3]. Kemudian, simulasi dengan perbandingan optimasi untuk 8 fluida kerja, yaitu HFE7000, HFE7100, PF5050, R123, n-pentane, R245fa, R134a dan Isobutane, dimana simulasi ini ditunjukkan untuk sumber panas dari panas matahari, panas bumi, biomass, dan recovery dari panas buang (*thermal waste*). Hasil dari penelitian berupa susunan efisiensi berdasarkan metode spinal point dari yang tertinggi secara berturut-turut adalah HFE7000, HFE7100, PF5050, R123, n-pentane, R245fa, R134a, Isobutane [2]. Sedangkan urutan efisiensi yang dikemukakan oleh peneliti lainnya menyebutkan efisiensi tertinggi secara berturut-turut adalah : n-buthane, R245fa, R123, n-pentane, HFE7000, SES 36, R134a, R1234yf [4]. Penelitian terkait perubahan geometri turbin juga dilakukan peneliti lainnya, yaitu dengan mengubah design turbin radial pada blade dan nozle seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 dengan fluida kerja R245fa dan pemanas dari heater. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi rata-rata siklus, efisiensi turbin, serta daya listrik yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 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 2250W dengan temperatur 60°C [7].

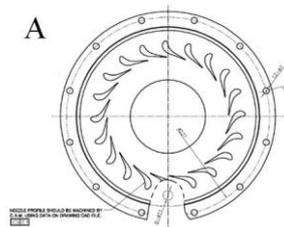


Drawing

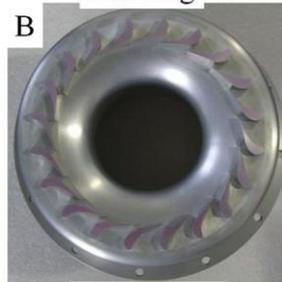


Photograph

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



Drawing

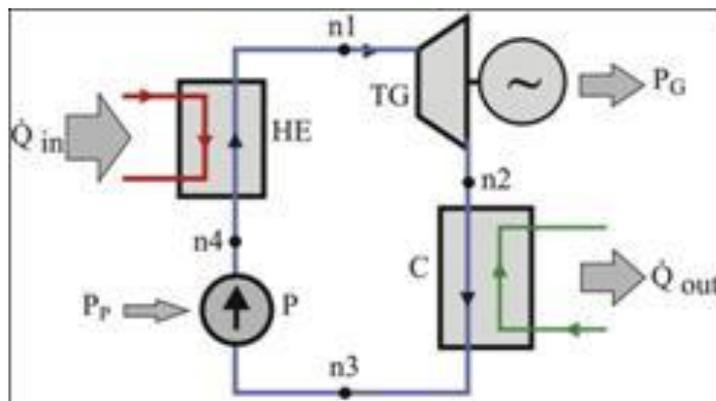


Photograph

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

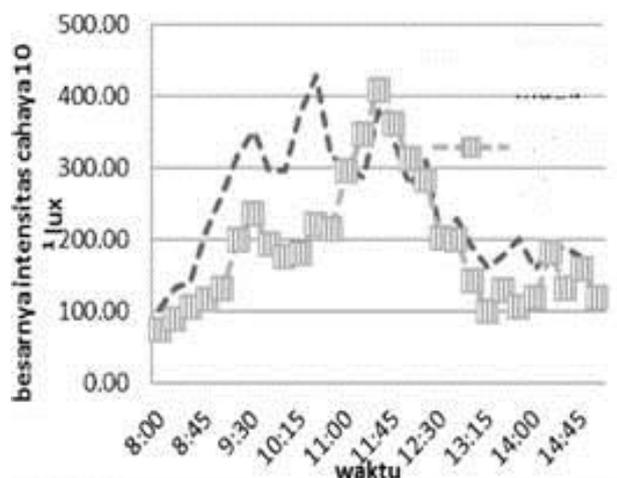
Penelitian yang dilakukan lainnya adalah ORC yang dihubungkan dengan pemanas dari pompa pemanas dengan fluida kerja HFC-134a, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daya yang dibutuhkan dari heat pump untuk dapat menguapkan HFC 134a sebesar 20kW dengan diameter kompresor dan turbin adalah 20 mm dan 18 mm [8]. Penelitian

dengan pemanas menggunakan gas panas buang diesel dengan fluida kerja R245fa yang menghasilkan daya ORC sebesar 15.5 kW, 14.5 kW, dan 13.7 kW menunjukkan nilai efisiensi secara berturut-turut adalah 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]

Kemudian perlu menampilkan kondisi kota Bogor dengan potensi penggunaan panas dari tenaga matahari yang dipaparkan dengan intensitas cahaya matahari di daerah Bogor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4[12].



Gambar 4. Intensitas cahaya daerah Bogor [12]

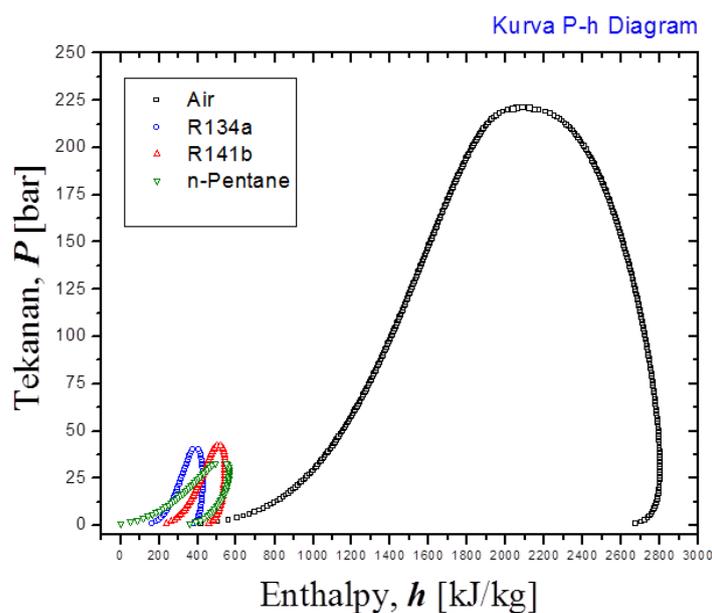
Dari pemaparan diatas maka, pada penelitian ini akan dibahas tentang pemilihan fluida kerja dari R134a, R141b dan n-pentane dengan rencana penggunaan pemanas dari panas matahari. Analisis penelitian ini menggunakan alat bantu software Cycle tempo dan Refprop sebagai analisis thermodinamik.

B. Metode Simulasi

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

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 keselamatan dan efektivitasnya. Sehingga penerapan ORC yang menggunakan fuida refrigeran tidak menjadi masalah mengingat fluida kerja yang digunakan 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 enthaply lebih besar dibanding 3 fluida kerja yang lain (R134a, R141b dan n-pentane). Hal inilah yang mejadi salah satu dasar dalam pemilihan fluida kerja organic bertemperatur didih rendah pada system ORC. Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan analisis thermodinamika untuk mengetahui efisiensi dari sistem ORC tersebut.



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

2. Sifat Fluida Kerja

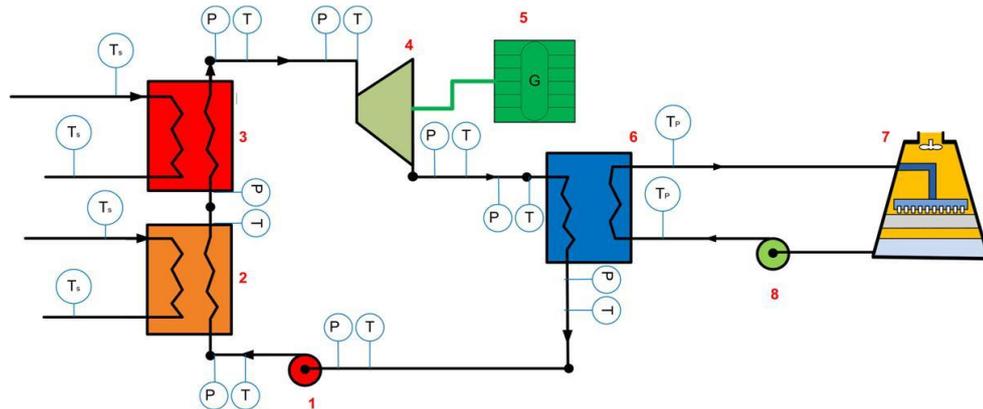
Sifat fluida yang akan dianalisa pada penelitian ini sesuai dengan tekanan dan temperatur yang dapat dilihat pada Tabel 1. Di dalam Tabel 1, untuk memastikan bahwa fluida kerja tersebut pada kondisi fase uap agar dapat menggerakkan turbin dilakukan simulasi dengan menggunakan Refprop.

Tabel 1. Kondisi pada saat simulasi

| No | Refrigeran | Tekanan (bar) | Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) | Kualitas |
|----|------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|
| 1 | R134a | 25 | 90 | Uap Superheated |
| 2 | R141b | 20 | 160 | Uap Superheated |
| 3 | n-pentane | 15 | 160 | Uap Superheated |

3. Pembuatan Cycle tempo

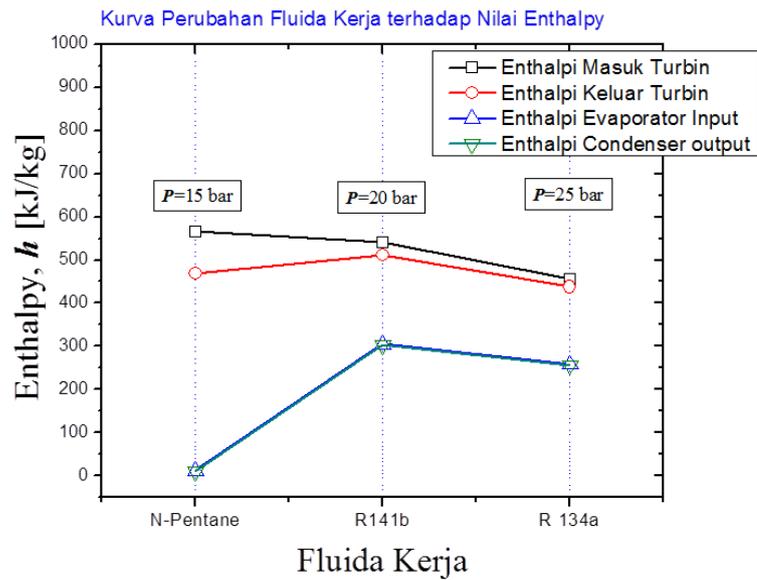
Gambar 6 merupakan skema diagram yang digunakan untuk analisa thermodinamika menggunakan Cycle tempo. Pada cycle tempo tersebut komponen-komponennya terdiri dari: (1) Pompa, (2) Heater, (3) Pre-Heater, (4) Turbin, (5) Generator, (6) Kondenser, (7) Cooling Tower, dan (8) Pompa Cooling Tower. Lihat gambar 6



Gambar 6. Skema pada cycle tempo

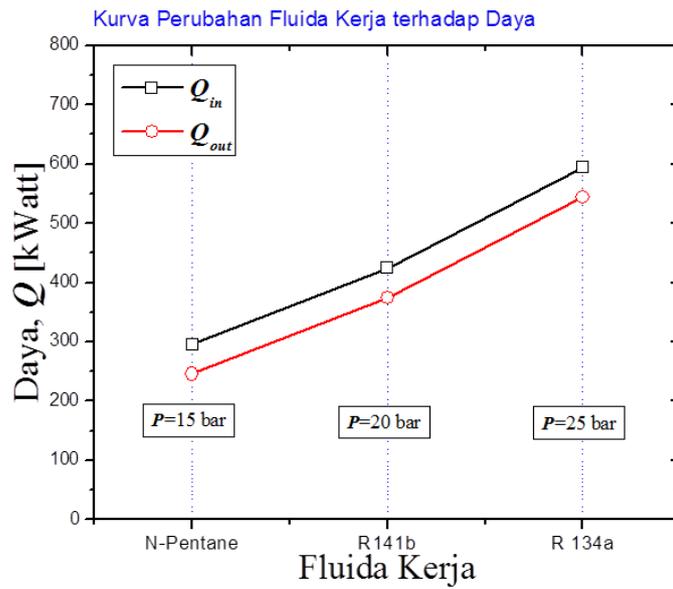
C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

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 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.

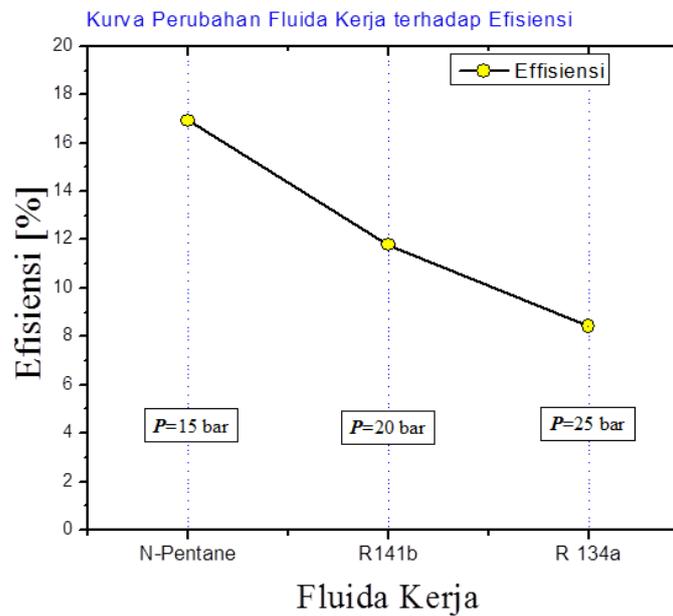


Gambar 7. Nilai enthalpy pada 3 fluida kerja pada tekanan dan temperature tertentu

Sehingga jika diurutkan, maka fluida yang membutuh 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 Cycl

D. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari pengujian ini adalah :

1. Secara analisa termodinamik, 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

E. Daftar Pustaka

- Torres. Agustin M. Delgado, Lourdes Garcia-Rodriquez. *Journal of Energy Conversion and Management* 51 (2010) 2846 – 2856
- Qiu. Guoquan. *Journal of Renewable Energy* 48 (2012) 565 – 570
- Wang. Man, Jiangfeng. Wang, Yuzhu. Zhao, Pan. Zhao, Yiping. Dai. *Journal of Applied Thermal Engineering* 50 (2010) 816 – 825
- Quoilin, S. Declay. S, Tchance.B.F, Lemort. V. *Journal of Therm Eng* 31 (2011) 2885 – 2895
Kang, Seok Hun. *Journal of Energy* 41 (2012) : 514 – 524.
- Bombarda. Paola, Costante. M. Invernizzi, Claudio. Pietra. *Journal of Applied Thermal Engineering* 30 (2010) 212-219.
- Ksayer. E. Bou. Lawz. *Journal of Energy Procedia* 6 (2011) 389 – 395.
- Demierre. J, S. Hechoz, D. Favrat. *Journal of Energy* 41 (2012) 10 – 17.
- Yu. Guepeng, Gequn. Shu, Hua. Tian, Haiqiao. Wei, Lina. Liu. *Journal of Energy* 51 (2013) 281 – 290.
- Bracco. Roberto, Stefano. Clemente, Diego. Micheli, Mauro. Reini. *Journal of Energy xxx* (2013) 1 – 10
- Gozdur, Aleksandra Borsukiewics. *Journal of Applied Thermal Engineering* 56 (2013) 126 – 133
- Wijayanto, Nurheni. *Nurunnajah. Jurnal Silviculture Tropika* 03 (2012) 8 – 13.