

PERANCANGAN SISTEM TERMAL PADA ORC KAPASITAS 10 KW

Janet S. Telaumbanua^{1*}, Eka Maulana²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

*Penulis koresponden: Janet.s.telaumbanua@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan perancangan sistem ini adalah untuk mengetahui penggabungan sistem dalam memanfaatkan energi panas yang terbuang dari teknologi pirolisis dan siklus organik rankine menggunakan metode perancangan Pahl & Beitz. Pada proses sistem kerja siklus organik rankine menggunakan fluida kerja R-134a dengan mempertimbangkan ODP, GWP, Life Time Atmosphere serta komponen yang digunakan pada sistem ini adalah jenis turbin uap impuls, kondensor berkependinginan air, pompa sentrifugal, alat penukar kalor Shell and Tube. Efisiensi penggabungan pirolisis dengan sistem siklus organik rankine bernilai 16% dengan kadar uap masuk turbin 96% dan hasil kerja turbin 38,7 kJ/kg, kerja kondensor 194,51 kJ/kg, kerja pompa 1 kJ/kg dan evaporator 234,2 kJ/kg. Hasil perhitungan dengan laju aliran massa 2kg/s, Temperatur masuk turbin 40 oC dan tekanan 1,6 MPa adalah 77,37 MW. Dari hasil perhitungan dan perkiraan perancangan daya yang dihasilkan turbin memiliki nilai beda yang besar disebabkan oleh entalpi dan entropi pada tabel properties fluida kerja memiliki nilai yang besar.

Kata Kunci : Kalor, Listrik, ORC, Pirolisi, R-134a.

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menargetkan produksi energi listrik untuk memenuhi permintaan energi listrik di Indonesia yang semakin meningkat dengan peranan penting energi listrik bagi beberapa peradaban manusia di bidang ekonomi, teknologi, sosial dan budaya manusia. Hal ini dapat mengakibatkan ketersediaan energi di bumi semakin menipis sehingga memberikan dampak yang signifikan di setiap aspek kehidupan dan salah satunya adalah di bidang pembangkit listrik. Konsumsi energi final meningkat dari 221,33 juta Setara Barel Minyak (SBM) pada tahun 1990 menjadi 489,01 juta SBM pada tahun 2003 atau meningkat sebesar 6,3% per tahun. Berdasarkan jenis energinya, konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan konsumsi energi final terbesar. Pada tahun 2003 konsumsi BBM sebesar 329 juta SBM (67,7%), Bahan Bakar Gas (BBG) sebesar 63 juta SBM (13,0%), listrik sebesar 55 juta SBM (11,3%) batubara sebesar 31 juta SBM (6,4%). Sebagian besar penggunaan bahan bakar minyak digunakan untuk sektor transportasi (Gafar, Kimia, and Oleo 2012). Selain masalah kebutuhan bahan baku utama, aspek lingkungan juga mencakup yang harus kita perhatikan. Masalah lingkungan global adalah persoalan kerusakan lingkungan hidup yang dampaknya dirasakan seluruh wilayah di bumi (global). Masalah lingkungan global yaitu berupa perusakan lapisan ozon dan gejala pemanasan global (Kemas 2013). Kondisi teknologi pirolisis saat ini hanya memanfaatkan hasil gas dan fuel.

Dalam penelitian beberapa data literatur tentang karakteristik pirolisis biomassa dalam atmosfer inert sangat terstruktur dan dianalisis merupakan panduan untuk perilaku konversi partikel bahan bakar di dalam kisaran temperatur 200 oC – 1000 oC (Neves et al. 2011). Namun, jika diteliti teknologi pirolisis menghasilkan potensial

energi yang bisa dimanfaatkan sebagai input panas pada proses siklus organik rankine. Teknologi pirolisis saat ini sudah ada di Laboratorium Energi Baru dan Terbarukan Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila dalam proses pengembangan dengan mengkombinasikan teknologi pirolisis dan siklus organik rankine. Siklus ORC merupakan pilihan yang layak untuk efisiensi tinggi/eksploitasi biaya rendah dari aliran panas bumi atau panas suatu alat mesin yang bertemperatur rendah untuk dapat memproduksi listrik (Manente et al. 2013).

STUDI PUSTAKA

Proses pengambilan data pada perancangan sistem termal adalah dengan mengambil teori termodinamika untuk siklus organik rankine dengan menganalisa sistem dengan menggunakan perhitungan kesetimbangan energi pada masing - masing komponen utama (Santoso 2018):

- Turbin

$$W_T = m (h_1 - h_2) \dots \dots \dots [1]$$

- Kondensor

$$Q_{out} = m (h_2 - h_3) \dots \dots \dots [2]$$

- Pompa

$$W_p = (h_4 - h_3) = v (P_4 - P_3) \dots \dots \dots [3]$$

- Evaporator

$$Q_{in} = m (h_1 - h_4)$$

Selain dari pengambilan data teori, pemilihan komponen berdasarkan informasi yang didapatkan dari jurnal 10 tahun terakhir dengan syarat informasi perbandingan setidaknya lebih dari satu jenis pada masing - masing komponen. Sedangkan pada pemilihan fluida kerja, ada beberapa parameter yang harus dipertimbangkan dengan informasi sebagai berikut:

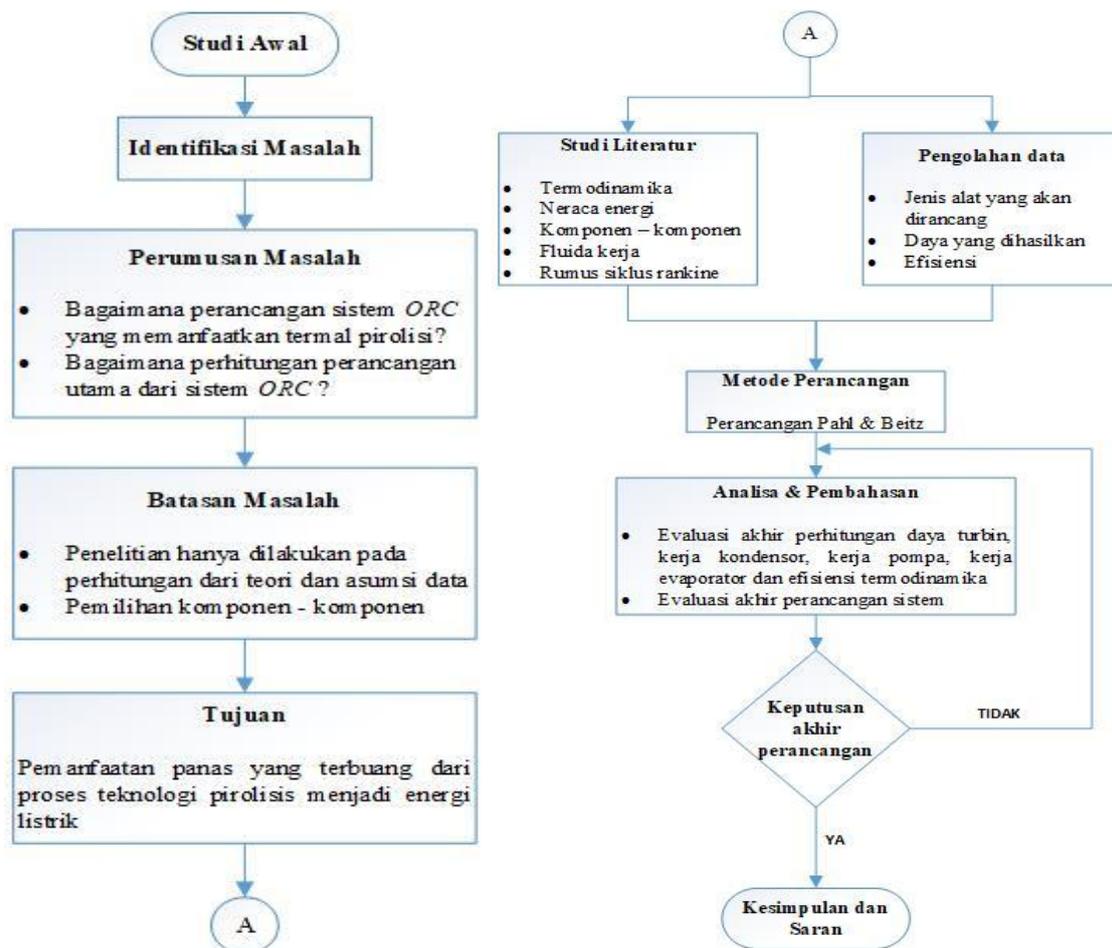
Tabel 1. Kriteria fluida kerja ORC (Bachtiar and Ambarita 2010)

Kriteria	Parameter
Sifat termofisik	Massa jenis, panas penguapan, kapasitas panas, kekentalan konduktivitas panas, titik lebur, temperatur kritis, tekanan kritis.
Aspek lingkungan	Ozone depletion potential (ODP), Global warming potential (GWP), Atmosfer life time.
Aspek keamanan	Toxicity, Flammability

Kriteria	Parameter
Unjuk kerja (Operasi)	Efisiensi, tekanan kerja maks, laju aliran massa, pinch point, capacity.
Ketersediaan di pasar	Jenis refrigran di pasar Indonesia

Informasi data Tabel 1.diatas sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan fluida kerja, mulai dari sifat termofisik, aspek lingkungan, keamanan, operasi, dan ketersediaan di pasar. Perancangan sistem termal ORC harus memenuhi beberapa aspek ketentuan untuk pemilihan dan desain alat, yaitu: aspek keamanan pengoperasian, ergonomis dan lingkungan, perawatan mudah, biaya pembuatan terjangkau. Jika sudah memenuhi aspek – aspek yang disebutkan.

Perancangan merupakan kegiatan awal dari usaha merealisasikan suatu produk yang kebutuhannya sangat dibutuhkan oleh masyarakat.Setelah perancangan selesai maka kegiatan yang menyusul adalah pembuatan produk. Kedua kegiatan tersebut dilakukan dua orang atau dua kelompok orang dengan keahlian masing – masing, yaitu perancangan dilakukan oleh tim perancang dan pembuatan produk oleh kelompok pembuat produk (Kurtoglu, Swantner, and Campbell 2010).



Gambar 1.Diagram Alir

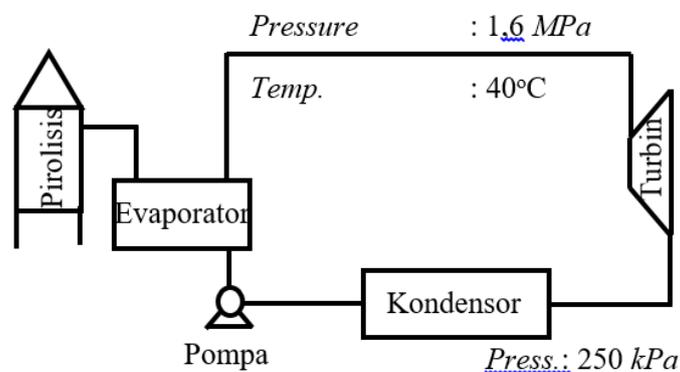
Metode perancangan yang akan digunakan untuk merancang Sistem Siklus Organik Rankine adalah metode perancangan Pahl dan Beitz. Metode perancangan Pahl dan Beitz dipilih karena kemudahan dalam mengaplikasikan metode yang ada dan juga proses – proses yang digunakan di dalam kegiatan perancangan tidak terlalu banyak. Metode perancangan Pahl dan Beitz dilakukan sesuai dengan metode yang sudah dituliskan pada bukunya; Engineering Design: A Systematic Approach. Tahapan utama dari metode penelitian yang digunakan terdiri atas:

- a. Identifikasi masalah
- b. Perumusan masalah
- c. Pengumpulan data
- d. Perancangan Pahl & Beitz

Dalam pengambilan keputusan perancangan desain merupakan tahap penyaringan konsep awal proporsi daftar yang dapat dikelola. Pada perancangan sistem membutuhkan suatu proses yang memiliki tahapan – tahapan dalam pencapaian keberhasilan perancangan sistem yang ingin dicapai. Pada tahapan atau proses perancangan dapat diperhatikan berdasarkan Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan sistem dengan mengkombinasikan reaktor pirolisis sebagai pemanfaatan limbah panas yang diteruskan ke evaporator di sistem ORC dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2.Perancangan Sistem ORC

Ada 4 komponen yang mendukung kinerja sistem ORC, yaitu Turbin, Kondensor, Pompa, Evaporator. Sehingga pemilihan komponen – komponen sangat diperhatikan sekali, sebagai bahan pertimbangan pemilihan dari masing – masing komponen diperoleh dari berbagai jurnal dengan syarat 10 tahun terakhir dan setidaknya bahan perbandingan dalam 1 jurnal lebih dari 1 jenis komponen. Sehingga sebagai komponen terpilih sebagai berikut:

Tabel 2. Pemilihan Komponen

No	Komponen	Terpilih
1	Turbin	Impuls
2	Kondensor	WaterCooled Condenser
3	Pompa	Sentrifugal
4	Evaporator	Modifikasi

Jenis komponen terpilih dapat kita lihat pada Tabel 2. Sebagai informasi jenis turbin impuls memiliki setiap sudu yang berbeda fungsi. Sudu tetap untuk pengarah tekanan uap sedangkan pada sudu gerak untuk merubah menjadi energi mekanik (Santoso 2018), jenis kondensor yang digunakan adalah Water Cooled Condenser (Korolija and Greenough 2016), pompa sentrifugal dipilih untuk memompa laju aliran massa dan meningkatkan tekanan tanpa mempertimbangkan efek pompa fluida yang berfungsi pada sistem ORC dengan aktual efisiensi mencapai 58,76% (Yang et al. 2018), namun untuk jenis evaporator didesain khusus dalam memanfaatkan limbah panas di reaktor pirolisis.

Setelah mendapatkan jenis komponen yang terpilih, maka kerja pada masing – masing komponen didapat dengan menggunakan teori termodinamika sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan

No	Komponen	Terpilih
1	Kerja Turbin	$38,7 \frac{kJ}{kg}$
2	Kerja Kondensor	$194,51 \frac{kJ}{kg}$
3	Kerja Pompa	$1 \frac{kJ}{kg}$
4	Kerja Evaporator	$234,2 \frac{kJ}{kg}$
5	Efisiensi Termal	0,16 atau 16 %

Hasil perhitungan diatas menunjukkan nilai kerja komponen mulai dari kerja turbin, kondensor, pompa, dan evaporator. Sehingga daya turbin pada penetapan laju aliran massa 2 kg/s adalah 77,4 kJ/s atau 77,4 kW. Daya yang dihasilkan pada perancangan sistem ini bernilai besar dari yang diharapkan karena faktor range ideal temperature dan tekanan yang digunakan pada tabel properties R-134a memiliki nilai entalpi dan entropi cukup besar.

KESIMPULAN

Perancangan sistem termal ini adalah pemanfaatan panas yang terbuang dari teknologi pirolisis sebagai energi input di sistem ORC dan komponen yang terpilih

untuk sistem ini adalah turbin impuls, water cooled condenser, pompa sentrifugal, dan modifikasi evaporator dengan nilai hasil perhitungan kerja dari masing – masing komponen adalah 38,7 kJ/kg, 194,51 kJ/kg, 1 kJ/kg, 234,2 kJ/kg dengan fluida kerja yang mengalir adalah R-134a. Sistem akan kembali dalam keadaan semula, maka tidak terdapat perubahan energi neto (Moran and Shapiro 2006). Selanjutnya penulis berharap perancangan sistem termal ini dilakukan pengembangan hingga menjadi rancang bangun untuk kebutuhan masyarakat – masyarakat luas dalam pemanfaatan limbah panas baik di teknologi pirolisis maupun di permesinan yang lain sebagai inovasi baru untuk energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Candra, and Himsar Ambarita. "Identifikasi Dan Analisa Refrigerant Sebagai Fluida Kerja Siklus Rankine Organik Untuk Aplikasi Di Indonesia." *Indonesian Journal of Industrial Research* 4 (2).2010.
- Gafar, Alffan, Jurusan Kimia, and Universitas Halu Oleo, "SINTESIS DAN UJI KUALITAS BIODIESEL DARI PROSES." *Progres Kimia Sains* 2 (1), 2012, 11–20.
- Kemas, Ridhuan, "PROSES DAUR ULANG REFRIGERAN YANG TERCEMAR SEBAGAI UPAYA PELESTARIAN LINGKUNGAN DAN PENGHEMATAN." *Turbo Mechanical Engineering* 2 (1), 2013, 39–45.
- Korolija, Ivan, and Richard Greenough, "Modelling the Influence of Climate on the Performance of the Organic Rankine Cycle for Industrial Waste Heat Recovery." *Energies* 9 (5): 1, 2016.
- Kurtoglu, Tolga, Albert Swantner, and Matthew I. Campbell, "Automating the Conceptual Design Process: 'From Black Box to Component Selection.'" *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 24 (1), 2010, 49–62.
- Manente, Giovanni, Andrea Toffolo, Andrea Lazzaretto, and Marco Paci, "An Organic Rankine Cycle Off-Design Model for the Search of the Optimal Control Strategy." *Energy* 58 (12), 2013, 97–106.
- Moran, Michael J., and Howard N Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5th Edition. Nature. Vol. 181, 2006.
- Neves, Daniel, Henrik Thunman, Arlindo Matos, Luís Tarelho, and Alberto Gómez-Barea, "Characterization and Prediction of Biomass Pyrolysis Products." *Progress in Energy and Combustion Science* 37 (5), 2011, 611–30.
- Santoso, Habibi, "Optimalisasi Untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW." *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)* 3 (2): 181, 2018.
- Yang, Yuxin, Hongguang Zhang, Yonghong Xu, Fubin Yang, Yuting Wu, and Biao Lei, "Matching and Operating Characteristics of Working Fluid Pumps with Organic Rankine Cycle System." *Applied Thermal Engineering* 142, 2018, 622–31.