

PEMANFAATAN WASTE ENERGY RECOVERY UNTUK SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK SEBESAR 1 MW DENGAN MENGGUNAKAN ORGANIC RANKINE CYCLE DI PT. PJB PAITON PROBOLINGGO

Haryadi Febrian, Bachtiar Ary, K.P
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas teknologi Industri, ITS
Surabaya
Email : syaft_diri@yahoo.com

ABSTRAK

Seiring meningkatnya kebutuhan tenaga listrik di Indonesia, diperlukan sebuah inovasi untuk dapat memenuhi kebutuhan akan ketersediaan listrik tersebut, salah satunya adalah dengan Metode pembangkitan listrik terbarukan yaitu rancang siklus *Organic Rankine Cycle* (ORC). Perancangan ini dilakukan di PT. PJB Paiton Probolinggo, dengan memanfaatkan potensi panas gas buang sebesar 17,33 MW untuk dapat menghasilkan pembangkitan energi listrik sebesar 1 MW. Sistem yang digunakan merupakan sistem dasar *Organic Rankine Cycle*, meliputi evaporator, turbin uap, kondensor, pompa. Sistem perancangan *Organic Rankine Cycle* di analisa secara termodinamika dan difokuskan pada pemilihan pompa serta pemilihan turbin uap yang tepat sesuai dengan sifat - sifat fluida kerja R-12, R-134a, R-152a. Dari hasil penelitian didapatkan Nilai efisiensi thermal optimum terletak pada refrigerant R152a sebesar 10%, kemudian pompa yang dipilih adalah pompa centrifugal multistage enam tingkat merk SIHI tipe ZEH 5004 dan turbin uap yang dipilih adalah turbin uap back pressure empat tingkat dengan merk Qingneng tipe N341E

Kata kunci : ORC, 17.33 MW R-12, R-134a, R-152a Pompa, Turbin uap, SIHI tipe ZEH 5004, Qingneng tipe N341E.

PENDAHULUAN

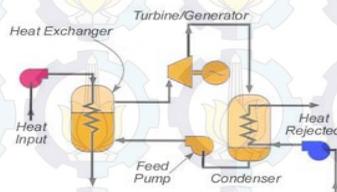
Seiring meningkatnya Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia waktu demi waktu, ketersediaan potensi sumberdaya energi semakin menipis sehingga program penghematan energi menjadi faktor yang sangat penting diperhatikan dalam program penyediaan tenaga listrik. Sebuah inovasi untuk dapat memenuhi kebutuhan akan ketersediaan listrik tersebut salah satunya adalah dengan membuat siklus pembangkitan listrik dari sumber energi terbarukan yang dapat memanfaatkan sumber panas bertemperatur dan tekanan rendah dari *recovery waste energy*. Metode pembangkitan itu adalah rancang *Organic Rankine Cycle (ORC)*. *Organic Rankine Cycle (ORC)* merupakan modifikasi dari siklus Rankine dengan menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja. Sistem ini terdiri dari empat komponen utama yaitu evaporator, turbin uap, kondensor, dan pompa. Mekanisme kerjanya menggunakan Fluida kerja yang dipompa menuju evaporator untuk membangkitkan uap. Uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang selanjutnya dapat menghasilkan energi listrik. Uap hasil ekspansi turbin dikondensasi dan dialirkan oleh pompa kembali ke evaporator. Demikian sistem ini terjadi secara kontinyu. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem pembangkit listrik dari pemanfaatan waste energy recovery sebesar 17.33 MW menggunakan *Organic Rankine Cycle* dengan variasi fluida kerja organik meliputi R12, R134a, R152a. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini, Antara lain Bagaimana Memanfaatkan waste energy recovery sebagai system pembangkit dengan *Organic Rankine Cycle* agar dapat dikonversi menjadi energi listrik sebesar 1MW?, Bagaimana Merancang Siklus Termodinamika *Organic Rankine Cycle* dengan

menggunakan variasi fluida refrigeran R12, R134a, R152a, kemudian didapatkan η_{th} terbesar?, Bagaimana Memilih pompa yang tepat sesuai rancangan siklus termodinamika *Organic Rankine Cycle* dan dapat mengalirkan fluida organik (refrigeran)?, Bagaimana memilih turbin uap yang tepat untuk *Organic Rankine Cycle* sesuai dengan sifat-sifat fluida organik yang digunakan?

Dari perumusan masalah diatas, Tujuan dari perancangan ini adalah Merancang sebuah sistem *Organic Rankine Cycle* difokuskan pada pemilihan pompa dan turbin uap, Memilih Refrigeran yang akan digunakan dalam perancangan sistem *Organic Rankine Cycle*, Memilih pompa untuk sistem *Organic Rankine Cycle*, Memilih turbin uap untuk sistem *Organic Rankine Cycle*, Mengkaji unjuk kerja dan efisiensi siklus sistem pembangkit listrik *Organic Rankine Cycle* dalam hubungannya dengan pompa dan turbin uap yang dirancang.

ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)

Dengan menggunakan bahan organik yang memiliki titik didih yang rendah, ORC dapat digunakan untuk mengekstrak energi dari sumber panas bertemperatur rendah. siklus dasar ORC ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 sistem komponen ORC.

ORC merupakan suatu siklus uap dimana siklus ini menggunakan fluida kerja organik (refrigeran). siklus ini terdiri dari empat komponen utama yang terdiri dari Evaporator yang

berfungsi untuk mengevaporasi fluida organik dari liquid menjadi uap dipanaskan lanjut sebelum masuk kedalam turbin. Turbin berfungsi untuk mengekspansi atau menurunkan tekanan dari fluida organik dan yang akan menghasilkan energi listrik bila disambungkan ke generator, Kondensor berfungsi untuk mengondensasikan uap dari fluida kerja organik menjadi cairan dimana pada proses ini berlangsung pada tekanan dan temperatur konstan. kemudian Pompa berfungsi untuk menaikkan tekanan dari fluida kerja organik sesuai dengan tekanan yang di perlukan oleh evaporator sebelum masuk kembali ke evaporator, dimana di masing-masing komponen terjadi proses termodinamika seperti pada siklus Rankine

REFRIGERAN YANG DIGUNAKAN

Fluida yang digunakan untuk pembangkitan siklus ORC dari golongan CFC, yaitu refrigerant R-12. CFC R-12 sangat efisien dan diklasifikasikan sebagai A1 (toksisitas rendah - tidak ada propagasi api). Serta dari golongan HCFC dipilih refrigerant R-134a dan R-152a. HCFC digunakan dalam proses kompresi uap untuk semua jenis kompresor. HCFC R-134a dan R-152a efisien dan diklasifikasikan sebagai B1 (toksisitas lebih tinggi - tidak ada propagasi api).

METODOLOGI YANG DIGUNAKAN

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini meliputi:

1. Analisa Pemanfaatan Waste Energy di PLTU PJB Paiton
2. Pemilihan Refrigeran
3. Mendesain Organic Rankine Cycle
4. Pemilihan Pompa Sentrifugal
5. Pemilihan Turbin Uap

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang akan digunakan untuk pemilihan pompa dan turbin uap adalah data pada saat perencanaan desain utama *Organic Rankine Cycle* (ORC) secara termodinamika.

1. Desain *Organic Rankine Cycle* (ORC) untuk refrigerant R-12

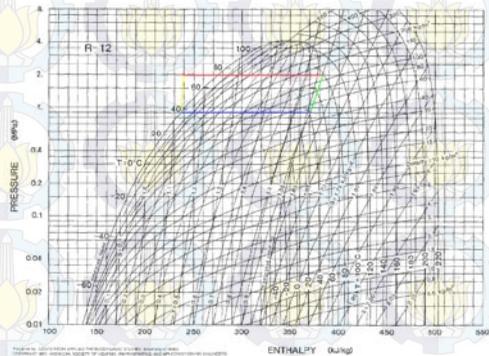


Fig. 1 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 12

2. Desain *Organic Rankine Cycle* (ORC) untuk refrigerant R-134a

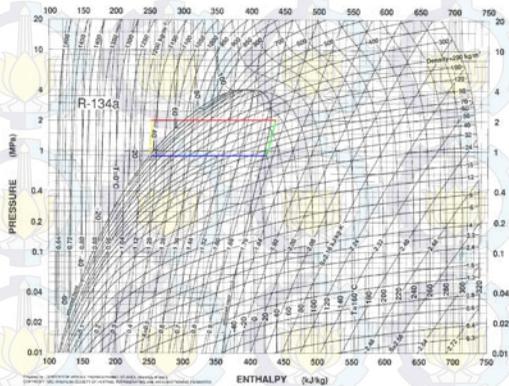
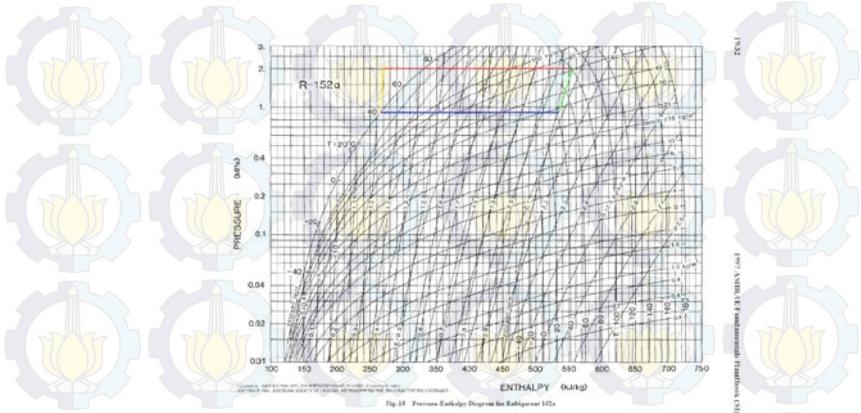


Fig. 12 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 134a

3. Desain *Organic Rankine Cycle* (ORC) untuk refrigerant R-152a



kemudian desain *Organic Rankine Cycle* dari ketiga refrigeran diatas divariasikan data dengan tekanan pengembunan sebesar 9 bar, 8 bar, dan 7 bar. Sehingga didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut:

sehingga didapatkan Tabel perbandingan desain *Organic Rankine Cycle* refrigeran R12, R134a dan R152a:

Tabel perbandingan

Proses Siklus ORC	m (Kg/s)	Wp (kW)	WT (kW)	QE (kW)	QK (kW)	η_{TH} (%)	
R12	ORC 1	140.25	370.27	1370.3	19743.34	18743.34	7%
	ORC 2	120.34	416.37	1416.4	17541.52	16541.52	8%
	ORC 3	93.72	290.53	1290.5	14130.27	13130.27	9%
R134a	ORC 1	142.45	226.50	1226.50	25158.12	24158.12	6%
	ORC 2	109.77	164.65	1164,65	20045.01	19045.01	7%

	ORC 3	87.87	108.08	1108.1	16573.81	15573.81	8%
R152a	ORC 1	59.35	196.44	1196.4	17220.18	16220.18	8%
	ORC 2	49.16	187.81	1187.81	14560.47	13560.47	9%
	ORC 3	40/63	62.98	1063	12359.20	11359.20	10%

Sehingga dalam perencanaan awal diatas dalam proses pemilihan refrigerant dipilih refrigerant R-152a dikarenakan didapatkan hasil $\eta_{TH} = 0.10$ atau sebesar 10%. kemudian dengan desain Organic Rankine Cycle untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1MW adalah desain Organic Rankine Cycle ketiga pada refrigerant R-152a.

Pemilihan Pompa Sentrifugal:

Sehingga didapatkan hasil:

$$\dot{Q}_s = 0.047 \frac{m^3}{s} \text{ dan } H = 156m$$

Dari nilai kecepatan spesifik diatas didapatkan nilai Randemen Efektif (η_E), sehingga nilai η_E yang diharapkan untuk

$$\dot{Q}_s = 0.047 \frac{m^3}{s} \text{ adalah sebagai berikut:}$$

- Untuk satu tingkat : $n_Q = 15 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 73 \%$
- Untuk dua tingkat : $n_Q = 25 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 78 \%$
- Untuk tiga tingkat : $n_Q = 34 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 81 \%$
- Untuk empat tingkat : $n_Q = 42 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 83 \%$
- Untuk lima tingkat : $n_Q = 49 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 83.5 \%$
- Untuk enam tingkat : $n_Q = 56 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 84 \%$

Sehingga dalam perencanaan pompa ini digunakan pompa bertingkat enam dengan : $n_Q = 56 / \text{menit}$ dan $\eta_E = 84 \%$. Pompa jenis ini masuk dalam pompa roda putaran menengah (medium) dan roda tekanan menengah.

Pemilihan Turbin uap

Dari Proses Perhitungan Turbin uap didapatkan hasil:

Diameter rotor turbin sebesar $D_m = 0.6m$ dan jumlah stage yang digunakan sebanyak 4 buah.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa termodinamika *Organic Rankine Cycle* guna menghasilkan energi listrik sebesar 1MW dengan variasi 3 refrigerant, 3 macam analisa *Organic Rankin Cycle*, maka dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar laju aliran massa maka akan semakin besar daya pada pompa, daya pada turbin, laju perpindahan kalor pada evaporator, dan laju perpindahan kalor pada kondesor namun efisiensi thermal, akan semakin berkurang pada analisa siklus rankine organik dari masing-masing refrigeran.
2. Penurunan tekanan pengembunan mengakibatkan terjadinya peningkatan efisiensi thermal untuk masing – masing analisa *Organic Rankine Cycle*, pada refrigerant.
3. Nilai efisiensi thermal optimum (berdasarkan termodinamika *Organic Rankine Cycle*) terletak pada refrigerant R152a, siklus *Organic Rankine Cycle* ketiga dengan nilai efisiensi thermal sebesar 10%.
4. Pemilihan pompa digunakan pompa sentrifugal multi stages bertingkat enam dengan $n_Q = 56 / \text{menit}$ dan $\eta_s = 84\%$.
5. Merk pompa sentrifugal multi stage yang dipilih adalah Sihi tipe ZEH 5004.
6. Pemilihan turbin uap digunakan turbin uap back pressure bertingkat empat dengan, diameter rotor turbin sebesar, $D_m = 0.6m$
7. Merk turbin uap (*back pressure steam turbine*) yang dipilih adalah Qingneng dengan tipe N341E.