

Studi Eksperimen dan Analisa Unjuk Kerja dari Sistem Organic Rankine Cycle

Ary Bachtiar, Prabowo, Wawan Aries, Chrisnanda Anggradiar

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia
arybach@me.its.ac.id

Abstrak:

Pada saat ini kelangkaan sumber energy sudah menjadi isu utama. Karena persediaan sumber daya energy fosil yang semakin menipis, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang sumber - sumber penghasil energy baru. Organic Rankine Cycle (ORC) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang mampu memanfaatkan waste energy dengan menggunakan fluida organik yang mampu menguap pada temperatur rendah. Penelitian ini merupakan studi eksperimen pada suatu sistem organic rankine cycle yang telah dibangun. Sistem ORC yang akan diuji memiliki empat komponen utama yaitu, turbin, kondensor, pompa dan evaporator. Sistem ORC ini bekerja dengan menggunakan fluida kerja “hydrochlorofluorocarbon” (HCFC). Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan flowrate aliran fluida kerja mulai dari flowrate 4 GPM – 2 GPM dengan penurunan setiap 0,5 GPM. Hasil yang didapatkan berupa grafik –grafik daya pada turbin, kondensor, pompa dan evaporator, dan efisiensi thermal siklus fungsi debit fluida kerja. Untuk efisiensi thermal siklus Organic Rankine Cycle berkisar antara 9% - 9,5 % pada variasi flowrare fluida kerja.

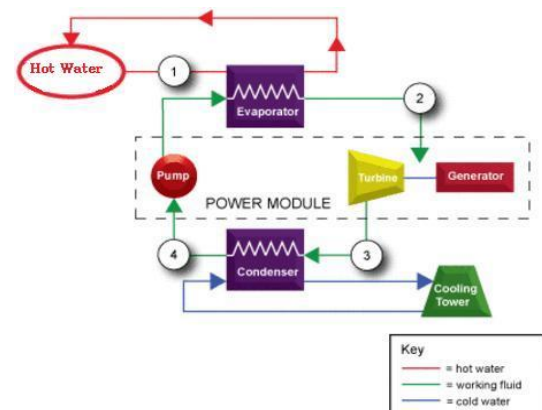
Kata Kunci: effectiveness, evaporator, kondensor, turbine, efficiency siklus

Pendahuluan

Dewasa ini kelangkaan sumber daya energi sudah menjadi isu utama. Persediaan sumber daya energi fosil yang semakin menipis membawa dampak yang signifikan pada setiap aspek kehidupan di dunia oleh karena itu saat ini banyak dilakukan penelitian tentang sumber sumber energi alternatif. Beberapa contoh sumber energi alternatif adalah sumber energi matahari, energi biomassa, energi angin, energi nuklir, dan energi panas bumi. Indonesia merupakan Negara yang memiliki sumber energi panas bumi yang cukup besar. Dengan melihat cukup besarnya potensi panas bumi tersebut perlu dilakukan pemanfaatan agar energi tersebut tidak terbuang percuma. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan panas tersebut untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan Organic Rankine Cycle (ORC).

Organic Rankine Cycle memiliki empat komponen utama yaitu evaporator, turbin, kondensor, dan pompa. Fluida kerja dipompa menuju evaporator untuk dipanaskan sehingga membangkitkan uap. Uap tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap, hasil putaran turbin akan digunakan untuk memutar generator dan akan menghasilkan sumber listrik. Uap hasil ekspansi turbin dikondensasi dan dialirkan oleh pompa kembali ke evaporator seperti pada

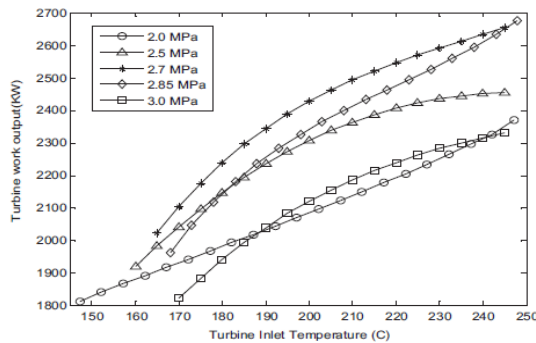
gambar 1. Demikian sistem ini terjadi secara terus menerus. Sistem ini mampu memanfaatkan sumber energi yang memiliki temperatur dan tekanan rendah untuk membangkitkan uap fluida organik. Sistem ini juga tidak memerlukan furnace sebagai tempat pembakaran bahan bakar yang dapat menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya bagi lingkungan.



Gambar 1 Skema Organic Rankine Cycle

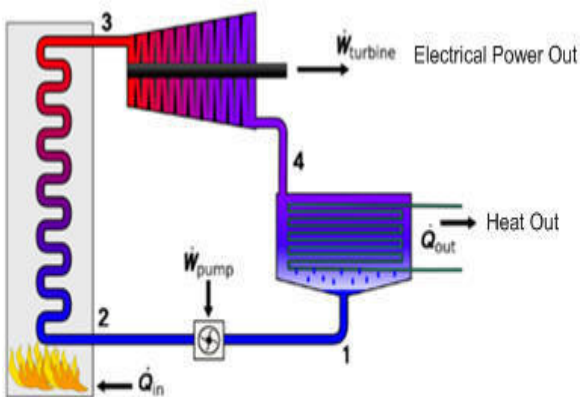
Penelitian tentang “Parametric optimization and performance analysis of a regenerative Organic Rankine Cycle using HCFC for waste heat recovery” telah dilakukan oleh Ashok Misra(1). Penelitian ini menyajikan analisis dari Siklus Rankine Organik (ORC), berdasarkan parametric optimasi menggunakan berbagai HCFC selama pemanasan

pada tekanan konstan 2,50 Mpa. Tujuannya adalah untuk memilih fluida kerja yang lebih baik atas dasar efisiensi sistem. Diperoleh kinerja turbin, irreversibilitas rate dan efisiensi hukum termodinamika kedua dengan sumber kondisi suhu panas yang sama. Penelitian ini juga untuk membandingkan sistem dan efisiensi hukum kedua termodinamika, kerja output turbin, sistem nilai aliran massa, tingkat irreversibilitas dan rasio irreversibilitas dengan peningkatan temperatur masuk turbin. Pada simulasi dilakukan pengujian variasi tekanan inlet yang berbeda untuk mendapatkan kondisi operasi optimal dengan menggunakan HCFC sebagai fluida kerja dengan pemanfaatan limbah sumber panas hasil yang didapat ditunjukkan dalam grafik sebagai berikut



Gambar 2 Grafik efisiensi HCFC fungsi temperatur dan tekanan masuk turbin

Metode Eksperimen

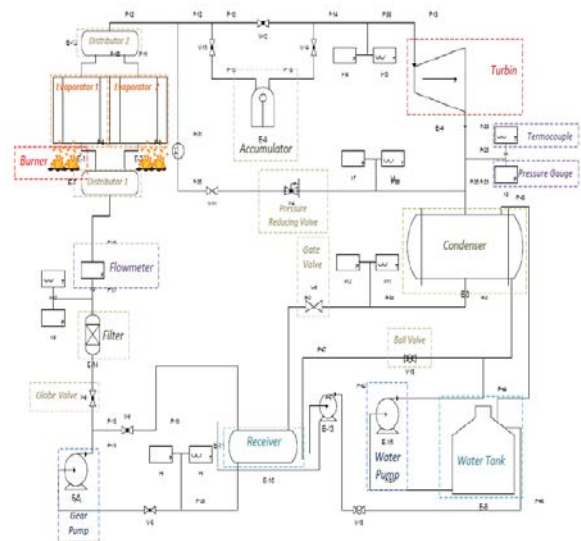


- 1. Low Pressure Cool Liquid
- 2. High Pressure Liquid/Vapor
- 3. High Pressure Hot Gas
- 4. Low Pressure Hot Gas

Gambar 3 Skema Organic Rankine Cycle dan Komponen Utamanya

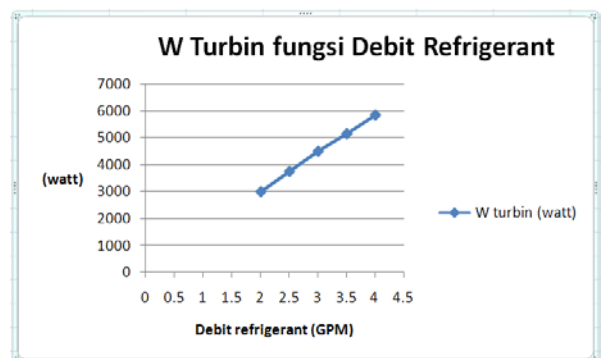
Burner digunakan untuk memanaskan evaporator sampai titik didih refrigeran tercapai. Setelah suhu tercapai flowrate diatur sampai dengan 4 GPM

dengan membuka katup aliran fluida kerja secara perlahan. Suhu dan tekanan inlet turbin ditunggu sampai konstan kemudian membuka katup turbin secara perlahan sampai terbuka penuh seiring dengan menutup katup PRV agar aliran fluida kerja seluruhnya mengalir melewati turbin. Setelah putaran dan temperatur konstan data diambil berupa pencatatan debit pada flowmeter, T1,T2,T3,T4 dan P1,P2,P3,P4 serta suhu air pemanas evaporator dan suhu air pendingin kondensor ($T_{c in}$ dan $T_{c out}$). Proses pengambilan data diulangi pada debit 3,5 GPM, 3 GPM, 2,5 GPM dan 2 GPM



Gambar 4 Desain Penelitian Organic Rankine Cycle (ORC)

Hasil Dan Pembahasan

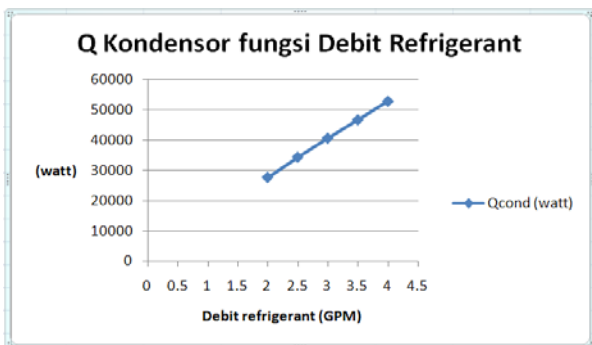


Gambar 5 Grafik daya turbin fungsi debit refrigerant

Dari grafik dapat dilihat bahwa daya turbin secara keseluruhan memiliki trend yang cenderung naik mulai dari 2 GPM sampai 4 GPM. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan mass flowrate yang masuk tubin seiring dengan kenaikan debit fluida

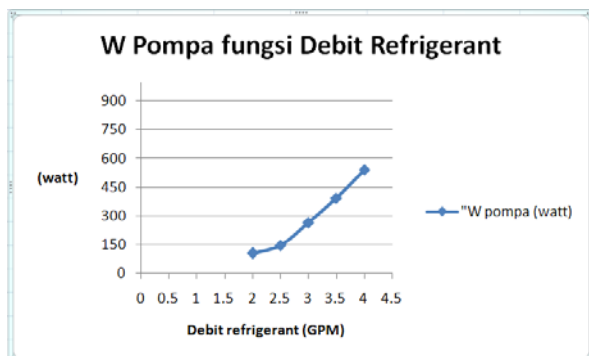
kerja. Walaupun temperaturnya cenderung menurun yang berakibat turunnya enthalpy namun pertambahan nilai mass flowrate masih lebih besar untuk memberikan nilai daya yang lebih besar pula. Dari data hasil pengukuran yang didapatkan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari daya turbin pada setiap debit aliran fluida kerja. Hasil tersebut kemudian diplotkan ke dalam grafik daya turbin fungsi debit refrigerant. Berikut adalah grafik yang didapatkan.

Untuk komponen kondensor dilakukan juga plot grafik fungsi dari debit fluida kerja. Plot grafik adalah sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit refrigerant

Dari grafik dapat dilihat bahwa trend grafik cenderung naik seiring dengan kenaikan debit fluida kerja. Hal ini terjadi karena bertambahnya mass flowrate yang terjadi disetiap peningkatan debit fluida kerja. Walaupun nilai enthalpy fluida kerja yang melalui komponen kondensor cenderung menurun seiring dengan kenaikan debit namun kenaikan nilai mass flowrate masih lebih signifikan untuk memberikan perpindahan panas yang lebih besar.

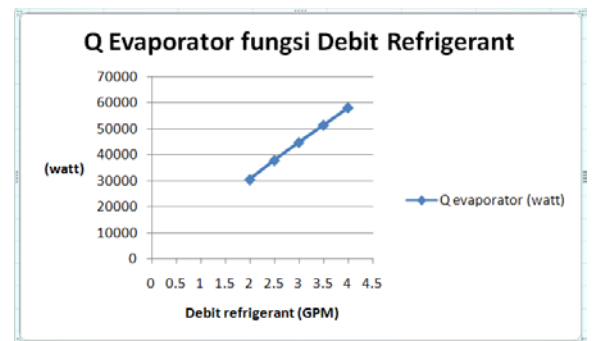


Gambar 7 Grafik daya pompa fungsi debit refrigerant

Semakin baik kondensor bekerja mendinginkan

fluida kerja, maka semakin besar juga laju perpindahan panas yang dapat dipindahkan kedalam air pendingin Untuk hasil dari perhitungan daya pompa dapat kita lihat melalui grafik daya pompa fungsi debit refrigerant berikut. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa trend cenderung naik seiring dengan pertambahan debit fluida kerja. Hal ini terjadi karena nilai mass flowrate yang melewati pompa semakin besar seiring dengan kenaikan debit fluida kerja. Jika dilihat dari data, nilai enthalpy h_3 dan h_4 menurun seiring dengan penurunan debit fluida kerja, namun masih mempunyai selisih nilai yang hampir sama di setiap debit. Sehingga dengan naiknya nilai mass flowrate dikalikan dengan selisih enthalpy antara h_3 dan h_4 yang relatif sama di setiap debit, maka nilai daya pompa juga naik. Hal ini juga sesuai dengan penalaran, dimana semakin banyak fluida yang dipompakan maka semakin besar pula kerja yang diberikan pompa tersebut.

Hasil plot grafik laju perpindahan panas pada evaporator dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit refrigerant

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa trend cenderung naik seiring dengan naiknya debit aliran fluida. Walaupun dari data dapat kita lihat bahwa nilai enthalpy semakin menurun seiring dengan kenaikan debit, namun kenaikan nilai mass flowrate fluida kerja lebih signifikan sebagai faktor pengali untuk perhitungan Q_{out} evaporator. Nilai enthalpy yang semakin menurun seiring dengan kenaikan debit terjadi karena panas yang diberikan oleh air pemanas evaporator adalah konstan di setiap variasi debit. Dengan demikian semakin besar debit fluida kerja maka kemampuan air pemanas memanaskan fluida juga semakin kecil dan nilai enthalpy juga menurun.

Hasil plot grafik efisiensi thermal siklus dapat dilihat pada gambar berikut. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa trend grafik cenderung konstan pada setiap variasi debit fluida kerja. Nilai efisiensi thermal dari sistem organik rankine cycle ini adalah sebesar 9 % pada setiap variasi debit. Hal ini

mengindikasikan bahwa panas yang diberikan pada sistem hanya dapat dimanfaatkan sebesar 9 % untuk menghasilkan daya, dan bisa dikatakan konstan pada setiap variasi debit.

Engineering, Birla Institute Of Technology,
Mesra, Ranchi, India

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- (1) System organic rankine cycle tersebut dapat bekerja dan menghasilkan listrik. Perubahan flowrate fluida kerja akan mempengaruhi daya turbin, daya pompa, evaporator dan efisiensi siklus.
- (2) Daya turbin tertinggi adalah 5849,0658 watt saat debit 4 GPM. Heat transfer kondensor tertinggi adalah 52776,6617 watt saat debit 4 GPM. Daya pompa tertinggi adalah 540,2751 watt saat debit 4 GPM. Heat transfer evaporator tertinggi adalah 58085,4524 watt saat debit 4 GPM. Efisiensi siklus tertinggi adalah 9.45 % saat debit 2 GPM.

Nomenklatur

η	efisiensi siklus
\dot{W}	daya (watt)
Q	laju perpindahan panas

Subsripts

t	turbin
p	Pompa
	Evaporator

Referensi

- [1] Moran, M. J. & Shapiro, H. N., 1996, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, Fifth Edition, John Willey and Sons inc, New York.
- [2] Frank P. Incropera, David P. De Witt. . *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, 5th edition. John Wiley and Sons., New York.
- [3] Setiawan, Soni Edi., 2011, *Perancangan Kondensor dan Evaporator Untuk Organic Rankine Cycle Dengan Fluida Kerja R-123 Sebagai Pembangkit Listrik*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, Indonesia.
- [4] Ashok, Misra, 2006, *Parametric optimization and performance analysis of a regenerative Organic Rankine Cycle using R-123 for waste heat recovery*, Departement of Mechanical