

## PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR TERHADAP LAJU MASSA PADA SIKLUS RANKIN ORGANIK SEDERHANA

**Achmad Husein Siregar**

Universitas Sumatera Utara, Jl. Dr.T.Mansur No. 9 Kampus Padang Bulan Medan Indonesia, [husein.sir@gmail.com](mailto:husein.sir@gmail.com)

**Andianto Pintoro**

Universitas Sumatera Utara, Jl. Dr.T.Mansur No. 9 Kampus Padang Bulan Medan Indonesia, [andi.pintoro1967@gmail.com](mailto:andi.pintoro1967@gmail.com)

---

Electricity is a major need for people, especially in Indonesia. The need for electricity is increasing every year. In 2019 PLN estimates that electricity consumption will grow by 6%. To meet the demand for electricity supply and in particular to provide renewable and environmentally friendly electricity, a breakthrough is needed in the search for new and renewable sources of electricity. One of them is the potential source of electrical energy from geothermal heat sources, especially those of low quality. In this research an experimental study was carried out on a laboratory-scale power generation system with the principle of a simple Organic Rankine Cycle with a low-quality geothermal heat source. The generator system is designed, then built and finally tested using R134a as a working fluid. The main components of this system are the vane pump (to increase working fluid pressure), evaporator (to absorb heat from heat sources), expanders / turbines (to convert heat energy into kinetic energy) and condenser (to convert the phase of working fluid into saturated liquid). In this study, we will look for the influence of variations in pressure and temperature on the mass flow rate of the working fluid which is one of the factors that determine the performance of the observed system. In this experiment, it was concluded that by maintaining a constant temperature and increasing evaporation pressure, a mass flow rate would decrease. Constant temperature is carried out at 80 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C and 100 °C. A decrease in the mass flow rate when the pressure is raised at a constant temperature will result in better system performance.

### **Keywords:**

*Organic Rankine Cycle; Geothermal; Heat Transfer; Renewable Energy; System Efficiency.*

---

### **Abstrak**

Listrik adalah kebutuhan utama masyarakat, terutama di Indonesia. Kebutuhan listrik meningkat setiap tahun. Pada 2019, PLN memperkirakan konsumsi listrik akan tumbuh sebesar 6%. Untuk memenuhi permintaan pasokan listrik dan khususnya untuk menyediakan listrik yang terbarukan dan ramah lingkungan, diperlukan terobosan dalam mencari sumber listrik baru dan terbarukan. Salah satunya adalah sumber energi listrik potensial dari sumber panas geothermal, terutama yang berkualitas rendah. Dalam penelitian ini studi eksperimental dilakukan pada sistem pembangkit listrik skala laboratorium dengan prinsip Siklus Rankin Organik sederhana dengan sumber panas bumi berkualitas rendah. Sistem generator dirancang, kemudian dibangun dan akhirnya diuji menggunakan R134a sebagai fluida kerja. Komponen utama dari sistem ini adalah pompa baling-baling (untuk meningkatkan tekanan fluida kerja), evaporator (untuk menyerap panas dari sumber panas), ekspander / turbin (untuk mengubah energi panas menjadi energi kinetik) dan kondensor (untuk mengubah fase fluida kerja menjadi cairan jenuh). Dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh variasi tekanan dan temperature pada laju aliran massa fluida kerja yang merupakan salah satu faktor yang menentukan kinerja sistem yang diamati. Dalam percobaan ini, disimpulkan bahwa pada temperatur konstan, kenaikan tekanan penguapan akan menyebabkan laju aliran massa menurun. Temperatur konstan dilakukan pada 80 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C dan 100 °C. Penurunan laju aliran massa ketika tekanan dinaikkan pada suhu konstan akan menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik.

### **Kata Kunci:**

*Siklus Rankin Organik; Geothermal; Perpindahan Panas; Energi Terbarukan; Efisiensi Sistem.*

---



## 1. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik meningkat setiap tahunnya. PLN memprediksi pertumbuhan penggunaan listrik sebesar 6% pada tahun 2019. Pertumbuhan ini menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan jika tidak disikapi dengan benar. Produksi listrik berbahan bakar fosil menghasilkan gas buang yang tidak ramah bagi lingkungan seperti polusi, perusakan lapisan ozon dan pemanasan global. Oleh sebab itu diperlukan upaya untuk mencari sumber energi lain khususnya yang energi terbarukan dan ramah terhadap lingkungan. Beragam sumber energi terbarukan dan tidak merusak lingkungan seperti energi bersumber dari panas matahari, biomassa, angin dan panas bumi (geotermal).

Sumber panas bumi sudah cukup banyak digunakan sebagai sumber energi terbarukan termasuk di Indonesia. Indonesia sendiri memiliki banyak sumber panas bumi alami yang berpotensi untuk diolah menjadi energi listrik. Akan tetapi sumber panas bumi berkualitas rendah masih diabaikan padahal cukup menarik untuk diteliti bagi penyediaan listrik berkapasitas rendah seperti untuk rumah tangga ataupun daerah-daerah yang tidak dijangkau PLN sebagai penyedia listrik dimana daerah tersebut memiliki sumber panas namun yang bertemperatur rendah (dibanding sumber panas bumi yang biasa dimanfaatkan untuk memproduksi listrik).

BPPT dalam Indonesia Energi Outlook 2014 mengemukakan bahwa sumber energi panas bumi di Indonesia tersedia dalam jumlah yang besar [1] sedangkan Departemen Energi Amerika Serikat (DOE AS) menyatakan bahwa berkisar 60% dari panas limbah bertemperatur rendah (dibawah 232 °C) belum digunakan sebagai sumber energi alternatif selain bersumber dari fosil. Jadi potensi sumber energi geotermal untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik cukup menjanjikan khususnya untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak banyak.

Untuk dapat memanfaatkan panas dari sumber panas bumi bertemperatur rendah Siklus Rankin Organik digunakan dalam proses di dalam pembangkit listrik bersumber dari panas bumi. Organic Rankine Cycle (ORC) adalah teknologi yang dapat mengubah energi termal pada temperatur relatif rendah (sekitar 80 °C sampai 350 °C) menjadi listrik sehingga mempunyai peranan yang penting untuk meningkatkan efisiensi sistem yang baru atau yang sudah ada. ORC sendiri merupakan siklus pembangkit listrik yang menjanjikan untuk menghasilkan energi dari sumber panas bumi berkualitas rendah. Komponen ORC tidak berbeda dengan siklus Rankin yang bisa dijumpai di pembangkit listrik seperti pompa yang berguna untuk menaikkan tekanan dari fluida kerja, evaporator untuk menyerap panas, turbin (atau di penelitian ini menggunakan expander) untuk mengubah energi dari panas yang dimiliki fluida kerja menjadi putaran poros dan tentunya kondensor yang berfungsi untuk mengambil panas dari fluida kerja dan mengeluarkan panas tersebut ke lingkungan. Perbedaan fundamental antara ORC dengan siklus Rankin konvensional terletak pada fluida kerja yang digunakan. ORC memakai komponen organik, bukan air.

Penggunaan fluida organik sudah diuji di berbagai penelitian dimana salah satunya oleh Yamamoto et al [2] yang menggunakan R-123 sebagai fluida kerja pada siklus Rankin. Dari pengujian ini diperoleh kesimpulan bahwa kinerja siklus menjadi lebih tinggi jika menggunakan R-123 sebagai fluida kerja dibandingkan memakai air untuk kondisi temperatur saluran masuk turbin di bawah 120 °C. Sehingga pada penelitian kali ini dipilihlah sistem ORC yang memang sudah terbukti cocok untuk memanfaatkan panas bumi dengan kualitas rendah.

Selain fluida kerja R-134, fluida kerja R134a, R123, R227ea, R245fa, R290 dan n-pentane secara khusus sudah diteliti oleh Lakew dan Bolland [3] dimana mereka juga sudah menguji kemampuan sistem yang memakai fluida kerja tersebut untuk menghasilkan kerja. Penelitian yang dilakukan juga menghasilkan kesimpulan tentang persyaratan ukuran peralatan untuk fluida kerja yang disebutkan. Pengujian mereka tidak memerlukan superheating dalam siklus Rankin subkritis untuk mendapatkan temperatur sumber panas dalam kisaran temperatur sekitar 80 °C sampai 200 °C dan memakai tekanan evaporator sebagai parameter bebas. Dari penelitian ini diperoleh informasi bahwa pemilihan fluida kerja bergantung pada jenis sumber panas, tingkat temperatur dan tujuan dari desain. Dengan menggunakan N-pentane sebagai fluida kerja, maka siklus ORC mampu menghasilkan daya yang maksimum dari turbin atau dibutuhkan ukuran penukar panas yang lebih kecil. Daya maksimum ini didapatkan untuk tekanan evaporator yang optimal. Di kasus lain fluida kerja bisa saja memiliki ukuran turbin terkecil namun membutuhkan dimensi penukar panas yang besar. Mereka membuat kesimpulan bahwa penelitian berbasis ekonomi dibutuhkan untuk menentukan fluida kerja yang paling tepat.

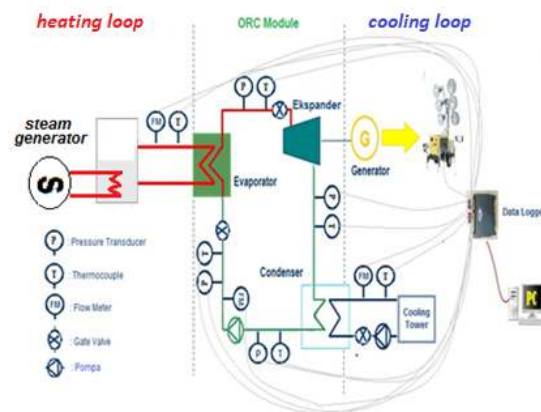
Qiu et al [4] menjelaskan perangkat ekspansi untuk sistem ORC mikro-CHP dan menghasilkan kesimpulan bahwa baik jenis baling-baling ataupun scroll merupakan pilihan yang baik untuk sistem dengan kapasitas sekitar 1-10 kW. Mesin tipe scroll lebih sesuai untuk aplikasi ORC yang berskala laboratorium dan memberikan beberapa kelebihan yang penting seperti keandalan dan ketahanan (dimana jumlah bagian yang bergerak berkurang) serta kemampuan untuk bekerja pada rasio tekanan tinggi serta dapat menangani adanya fase cairan di aliran.

Tujuan dari penelitian eksperimental ini adalah untuk mengetahui perubahan laju aliran massa fluida kerja dimana parameter ini merupakan salah satu faktor penentu kinerja dan efisiensi dari sistem pembangkit tenaga listrik berskala kecil yang dirancang dengan memakai sistem Organic Rankine Cycle (ORC) untuk mengubah panas bertemperatur rendah dari panas bumi sebagai sumber panas menjadi kerja poros dengan R134a sebagai fluida kerja.

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kondisi yang disyaratkan, pembangkit listrik ORC skala kecil dirancang, dibangun, dan diuji. Gambar 1 adalah diagram skematik dari sistem eksperimental. Prototipe eksperimental terdiri dari evaporator, boiler air, tangki gas, expander, katup jenis throttle, kondensor, tangki cairan, pompa umpan, menara pendingin, dua pompa air dan pengukuran dan akuisisi data yang saling terkait sistem.

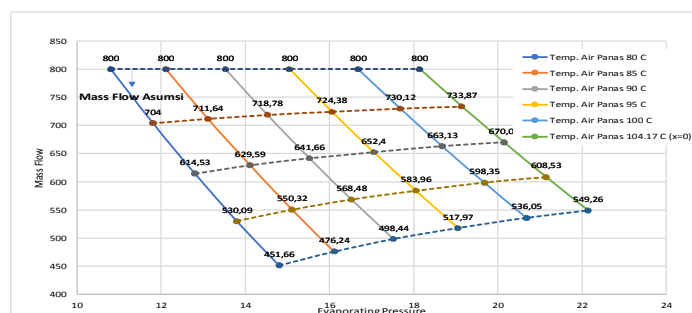
Vane pump digunakan untuk menyuplai dan menekan fluida kerja. Pompa ini dapat menyediakan tekanan operasi maksimum 28 bar dan kecepatan rotasi 1200 rpm. Laju aliran massa fluida kerja diatur menjadi 450 kg/jam untuk semua tingkat temperatur pemanasan. Ketel air digunakan untuk mensimulasikan sumber panas hidrotermal. Air panas dari boiler air disuplai untuk memanaskan fluida kerja dalam pipa-pipa koil evaporator menggunakan pompa air panas dengan laju aliran massa konstan 2000 kg/jam dan temperatur air panas bervariasi antara 60 °C hingga 100 °C. Setelah dipanaskan di evaporator, uap fluida kerja superheated mengalir ke tangki gas sementara dengan volume 10 liter dan tekanan kerja yang diijinkan adalah 30 bar. Penggunaan tangki gas membuat tekanan masuk expander jauh lebih stabil. Di dalam *expander*, uap superheated dari fluida kerja berekspansi agar bisa menghasilkan kerja mekanis pada poros. Ekspander *scroll* digabungkan ke generator AC dengan sabuk dan menggunakan beberapa bola lampu pijar sebagai beban kerja. Setelah proses ekspansi, uap fluida kerja tekanan rendah mengalir ke kondensor untuk didinginkan, air sebagai media pendingin disirkulasikan oleh pompa air pendingin dari kondensor ke tower pendingin yang memiliki kapasitas pendinginan 100 kW. Setelah proses kondensasi, fluida kerja cair mengalir di tangki penyimpanan air untuk dipompakan lagi ke evaporator.



Gambar 1. Diagram dari sistem pengujian

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, termokopel tipe-T dan pemancar informasi tekanan dipasang pada posisi berbeda dalam *prototipe* (aliran 1 - 4), untuk mengukur temperatur dan tekanan fluida kerja. Begitu juga pengukur aliran di turbin yang digunakan untuk memantau laju aliran massa fluida kerja, air panas dan air pendingin. Semua sinyal output dari data eksperimental dapat secara otomatis dikirim ke komputer dan dicatat sebagai fungsi waktu di komputer, menggunakan Cole Palmer 18200-20 *series data logger*.

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Temperatur uap yang diteliti adalah dari 80 °C hingga 100 °C yaitu pada 80 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C dan 100 °C. Pada setiap temperatur yang disebutkan, tekanan evaporasi dinaikkan dan diperoleh data bahwa laju aliran massa fluida kerja menurun. Hal ini dapat dijelaskan bahwa temperatur *refrigerant* yang lebih rendah menyebabkan peningkatan rasio tekanan *expander* dan akibatnya daya *output* atau laju aliran massa fluida kerja yang lebih kecil diperlukan jika daya *output* tetap. Laju aliran massa fluida kerja yang lebih kecil menunjukkan bahwa kalor masuk dari sumber panas yang lebih sedikit diperlukan sehingga efisiensi termal yang lebih tinggi dapat dicapai.



Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap tekanan penguapan maksimum & laju massa maksimum

### 3. SIMPULAN

Penelitian ini secara eksperimental menyelidiki kinerja *scroll expander* dengan rasio volume bawaan 4.05 dalam sistem ORC menggunakan HFC-245fa sebagai fluida kerja, dan fluida tersebut telah dicampur dengan oli refrigeran yang moderat yang bersirkulasi di dalam sistem. *Expander* telah dimodifikasi dari kompresor udara *scroll* tipe *open-drive* tanpa oli dan dioperasikan dalam mode terbalik. Air panas pada tekanan satu atmosfer digunakan sebagai sumber panas limbah tiruan dan menara pendingin berfungsi sebagai *heat sink*. Temuan utama adalah sebagai berikut:

1. Secara umum dapat dikatakan bahwa dengan menaikkan nyata temperatur maka laju aliran massa akan meningkat
2. Dengan menaikkan tekanan pada temperatur yang sama maka laju aliran massa akan turun
3. Efisiensi termal yang lebih tinggi akan dapat dicapai dengan laju aliran massa yang lebih kecil

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, “Energy Outlook 2014”, (Center for Energy Resources Development Technology - PTPSE), 2014.
- [2] T.Yamamoto et al, “Design and testing the organic Rankine cycle”, *J.Energy*, vol. 26, pp.239-251, 2001.
- [3] A.A.Lakew, O.Bolland, “Working fluids for low-temperature heat source”, *J.Appl. Therm. Eng.*, vol.30, pp.1262-1268, 2010.
- [4] G.Qiu, H.Liu, S.Riffat, “Expanders for micro-CHP systems with organic Rankine cycle”, *J.Appl. Therm. Eng.*, vol.31pp.3301-3307, 2011
- [5] M.J. Moran, H.N. Shapiro, “Fundamentals of Engineering Thermodynamics, New York: John Wiley & Sons. Inc., 1993.
- [6] J.C.Chang et al, “Experimental study on low-temperature organic Rankine cycle utilizing scroll type expander”, *J.Applied Energy*, vol.29, pp.167-171, 2015.