KONSEP DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MEMANFAATKAN SUMBER PANAS BERTEMPERATUR RENDAH DENGAN MEMAKAI SIKLUS RANKINE ORGANIK

Ign. Riyadi Mardiyanto, Dinny Niaty dan Ika Yuliyani Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung Emal: Ig R M@yahoo.com

Abstrak

Siklus Rankine Organik (ORC) menggunakan dua refrigeran organik yakni R22 dan R134a dapat digunakan untuk mengkonversi panas dari sumber air panas bersuhu sekitar 80°C. Menggunakan air pendingin dengan temperatur 18°C, dengan R22 didapat efisiensi siklus sekitar 5%. Sedangkan jika menggunakan R134a akan didapat efisiensi siklus sekitar 6%. Untuk membangkitkan daya listrik sekitar 3 kW dapat menggunakan ORC dengan refrigerant tersebutyang membutuhkan laju aliran air panas bersuhu 80°C sebesar 0.8 liter per detik.

Kata Kunci: pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), siklus rankine organik, refigeran R22 dan R134a

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi merupakan sesuatu yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia saat ini, energi mempunyai peranan penting dalam kehidupan sosial, ekonomi dan lingkungan yang berkelanjutan. Seiring dengan kemajuan teknologi ternyata makin banyak energi fosil yang digunakan oleh pembangkit listrik seperti PLTU maupun PLTGU untuk menghasilkan energi listrik yang akan didistribusikan kepada masyarakat. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan.

Sebagai daerah vulkanik, wilayah Indonesia sebagian besar kaya akan sumber energi panas bumi. Jalur gunung berapi membentang di Indonesia dari ujung Pulau Sumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT, NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera, dan Pulau Sulawesi. Energi panas bumi dikonversikan menjadi listrik dengan menggunakan siklus termodinamika. Siklus termodinamika adalah kumpulan berbagai proses termodinamika yang didasarkan pada hukum kekekalan energi. Dengan menggunakanpanas bumi dapat dirubah menjadi jenis energi lain.

Di bidang energi panas bumi, digunakan

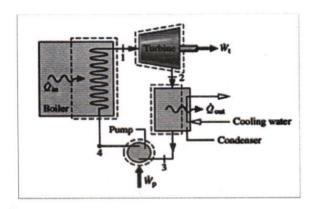
beberapa jenis siklus termodinamika, misalnya siklus Kalina, siklus Rankine, siklus Carnot dan lain- lain. Siklus Rankine adalah <u>siklus termodinamika</u> yang mengubah <u>panas</u> menjadi <u>kerja</u> dengan memanfaatkan perubahan fasa fluida yakni dari fasa cair ke fasa uap/gas.

Konsep Siklus Rankine

Panas dari sumber panas digunakan untuk menguapkan cairan yang bertekanan tertentu pada ruang penguap (boiler/heat exchanger), kemudian uap ini digunakan untuk menggerakkan media mekanik (turbine/ekpander) sehingga didapatkan kerja mekanik berupa putaran rotor turbine. Karena energi pada fasa uap telah dipakai untuk kerja mekanik maka berakibat pada turunnya tekanan dan temperatur. Selanjutnya uap yang telah turun tekanan dan temperaturnya diubah fasanya dengan menggunakan pengambil panas sisa atau kondensor sehingga menjadi berfasa cair. Cairan ini kemudian dipompakan ke boiler yang mempunyai tekanan tertentu dan diberikan panas sampai menjadi uap kembali, sedemikian hingga siklus termodinamika menjadi sempurna dan dapat diulang terus menerus dan dirasakan sebagai kerja kontinyu pada rotor turbin.

Konsep Siklus Rankine Organik

Pada siklus Rankine, cairan yang digunakan adalah air. Seperti halnya pada Siklus Rankine, Siklus Rankine Organik juga mengubah panas menjadi kerja, hanya saja fluida yang digunakan adalah fluida organik/refrigerant.Penggunaan jenis fluida organik ini diharapkan dapat menurunkan temperatur dari sumber panas untuk penguapan fluida yakni karena rendahnya titik didih dari jenis fluida tersebut. Karena alasan inilah Siklus Rankine Organik cocok digunakan pada pembangkitanenergi listrik tenaga panas bumi dengan temperatur yang rendah yakni antara 80°Csampai 200°C.



Gambar 1. Prinsip Kerja Siklus Rankine

Seperti halnya siklus Rankine; siklus Rankine organik secara sederhana dapat dibangun menggunakan empat komponen utama yakni heat exchanger, turbin, kondensor dan pompa dengan pipa-pipa penghubung antara komponen.Satu siklus terjadi apabila fluida kerja telah berubah dari cair dengan tekanan tertentu mejadi uap pada heat exchanger kemudian fluida menggerakkan rotor turbin.Setelah melewati turbin dikondensasi oleh kondensor, dan dipompakan kembali ke boiler oleh pompa pengumpan.

Konsep Desain Siklus Rankine Organik

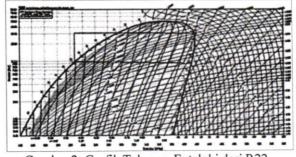
Pada siklus Rankine organik, digunakan fluida kerja bahan organik/refrigerant yang pada tekanan tertentu dengan panas tertentu akan berubah dari cair menjadi gas. Tetapi pada kondisi temperatur ruangan, temyata bahan organik tidak kondensasi. Untuk terkondensasi pada temperatur lingkungan maka tekanan gas refrigerant organik tersebut harus mempunyai tekanan jauh diatas atmosfer.

Jadi dapat dikatakan bahwa pada tekanan atmofer dan temperatur sekitar 20°C maka refrigerant telah berada pada fasa uap. Tabel 1 berikut adalah contoh titik kritis dan titik didih dua refrigerant organik yang berbeda. Terlihat bahwa pada kondisi tekanan 1 atm, maka titik didihnya adalah dibawah 0°C. Jadi temperatur pengembunan pada tekanan 1 atm akan berada pada temperatur dibawah nilai tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk memenuhi siklus Rankine, kondensasi fluida organik tersebut harus pada tekanan jauh diatas 1 atm. Jadi titik penting dari konsep desain siklus Rankine Organik ini salah satunya adalah pembuatan siklus dengan tekanan kerja yang semuanya jauh diatas tekanan atmosfer.

Tabel 1. Contoh Karakteristik Fluida Organik

		Titik Kr	itis	Titik Didih
No	Fluida	Temp.	Tek. (MPa)	pada 1atm (°C)
1.	R22	96.1	4,99	-41
2.	R134a	101.2	4.06	-25

Selanjutnya, dengan menggunakan diagram ental phi. maka akan digambarkan perkiraan tekanan kondensasi yang harus disiapkan pada fluida kerja yang melalui kondensor sedemikian sehingga fluida kerja dapat terkondensasi. Berikut adalah gambaran tekanan-entalphi dari fluida keria yang akan disimulasikan lebih lanjut.Kemudian juga dapat diidentifikasi tekanan dan temperatur penguapan.Untuk gambaran siklus kerja dengan memakai grafik tekanan-entalphi ini perlu identifikasi data potensi energi di lapangan.



Gambar 2. Grafik Tekanan-Entalphi dari R22

Misal, diketahui dari hasil pengukuran suatu tempat di Gunung Galunggung Kabupaten Tasikmalaya, diketahui datanya adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Data Pengukuran Lapangan

	Air Panas		Air Dingin			
No.	Flow (lt/s)	Temp.	Temp (°C)	Tekanan (atm)	Kelembaban (%)	
1.	>10	80	18	1	75	

Pump. Pompa dimaksudkan untuk menaikkan tekanan pada fluida kerja sehingga mempunyai tekanan yang cukup tinggi sebelum fuida kerja tersebut diubah menjadi fasa uap pada boiler/heat exchanger. Dengan kondisi air panas yang akan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik adalah sekitar 80 °C, maka tekanan fluida kerja R22 adalah sekitar 31bar. Dengan memilih tekanan pompa misalnya sebesar 32 bar, maka fluida kerja akan dapat diuapkan dengan heat exchanger/boiler dengan temperatur masukan sebesar 80°C, seperti data lapangan di atas.

Fluida kerja dalam bentuk cair yang berasal dari kondensor akan dipompakan ke dalam heat exchanger yang bertekanan lebih tinggi. Kesetimbangan laju massa dan energi persamaan sederhananya seperti berikut ini.

$$\frac{\dot{W}_{\rm p}}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \tag{1}$$

Heat exchanger/boiler.FLuida kerja dimasukkan kedalam heat exchanger dan dengan sumber panas yang melalui heat exchanger sampai fluida kerja menjadi uap.

Pada boiler terjadi tiga keadaan yakni, pada keadaan pertama adalah keadaan pemanasan fluida kerja pada tekanan sesuai dengan tekanan keluaran pompa sampai panas sesuai dengan panas penguapan.Kemudian keadaan kedua adalah keadaan perubahan fluida keria dari keadaan cair menjadi uap pada tekanan tersebut. Selanjutnya keadaan ketiga adalah uap pada boiler dipanaskan lebih lanjut yang menjadikan uap menjadi semakin panas.Uap fluida kerja dengan tekanan sekitar 31 bar dan temperatur sekirar 80°C ini selanjutnya dapat dipakai untuk memutar uap/ekspander.Persamaan sederhana untuk heat exchanger tersebut adalah sebagai berikut.

$$\frac{\dot{Q}_{\rm in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \tag{2}$$

Turbine/Ekspander. Uap kerja dari heat exchanger pada kondisi 1, uap dengan tekanan sekitar 30 bar dengan temperatur 76°C akan berekspansi melalui turbin/ekspander untuk menghasilkan kerja mekanik berupa putaran rotor ekspander, dan kemudian disalurkan ke kondensor pada kondisi 2. Pada kondisi uap keluar dari turbin, tekanan dan temperatur menjadi relatif rendah yakni tekanan sekitar 9 bar dengan temperatur sekitar 20 °C. Dengan mengabaikan perpindahan panas di sekeliling turbin, kesetimbangan laju energi dan massa disekitar turbin menjadi:

$$\frac{\dot{W}_{\rm t}}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \tag{3}$$

Condenser. Dari Gambar 2 dan Tabel 2 di atas, dapat diketahui bahwa untuk mengambil panas sisa fluida kerja R22 sehingga fluida kerja menjadi pada temperatur di sekitar 20°C maka tekanan dari fluida kerja adalah sekitar 9.5 bar. Artinya, jika kita menggunakan air lingkungan untuk membawa panas yang berasal dari fluida kerja melalui komponen kondesor, maka tekanan fluida kerja haruslah sama dengan atau diatas 9 bar, yakni agar terjadi perpindahan panas dari fluida kerja organik tersebut ke air pembawa panas, misal dengan temperatur antara 18ºCsampai 20°C, sehingga fluida kerja menjadi terkondensasi dan menjadi cair kembali. Dalam kondensor terjadi perpindahan panas. Uap terkondensasi dan temperaturcooler meningkat. Keseimbangan laju massa dan energi adalah:

$$\frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{m} = h_2 - h_3 \tag{4}$$

Parameter kinerja. Efisiensi termal mengukur seberapa banyak energi yang masuk ke dalam fluida kerja melalui yang dikonversi menjadi keluaran kerja. Efisiensi termal dari siklus adalah:

$$\eta_{therm} = \frac{\dot{W}_{turbine} - \dot{W}_{pump}}{\dot{Q}_{in}} \tag{5}$$

Pemilihan fluida kerja adalah kunci penting dalam siklus Rankine organik.Karena temperatur yang rendah, ketidak-efisienan perpindahan panas sangat merugikan.Ketidakefisienan ini tergantung pada karakteristik temodinamika fluida dan kondisi saat beroperasi.Pemilihan fluida kerja yang akan digunakan ini berdasarkan pada besarnya entalpi dan rendahnya titik didih fluida. Selain itu ketersediaan dan harga fluida pun menjadi pertimbangan dalam pemilihan fluida kerja ini.

HASIL DAN DISKUSI

Pada pengujian ini digunakandua jenis fluida organik yang digunakan fluida kerja yakni R22 dan R134a, dan berikut data inputnya dan andaian efisiensi peralatan pengkonversi.

Table 3 Data input simulasi

No.	Fluida	Pin	T _{in}	P _{out}
	yang	Turbin	Turbin	Kondensor
	Digunakan	(bar)	(°C)	(bar)
1	R22	31.57	76	9.5
2	R134a	21	76	6

Table laniutan 3

ηPom pa4 (%)	η Generator (%)	η Turbin (%)	Tin Air (°C)	Tout Air (°C)	Output Generator (k W)
77	95	65	18	20	5
77	95	65	18	20	5

Untuk menghasilkan daya keluaran 5 kW seperti direncanakan pada table di atas, dengan data-data masukan seperti tabel 3 di atas, didapatkan nilai nilai hasil simulasi seperti tabel 4 di bawah ini.

Table 4 Data Hasil Simulasi

		I dore 1	Duta Hubii	DIMINUTUR	
No.	Laju Fluida kerja (kg/s)	Laju Air panas (lt/s)	Daya Pompa flui da (kW)	Daya pompa pendingin (kW)	Laju Air Pendingin (lt/s)
1	0,39	0,69	1,77	0.3	6.3
2	0,41	0,82	1,25	0.37	7,78

Tabel 5 Tabel Data Entalpi Hasil Perhitungan Teoritis

No.	Fluida yang Digunakan	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)
1.	R22	423	410	228	229
3.	R134a	430	414	230	232

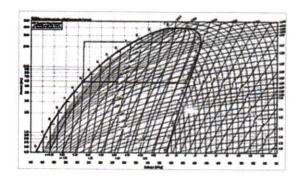
Perhitungan efisiensi siklus teoritis, hanya dimasukkan penggunaan pompa tekanan fluida kerja. Untuk efisiensi sistem pada simulasi, dihitung pula daya yang digunakan untuk pompa pendingin.

Tabel 6. Tabel Perbandingan Nilai Efisiensi HasilSimulasi DanPerhitungan Teoritis

No.	Fluida Kerja	Simulasi (efisiensi sistem, %)	Teoritis (efisiensi thermal, %)
1.	R22	5.1	6.2
2.	R134a	5.9	7.1

Tabel 6 diatas memperlihatkan perbandingan antara data hasil simulasi perangkat lunak dengan data hasil perhitungan secara teoritis. Pada Tabel 6 tersebut, ditunjukkan bahwa baik dari hasil simulasi maupun data hasil perhitungan teoritis nilai efisiensinya sedikit berbeda. Seperti halnya pada siklus yang menggunakan R22 sebagai fluida kerjanya dapat kita lihat bahwa efisiensi yang dihasilkan siklus hasil simulasi program nilai efisiensinya sebesar 5,1%, dan nilai efisiensi hasil perhitungan secara teoritis sebesar 6,2 %.Jika dibandingkan, dari kedua fluida kerja yang digunakan yakni R22 dan R134a, yang memiliki nilai efisiensi paling besar adalah R134a yaitu sebesar 5,9 % hasil simulasi dan 7,1 % hasil perhitungan teoritis.

Pada tekanan 31,57 bar dan temperatur 76°Crefrigeran R22 sudah berubah fasa menjadi uap jenuh,untuk kemudian refrigeran ini digunakan memutar ekspander. Keluaran dari ekspander agar dapat diambil energinya sehingga refrigeran mengembun adalah pada tekanan 9,5 dan temperatur 20°C, karena temperatur pendingin adalah 18°C. Hasil kondensasi ini selanjutnya ditekan heat untuk selanjutnya ditambah exchanger energinya dengan cara memberi panas dengan fluida panas dari sumber air panas. Dengan temperatur mula-mula sebesar 20°C' kemudian refrigeran sebagai fluida kerja ditambah energinya sehingga suhunya menjadi 76 °C dengan tekanan 31,57 bar, maka fasa fluida kerja R22 menjadi uap kering yang siap digunakan untuk memutar ekspander. Sehingga secara keseluruhan siklus Rankine Organik menjadi terpenuhi. Hasil perhitungan teoritis maupun simulasi untuk efisiensi dari fluida kerja ini adalah sekitar 5 % seperti telah disebutkan di atas.



Gambar 3 Diagram pressure-entalphydariR134a

Dalam proses ini tekanan dan temperatur refrigeran turun. Untuk refrigeran R134a perubahan fasa menjadi uap kering terjadi pada saat suhu refrigerant mencapai 76°C dengan tekanan 21 bar. Dan uap tersebut kemudian dikondensasi pada temperatur 20°C sehingga tekanan fluida uap terkondensasi menjadi sekitar6 bar.

KENDALA PENERAPAN

Diketahui bahwa, tekanan output turbin untuk siklus rankine organic ini,di atas atmosfer. Dengan tingginya tekanan ini maka akan perlu dipikirkan pembuatan seal pada turbin maupun pompa agar fluida kerja tidak bocor ke atmosfer melalui sela-sela poros rotor dan stator turbin maupun pompa tersebut.

KESIMPULAN

Setelah dliakukan identifikasi lapangan di sumber air panas yang berlokasi di Gunung GalunggungTasikmalaya, kemudian dilanjutkan dengan perancangan model siklus Rankine organik yang diuji dan kemudian melakukan simulasi untuk dua jenis fluida yakni R22 dan R134apada suhu sumber sebesar 80 °C, maka fluida yang memiliki nilai efisiensi yang lebih baik adalah R134adengan nilai 5,9 %.

Dari hasil pengujian ini dapat dikatakan bahwa sumber air panas tersebut di atas, berpotensi untuk dijadikan pembangkit listrik skala kecil. Namun untuk merealisasikannya diperlukan studi lebih lanjut dengan melakukan detail desain dan pembuatan alatnya dengan memperhatikan kendala tekanan operasional siklus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin, Antonius Bintarto Ekoprasetyo. 2005. Teknik ORC untuk Ekstraksi Energi dari Sumber Energi Potensi Rendah.http://www.p3tkebt.esdm.go.id
- Ariyanto, Sudi. 2004. Energi Terbarukan Belum Dimanfaatkan Secara Sempurna. http://id.wikipedia.org/wiki/Energi Terbarukan
- Batton, Bill. 2000. Mesin Siklus Rankine

 Organik untuk Solar

 Power(terjemahan).

 http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/batton orc.pdf.
- Bronicki, LY. 1984. Dua puluh Lima Tahun Pengalaman dengan Rankine Organik Cairan di Turbomachinery. http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus Rankine Organik.
- Engle, David. 2008. Dari Limbah Panas Untuk Energi. (terjemahan). http://ormat data/marcom/ormat
- Geankoplis, J Cristie. 1983. Transport Process and Unit Operations 2nd Edition. USA: Allyn and Bacon.
- Kulshrestha, S.K. 1989. Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas (Penerjemah: Budiardjo, I Made Kartika D, Budiarso). Jakarta, Universitas Indonesia.
- Moran, Michael J dan Howard N. Shapiro. 2006. Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition. England :John Wiley & Sons, Inc.