

Analisis Pemanfaatan *Geothermal Brine* untuk Pembangkitan Listrik dengan *Heat Exchanger*

Aloysius Afriandi, Ridho Hantoro

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: aloysius13@mhs.ep.its.ac.id, ridho_hantoro@yahoo.com

Abstrak—*Geothermal* atau Panas Bumi merupakan salah satu sumber energi yang tergolong ke dalam jenis energi baru dan terbarukan. Dalam pemanfaatannya, proses pembangkitan listrik panas bumi pada PLTP dengan sumber panas bumi dengan entalpi tinggi seringkali membuang cairan panas bumi atau *brine*. *Brine* ini sendiri memiliki potensi termal dari 148-173°C sehingga masih berpotensi untuk dijadikan energi dalam pembangkitan dengan menggunakan siklus biner. Siklus biner sendiri merupakan siklus pembangkitan listrik yang dalam prosesnya menggunakan bantuan fluida sekunder atau fluida kerja bertitik didih rendah untuk mengoptimalkan vapor yang dihasilkan oleh fluida sekunder tersebut dengan panas yang tersedia. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini antara lain R134a, n-pentana, dan isobutana. Dari ketiga jenis fluida kerja tersebut didapatkan bahwa n-pentana merupakan fluida kerja yang paling baik jika ditinjau dari daya yang dihasilkan yaitu sebesar 14980kW dan ditinjau dari efisiensi eksergetiknya yaitu 68,7%.

Kata kunci—Panas Bumi, *Brine*, Siklus Biner, Efisiensi Eksergetik

I. PENDAHULUAN

PANAS bumi atau *geothermal* merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang terbentuk di dalam kerak bumi. Di Indonesia sendiri, sumber energi *geothermal* tergolong cukup potensial. Kategori *geothermal* yang terdapat di Indonesia sendiri tergolong ke dalam kategori entalpi menengah hingga entalpi tinggi. Dengan demikian, *geothermal* dapat dijadikan salah satu alternatif pembangkitan listrik untuk mendukung peningkatan rasio elektrifikasi di Indonesia[1].

Dalam proses pembangkitan listrik PLTP, panas bumi langsung dieksploitasi dan dimanfaatkan tekanannya untuk memutar turbin setelah melalui *separator* dan *demister*. Panas bumi sendiri dikatakan sumber energi baru dan terbarukan karena fluida sisa dari panas bumi baik itu hasil separasi pada *separator* atau fluida sisa hasil kerja dalam siklus pembangkitan diinjeksikan kembali ke dalam *reservoir* agar *reservoir* dapat kembali menampung panas bumi untuk kembali dieksploitasi.

Brine sendiri seperti yang telah dijelaskan sebelumnya merupakan produk hasil separasi uap pada *separator*. Pada kategori panas bumi berentalpi tinggi, temperatur dari *brine* sendiri bisa mencapai 150°C. Dengan temperatur tersebut, *brine* masih berpotensi untuk dijadikan sumber energi pembangkitan dalam skala kecil.

Untuk kategori *geothermal* pada lokasi Jawa Barat sendiri dan yang akan dijadikan objek penelitian, temperatur *brine* dari sumur hingga 173°C dengan *mass flow rate* 252kg/s dan entalpi sekitar 732,4kJ/kg[2].

Pada beberapa negara yang memanfaatkan panas bumi sebagai energi pembangkit, *brine* hanyalah dianggap sebagai produk buangan dan tidak termasuk ke dalam siklus pembangkitan secara langsung. Bagi industri, menginjeksikan *brine* langsung ke *reservoir* tentunya lebih mudah dan tidak beresiko. Namun, dengan begitu potensi termal dari *brine* sendiri menjadi sia-sia. Padahal jika saja *brine* dimanfaatkan untuk pembangkitan dalam skala kecil, mungkin saja dapat digunakan untuk masyarakat sekitar. Industri pembangkitan pun tidak akan dirugikan mengingat ketika temperatur dari *brine* telah berhasil diekstraksi, fluida sisanya akan tetap diinjeksikan ke *reservoir* sehingga manajemen dan *treatment* dari *reservoir* akan tetap terjaga[2].

Proses yang dapat dilakukan untuk pembangkitan sendiri adalah dengan mengekstraksi termal dari *brine* dengan *heat exchanger* (HE). Dengan mengekstraksikan termal dari *brine*, termal tersebut kemudian akan memanaskan fluida kerja yang kemudian akan dialirkan ke turbin. Setelah digunakan untuk proses pembangkitan, fluida sisa kemudian akan kembali diinjeksikan ke *reservoir* sebagai upaya manajemen *reservoir* panas bumi[3].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Analisis Eksergi

Analisis eksergi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketersediaan energi dalam siklus biner *geothermal brine*. Analisis sendiri dilakukan dengan memahami setiap komponen dan kemungkinan terjadinya pemusnahan energi pada setiap komponen siklus biner *geothermal brine*. Fase-fase yang dianalisis pada siklus ini, antara lain:

- Heat Exchanger
 - Temperatur *brine* masuk *heat exchanger*
 - Temperatur *brine* keluar *heat exchanger*
 - Laju aliran *brine* masuk *heat exchanger*
 - Laju aliran *brine* keluar *heat exchanger*
 - Temperatur udara masuk *heat exchanger*
 - Temperatur udara keluar *heat exchanger*
 - Tekanan udara masuk *heat exchanger*
 - Tekanan *brine* masuk *heat exchanger*

- Tekanan *brine* keluar *heat exchanger*
- Turbin
 - Temperatur vapor masuk turbin
 - Tekanan vapor masuk turbin
 - Temperatur vapor keluar turbin
 - Tekanan vapor keluar turbin
- Kondensator
 - Temperatur *vapor* masuk kondensator
 - Tekanan *vapor* masuk kondensator
 - Laju aliran *cooling water*
 - Temperatur *cooling water* keluar kondensator
 - Tekanan *cooling water* keluar kondensator
 - Laju aliran *cooling water* keluar kondensator
 - Temperatur *cooling water inlet*
 - Temperatur *cooling water outlet*
 - Tekanan *cooling water inlet*
 - Tekanan *cooling water outlet*

Perhitungan analisis eksergi pada penelitian ini sendiri dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$x_{state} = h_{state} - h_{lingkungan} - (T_{lingkungan} \times (S_{state} - S_{lingkungan}))$$

Persamaan di atas digunakan untuk memperoleh eksergi spesifik pada state-state yang telah ditentukan sebelumnya.

Setelah diperoleh eksergi spesifik, dilakukan perhitungan terhadap laju eksergi dengan persamaan:

$$E_{state} = \dot{m}_{state} \times x_{state}$$

dimana E merupakan laju eksergi dan \dot{m} merupakan laju aliran. Analisis pemanfaatan sistem pembangkit geothermal sendiri banyak dilakukan dengan menggunakan analisis eksergetik[4]. Sebelum dapat dianalisis efisiensi eksergetik pada sistem, terlebih dahulu harus diketahui rugi eksergi yang terjadi pada komponen pembangkitan. Rugi eksergi dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Rugi Eksergi} = E_{in} - E_{out} - W$$

Setelah diketahui rugi eksergi yang terjadi pada komponen, barulah dapat dianalisis efisiensi eksergetik pada sistem dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{E - \text{Rugi Eksergi}}{E}$$

B. Simulasi

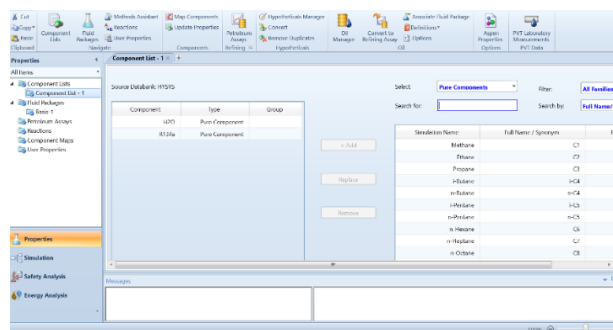
Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu simulasi untuk mengetahui performa *heat exchanger* sebagai proses ekstraksi panas dari geothermal brine. Pada proses simulasi *heat exchanger*, pertama kali yang harus dilakukan adalah menentukan daftar komponen yang adalah fluida-fluida yang ada di dalam HE tersebut yang dalam penelitian ini adalah

geothermal brine dan fluida kerja (R-134a, n-pentana, dan isobutana).

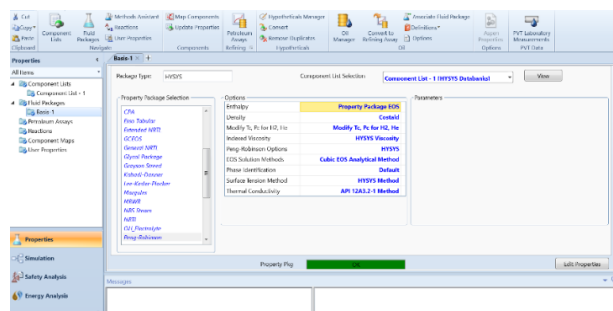
Setelah menentukan daftar komponen untuk simulasi *heat exchanger*, kemudian dipilih *property package* pada menu fluid packages. Pada *property package*, dipilih model Peng-Robinson.

Setelah menentukan komponen-komponen yang terlibat dalam proses, kemudian simulasi dijalankan. Komponen-komponen disusun sesuai dengan model pembangkitan yang diinginkan. Pada model di atas, komponen-komponen yang terlibat, antara lain *evaporator*, ekspander (turbin), dan kondensator.

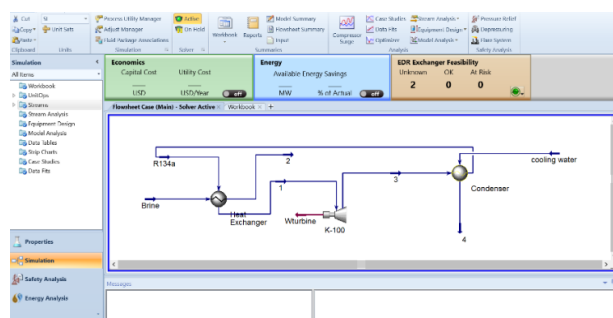
Dalam *heat exchanger (evaporator)* kemudian ditentukan aliran yang memasuki dan keluar *heat exchanger*. Aliran yang memasuki *heat exchanger* pada proses ini adalah *geothermal brine* yang berasal dari separator dan fluida kerja sementara aliran yang keluar *heat exchanger* pada proses ini *vapor* yang dihasilkan dari pemanasan fluida kerja dan *geothermal brine* yang panasnya sudah terekstraksi.



Gambar 1. Setup Fluida



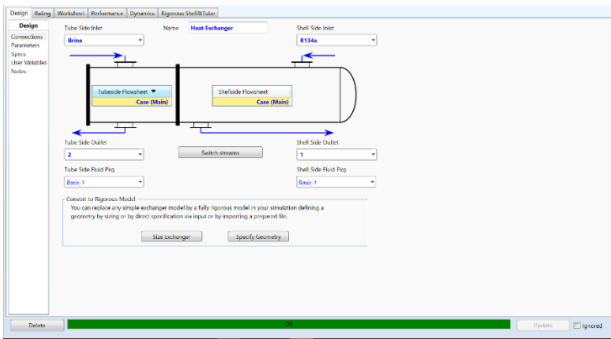
Gambar 2. Setup Fluid Package



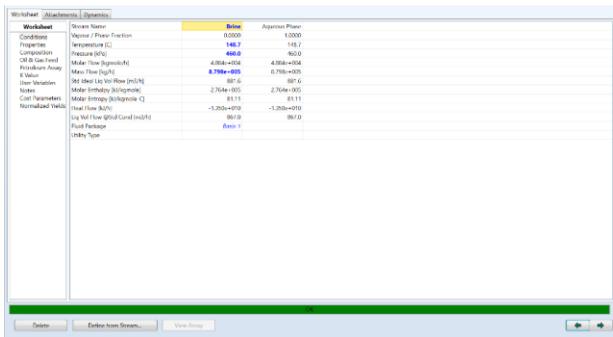
Gambar 3. Setup Model Pembangkitan

Aliran-aliran fluida yang terlibat dalam proses simulasi ditentukan kondisi-kondisi termofisiknya. Pada aliran brine, ditentukan temperatur, pressure, fraksi massa, fraksi mol, dan mass flow ratenya.

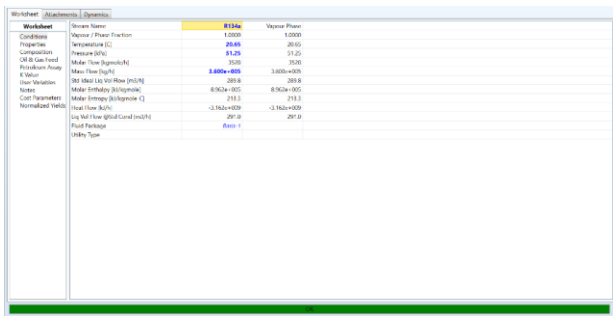
Setelah menentukan kondisi-kondisi dari brine, kemudian ditentukan kondisi-kondisi dari fluida kerja yang diinginkan. Setelah itu, barulah dapat diketahui performa dari *heat exchanger* berikut dengan tabelnya. Proses simulasi selanjutnya adalah untuk mengetahui proses-proses yang terjadi pada proses pembangkitan siklus biner dengan *geothermal brine*. Yang dilakukan adalah dengan menyusun setiap komponen pada siklus yang meliputi *heat exchanger* yang sebelumnya telah diatur dan turbin. Turbin kemudian diatur aliran-aliran yang berhubungan, setelah itu ditentukan parameter-parameter pada turbin tersebut dan yang berhubungan dengan alirannya. Setelah itu barulah dapat dilihat kerja turbin pada *worksheet* dalam simulasi ini.



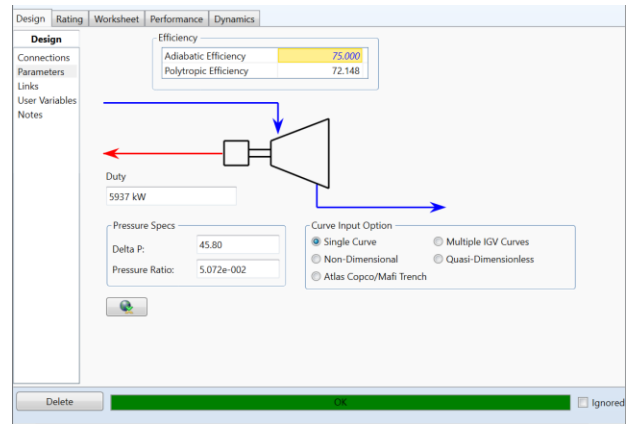
Gambar 4. Setup Evaporator



Gambar 5. Setup Properti Brine



Gambar 6 Setup Properti Fluida Kerja



Gambar 7. Setup Turbin

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Eksergi

Pada penelitian ini dilakukan analisis eksergi terhadap siklus biner *brine* dengan variasi 3 fluida sekunder atau fluida kerja yang berbeda.

Tabel 1.
Laju Eksergi R134a

Sta	T	P	h	s	m	E
te	^o C	kPa	kJ/kg	kJ/kgK	kg/s	kW
0		17	71.42	0.253		
1	980	160	675.68	1.942	244.4	140663.271
2	975	138.3	582.33	1.721	244.38	118757.854
3	2977	110	468.15	1.786	100	15153
4	900	33.25	246.44	1.159	100	4977.552
5	100	21	88.19	0.311	98	1021.346
6	90	31	129.99	0.450	98	5096.339
7	2980	20.65	421.8	1.094	100	33272.95

Tabel 2.
Rugi Eksergi R134a

Heat Exchanger	40025.367
Turbin	3932.448
Kondensor	902.559

Dari data eksergi total dari brine dan total rugi eksergi pada proses, diperoleh efisiensi eksergetik sebesar 68%.

Tabel 3.
Laju Eksergi n-pentana

Sta	T	P	h	s	m	E
te	^o C	kPa	kJ/kg	kJ/kgK	kg/s	kW
0		17	71.42	0.253		
1	980	160	675.68	1.841	244.4	141082.491
2	975	137.8	621.32	1.636	244.38	128638.528
3	2977	110	394.78	1.243	100	16496

4	900	30.05	476.4	1.121	100	28531.448
5	100	21	88.19	0.311	98	1021.346
6	90	31	129.99	0.450	98	5158.272
7	2980	10	226.41	1.022	100	13884.1

Tabel 4.
Rugi Eksergi n-pentana

Heat Exchanger	9832.062
Turbin	1007.448
Kondensor	24394.523

Dari data eksergi total dari brine dan total rugi eksergi pada proses, diperoleh efisiensi eksergetik sebesar 68,7%.

Tabel 5.
Laju Eksergi isobutana

State	T °C	P kPa	h kJ/kg	s kJ/kgK	m kg/s	E kW
0		17	71.42	0.253		
1	980	160	675.68	1.942	244.4	140663.271
2	975	138.3	582.33	1.721	244.38	118757.854
3	2977	110	401.29	1.513	100	12823.800
4	900	31.8	241.2	1.159	100	4453.552
5	100	21	88.19	0.311	98	1021.346
6	90	31	129.99	0.450	98	5124.402
7	2980	20.65	421.8	1.094	100	33272.950

Tabel 6.
Rugi Eksergi isobutana

Heat Exchanger	42354.567
Turbin	2228.248
Kondensor	350.496

Dari data eksergi total dari brine dan total rugi eksergi pada proses, diperoleh efisiensi eksergetik sebesar 68,1%.

B. Simulasi

Tabel 7.
Simulasi R134a

Daya Turbin	6064kW		
	P kPa	T °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
R134a	2980	20.65	228.63
HE-Turbin	2977	100	453.59
Turbin-Cond	900	33.25	246.44
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	129.3	582.29
Cooling Tower	90	31	129.99

Tabel 8.
Simulasi n-pentana

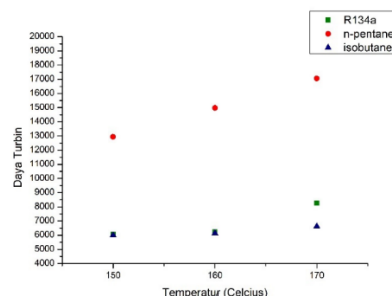
Daya Turbin	12940kW		
	P kPa	T °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
n-pentana	2980	10	226.41
HE-Turbin	2977	100	358.89
Turbin-Cond	900	30.05	232.4
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	130.2	570.35
Cooling Tower	90	31	129.99

Tabel 9.
Simulasi isobutana

Daya Turbin	5986kW		
	P kPa	T °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
isobutana	2980	15	238.47
HE-Turbin	2977	100	392.58
Turbin-Cond	900	31.8	241.2
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	131.4	552.83
Cooling Tower	90	31	129.99

Melalui simulasi, dapat disimpulkan bahwa fluida sekunder atau fluida kerja pada siklus biner yang paling baik jika ditinjau dari daya yang dihasilkan adalah n-pentana. Meski demikian, dari data di atas dan dari hasil analisis eksergi dapat dilihat bahwa termal yang terbuang untuk proses reinjeksi ke reservoir masih cenderung besar. Oleh sebab itu diperlukan rekayasa terhadap model pembangkitan salah satunya adalah dengan penambahan komponen *preheater* pada siklus.

Pada gambar di atas, dapat dilihat grafik perbandingan antara ketiga fluida sekunder atau fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ditinjau dari daya pada turbin yang dihasilkan pada proses pembangkitan. Dapat dilihat bahwa n-pentane merupakan fluida sekunder atau fluida kerja terbaik jika ditinjau dari daya turbin yang dihasilkan.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Fluida Kerja

Tabel 10.
Simulasi dengan preheater (R134a)

Daya Turbin	6862kW		
	P	T	h
State	kPa	°C	kJ/kg
Brine	980	150	632.49
R134a	2980	20.65	228.63
HE-Turbin	2977	100	453.59
Turbin-Cond	900	35.4	249.59
Cooling Water	100	31	130
Reservoir	975	113.4	497.5
Cooling Tower	90	21	88.18

Dengan penambahan komponen *preheater* pada siklus, dapat dilihat penambahan dari daya yang dihasilkan oleh siklus. Dapat dilihat juga termal yang akan direinjeksi sudah tidak memiliki potensi untuk pembangkitan lagi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisis data yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

- a. Pemanfaatan dari Geothermal Brine dapat dilakukan dengan menggunakan siklus biner dan akan lebih optimal dengan siklus menggunakan *preheater*. Dengan menggunakan siklus *preheater* daya yang dihasilkan meningkat menjadi 6862kW dari 6064kW pada siklus tanpa *preheater*.
- b. Fluida kerja atau fluida sekunder yang paling baik jika ditinjau dari efisiensi eksergetik dan daya yang dihasilkan

adalah fluida n-pentana dengan mampu menghasilkan daya hingga 17060kW dengan efisiensi eksergetik hingga 68,7%.

- c. Dari analisis eksergi yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa rugi eksergi yang paling besar terjadi pada reinjeksi ke reservoir, hal ini dapat diminimalisir dengan menggunakan *preheater* sehingga panas yang dibuang terlebih dahulu dimanfaatkan untuk proses *preheating*.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *civitas academica* Departemen Teknik Fisika ITS yang telah mendukung dilakukannya penelitian ini. Khususnya kepada Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan serta Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. yang senantiasa membimbing sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Saptadji, "Energi Panas Bumi (Geothermal Energy)," 2009.
- [2] F. P. and G. Abdurrahman, "Geothermal Brine from Waste to Alternative Thermal Energy Source," 2016.
- [3] T. M. and C. Antal, "Power Generation from Low-Enthalpy Geothermal Resources," 2001.
- [4] R. DiPippo, "Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impact," 2008.