

## SIMULASI DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN PLTPB DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA FLUIDA KERJA

**Mohammad Taufik**

Departemen Teknik Elektro Universitas Padjadjaran, Jatinangor  
Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21 Jatinangor, Jawa Barat 45363  
m.taufik@unpad.ac.id

### ABSTRAK

Makalah ini menyajikan simulasi untuk menentukan daya listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) bersiklus biner dengan menggunakan beberapa jenis fluida kerja. Fluida kerja berfungsi untuk memanaskan uap basah bertemperatur rendah yang dihasilkan sumur panas bumi. Fluida kerja yang digunakan adalah R-12, R-114, R-134a, dan R-245fa. Hasil simulasi berupa grafik temperatur terhadap entropi, tekanan terhadap entalpi, temperatur inlet turbin terhadap efisiensi termal, temperatur inlet turbin terhadap laju alir fluida kerja, dan daya listrik terhadap variasi fluida kerja. Fluida kerja yang memiliki kemampuan terbaik untuk meningkatkan daya listrik adalah R-134a, dengan menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 1,349 MW.

**Kata kunci:** siklus biner, efisiensi termal, entropi, entalpi, laju alir.

### ABSTRACT

*This paper simulates to determine the power output of geothermal electricity with binary cycle by using various working fluids. The working fluids is used to heat the low-temperature wet steam produced geothermal wells. The working fluids used is R-12, R-114, R-134a and R-245fa. The simulation results in the form of a graph of temperature vs entropy, pressure vs enthalpy, turbine inlet temperature vs thermal efficiency, turbine inlet temperature vs tworking fluid flow rate, and electric power vs variation of the working fluid. The working fluid that has the best ability to increase power is R-134a, to generate electric power to a maximum of 1,349 MW.*

**Keywords:** binary cycle, thermal efficiency, entropy, enthalpy, flow rate..

### PENDAHULUAN

Sebagian besar sumber panas bumi di Indonesia berupa *liquid dominated*. Ini berarti uap lebih banyak mengandung unsur air. Untuk PLTPB, uap ini menyebabkan proses korosi yang cepat pada turbin. Untuk mengatasi hal tersebut, PLTPB menggunakan teknologi *separated steam cycle* dengan *separator* yang berfungsi untuk memisahkan air panas (*brine*) dan uap. Dari hasil pemisahan, uap digunakan untuk memutar turbin sedangkan *brine* diinjeksikan ke dalam bumi. *Brine* masih memiliki temperatur tinggi. Panas dari *brine* bisa digunakan untuk menguapkan fluida kerja lain yang memiliki titik didih lebih rendah dari air. Teknologi pemanfaatan *brine* sebagai sumber panas

utama untuk memanaskan fluida kerja dengan menggunakan *heat exchanger* di dalam PLTPB dinamakan *binary cycle* (Di Pippo, 2008).

Fluida kerja merupakan komponen terpenting dalam siklus biner (Qidi et al, 2013). Fluida kerja untuk siklus biner harus memperhatikan sifat termodinamika, faktor kesehatan, keamanan, dan lingkungan (Gozaly, 2010). Sifat termodinamika meliputi tekanan dan temperatur kritis yang harus lebih rendah dari air. Temperatur kritis fluida kerja yang rendah memungkinkan terjadinya perubahan fasa dari fluida kerja karena proses pemanasan oleh *brine*. Fluida kerja yang memiliki fasa uap dapat digunakan untuk menggerakkan turbin. Faktor kesehatan, keamanan, dan lingkungan akan mempengaruhi satu dengan

yang lainnya. Tabel 1 berisi sifat-sifat yang berhubungan dengan kesehatan, keamanan, dan lingkungan untuk beberapa jenis fluida kerja.

Tabel 1. Sifat keamanan dan lingkungan untuk beberapa jenis fluida kerja (Gozaly, 2010)

Jenis Fluida Kerja	Rumus Kimia	Sifat Beracun	Sifat Keterbakaran	ODP	GW
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Tidak	Tidak Terbakar	1,0	4500
R-114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	Tidak	Tidak Terbakar	0,7	5850
R-134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	Tidak	Tidak Terbakar	0	420
R-245fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	Tidak	Tidak Terbakar	0	950
Propana	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Rendah	Sangat Tinggi	0	3
i-butana	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Rendah	Sangat Tinggi	0	3
n-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Rendah	Sangat Tinggi	0	3
i-pentana	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Rendah	Sangat Tinggi	0	3
n-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Rendah	Sangat Tinggi	0	3
Ammonia	NH <sub>3</sub>	Beracun	Rendah	0	0
Air	H <sub>2</sub> O	Tidak	Tidak Terbakar	0	0

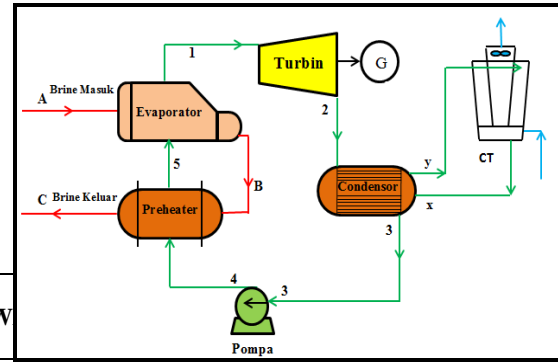
**METODE**

Program Simulasi dibuat dengan menggunakan Aplikasi *Engineering Equations Solver* (EES). Simulasi dilakukan dengan mengevaluasi *properties* termodinamika, menyelesaikan persamaan non-linear, memecahkan persamaan differensial dan persamaan dengan variabel kompleks, melakukan optimasi, serta memploting beberapa diagram. Selama proses simulasi, beberapa asumsi dan parameter yang digunakan diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Asumsi dan Parameter Simulasi

Asumsi dan Parameter	Nilai
Tekanan Atmosfir (P <sub>0</sub> )	1 atm
Temperatur Lingkungan (T <sub>x</sub> )	27°C
Temperatur <i>brine in</i> (T <sub>A</sub> )	180°C
Temperatur <i>brine out</i> (T <sub>C</sub> )	100°C
Efisiensi Isentropik Pompa	70%
Efisiensi Isentropik Turbin	80%
Efisiensi Generator	99%
Daya Bersih yang dihasilkan	1 MW
<i>Pinch Point</i> Evaporator-Preheater	5°C
<i>Pinch Point</i> Kondensor	5°C

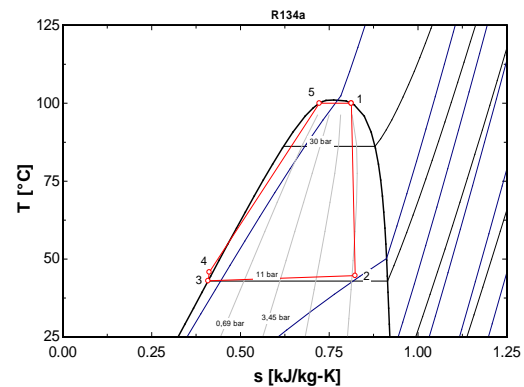
Model siklus biner pada PLTPB diperlihatkan pada gambar 1.



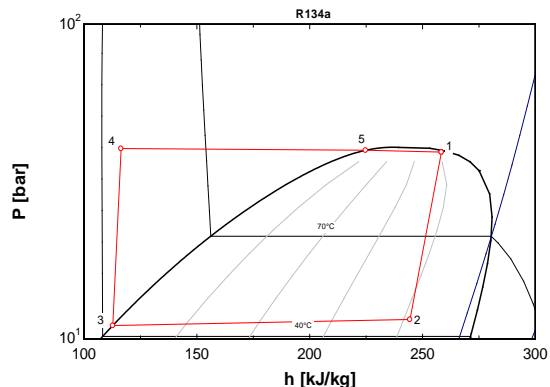
Gambar 1. Model siklus biner pada PLTPB

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

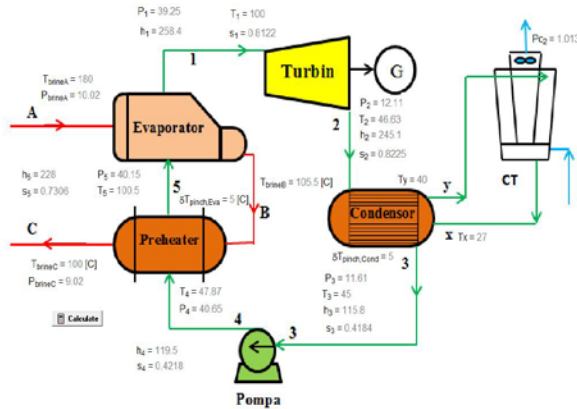
Hasil Simulasi untuk fluida kerja R-134a berupa kurva T-s (gambar 2) dan kurva P-h (gambar 3). *Diagram windows* simulasi pada gambar 4. Garis panah berwarna hijau menunjukkan aliran fluida mengalir di dalam sistem, garis panah berwarna merah menunjukkan aliran *brine*, dan yang berwarna biru merupakan aliran air pendingin.



Gambar 2. Kurva T-s fluida kerja R-134a



Gambar 3. Kurva P-h fluida kerja R-134a



Gambar 4. Diagram windows simulasi

Titik 1 adalah temperatur yang keluar dari *evaporator* atau temperatur yang masuk ke dalam turbin. Nilai temperatur masuk turbin merupakan nilai yang diatur dengan nilai  $100^{\circ}\text{C}$  agar nilai *pinch point* di *evaporator* sebesar  $5^{\circ}\text{C}$ . Temperatur *brine* masuk  $180^{\circ}\text{C}$  dan temperatur *brine* keluar  $100^{\circ}\text{C}$  sehingga didapat tekanannya 39,25 bar. Fasa pada saat masuk turbin merupakan fasa uap jenuh. Uap untuk memutarakan turbin harus dalam kondisi uap jenuh karena apabila masih dalam kondisi uap basah/campuran akan merusak turbin. Nilai entalpi dan entropi pada saat masuk turbin sebesar 258,4 kJ/kg dan 0,8122 kJ/kg.K. Daya yang dihasilkan oleh turbin dan generator sebesar 1362 kW dan 1349 kW. Ketika uap masuk ke dalam turbin sampai dengan keluar turbin terjadi proses ekspansi *isentropik* sehingga nilai entropi pada saat keluar turbin atau masuk ke *condensator* bernilai 0,8225 kJ/kg.K dengan keadaan fasa campuran dan nilai entalpinya sebesar 245,1 kJ/kg. Karena fluida kerja R-134a merupakan jenis fluida basah maka pada saat keluar turbin fasanya langsung berubah menjadi fasa campuran. Terjadi penurunan nilai tekanan, temperatur, entalpi, dan entropi dari titik 1 ke titik 2.

Titik 2 merupakan uap ketika masuk ke dalam *condensator*. Temperatur dari turbin sampai dengan masuk *condensator* mengalami penurunan temperatur dari  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi  $46,63^{\circ}\text{C}$ . Uap campuran masuk ke dalam *condensator* lalu dikondensasi, sehingga dari fasa uap campuran perlahan-lahan menjadi fasa cair jenuh. Selanjutnya fasa cair jenuh pada titik 3 yaitu fluida masuk ke dalam pompa atau keluar dari *condensator* memiliki nilai entropi sebesar 0,4184 kJ/kg.K,

temperatur sebesar  $45^{\circ}\text{C}$  dan entalpi 115,8 kJ/kg. Nilai tekanan pada saat masuk *condensator* dan keluar *condensator* terjadi penurunan tekanan sebesar 0,5 bar. Penurunan tekanan diasumsikan karena pada sistem *binary cycle* terdapat banyak belokan pipa, percabangan pipa, dan sebagainya.

Fluida pada saat masuk ke dalam pompa harus dalam keadaan cair jenuh, apabila dalam keadaan fasa campuran/uap kering maka dapat merusak pompa. Fluida masuk ke dalam pompa sampai dengan keluar pompa (titik 4) mengalami kompresi *isentropik* sehingga nilai entropi pada saat keluar pompa sebesar 0,4218 kJ/kg.K. Temperatur keluar pompa mengalami sedikit kenaikan akibat dari kompresi tersebut menjadi  $47,87^{\circ}\text{C}$ . Daya pompa dan daya *isentropik* pompa yang dihasilkan masing-masing sebesar 348,5 kW dan 244 kW.

Fluida pada titik 4 yaitu keluar dari pompa atau masuk ke dalam *preheater* dengan fasa fluida merupakan fasa cair. Karena *binary cycle* menggunakan siklus tertutup maka fluida yang keluar dari *condensator* akan dipompa menuju *preheater*. Di dalam *preheater* fluida kerja akan dipanaskan untuk diuapkan kembali dan mengulangi siklus. Fluida kerja setelah dipanaskan akan berubah fasa dari fasa cair menjadi fasa cair jenuh (titik 5).

Fluida pada saat di titik 5 merupakan fluida keluar dari *preheater* atau masuk ke dalam *evaporator*. Pada saat uap hasil pemanasan fluida kerja tersebut berada di dalam *evaporator* maka akan dipisahkan partikel uap dengan partikel air karena di dalam *evaporator* fluida dalam keadaan fasa campuran. Uap yang telah terpisah tersebut akan memutarakan turbin. Nilai temperatur pada saat keluar *evaporator* sama dengan temperatur masuk turbin sebesar  $100^{\circ}\text{C}$  dengan nilai entropi dan entalpi sebesar 0,8122 kJ/kg.K dan 258,4 kJ/kg.

Sistem di atas menghasilkan nilai efisiensi termal 6,99 % dengan temperatur masuk turbin sebesar  $100^{\circ}\text{C}$  dan nilai laju alir fluida kerjanya sebesar 100,7 kg/s.

## SIMPULAN

Setelah mensimulasikan beberapa fluida kerja, yaitu R-12, R-114, R-134a, dan R-245fa, maka dari hasil simulasi diperoleh fluida kerja

yang memberikan daya listrik maksimum adalah R-134a.

Hasil simulasi fluida kerja pada siklus biner dengan temperatur masuk ke dalam turbin sebesar 100<sup>0</sup>C dan temperatur *brine* sebesar 180<sup>0</sup>C menghasilkan tekanan sebesar 39,25 bar. Nilai entalpi dan entropi pada saat masuk turbin sebesar 258,4 kJ/kg dan 0,8122 kJ/kg.K. Daya yang dihasilkan oleh masing-masing turbin dan generator sebesar 1362 kW dan 1349 kW. Nilai efisiensi termal 6,99 % dan nilai laju alir fluida kerja sebesar 100,7 kg/s.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Di Pippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plants : Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impact*. Darmouth, Massachusetts, USA.
- Gozaly, Joan. 2010. *Kaji Termodinamika Siklus Biner PLTP Lahendong*. ITB, Bandung, Indonesia.
- Qidi, Zhu., Zhiqiang, Sun., dan Jiemin, Zhou. 2013. *Performance Analysis of Organic Rankine Cycle Using Different Working Fluids*. Thermal Science, Central South University, Changsha, China.