

# Penentuan Sistem PLTP Berdasarkan Pemanfaatan Brine dari Pad X dan Y

Mirzam Avicena

PEM Akamigas

## Abstrak

*PLTP konvensional adalah pembangkit yang mengambil uap panas dari fluida panas bumi (geofluida) untuk mendorong turbin sehingga dihasilkan listrik. Ketika fluida panas bumi yang didapatkan di kepala sumur berfasa uap maka tipe pembangkit yang dipakai adalah direct dry-steam. Ketika fluida panas bumi di kepala sumur dua fasa atau satu fasa air maka tipe pembangkit yang dipakai adalah separated steam atau flash steam. Lapangan panas bumi Dieng adalah salah satu lapangan panas bumi dengan sistem dua fasa di Indonesia. Produksi brine yang banyak sebesar 748,9 ton/h dari total empat sumur pada masing-masing pad masih bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Oleh karena itu akan dibuat alternatif sistem pembangkit seperti flash system, binary cycle, dan kombinasi dari keduanya. Berdasarkan hasil analisa dan evaluasi dari masing-masing sistem pembangkit, sistem kombinasi memiliki power output yang paling tinggi sebesar 7,53 MW. Pemilihan sistem pembangkit mempertimbangkan chemical problem seperti silica scaling, parameter optimum untuk mendapatkan power output yang optimum, dan saran keekonomian.*

**Kata kunci:** PLTP, Brine, power output

## Abstract

*PLTP is a power plant of geothermal fluid (geofluid) to drive the turbine. When the geothermal fluid obtained at the wellhead is vaporized, then the power plant used is direct dry steam. When a geothermal fluid in a two-phase wellhead or an air phase, the separated power plant is steam or flash steam. Dieng geothermal is one of the geothermal fields with a two-phase system in Indonesia. The large brine production of 748.9 tons/hour from the total of four wells on each pad can still be used for power generation. Therefore, it will be made alternative systems such as flash systems, binary cycle, and a combination of both. Based on the analysis and evaluation of each generating system, the combination system has the highest power output of 7,53 MW. Selection of generating systems takes into account chemical problems such as silica, optimum parameters for optimum power output, and economic suggestions.*

**Keywords:** PLTP, Brine, Power output

## Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boi-

ler sedangkan pada PLTP uap berasal dari reservoir panasbumi. Apabila fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas

bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Apabila fluida panas bumi keluar dari kepala sumur sebagai campuran fluida dua fasa (fasa uap dan fasa cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida. Hal ini dimungkinkan dengan melewati fluida ke dalam separator, sehingga fasa uap akan terpisahkan dari fasa cairnya. Fraksi uap yang dihasilkan dari separator inilah yang kemudian dialirkan ke turbin. Fraksi brine akan diendapkan di pond terlebih dahulu sebelum diinjeksikan kembali ke dalam reservoir.

Di Indonesia mayoritas lapangan panas bumi memiliki sistem dominasi air. Dengan produksi brine yang banyak, brine dengan kandungan enthalpi tinggi dapat digunakan untuk membangkitkan listrik, menggunakan direct flashing atau menggunakan brine untuk memanaskan secondary fluid dengan binary cycle. Alternatif ini dapat dicoba dengan membangun model pembangkit dan melakukan simulasi.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memanfaatkan brine untuk meningkatkan produksi listrik dan membandingkan power output dengan membuat beberapa alternatif sistem pembangkit listrik berdasarkan optimalisasi dari sistem pembangkit untuk menjawab pemanfaatan brine yang disesuaikan dengan kondisi lapangan tersebut.

Pada penulisan skripsi ini, penulis membahas tentang pemanfaatan brine dengan perencanaan pemilihan sistem pembangkit listrik, menentukan produksi listrik dari masing-masing sistem. Perhitungan keekonomian tidak dicantumkan karena keterbatasan informasi mengenai harga peralatan pembangkit.

## **Metode Penelitian**

### **A. Subjek Penelitian**

Subjek dalam penelitian ini adalah produksi listrik dari masing-masing sistem pembangkit listrik.

### **B. Objek Penelitian**

Objek dalam penelitian ini adalah model termodinamika dari masing-masing skema sistem pembangkit, di antaranya *Flash system* dengan *back pressure turbine* dan *Flash system* dengan kondensasi turbin,

### **C. Tahapan Penelitian**

Berikut ini tahapan-tahapan yang akan digunakan penulis selama melakukan penelitian:

1. Studi pustaka
2. Informasi umum dan asumsi
3. Perhitungan untuk *flashing system* dengan tekanan buang turbin
4. Perhitungan untuk *flashing system* dengan kondensasi turbin
5. Analisis hasil perhitungan
6. Evaluasi data hasil analisis
7. Simpulan dan Saran
8. Penelitian selesai.

### **D. Pengumpulan Data**

Data-data yang diperlukan untuk melakukan penelitian meliputi:

1. Data produksi sumur
2. Data flow diagram sumur
3. Data reservoir

### **E. Pengolahan Data**

Data akan dianalisis dan diolah dalam bentuk tabel maupun grafik dengan menggunakan *microsoft excel*. Hal ini bertujuan agar parameter evaluasi dan hasil analisis dapat diketahui dengan jelas.

## F. Penyajian Data

Data yang sudah diolah, disajikan dalam bentuk hasil perhitungan, tabel serta grafik yang dijadikan dasar dalam melakukan perencanaan pemilihan sistem pembangkit listrik

## Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam bab ini akan dibahas bagaimana cara pemanfaatan *brine* dengan membuat beberapa alternatif sistem pembangkit listrik sehingga dapat menghasilkan produksi listrik yang optimal dan efisien.

Pad X memiliki dua sumur (sumur A dan B) dan memiliki dua separator. Sedangkan Pad Y memiliki dua sumur (sumur C dan D) dan memiliki dua separator. Masing-masing sumur memproduksi fluida kemudian dipisahkan di separator menjadi uap dan *brine*. Uap akan langsung menuju gathering steam line, sedangkan *brine* dari masing-masing pad akan menuju surge tank untuk menyamakan tekanan keduanya. Data *brine* keluaran separator dari kedua pad adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi Brine Keluaran Separator

Parameter	Unit	Sumur					
		A(1)	A(2)	A(3)	B	C	D
Temperatur	°C	192	192	192	192	188	188
Tekanan	Bara	13,2	13,2	13,2	13,2	12,1	12,1
Laju Alir	ton/h	121,9	66,93	101,7	269,1	46	143,3

### A. Perhitungan Power output Flash System

Perhitungan Heat dan Mass Balance untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan pada turbin. Perhitungan pada sistem *flash system* mulai dari proses fluida masuk *flasher*, proses steam dan *brine outlet flasher*, dan proses steam *outlet* turbin.

### Backpressure/ atmospheric exhaust steam turbine

Dari data *brine* awal (Tabel 3.2), maka tingkat keadaan di setiap titik turbin bisa diperoleh menggunakan *Thermotables*. Untuk perhitungan *power output* dari sistem pembangkit ini akan dijelaskan dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

Tabel 2. Data Brine dari Surge tank

Parameter	satuan	
Laju alir total (m)	kg/s	208
	ton/h	748,9
Tekanan flashing (p)	bara	12,7
Temperatur (T)	°C	185
specific enthalpy of saturated steam (hg)	kJ/kg	2769,43
specific enthalpy of saturated water (hf)	kJ/kg	785,33
Efisiensi isentropik turbin	%	85

*Brine* yang digunakan adalah total gabungan dari empat sumur.

➤ Proses *steam* keluar dari *flasher*

Tabel 3. Data Steam keluar dari flasher

Tekanan flashing (p)	bara	3,5
Temperatur (T)	°C	138,9
specific enthalpy of saturated steam (hg)	kJ/kg	2731,628
specific enthalpy of saturated water (hf)	kJ/kg	584,277

• Fraksi uap (x)

$$x = \frac{h_f - h_{f, \text{flasher}}}{h_g - h_{f, \text{flasher}}} = \frac{785,33 - 584,27}{2731,62 - 584,27} = 0,0936$$

$$m_{\text{uap}} = m_{\text{total}} \times x_{\text{uap}}$$

$$m_{\text{uap}} = 208 \times 0,0936 = 19,5 \text{ kg/s}$$

• Laju alir massa *brine*

$$m_{\text{brine}} = m_{\text{total}} - m_{\text{uap}}$$

$$m_{\text{brine}} = 208 - 19,5 = 188,6 \text{ kg/s}$$

➤ Proses *steam outlet* turbin

Tekanan outlet turbin (p)	bara	0,8
Temperatur (T)	°C	93,5
specific enthalpy of saturated steam (hg)	kJ/kg	2665,74
specific enthalpy of saturated water (hf)	kJ/kg	391,67

- Fraksi uap keluar turbin (x turbin out)

$$sg_1 = sf_{2s}$$

$$sg_1 = sf_{2s} + x \cdot sfg_{2s}$$

$$x = \frac{6,932 - 1,26}{7,428 - 1,26} = 0,919$$

- Enthalpi keluaran turbin ()

$$Hg_{2s} = hf_{2s} + x \cdot hfg_{2s}$$

$$Hg_{2s} = 391,67 + 0,919 \times (2665,74 - 391,67)$$

$$Hg_{2s} = 2482,98 \text{ kJ/kg}$$

- Enthalpi keluaran turbin ekspansi ()

$$Hg_2 = hg_1 - \eta t (hg_1 - hg_{2s})$$

$$Hg_2 = 2731,62 - 0,85 \times (2731,62 - 2482,98)$$

$$Hg_2 = 2520,2 \text{ kJ/kg}$$

- Power output ()

$$W_t = m \text{ uap} (hg_1 - hg_2)$$

$$W_t = 19,5 \times (2731,62 - 2520,28)$$

$$W_t = 4120 \text{ KW} = 4,12 \text{ MW}$$

### Condensing turbine

Pada perhitungan sistem ini, tekanan *condenser* atau tekanan *outlet turbine* adalah 0,08 bar, karena dalam sistem ini menggunakan dua *stage steam jet ejector*. Satu *stage steam jet ejector* dapat beroperasi pada tekanan 0,13-0,26 bar, tetapi jika jumlah *stage* lebih dari satu maka membutuhkan tekanan operasi yang lebih rendah.

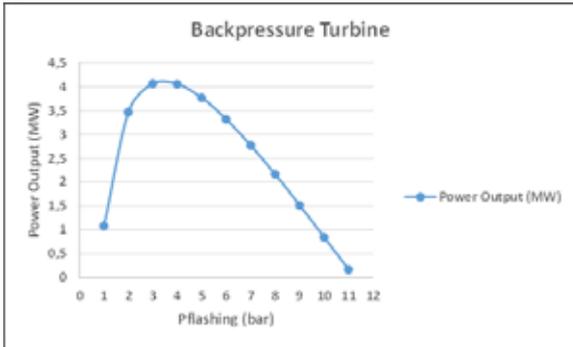
Tingkat keadaan di setiap titik turbin bisa diperoleh menggunakan *Thermotables*. Untuk perhitungan *power output* menggunakan cara

yang sama seperti perhitungan pada *backpressure turbine*. Dengan tekanan *flashing* 1,4 bar menghasilkan listrik sebesar 11,03 MW.

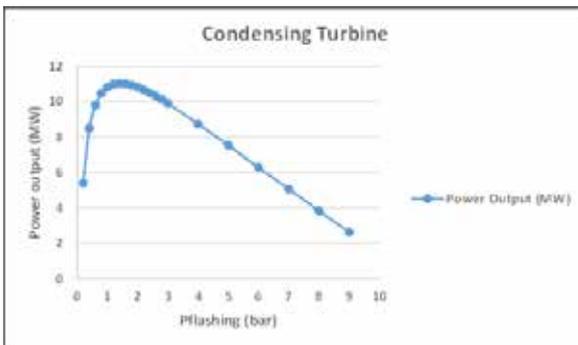
### B. Optimalisasi Flash System

Hubungan antara tekanan *flashing* dengan pertambahan *power output* ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3 Dengan mengubah tekanan pemisahan pada tekanan *condenser*, jika tekanan pemisahan semakin rendah maka produksi uap akan bertambah besar dan juga akan meningkatkan kualitas uap di turbin sehingga *power output* bertambah besar. Peningkatan *power output* terdapat pada nilai optimum dari tekanan *flashing* 3,5 bar untuk *backpressure turbine* dan 1,4 untuk *condensing turbine*. Di bawah tekanan *flashing* ini, *power output* akan menurun, karena penurunan enthalpi yang lebih rendah di dalam turbin. Pada *condensing turbine*, penurunan *power output* disebabkan karena bertambahnya laju alir uap yang masuk ke steam jet ejector. Laju alir uap yang termasuk NCG akan meningkat sangat cepat pada tekanan *flashing* di bawah 1,4 bar.

Berdasarkan Gambar 3.1 dan 3.2, untuk *backpressure turbine*, tekanan *flashing* optimum 3,5 bar menghasilkan 4,12 MW. Sedangkan untuk *condensing turbine*, tekanan *flashing* optimum 1,4 bar menghasilkan 11,02 MW. Menurunkan tekanan *condenser* pada tekanan *flashing* yang tetap akan meningkatkan *power output* (gambar 3.3). Pada *condensing turbine*, tekanan *condensing* minimum adalah 0,08 bar karena kondisi dari tabung pendingin. Penurunan tekanan *flashing* akan menurunkan temperatur *brine outlet*.



Gambar 1. Power output vs Tekanan Flashing pada Backpressure Turbine



Gambar 2. Power output vs Tekanan Flashing pada Condensing turbine



Gambar 3. Power output pada Tekanan Condenser Berbeda

### C. Analisa dan Evaluasi

Setelah dilakukan perhitungan *power output* dan efisiensi pada masing-masing sistem pembangkit. Selanjutnya telah dilakukan optimisasi berdasarkan parameter tekanan *flashing*, *condenser*, temperatur *brine outlet*, dan SSI yg akan menjadi pertimbangan untuk pemilihan sistem pembangkit dalam peman-

faatan *brine*. Pemilihan sistem pembangkit dari beberapa alternatif berdasarkan nilai *power output* yang tertinggi dengan memperhatikan nilai SSI. Tabel 3.4 menunjukkan batas penurunan temperatur *outlet brine* sehingga tidak menyebabkan silica scaling pada 151,8° C dan pada tekanan *flashing* 5 bara.

Tabel 4. Temperatur Outlet Brine pada Tekanan Flashing Berbeda

P Flashing bar	T brine outlet C	T brine outlet K	SSI (flash)
11	184,1	457,25	0,7264647
10	179,9	453,05	0,758568
9	175,4	448,55	0,7952933
8	170,4	443,55	0,8389078
7	165	438,15	0,8900531
6	158,8	431,95	0,9538904
5	151,8	424,95	1,0338907
4	143,6	416,75	1,1396057
3	133,5	406,65	1,2904379
2	120,2	393,35	1,5318207
1	99,61	372,76	2,0335964

Tabel 5. Perbandingan Power output Berdasarkan Parameter Nilai SSI

Parameter	Konfigurasi Pembangkit	Tekanan Optimum	Temperatur outlet brine	Power output	SSI
			(°C)	MW	
Tanpa Pertimbangan Nilai SSI	Flashing-Backpressure Turbine	p flashing (bar) = 3,5	138,9	4,12	1,100
	Flashing-Condensing Turbine	p flashing (bar) = 1,4 p condenser (bar) = 0,08	109,3	11,03	1,550
Pertimbangan Nilai SSI	Flashing-Backpressure Turbine	p flashing (bar) = 5	151,8	3,77	1
	Flashing-Condensing Turbine	p flashing (bar) = 5	151,8	7,53	1

Dari Tabel 5. menunjukkan bahwa *power output* optimum terdapat pada sistem pembangkit *flash system with Condensing turbine* sebesar 11,03 MW dengan nilai SSI sebesar 1.55, sedangkan optimum *power output* dengan melibatkan parameter SSI *power output*nya sebesar 7,53 MW dan temperatur *outlet brine* 151,8° C.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disajikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

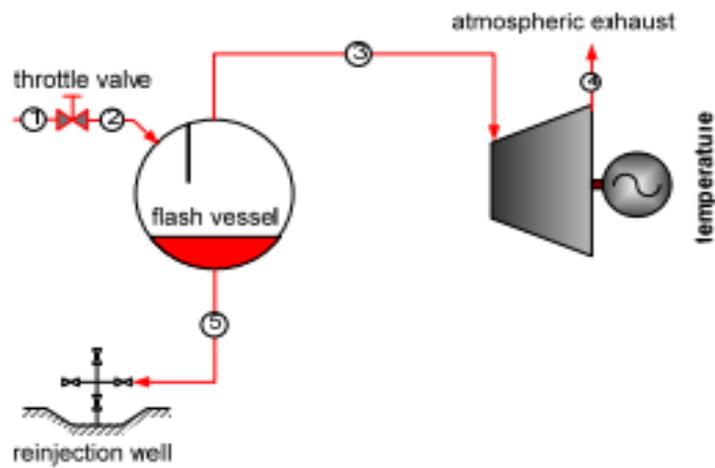
1. Permodelan termodinamika sangat membantu untuk menentukan parameter optimum sehingga dapat diketahui *power output* optimum.
2. *Power output* optimum dari pemanfaatan *brine* bergantung pada bagaimana penurunan temperatur *outlet brine*.
3. Batas dari penurunan temperatur *outlet brine* adalah 151,8° C untuk *flash system* agar tidak terjadi *silica scaling* pada *brine*.
4. Untuk pemilihan sistem pembangkit berdasarkan *power output* optimum.
5. Sistem Pembangkit yang akan digunakan untuk pemanfaatan *brine* berdasarkan perhitungan *power output*, temperatur *brine*, dan nilai SSI nya adalah *flash system with condensing turbine* dengan *power output* 7,53 MW.

Pemilihan sistem pembangkit ini sangat bergantung pada keadaan tiap lapangan karena masing-masing lapangan memiliki sistem panas bumi dan karakteristik fluida yang berbeda.

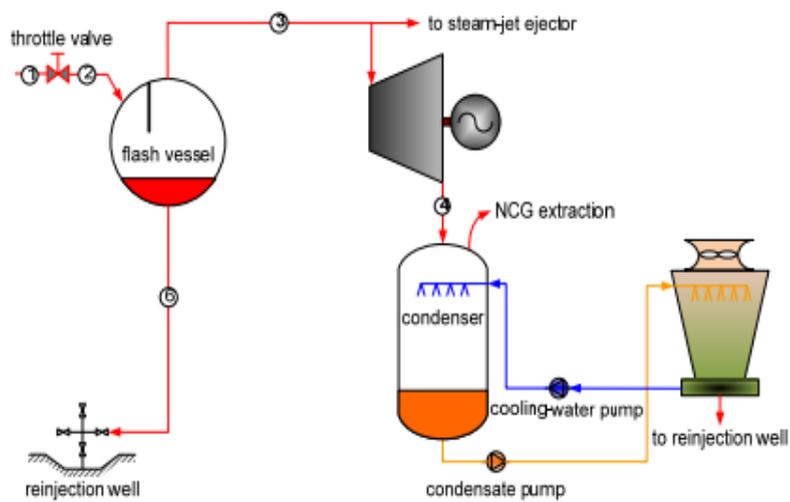
## Daftar Pustaka

- Saptadji, N.M., 2001, "Teknik Panas Bumi", Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Nugroho, A.J., 2007: Evaluation of Waste Brine Utilization from LHD Unit III for Electricity Generation in Lahendong Geothermal Field, Pertamina Geothermal Energy-Lahendong field, Indonesia.
- Hudson, R.B., 1995: Electricity generation. In: Dickson, M.H., and Fanelli, M. (editors), Geothermal energy. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 214 pp.
- DiPippo, R. 2008. Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental, Impact. University of Massachusetts Dartmouth, Massachusetts.

## Lampiran



*Flash System With Backpressure Turbine*



*Flash System With Condensing Turbine*