

Analisis Energy Sistem Biner Pada Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Bedugul

I.P Yajnartha¹⁾, I G B Wijaya Kusuma¹⁾, M Sucipta¹⁾, Ni Made Dwidiani¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Abstrak

Tingginya tingkat kebutuhan akan listrik di Bali seharusnya dapat diatasi, mengingat cadangan sumber daya alam berupa panas bumi (*geothermal*) seharusnya sudah di aplikasikan pada PLTP. Dalam perjalanannya PLTP Bedugul mengalami hambatan khususnya pada daya yang mampu di bangkitkan sangatlah kecil. Dalam upaya meningkatkan daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTP Bedugul sebenarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya adalah modifikasi dengan *binary cycle* dan perhitungan daya yang dibangkitkan dengan metode energy. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi CFD dan CAD *drawing* dengan menggunakan *brine* CH₄ kemudian membandingkan daya dengan metode energy antara daya yang dibangkitkan dengan *brine* dan tanpa *brine*. Dan berdasarkan hasil simulasi daya pada PLTP yang menggunakan *brine* dapat membangkitkan daya sebesar 32,7 MW atau 7 kali lebih tinggi dibandingkan dengan PLTP dengan fluida kerja tanpa *brine*.

Kata kunci: Panas Bumi, PLTP, Binary Cycle, Brine, Energi

Abstract

The high necessity of electricity in Bali should be able to overcome regarding the natural resources of geothermal should have been applied in PLTP. PLTP Bedugul, on its progress of development, encounters some obstacles especially on the small electrical power it can be generated. On the efforts to increase the electrical power that can be generated by PLTP Bedugul, it actually can be done in many ways, one is modification by binary cycle and generated power measurement with energy method. This research was done by CFD simulation and CAD drawing by using brine CH₄. Afterwards, the electrical power between the powers generated with brine and without brine were compared with energi method. Based on the result of power simulation on PLTP that use brine, it could generate electrical power for 32,7 MW or seven times higher than the PLTP of steam without brine.

Keywords: Geothermal, PLTP, Binary Cycle, Brine, Energy

1. PENDAHULUAN

Salah satu sumber daya alam terbarukan yang dapat di manfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah *geothermal*. Data Kementerian ESDM tahun 2017 mencatat bahwa 40% cadangan *geothermal* dunia berada di Indonesia dan berpotensi membangkitkan listrik hingga 29.000 MW (ESDMMAG, 2012). Artinya dari energi *geothermal* saja seharusnya sudah bisa menjawab program yang diusung pemerintah terkait dengan program listrik 35.000 MW, namun pada kenyataannya pemanfaatan *geothermal* di Indonesia baru sekitar 1.343 MW atau 4,6% dari total cadangan *geothermal* yang ada. (Risnandar, 2016).

Bali sebagai pusat destinasi wisata mancanegara tentunya sangat memerlukan pasokan listrik terbarukan yang ramah lingkungan. Oleh karena itu perencanaan pembangunan

pembangkit listrik yang terbarukan dan ramah lingkungan perlu diteliti salah satunya adalah *geothermal* di Bedugul. Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Bedugul merupakan kerja sama (*Joint Operation Cooperation*) antara Pertamina Geothermal Energy dengan PT Bali Energy Limited. Dikutip dari kementerian ESDM hasil eksplorasi yang dilakukan terdapat 3 Sumur yang siap beroperasi yaitu Sumur Bel-01, Bel-02 dan Bel-03, maka panas bumi di Bedugul mencapai 225 MW, dengan rencana pengembangan I (1x55 MW), II (1x55 MW), III (2x55 MW), dengan total mencapai 165 MW. Berdasarkan kajian tersebut, maka tingginya potensi daya dari energi *geothermal* yang dihasilkan dari PLTP Bedugul harus dibarengi dengan perencanaan sistem pembangkit listrik yang baik guna mencapai efisiensi yang tinggi agar energi yang dikonversikan bisa lebih banyak dimanfaatkan daripada menjadi residu.

Namun hal yang paling penting serta yang belum diketahui saat ini adalah, seberapa besar potensi energi *geothermal* yang ada di Bedugul? Untuk mengetahui potensi *geothermal* Bedugul maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengestimasi potensi energi *geothermal*. Estimasi potensi energi dilakukan dengan memperkirakan besarnya potensi energi listrik di suatu daerah/lapangan *geothermal* berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia dan geofisika, karakteristik reservoir, serta estimasi kesetaraan listrik.

Saat ini penelitian tentang PLTP lebih banyak berkonsentrasi untuk meningkatkan energi yang didapat dari kondisi dan jumlah uap yang ada, bukan pada upaya meningkatkan kapasitas uap yang masuk ke turbin. Untuk menghitung peningkatan efisiensi thermal dari sebuah PLTP bisa menggunakan analisis energi dari PLTP tersebut (Masdi, 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya di PLTP Kamojang 68 dengan kapasitas 3MW dikatakan bahwa pentingnya analisa energi dalam evaluasi kinerja pembangkit listrik tenaga panas bumi telah terbukti.

2. METODE

2.1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah membandingkan kinerja PLTP dengan dan tanpa binary cycle serta menganalisis energy pada sistem PLTP dengan dan tanpa binary cycle.

2.2. Metoda

Penelitian ini dilakukan secara analisis dan kajian literatur terkait, di mana pada tahap awal pengerjaannya dilakukan melalui proses simulasi dengan menggunakan berbagai kondisi awal (*initial condition*) dan kondisi batas (*boundary condition*) serta memasukkan beberapa parameter yang tidak diketahui. Hasil dari simulasi ini nantinya akan diuji kembali secara matematis dengan menggunakan persamaan energi. Hasil simulasi dan perhitungan matematis kemudian digunakan untuk mendapatkan data sesungguhnya dari sistem *binary cycle* di PLTP Bedugul. Data ini yang seterusnya dipakai untuk menghitung unjuk kerja alat, baik tanpa maupun dengan penerapan *binary cycle*.

2.3. Proses Pengambilan Data

2.3.1. Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan dengan observasi ke lapangan berupa temperatur uap *geothermal*, tekanan dan luas areal PLTP, jumlah unit serta keterangan – keterangan pendukung sewaktu dilaksanakannya survei pengambilan data di PLTP Bedugul.

2.3.2. Data sekunder

Data sekunder dalam hal ini adalah data teoritis yang didapatkan dari berbagai referensi pustaka, baik berupa buku, laporan/paper dari instansi mengenai materi terkait, ataupun jurnal serta artikel yang berhubungan dengan materi laporan. Sumber – sumber tersebut haruslah kredibel untuk menunjang hasil perhitungan sewaktu analisis berlangsung.

2.4. Jenis Data

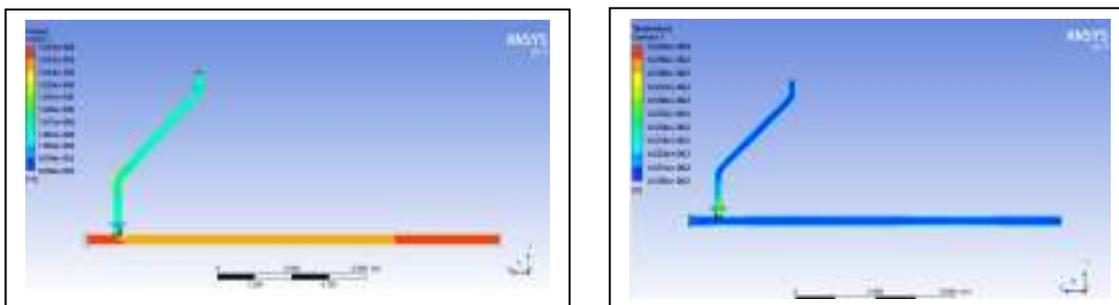
Data yang diambil ada dua jenis, yakni, data Desain Konstruksi PLTP Bedugul dan data Process Flow Diagram sistem.

2.5. Pengolahan Data

Dari analisa *energy* yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi maka dapat diketahui lokasi dan jumlah kerugian *energy*, serta mengindikasikan limbah dan penghancuran *energy* dalam proses yang berbeda. Berhubung data lapangan yang ada hanyalah temperatur, tekanan dan kondisi fraksi uap yang dicari berdasarkan T-s dan p-h diagram, maka dilakukan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada berbagai kondisi untuk menemukan temperatur dan tekanan di setiap keadaan (*boiler*, di turbin dan di cooling tower). Berdasarkan simulasi tersebut maka disusun kembali upaya untuk menemukan kondisi lanjutan pada berbagai keadaan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi CFD di outlet *wellhead* didapat dari hasil simulasi hasil ANSYS FLUENT seperti pada Gambar 1, simulasi di *wellhead*.



a. Simulasi Tekanan

b. Simulasi Temperatur

Gambar 1. Hasil simulasi pada *wellhead*

Berdasarkan hasil simulasi *ANSYS FLUENT* maka didapatkan beberapa data pada sisi outlet dari *wellhead* seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil simulasi pada *wellhead*

No	Data	Nilai	Satuan	Indeks warna pada simulasi
1	Temperatur Inlet(T_{in})	453	K	
2	Temperatur Outlet(T_o)	453	K	
3	Tekanan Inlet (P_{in})	$1,023 \cdot 10^6$	Pa	
4	Tekanan Outlet (P_o)	$1,011 \cdot 10^6$	Pa	
5	Massa Jenis uap (ρ_{steam})	0,59	kg/m^3	
6	Kecepatan inlet (v_{in})	83,97	m/s	
7	Kecepatan outlet (v_{out})	93,04	m/s	

Maka dari tekanan 10 Bar didapat beberapa data seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Interpolasi *steam* pada tekanan 10 Bar (Sumber: Incropera, 2011)

No	Data	Nilai	Satuan
1	P (Pressure)	10	Bar
2	μ_f (Viscosity)	$149,95 \times 10^{-6}$	Ns/m^2
3	μ_g (Viscosity)	$14,94 \times 10^{-6}$	Ns/m^2
4	k_f (Thermal Conductivity)	$676,57 \times 10^{-3}$	W/mK
5	k_g (Thermal Conductivity)	$33,51 \times 10^{-3}$	W/mK
6	Pr_f (Prandtl Number)	0,98	
7	Pr_g (Prandtl Number)	1,15	
8	V_f (Specific Volume)	0,196	m^3/kg
9	V_g (Specific Volume)	1,12	m^3/kg

Dari hasil simulasi CFD dan interpolasi maka dihitung laju alir massa steam di *wellhead* sebagai berikut:

$$\dot{m}_{steam} = \rho_{Steam} \cdot A \cdot v_{outlet}$$

$$\dot{m}_{steam} = 4,01 kg / s$$

Perhitungan energi di *wellhead* dicari berdasarkan persamaan berikut:

$$E_{wellhead} = P \cdot v_{steam} \cdot \dot{m}_{steam}$$

$$E_{wellhead} = 802.000 \text{ Joule/s} \approx 0,802 MW$$

Perhitungan loss tekanan di *wellhead*:

$$\Delta P = f \left(\rho \frac{(v_{max})^2}{2} \right) N_L X$$

$$(v_{max})^2 = 3,8 \cdot 10^6 m^2 / s^2$$

$$R_{eMax} = \frac{0,59 kg / m^3 \cdot 1,965 m / s \cdot (0,355 m)}{83,3 \cdot 10^{-6} N \cdot s / m^2}$$

$$R_{eMax} = 4,9 \cdot 10^6, \text{ dari } Moody \text{ diagram} \text{ didapat nilai koefisien } f \text{ sebesar } 0,088$$

Maka perhitungan ΔP menjadi:

$$\Delta P = 0,0088 \left(0,59 kg / m^3 \times \frac{(1,965 m / s)^2}{2} \right) 1,5,7 m$$

$$\Delta P = 57.135 Pa$$

Perhitungan di Boiler

Pada *Boiler* data yang digunakan adalah outlet hasil dari simulasi di *wellhead* dan menggunakan *brine* yaitu metana (CH_4) dimana gambar *Boiler*, dimana *brine* yang masuk di sisi inlet diasumsikan memiliki tekanan yang sama dengan *steam* karena terdapat dalam satu

sistem yaitu 10 Bar.

Tabel 3. Data sisi inlet boiler

No	Data	Nilai	Satuan
1	Temperatur Inlet steam ($T_{in\ steam}$)	453	K
2	Temperatur inlet brine ($T_{in\ brine}$)	150	K
3	Tekanan inlet (P_{in})	10	Bar
4	Massa Jenis uap (ρ_{steam})	0,59	kg/m^3

Hasil simulasi ansys fluent didapat berupa dua outlet yakni dari sisi steam dan brine disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel data untuk perhitungan pada boiler pada 10 Bar

No	Data	Nilai	Satuan
1	Entalpi fase cair steam ($h_{f\ Steam}$)	762,81	kJ / kg
2	Entalpi fase campuran steam ($h_{fg\ Steam}$)	2015,3	kJ / kg
3	Entalpi fase cair brine ($h_{f\ Brine}$)	302	kJ / kg
4	Massa jenis uap (ρ_{steam})	0,59	kg/m^3
5	Kualitas uap (x)	0,49	
6	Laju alir massa uap (\dot{m}_{Steam})	4,01	kg/s

Maka nilai h_x pada kondisi kualitas uap 0,49 adalah:

$$h_x = h_{f\ Steam} + (x \cdot h_{fg\ Steam})$$

$$h_x = 1750,307 \text{ kJ / kg}$$

Perhitungan daya maksimal yang dapat dibangkitkan dengan fluida kerja uap air

$$\dot{Q}_{Steam} = \dot{m}_{Steam} \cdot h_x$$

$$\dot{Q}_{Steam} = 4,01 \text{ kg / s} \cdot 1750 \text{ kJ / kg}$$

$$\dot{Q}_{Steam} = 7019 \text{ kJ / s} \approx 7,02 \text{ MW}$$

Dari hasil perhitungan jika menggunakan uap air saja maka PLTP hanya dapat membangkitkan daya sebesar 7,02 MW, maka digunakanlah brine CH_4 dengan tujuan untuk meningkatkan entalpi sehingga daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTP lebih tinggi dibandingkan sebelumnya.

Perhitungan massa brine:

$$\dot{Q}_{Steam} = \dot{Q}_{Brine}$$

$$\dot{m}_{Steam} \cdot h_x = \dot{m}_{Brine} \cdot h_{f\ Brine}$$

$$\dot{m}_{Brine} = 23,2 \text{ kg / s}$$

Setelah mendapat nilai \dot{m}_{Brine} dari hasil perhitungan dan nilai temperatur dan tekanan dari hasil simulasi CFD maka dapat dihitung panas yang dibangkitkan pada kondisi awal

brine di *boiler*, maka besarnya energy yang terbangkitkan di boiler adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{Brine} = \dot{m}_{Brine} \cdot h_{g\ brine}$$

$$\dot{Q}_{Brine} = 23,2\ kg / s \cdot 714\ kJ / kg$$

$$\dot{Q}_{Brine} = 16,56\ MW$$

Perhitungan Daya Turbin dan Generator

Setelah mendapatkan daya yang dibangkitkan di *Boiler* selanjutnya dihitung daya yang masuk ke turbin dan kemudian diteruskan ke generator seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data perhitungan untuk turbin dan generator

No	Data	Nilai	Satuan
1	Temperatur inlet <i>brine</i> ($T_{in\ brine}$)	150	K
2	Temperatur outlet ($T_{out\ Brine}$)	513	K
3	Entalpi masuk turbin (h_2)	1600	kJ / kg
4	Entalpi keluar turbin (h_1)	714	kJ / kg
3	$C_{p\ Me\ tan\ a}$	2,45	$kJ/kg.K$
4	Tekanan outlet (P_{out})	40	Bar
6	Laju alir massa <i>brine</i> (\dot{m}_{Brine})	23,2	kg / s
7	Effisiensi turbin (η_{turbin})	90	%
8	Effisiensi generator ($\eta_{generator}$)	95	%

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan, berdasarkan hasil simulasi, daya maksimal yang dapat dibangkitkan oleh PLTP Bedugul tepatnya di sumur BEL-02 dengan fluida kerja uap air adalah 7,02 MW oleh karena itu dilakukan modifikasi dengan *binary cycle* dengan menambahkan *boiler dan* dengan menggunakan *brine* CH₄ yang dapat membangkitkan daya hingga sebesar 20,6 MW.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arnando, Riki, et all. 2015. Studi Analisis Daya Pembangkit Listrik Biogas Dari Kotoran Sapi dan Manusia Di Pondok Pesantren Baiturrahman Jawa Barat. Bandung. Jurnal Online Teknologi Nasional. Vol 3. No2
- [2] Aziz, Amiral. 2011. Analisa Eksergi PLTP Kamojang 68 Kapasitas 3 MW. Jakarta. Jurnal Rekayasa Lingkungan. Vol 7. No.2
- [3] Franco, A. and M. Villani. 2009. "Optimal design of binary cycle power plants for water-dominated, medium-temperatur geothermal fields." Geothermic Journal. Vol38. Issue 4.
- [4] Incropera, F. P. and D. P. D. Witt. 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer.
- [5] Jefriando, M. 2017"Jokowi Masih Pasang Target 35.000 MW Meski Realisasi Hanya 22.000 MW."Detik Finance. 10/06/ 2017.
- [6] Jones, J.B. dan R.E. Dugan. 1995. Engineering Thermodynamics. Prentice Hall. USA.
- [7] Jufrianto, et all. 2014. Simulasi CFF Ang Storage Dengan Metana Sebagai Adsorbat Dan Karbon Aktif Sebagai Adsorbennya. Depok. Jom FTEKNIK. Vol 1. No 2

- [8] Kagel, A. 2008. The State of Geothermal Technology. Washington, D.C. Geothermal Energy Association for the US.
- [9] Kementrian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal. 2016 “Membangun Indonesia dari Pinggiran”. Jakarta.
- [10] Kementrian ESDM. 2009. Pembangunan PLTP Bedugul Tidak Mengganggu Lingkungan. Nusa Dua. <http://www.esdm.go.id/berita/panas-bumi/45-panasbumi/3022-pembangunan-pltp-bedugul-tidak-mengganggu-lingkungan.html>
- [11] Kementerian ESDM. 2014. Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2014. Jakarta.