

Analisa Sistem Pembuangan Limbah pada Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Bedugul

I.M Bayu Artikajaya¹⁾, I.G.B Wijaya Kusuma¹⁾, C.I.P Kusuma Kencanawat¹⁾,
Ni Made Dwidiani¹⁾

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

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geothermal*) merupakan salah pembangkit listrik yang mampu di terapkan di Indonesia khususnya di Bali. Di Bali sendiri PLTP sudah mulai dibangun sejak tahun 1997, namun proyek tersebut mangkrak dan baru digarap lagi tahun 2005. Pada tahun 2005 masyarakat sekitar menolak pembangunan proyek tersebut, karena masyarakat resah dengan akan menyusutnya air permukaan danau akibat eksplorasi 3 sumur yang dibangun. Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis apakah PLTP Bedugul dapat dikatakan *renewable* dengan menghitung besarnya laju aliran massa limbah cair dan uap yang dihasilkan. Pada PLTP Bedugul terdapat dua jenis fluida yang digunakan, yakni uap panas bumi sebagai bahan pemanas serta *brine* sebagai fluida kerja yang digunakan untuk memutar turbin. Maka dari itu nantinya akan didapatkan 4 jenis limbah yang dihasilkan dari PLTP Bedugul. Untuk mendapatkan data, penulis melakukan observasi ditambah dengan melakukan simulasi terhadap PLTP Bedugul tersebut. Berdasarkan hasil penelitian maka didapat Limbah cair *steam* memiliki laju aliran massa sebesar 3,02 kg/s sedangkan limbah dalam bentuk uap memiliki laju aliran massa sebesar 0,09 kg/s. Limbah cair *brine* memiliki laju aliran massa sebesar 18,7 kg/s sedangkan limbah dalam bentuk uap memiliki laju aliran massa sebesar 4,5 kg/s.

Kata kunci: *Geothermal, renewable, PLTP, brine, limbah, laju aliran massa*

Abstract

Geothermal Power Plant is one of the power plants that can be applied in Indonesia, especially in Bali. In Bali Geothermal Power Plant has been built since 1997, but the project was stopped and begin again in 2005. In 2005 the villagers refused the construction of the project, because they scared with the shrinking surface water of the lake due to the exploration of 3 wells built. This research is intended to analyzing is Bedugul Geothermal Power Plant can be said to be renewable by calculating the mass flow rate of liquid waste and steam generated. In Bedugul Geothermal Power Plant there are two types of fluid used, there were geothermal steam as a heater and brine as a working fluid used to rotate turbines. Therefore it will be obtained 4 types of waste came from Bedugul Geothermal Power Plant. To get the data the author making an observations and coupled with a simulation of the Bedugul Geothermal Power Plant. The steam liquid waste has a mass flow rate of 3,02 kg / s while the waste in the vapor form has a mass flow rate of 0.09 kg / s. Brine liquid waste has a mass flow rate of 18,7 kg / s whereas waste in the form of steam has a mass flow rate of 4,5 kg / s.

Keywords: *Geothermal, renewable, PLTP, brine, waste, mass flow rate*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan beragam tradisi budaya serta sumber daya alamnya yang berlimpah ruah. Hal ini tentunya akan sangat menguntungkan bagi

masyarakatnya terlebih lagi kekayaan alam ini dapat ditemui hampir di setiap penjuru di Indonesia. Namun kekayaan alam berlimpah yang dimiliki Indonesia sayangnya tidak berbanding lurus dengan jumlah energi listrik yang dimilikinya, sehingga masih sering ada pemadaman bergilir dalam beberapa tahun belakangan. Padahal hampir semua sumber energi dimiliki, baik sumber energi air, minyak, gas, batu bara, energi surya, *bio-mass*, energi angin, energi panas bumi (*Geothermal*), dan masih ada lagi yang lainnya. Akan tetapi dari beberapa sumber energi yang disebut di atas, hanya energi yang berasal dari air (PLTA) dan energi panas bumi (PLTP) saja yang mampu mendukung pembangkitan energi yang besar. Potensi energi panas bumi di Indonesia yang mencapai 27 GWe sangat erat kaitannya dengan posisi Indonesia dalam kerangka tektonik dunia. Ditinjau dari munculnya panas bumi di permukaan per satuan luas, Indonesia menempati urutan keempat dunia, bahkan dari segi temperatur yang tinggi, merupakan kedua terbesar (Wahyuningsih, 2005). Berdasarkan hal tersebut maka sudah semestinya energi sebesar itu dimanfaatkan dengan maksimal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia.

Bali merupakan salah satu daerah yang memiliki cadangan panas bumi yang besar, hendaknya dapat memanfaatkan sumber energi tersebut mengingat bahwa Bali mengonsumsi energi yang sangat tinggi tetapi di suplai dari pembangkit listrik Jawa-Bali. Kemandirian energi di Bali dapat dimulai dengan mengaplikasikan sumber energi *Geothermal* dengan cara membangun PLTP di kawasan Bedugul. Pembangunan PLTP yang berlokasi di Bedugul telah dimulai sejak tahun 1974, namun karena krisis moneter akhirnya proyek tersebut baru mulai digarap kembali di tahun 2005 (Gumelar, 2016).

Proyek pembangunan PLTP Bedugul di tahun 2005 mendapat penolakan dari elemen masyarakat Bali. Hal ini dikarenakan belum jelasnya skema dan rencana kerja dari pengembangan terhadap proyek PLTP tersebut. Meskipun izin eksplorasi sudah dikeluarkan tahun 1996 dan izin pengeboran bagi enam sumur sudah dilakukan sejak tahun 1997 dan tiga sumur panas bumi pun telah mampu di eksplorasi. Namun karena banyak penduduk yang kurang setuju dengan proyek tersebut maka proyek itu mangkrak sampai saat ini (Kusuma, 2004). Hal yang membuat ditolaknya proyek tersebut adalah keresahan dari warga sekitar terhadap menyusutnya air permukaan dari danau akibat eksplorasi dari 3 sumur tersebut. Selain itu, limbah yang ada tidak diinjeksikan ke dalam tanah yang pada akhirnya menyebabkan perubahan komposisi kimia dari air permukaan (Wijaya Kusuma, 2004). Dampak akibat limbah ini sulit diprediksi tanpa mengetahui debit dan lamanya pembuangan limbah tersebut (Shin dkk, 1979). Oleh sebab itu, limbah PLTP yang dihasilkan harus mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010.

2. METODE

2.1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dilakukan secara analisis dan kajian literatur terkait. Pada tahap awal pengerjaan dilakukan proses simulasi dengan berbagai kondisi awal (*initial condition*) dan kondisi batas (*boundary condition*) serta memasukkan beberapa parameter yang tidak diketahui. Hasil simulasi ini kemudian diuji kembali secara matematis dengan menggunakan persamaan *mass flow rate* dan kesetimbangan massa dari limbah yang dihasilkan. Hasil simulasi dan perhitungan matematis kemudian digunakan untuk memperoleh data *valid* dari sistem injeksi limbah cair di PLTP Bedugul.

2.2. Metoda

Metoda penelitian dan proses analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (*computational fluid dynamics*, CFD) dengan mengambil data tekanan dan temperature dari *wellhead* PLTP Bedugul yang ada saat ini. Simulasi CFD dilakukan untuk menghitung uap panas bumi dan uap *brine* CH₄ pada *boiler*, turbin, *cooling tower*.

Selanjutnya dihitung \dot{m}_{air} (mass flow rate) untuk mendinginkan *brine* dan *steam* serta besarnya fraksi limbah uap dan cair dari *steam* dan *brine*.

2.3. Proses Pengambilan Data

2.3.1. Data Primer

Proses pengambilan data yang bersumber dari observasi lapangan serta pengukuran parameter secara langsung ke lapangan, dalam hal ini seperti temperatur dan tekanan uap *Geothermal*, serta keterangan – keterangan pendukung saat dilaksanakannya pengambilan data di lokasi Candi Kuning Bedugul.

2.3.2. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari berbagai referensi pustaka, baik berupa buku, jurnal serta artikel yang berhubungan dengan materi laporan. Sumber tersebut dipergunakan untuk menunjang hasil perhitungan dan analisa.

2.4. Jenis Data

Adapun jenis data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

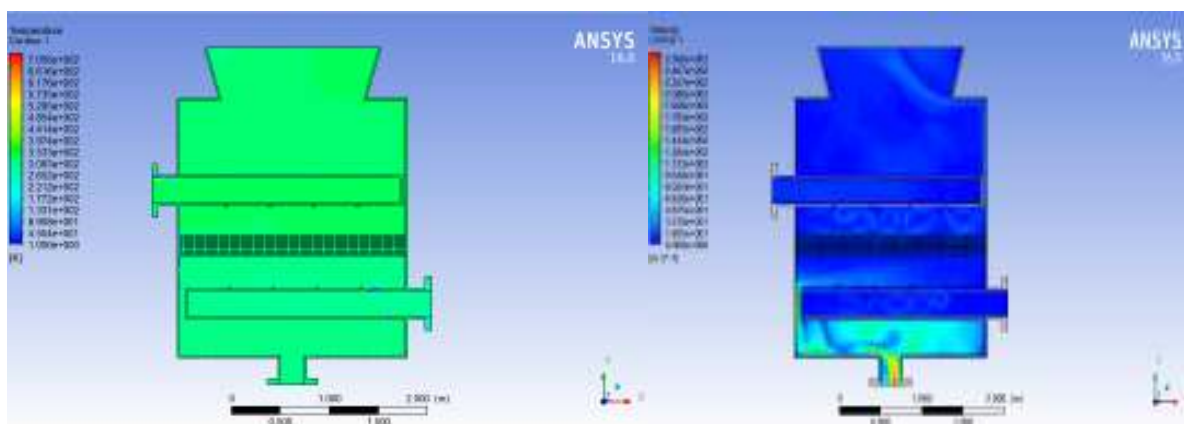
1. Data Desain Konstruksi PLTP Bedugul.
2. Data Process Flow Diagram sistem.

2.5. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan CFD untuk menghitung uap panas bumi dan uap *brine* CH4 di *cooling tower*. Selanjutnya dihitung \dot{m}_{air} (mass flow rate) untuk mendinginkan *brine* dan *steam* serta besarnya fraksi limbah uap dan cair dari *steam* dan *brine*. Sistem diolah secara terstruktur dan akurat serta dianalisis dengan menggunakan data-data mentah yang didapat dari hasil studi literature dan penelitian lapangan yang diharapkan dapat berguna bagi kepentingan peneliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cooling tower berfungsi untuk menurunkan entalpi *brine* dan *steam* setelah keluar dari turbin. *Brine* dan *steam* didinginkan dengan air bertemperatur 26°C pada tekanan 1 atm, di mana setelah keluar dari turbin *brine* ditampung sementara pada tangki bertekanan 10 bar seperti disajikan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Simulasi temperatur pada cooling tower

Gambar 2. Simulasi kecepatan pada cooling tower

Dari hasil simulasi tersebut di atas maka berikut disajikan data temperatur air dan udara pendingin pada Tabel 1.

Data simulasi pendinginan air			
1	$T_{in,air}$	333	K
2	$T_{out,air}$	299	K
3	$T_{in,udara}$	297	K
4	$T_{out,udara}$	300	K

Tabel 1. Data hasil simulasi pendinginan air dengan udara

Berdasarkan data hasil simulasi dapat dilihat bahwa cooling tower tersebut membuang uap dengan temperatur sebesar 299 K atau 26°C. Sedangkan air yang telah melewati proses cooling tower memiliki temperature sebesar 27°C.

3.1. *Brine CH₄*

Data *brine* CH₄ keluaran dari turbin pada PLTP di Candi Kuning Bedugul adalah sebagai berikut.

$$P_{CH_4} = 10bar = 9,87atm$$

$$T_{CH_4} = -123^{\circ}C = 150K$$

$$v_{CH_4} = 99m/s$$

$$Mr = 16gr/mol$$

$$R = 0,082Latm/molK$$

$$d = 0,3m$$

$$A = 0,07m^2$$

Kemudian dengan kondisi tersebut, *brine* CH₄ dialirkan menuju ke Cooling Tower, serta dihitung m_{CH_4} yang akan memasuki Cooling Tower

$$\dot{m}_{CH_4} = \rho \cdot A \cdot v$$

$$\rho = \frac{P \cdot Mr}{R \cdot T} = \frac{9,87atm \cdot 16gr/mol}{0,082Latm/molK \cdot 150K} = 12,84kg/m^3$$

$$\dot{m}_{CH_4} = \rho \cdot A \cdot v$$

$$\dot{m}_{CH_4} = 12,84kg/m^3 \cdot 0,07m^2 \cdot 99m/s = 88,98kg/s$$

Pada Cooling Tower tekanan dan temperatur konstan, akan tetapi entalpi dan fraksinya berubah. Pada Cooling Tower CH₄ yang berfasa *superheated* dirubah menjadi *subcooling*, dengan fraksi uap (x) = 0.

$$x = \frac{h - h_f}{h_g - h_f}$$

$$h = h_f$$

$$\text{maka } x = 0$$

Setelah itu dihitung besarnya m_{air} yang dibutuhkan pada cooling tower untuk menurunkan entalpi dan merubah fasa dari CH₄.

Apabila diketahui :

$$T_{h,in} = 150K; h_{h,in} = 750kJ / kg$$

$$T_{h,out} = 150K; h_{h,out} = 300kJ / kg$$

$$T_{c,in} = 26^{\circ} C; h_{c,in} = 109kJ / kg$$

$$T_{c,out} = 60^{\circ} C; h_{c,out} = 251,13kJ / kg$$

Temperatur pendingin keluaran adalah sebesar $T_{c,out} = 60^{\circ}C$

Dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi, maka m_{air} untuk *brine* CH₄ dapat dihitung sebagai berikut.

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{CH_4}(h_{h,in} - h_{h,out})}{(h_{c,out} - h_{c,in})}$$

$$\dot{m}_c = \frac{23,2kg / s(750 - 300)kJ / kg}{(251,1 - 109,1)kJ / kg} = 73,52kg / s$$

Jadi besarnya m_{air} yang dibutuhkan pada cooling tower untuk *brine* adalah sebesar 73,52 kg/s.

Mengingat faktor air pendingin yang digunakan di sistem PLTP Bedugul menjadi sorotan saat penolakan pembangkit tersebut, di mana disinyalir air pendingin ini berpengaruh terhadap air tanah atau permukaan di sekitar lokasi. Oleh sebab itu, maka perlu dibuat beberapa desain penggunaan air pendingin tersebut, terlebih mengingat debit air PDAM Tabanan yang ada hanyalah sebesar 341 l/s atau sama dengan 341,1 kg/s [Balipost, 2017]. Maka dari itu akan dihitung beberapa variasi yang memungkinkan untuk digunakan agar tidak merusak lingkungan dan menghasilkan kualitas uap yang dapat diterima lingkungan. Variasi air yang digunakan masing - masing adalah sebesar 60,50,40,dan 30 kg/s dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.

No.	m_{air}	x_{uap}	x_{air}	\dot{m}_{uap}	\dot{m}_{air}
1	73,2 kg/s	0	1	0 kg/s	23,2 kg/s
2	60 kg/s	0,2	0,8	4,5 kg/s	18,7 kg/s
3	50 kg/s	0,34	0,66	7,94 kg/s	15,26kg/s
4	40 kg/s	0,49	0,51	11,39 kg/s	11,81 kg/s
5	30 kg/s	0,64	0,36	14,84 kg/s	8,36 kg/s

Tabel 2. Kebutuhan air pendingin dan massa uap yang dihasilkan

Berdasarkan data tersebut, maka debit air pendingin yang dipergunakan agar tidak merusak lingkungan, baik air permukaan maupun kualitas udara adalah 60 kg/s.

3.2. Uap Panas Bumi (*Steam*)

Data *steam* keluaran dari boiler sebagai berikut:

$$P_{steam} = 10bar = 9,87atm$$

$$T_{steam} = 180^{\circ} C = 453K$$

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

Steam yang masuk ke dalam cooling tower berada pada kondisi dengan fraksi uap sebesar 0,49. Maka didapat besarnya entalpi steam saat masuk ke dalam cooling tower adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 h_x &= h_f + xh_{fg} \\
 &= 763,2 + 0,49 \times 2015 \\
 &= 1750 \text{ kJ / kg}
 \end{aligned}$$

Kemudian uap panas bumi (*steam*) dibawa menuju ke Cooling Tower sehingga harus dihitung debit uap m_{steam} yang akan memasuki Cooling Tower, agar dapat diolah semuanya menjadi cairan agar dapat diinjeksikan kembali ke bumi dan proses tersebut dikategorikan renewable (berkesinambungan).

Ketika $x = 0$, maka:

$$x = \frac{h - h_f}{h_g - h_f}$$

$$h = h_f$$

Besarnya debit air m_c yang dibutuhkan pada cooling tower untuk menurunkan entalpi dan merubah fasa CH_4 dari uap menjadi cair jenuh dihitung berdasarkan T-s diagram dan tabel untuk CH_4 dan air, sehingga didapatkan data berikut:

$$\dot{m}_{\text{CH}_4} = 4,01 \text{ kg / s}$$

$$T_{h,in} = 180^\circ \text{ C}; h_{h,in} = 1750 \text{ kJ / kg}$$

$$T_{h,out} = 180^\circ \text{ C}; h_{h,out} = 763,22 \text{ kJ / kg}$$

$$T_{c,in} = 26^\circ \text{ C}; h_{c,in} = 109,1 \text{ kJ / kg}$$

$$T_{c,out} = 60^\circ \text{ C}; h_{c,out} = 251,1 \text{ J / kg}$$

(asumsi temperatur pendingin keluaran adalah sebesar $T_{c,out} = 60^\circ \text{ C}$, diambil dari referensi bahwa temperatur maksimum peralatan yang disentuh oleh tangan adalah sebesar 65° C). Dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi, maka \dot{m}_{air} untuk *steam* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\dot{m}_c = \frac{4,01 \text{ kg / s} (1750 - 763,2) \text{ kJ / kg}}{(251,1 - 109,1) \text{ kJ / kg}} = 27,87 \text{ kg / s}$$

Jadi besarnya m_c air yang dibutuhkan pada cooling tower untuk *steam* adalah sebesar 27,87 kg/s. Agar masih memenuhi kriteria nyaman bagi lingkungan maka fraksi uapnya adalah 0,2. Sehingga diperlukan air pendingin sebesar

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{cair}} &= \dot{m} - \dot{m} \cdot x \\
 &= 4,01 - 4,01 \times 0,2 \\
 &= 3,2 \text{ kg / s}
 \end{aligned}$$

Kondensat yang diinjeksikan ke dalam tanah sebesar 3,2kg/s. Di mana air yang dibutuhkan adalah sebesar

$$0,2 = \frac{h - 763,2}{1750 - 763,2}$$

$$h = 960,56 \text{ kJ / kg}$$

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{\text{brine}} (h_{h,in} - h_{h,out})}{(h_{c,out} - h_{c,in})}$$

$$\dot{m}_c = \frac{4,01 \text{ kg / s} (1750 - 960,56) \text{ kJ / kg}}{(251,1 - 109,1) \text{ kJ / kg}} = 22,3 \text{ kg / s}$$

Jadi debit air yang diperlukan agar hanya menghasilkan maksimum 20% uap adalah sebesar 22,3kg/s. Agar memenuhi syarat untuk renewable serta menjaga kualitas lingkungan

maka total air yang diperlukan adalah $60\text{kg/s}+22,3\text{kg/s}$ atau sebesar $82,3\text{kg/s}$. Dengan hasil ini terlihat debit yang diperlukan masih memungkinkan untuk digunakan dengan debit yang dimiliki PDAM sebesar $341,1\text{kg/s}$.

4. SIMPULAN

Dari penelitian ini, kesimpulan yang diambil adalah limbah yang dihasilkan dari brine CH_4 sebesar $18,7\text{ kg/s}$ dalam bentuk cairan dan $4,5\text{ kg/s}$ dalam bentuk uap. Sedangkan limbah yang dihasilkan dari steam adalah sebesar $3,02\text{ kg/s}$ dalam bentuk cairan dan $0,99\text{ kg/s}$ dalam bentuk uap. Total volume air yang diperlukan untuk mendinginkan PLTP Bedugul dengan daya keterbangkitkan sebesar $20,67\text{ MW}$ adalah sebesar $82,3\text{ kg/s}$, di mana kebutuhan air pendingin ini masih dapat dipenuhi dari sumber air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dzulqornain, Fitroh. “Prinsip Kerja Siklus Rankine”. 5 April 2015. <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-siklus-rankine/URL>
- [2] Ecanblue. “Peralatan pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi”. 9 Januari 2014. <https://ecanblue.wordpress.com/2014/01/09/URL>
- [3] Gumelar, Galih. “Bali Energy Bermasalah, Proyek PLTP Bedugul Jalan di Tempat”. 31 Agustus 2016. <http://www.cnnindonesia.com/ekonomi/URL>
- [4] Kagel, A. 2008. The State of Geothermal Technology. Washington, D.C. Geothermal Energy Association for the US.
- [5] Kasbani. “Sumber Daya Panas Bumi Indonesia: Status Penyelidikan, Potensi Dan Tipe Sistem Panas Bumi”. <http://psdg.bgl.esdm.go.id/URL>
- [6] Kusuma, I. G. B. W. 2004. “Kajian Ekologis Terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Di Bedugul, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan”. E-Journal Udayana. 4
- [7] Moran, M. J. and H. N. Shapiro. 2006. Fundamental of Engineering Thermodynamics. England, John Willey & Sons, Inc.
- [8] Saptadji, Nenny. “Energi Panas Bumi di Indonesia”. 2013. <http://geothermal.itb.ac.id/URL>
- [9] Shin, J. H., Ireland, R. R., & Kercher, J. R., (1979). Investigation of ecosystem impact from geothermal development in imperial valey, California. Geothermal Resources Council Transaction, vol. 3, September, 651-654.
- [10] Wahyuningih, Rina. (2005). “Potensi Dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Di Indonesia”. Kolokium Hasil Lapangan – DIM.
- [11] Yuniarto et,all . 2016. “Limbah Cair Panas Bumi dan Dampaknya Terhadap Lingkungan”. Jurnal Matematika, Sains, dan Tenologi, Volume 17, Nomor 2, Sepember 2016, 99-106