

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.ERE.01

TEKANAN FLASHING OPTIMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI SISTEM *DOUBLE-FLASH*

Rafif Tri Adi Baihaqi^{a)}, Hensen P. K. Sinulingga^{b)},
Muhamad Ridwan Hamdani^{c)}

*Program Studi Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363*

Email: ^{a)}baihaqirafif@gmail.com, ^{b)}hensenprima@gmail.com, ^{c)}hamdanimuhamad12@gmail.com

Abstrak

Sumber panas bumi di Indonesia merupakan sumber dengan sistem hydrothermal yang didominasi oleh jenis dominasi air, dengan karakteristik sekitar 20% uap dan 80% air. Jenis pembangkit di Indonesia yang digunakan saat ini untuk memanfaatkan sumber dominasi air adalah sistem *single-flash*. *Brine* hasil *flashing* dari sistem ini masih memiliki temperatur yang tinggi sehingga masih bisa digunakan sebagai sumber energi baru, yaitu menggunakan sistem *double-flash*. Penelitian ini membuat model pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash* untuk memanfaatkan *brine* hasil *flashing* sehingga diperoleh daya yang lebih besar. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui tekanan flashing optimal pada pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*. Pada penelitian ini variasi perubahan tekanan yang digunakan sebesar 4 bar, 5 bar, 6 bar, 7 bar, 8 bar, dan 9 bar. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa daya turbin maksimal dapat dihasilkan ketika perubahan tekanan (ΔP) flashing berada pada 7 bar yang menghasilkan daya sebesar 9,575 MW dengan efisiensi 82,68%.

Kata-kata kunci: *brine, flashing, single-flash, double-flash, perubahan tekanan.*

Abstract

Geothermal resources in Indonesia are hydrothermal system dominated by water, with characteristic about 20% steam and 80% water. The type of power plant in Indonesia currently used to utilize the source of water dominance is a single-flash system. Brine results from this flashing system still have a high temperature so it can still be used as a new energy source, which uses a double-flash system. This research makes a model of geothermal power plant double-flash system to utilize brine results from flashing so that obtained bigger power. The purpose of this research is to know the optimal flashing pressure in a double-flash geothermal power plant. In this research, the variation of pressure change used was 4 bar, 5 bar, 6 bar, 7 bar, 8 bar, and 9 bar. Based on the research results, it can be seen that maximum turbine power can be generated when the pressure change (ΔP) of flashing is at 7 bar which generate power 9,575 MW with efficiency 82,68%.

Keywords: *brine, flashing, single-flash, double-flash, pressure change.*

PENDAHULUAN

Sistem panas bumi merupakan salah satu sistem yang terjadi dalam proses geologi yang berjalan dalam orde ratusan bahkan jutaan tahun yang dewasa ini membawa manfaat bagi manusia baik dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan secara langsung umumnya digunakan pada proses pengeringan ikan dan penghangat ruangan. Sedangkan pemanfaatan secara tak langsung ialah untuk pembangkit listrik[1].

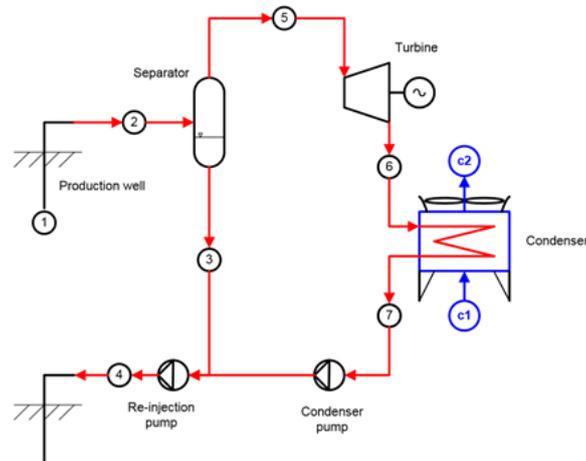
Energi *geothermal* telah diidentifikasi sebagai sumber energi yang *sustainable* dan memproduksi emisi gas yang rendah[2]. Dengan besarnya potensial yang dimiliki oleh energi *geothermal*, Indonesia sedang merencanakan untuk meningkatkan produksi tenaga listrik dengan basis energi *geothermal* dari 1.196 menjadi 9.500 MW pada tahun 2025. Untuk mencapai target tersebut, sebuah kebijakan publik dibutuhkan untuk mendorong industri *geothermal* berkembang. Sekarang, total kapasitas PLTP di Indonesia sebesar 1.196 MW dari 7 PLTP di Indonesia[3].

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem *hydrothermal* yang mempunyai temperatur tinggi, yaitu $>225^{\circ}\text{C}$, dan hanya beberapa di antaranya yang bertemperatur sedang, yaitu $150^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}$ [4]. Karakteristik tersebut sangat berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik. Sistem *hydrothermal* yang ada di Indonesia didominasi oleh jenis dominasi air, dengan karakteristik fluida panas bumi sekitar 20% uap dan 80% air. Jenis pembangkit listrik yang cocok digunakan untuk memanfaatkan potensi energi ini adalah pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *flashing (single-flash)*. Pada sistem ini, fluida berfase cair (*brine*) hasil *flashing* langsung diinjeksikan kembali ke perut bumi (*reservoir*).

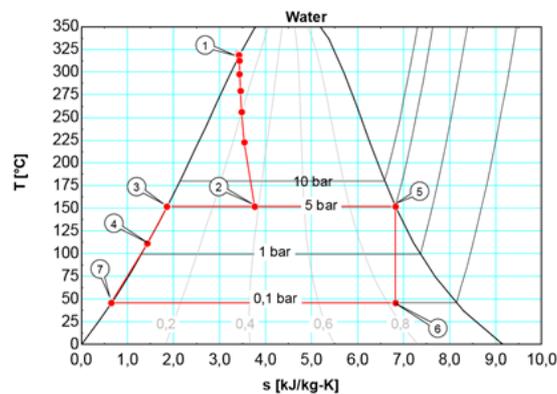
Di Indonesia, pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber dominasi air hanya sampai ke tahap *single-flash*. Negara-negara lain telah mengembangkan pemanfaatan *brine* pada pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan *memflash* ulang *brine* tersebut. Pembangkit dengan sistem ini dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*. Uap yang dihasilkan dari proses *flashing* kedua digunakan untuk menggerakkan turbin pada pembangkit baru. *Brine* hasil *single-flash* masih memiliki temperatur yang cukup tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pembangkit listrik sistem *double-flash*. Oleh karena itu jenis sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan *brine* hasil *flashing* menjadi sangat layak untuk dikembangkan karena akan menghasilkan daya yang lebih besar dengan efisiensi yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tekanan *flashing* optimal pada pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sistem *Single-Flash*

Pembangkit listrik sistem *single-flash* merupakan jenis pembangkit yang hanya mengalami satu kali proses *flashing*. Diagram alir pembangkit jenis ini ditunjukkan oleh Gambar 1. Fluida panas bumi, yang berasal dari dalam bumi, memasuki sumur produksi, titik 1. Oleh karena terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*), fluida panas bumi mulai berubah fasa di titik 2, ketika memasuki separator. *Brine* dari separator, titik 3, diinjeksikan kembali ke perut bumi melalui sumur injeksi, sedangkan fasa uap (*steam*) hasil pemisahan separator, titik 4, dialirkan untuk mengekspansi turbin. Setelah keluar dari turbin, titik 5, *steam* tersebut dikondensasi di kondenser yang selanjutnya diinjeksikan kembali ke perut bumi, titik 6. Proses termodinamika yang terjadi dari sumur produksi hingga sumur injeksi ditunjukkan pada diagram T-s, dengan temperatur pada siklus pembangkit diplot terhadap entropinya. Diagram tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.



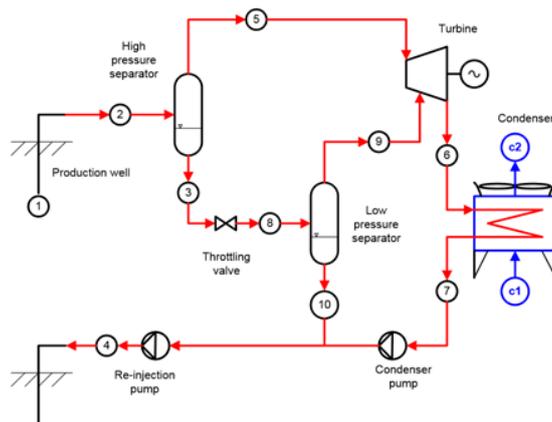
GAMBAR 1. Diagram alir pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *single-flash*[5].



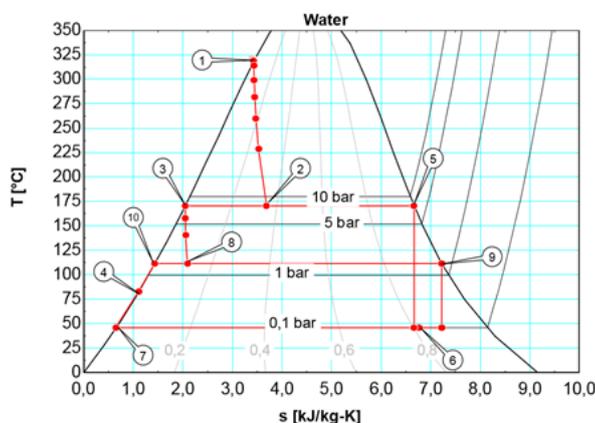
GAMBAR 2. Diagram T-s pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *single-flash*[5].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sistem *Double-Flash*

Pembangkit listrik sistem *double-flash* merupakan pengembangan dari sistem *singleflash* yang dapat memproduksi sekitar 15-25% daya yang lebih besar dengan kondisi fluida panas yang sama[6]. Pada prinsipnya, sistem ini sama dengan sistem *single-flash*, namun pada sistem *double-flash*, *brine* hasil *flashing* pertama di*flash* ulang menggunakan *throttle valve* sehingga diperoleh fasa uap yang digunakan untuk memutarakan turbin. Gambar 3. menunjukkan diagram alir pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*. Fluida panas bumi dari *reservoir* memasuki sumur produksi, titik 1. Oleh karena terjadi *pressure drop*, fluida tersebut mengalami perubahan fasa, titik 2, ketika memasuki separator pertama. *Brine* yang keluar dari separator pertama, titik 3, di*flash* ulang menggunakan *throttle valve* sehingga diperoleh sebagian fasa uap (*steam*), titik 7. Biasanya, besarnya tekanan yang dihasilkan setelah proses *flashing* kedua mencapai sekitar 1-3 bar[7]. Digunakan separator kedua untuk memisahkan *steam* hasil *flashing* kedua. *Steam* hasil pemisahan tersebut, titik 8, dialirkan menuju turbin yang didesain sedemikian rupa, sehingga perbedaan tekanan pada *stage* pertama pada turbin sama dengan perbedaan tekanan antara separator pertama dengan separator kedua. *Brine* yang keluar dari separator kedua, titik 9, diinjeksikan kembali ke perut bumi bersamaan dengan fluida yang keluar dari kondenser, titik 6. Proses termodinamika yang terjadi pada pembangkit listrik sistem *double-flash* ditunjukkan pada diagram T-s, dengan temperatur pada siklus pembangkit diplot terhadap entropinya. Diagram tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.



GAMBAR 3. Diagram alir pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*.



GAMBAR 4. Diagram T-s pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*.

C. Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

1. Flashing

Proses *flashing* merupakan proses perubahan fasa fluida dari fasa cair menjadi fasa uap dengan menurunkan tekanan fluida tersebut. Pada prosesnya, entalpi dari fluida yang memasuki *valve (inlet)* dan fluida yang keluar dari *valve (outlet)* adalah sama (isentropik).

$$h_3 = h_8 \tag{1}$$

dengan, h_3 adalah entalpi di keadaan *titik 3* (kJ/kg) dan h_8 adalah entalpi di keadaan *titik 8* (kJ/kg). Setelah itu dihitung fraksi uap yang akan dialirkan ke turbin menggunakan persamaan (2).

$$X = \frac{h_8 - h_9}{h_{10} - h_9} \tag{2}$$

dengan, X adalah fraksi uap hasil flashing, h_{10} adalah entalpi di keadaan *titik 10* dalam fase gas (kJ/kg), h_8 adalah entalpi di keadaan *titik 8* dalam fase campuran, dan h_9 adalah entalpi di keadaan *titik 9* dalam fase cair.

2. Turbin Uap

Turbin uap merupakan komponen yang dapat mengubah entalpi uap menjadi kerja pada poros yang terkopel dengan generator listrik sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Setelah diperoleh fraksi uap (kualitas uap) dari hasil flashing, dihitung daya *Low Pressure Turbine* menggunakan persamaan (3).

$$\dot{W}_{LP} = \dot{m}(h_{10} - h_{11}) \quad (3)$$

dengan, \dot{W}_{LP} adalah daya *low pressure turbine* per satuan massa (Watt), \dot{m} adalah laju alir massa fluida yang mengalir melalui turbin (kg/s), h_{10} adalah entalpi pada keadaan 10 (kJ/kg), dan h_{11} adalah entalpi pada keadaan 11.

Setelah itu dilakukan perhitungan daya turbin *high pressure* menggunakan persamaan (4).

$$\dot{W}_{HP} = \dot{m}(h_4 - h_5) \quad (4)$$

dengan, \dot{W}_{HP} adalah daya turbin *high pressure* per satuan massa (Watt), \dot{m} adalah laju alir massa fluida yang mengalir melalui turbin (kg/s), h_4 adalah entalpi pada keadaan 4 (kJ/kg), dan h_5 adalah entalpi pada keadaan 5.

Selanjutnya melakukan perhitungan efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan (5) dan persamaan (6).

- *high pressure turbine*

$$\eta_{HPT} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}} \quad (5)$$

- *low pressure turbine*

$$\eta_{LPT} = \frac{h_{10} - h_{11}}{h_{10} - h_{11s}} \quad (6)$$

dengan η_t adalah efisiensi turbin, h_{5s} dan h_{11s} adalah nilai entalpi keluaran turbin di titik 5 dan titik 11 dengan keadaan isentropik.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai panas bumi (*geothermal*) secara umum dan pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *flashing*. Selanjutnya peneliti melakukan pembuatan model pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash*. Karakteristik fluida panas bumi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1., yang merupakan data lapangan di salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi dominasi air di Jawa Barat.

TABEL 1. Karakteristik Fluida Panas Bumi yang Keluar dari Kepala Sumur

Parameter	Nilai
Temperatur (°C)	180
Tekanan (bar)	10
Laju alir massa (ton/jam)	2300
Kualitas uap (%)	12,18

Model pembangkit listrik sistem *double-flash* dibuat dengan menggunakan 2 turbin, yaitu *High Pressure Turbine* pada sistem *flashing* pertama dan *Low Pressure Turbine* pada sistem *flashing* kedua.

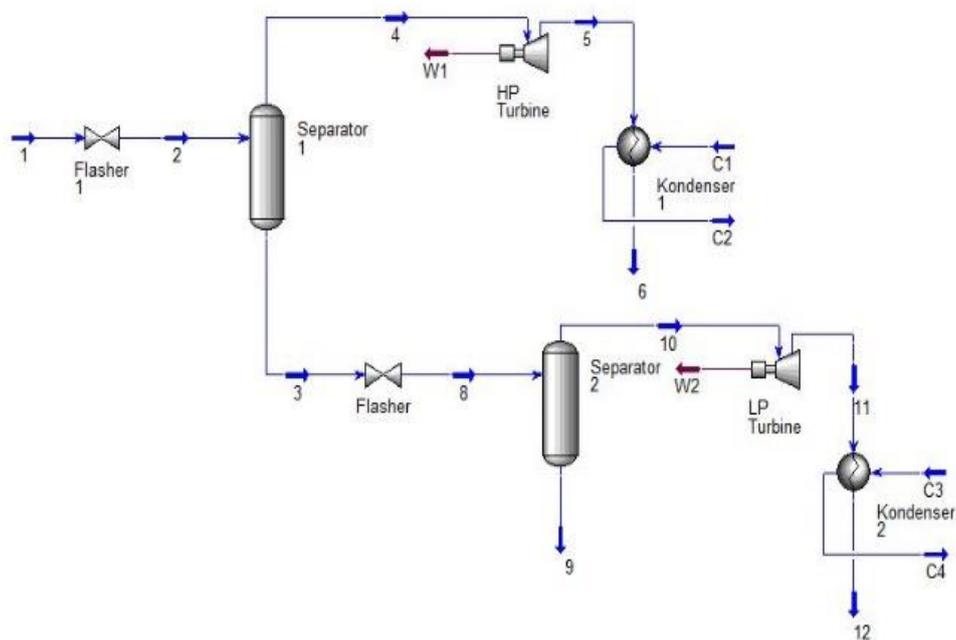
Variasi perubahan tekanan (ΔP) yang digunakan adalah 4 bar, 5 bar, 6 bar, 7 bar, 8 bar, dan 9 bar. Tekanan keluaran *high pressure turbine* dan *low pressure turbine* diasumsikan sebesar 0,8 bar. Proses *flashing* merupakan proses perubahan fasa fluida dari fasa cair menjadi fasa uap dengan menurunkan tekanan fluida tersebut. Fraksi uap (kualitas uap) hasil *flashing* dapat dihitung menggunakan persamaan

(2). Setelah diperoleh fraksi uap dari hasil *flashing*, dihitung daya *low pressure turbine* menggunakan persamaan (3), daya *high pressure turbine* menggunakan persamaan (4), dan efisiensi turbin menggunakan persamaan (5) untuk *high pressure turbine* dan persamaan (6) untuk *low pressure turbine*.

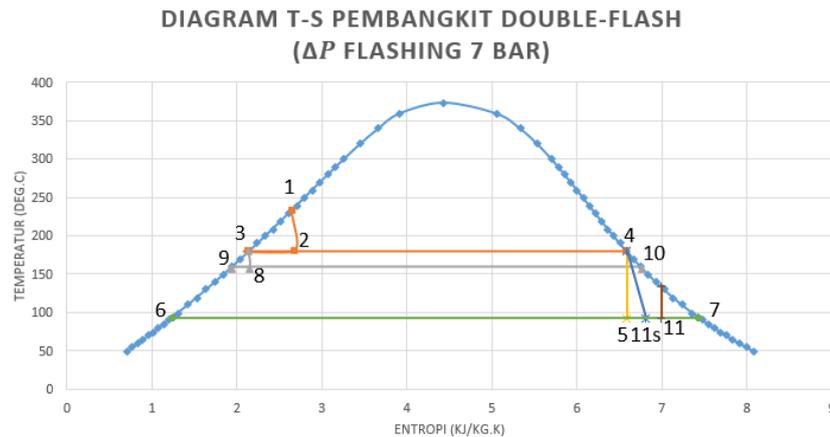
Setelah itu peneliti membuat grafik hubungan antara daya terhadap perubahan tekanan (ΔP) dan kurva diagram T-s (temperatur terhadap entropi). Berikutnya dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skema pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 5 serta diagram T-s ditunjukkan pada Gambar 6. Fluida panas bumi yang berasal dari dalam bumi memasuki sumur produksi, titik 1. Oleh karena terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) ketika fluida mengalir dari reservoir menuju permukaan, fluida panas bumi mulai berubah fasa menjadi campuran air dan uap di titik 2. Fasa tersebut dipisahkan di separator. Fluida fasa uap (*steam*) hasil pemisahan separator, titik 4, dialirkan untuk mengekspansi High Pressure Turbine sehingga dihasilkan daya turbin sebesar 26,604 MW dengan efisiensi turbin sebesar 80,71%. Setelah keluar dari turbin, titik 5, fluida tersebut dikondensasi di kondenser yang selanjutnya diinjeksikan kembali ke perut bumi. Brine yang keluar pada titik 3 di *flash* ulang menggunakan *throttle valve* sehingga diperoleh sebagian fasa uap (*steam*), titik 8. Variasi perubahan tekanan yang digunakan pada proses ini sebesar 4 bar, 5 bar, 6 bar, 7 bar, 8 bar, dan 9 bar. Digunakan separator kedua untuk memisahkan *steam* hasil *flashing* kedua. *Steam* hasil pemisahan tersebut, titik 10, dialirkan menuju Low Pressure Turbine yang didesain sedemikian rupa. Brine yang keluar dari separator kedua, titik 9, diinjeksikan kembali ke perut bumi bersamaan dengan fluida yang keluar dari kondenser. Kualitas uap hasil *flashing* kedua, daya *Low Pressure Turbine*, dan efisiensi turbin yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 2.



GAMBAR 5. Skema Pembangkit Listrik sistem *double-flash*



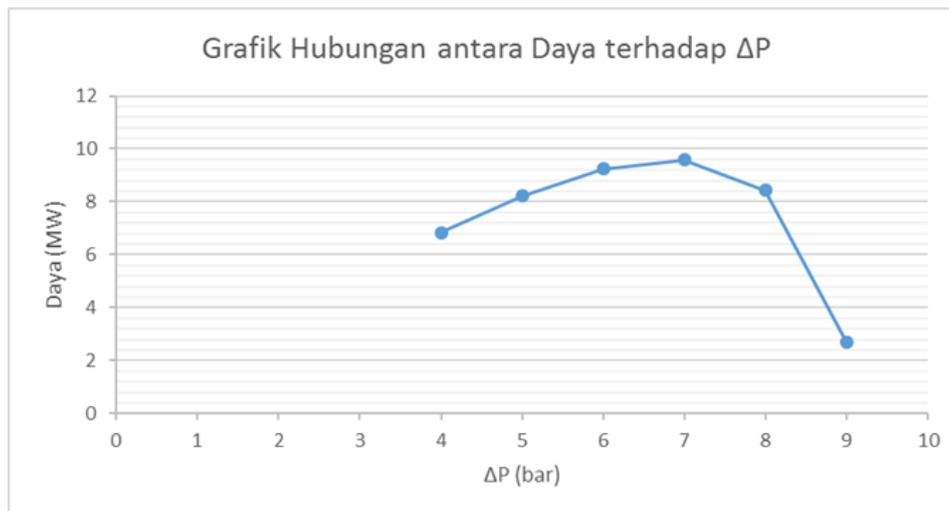
GAMBAR 6. Diagram T-s Pembangkit *double-flash* (ΔP flashing 7 bar)

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin besar ΔP flashing, maka kualitas uap yang dihasilkan semakin besar, yaitu berkisar dari 0,0442 sampai 0,152. Besar laju alir massa yang digunakan untuk memutar turbin sebanding dengan besarnya kualitas uap yang dihasilkan pada proses *flashing* kedua. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan pada *Low Pressure Turbine* cenderung meningkat seiring bertambah besarnya ΔP flashing karena fasa uap yang dihasilkan semakin besar sehingga mass flow uapnya semakin banyak. Namun daya tersebut menurun ketika dilakukan *flashing* dengan ΔP lebih besar dari 7 bar. Sementara nilai efisiensi turbin pada *Low Pressure Turbine* tidak mengalami penurunan, tetapi meningkat seiring dengan meningkatnya ΔP flashing.

TABEL 2. Hasil Perhitungan Fraksi Uap, Daya *Low Pressure Turbin* dan Efisiensi Turbin pada Pembangkit Listrik sistem *double-flash*

ΔP flashing (bar)	x2	h11s (kJ/Kg)	h11 (kJ/Kg)	mg2 (Ton/jam)	wt2 (MW)	η_t (%)
4	0.0442	2418.426	2480.876	89.308	6.845	81.544
5	0.0581	2440.868	2496.767	117.42	8.217	81.841
6	0.074	2468.260	2516.361	149.614	9.236	82.207
7	0.093	2503.463	2541.876	187.93	9.5752	82.684
8	0.1172	2553.04	2578.594	236.743	8.424	83.37
9	0.1529	2638.224	2643.967	308.899	2.705	84.591

Gambar 7 merupakan grafik yang menunjukkan pengaruh perubahan tekanan pada proses *flashing* dengan daya turbin yang dihasilkan. Dapat diketahui bahwa nilai tekanan optimal pada proses *flashing* kedua terjadi ketika dilakukan *flashing* dengan perubahan tekanan (ΔP flashing) sebesar 7 bar. Tekanan masuk turbin pada keadaan ini adalah 3 bar, dan daya yang dihasilkan adalah 9,5752MW. Bila ΔP flashing diperbesar, ΔP flashing lebih besar dari 7 bar, daya yang dihasilkan akan semakin menurun, yaitu 8,4245MW pada ΔP flashing 8 bar (tekanan masuk turbin 2 bar), dan 2,7056MW pada ΔP flashing 9 bar (tekanan masuk turbin 1 bar).



GAMBAR 7. Grafik Hubungan antara Daya terhadap Perubahan Tekanan

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7. dapat diketahui bahwa tekanan optimal untuk tekanan masuk pada *Low Pressure Turbine* adalah 3 bar, dan bila lebih rendah dari itu maka energi yang dimiliki fluida panas bumi tersebut akan semakin menurun sehingga daya turbin yang dihasilkan akan semakin kecil.

Penurunan nilai daya turbin ini dapat dilihat dari nilai entalpi di keadaan 11 (keluaran turbin). Pada keadaan ΔP flashing di atas 7 bar, nilai entalpi di keadaan 11 akan meningkat jauh lebih besar dibandingkan dengan pada ΔP flashing kurang dari 7 bar. Nilai daya turbin ditentukan oleh selisih nilai entalpi masuk dan nilai entalpi keluaran turbin, sehingga bila nilai entalpi keluaran turbin meningkat jauh lebih besar maka daya turbin yang dihasilkan akan lebih kecil.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian telah diperoleh nilai tekanan optimal pada model pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem *double-flash* yang memiliki temperatur dan tekanan di kepala sumur 180°C dan 10bar, yaitu ΔP flashing sebesar 7 bar (tekanan masuk turbin 3 bar). Daya pada *Low Pressure Turbin* yang dihasilkan pada keadaan ini adalah 9,575 MW dengan efisiensi turbin 82,68%. Bila ΔP flashing lebih besar dari 7 bar (tekanan masuk turbin lebih kecil dari 3 bar) daya yang dihasilkan akan semakin menurun karena energi yang dimiliki fluida panas bumi pada keadaan ini semakin menurun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Prodi Fisika Universitas Padjadjaran yang telah memfasilitasi kami dalam melakukan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Direktorat Jenderal Kelembagaan IPTEK & DIKTI. 2014. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi* [Online]. Available: <http://kelembagaan.ristekdikti.go.id>
- [2] Mathew Aneke et al., "Performance Analysis of The Chena Binary geothermal Power Plant", *Appl Therm Eng*, 2011, 31 : 1825-32, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.02.028
- [3] Halldór Ármannsson et al., "CO2 emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland", *Geothermics*, 2005, 34 : 286-96, doi: 10.1016/j.geothermics.2004.11.005

- [4] DiPippo, R., 2008: *Geothermal power plants: Principles, applications, case studies and environmental impact* (2nd edition). Butterworth-Heinemann (Elsevier), Oxford, 520 pp.
- [5] Dr. Páll Valdimarsson, *Geothermal power plant cycles and main components*, UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador, January 16-22, 2011.
- [6] Karlsdottir et al., *Comparison of Methods for Utilization of Geothermal Brine for Power Production*, World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia.
- [7] Gudmundur Kjartansson, *Low Pressure Flash-Steam Cycle at Hellisheidi-Selection Based on Comparison Study of Power Cycles, Utilizing Geothermal Brine*, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.

