

## PREDIKSI PENURUNAN KUALITAS UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GEOTERMAL DIHUBUNGKAN DENGAN STRATEGI PEMELIHARAAN DIMASA YANG AKAN DATANG

Cukup Mulyana<sup>1</sup>, Otong Nurhilal<sup>1\*</sup>, Aswad H Saad<sup>1</sup> dan Ahmad Taufik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fisika Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor

<sup>2</sup>Institut Teknologi Bandung Jl. Ganessa 10 Bandung

\*Korespondensi penulis, E-mail: otong.nurhilal@phys.unpad.ac.id

### Abstract

*In Geothermal power plant steam quality plays a very important role because it is associated with enthalpy and affects the reliability of the turbine. Studies have been carried out on the trend of a decrease in pressure, temperature and flow that comes out of a wellhead for 25 years. In addition the study also conducted in steam pressure drop during transmission process in the pipeline from the wellhead to the turbine due to friction factor, elevation, and junctions. Existing wellhead temperature is 202°C – 243°C, pressure of 8.2 kg/cm<sup>2</sup> – 12.7kg/cm<sup>2</sup>. Operating parameters of the turbine are minimum pressure of 6.5 kg/cm<sup>2</sup> and superheat temperature of 169°C. By looking at the trend of decrease in pressure and temperature, in the next few years is concerned to be achieved under the limit pressure. Concerning the decrease of enthalpy, give impact to decreasing of kWh. Therefore it should be anticipated from the beginning so it is not threat the continuity of the operation of geothermal power. From the study enthalpy did not decrease significantly in other hand the pressure drop significantly at the wellhead. The steam quality is still in good because the steam is superheated condition. The problem that needs to be addressed is the pressure drop from the wellhead to the turbine at 16.1 %. It is recommended to replace the T junction into a Y junction in order to minimize the pressure drop in the pipeline transmission.*

**Keywords :** steam quality, pressure, temperature, wellhead

### Abstrak

*Kualitas uap pada pembangkit geothermal memegang peranan yang sangat penting karena terkait dengan nilai entalpi yang dikandungnya dan berpengaruh pada kehandalan turbin. Telah dilakukan kajian terhadap kecenderungan terjadinya penurunan tekanan, temperature dan debit yang keluar dari sejumlah kepala sumur selama 25 tahun. Selain itu dilakukan pula kajian terhadap penurunan tekanan uap pada pipa transmisi dari kepala sumur sampai ke turbin yang dipengaruhi oleh faktor gesekan, elevasi, dan junction. Kondisi saat ini kepala sumur menghasilkan temperatur 202°C sampai 243°C dan tekanan 8,2 kg/cm<sup>2</sup> sampai 12,7kg/cm<sup>2</sup>. Parameter operasi yang harus dipenuhi dari uap yang keluar harus memiliki tekanan minimal 6,5 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu superheat 169°C untuk menghasilkan suhu saturasi diatas 167,8°C. Dengan melihat trend penurunan tekanan dan temperatur, dalam beberapa tahun mendatang diperkirakan akan dicapai tekanan di bawah batas yang diinginkan. Ditinjau dari nilai enthalpi, penurunan tersebut berdampak pada menurunnya kWh yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu diantisipasi dari awal agar tidak membahayakan terhadap kelangsungan beroperasinya pembangkit geothermal tersebut. Dari hasil penelitian ternyata tidak terjadi penurunan enthalpi yang signifikan sekalipun terjadi penurunan tekanan yang besar di kepala sumur. Kualitas uap masih dalam keadaan baik karena uap air berada diatas kondisi saturasinya. Permasalahan yang perlu diatasi adalah penurunan tekanan dari kepala sumur ke turbin sebesar 16,1%. Disarankan mengganti T junction menjadi Y junction agar dapat memperkecil penurunan tekanan pada pipa transmisi.*

**Kata kunci :** kualitas uap, tekanan, temperatur, kepala sumur

## Pendahuluan

Energi panas bumi, diharapkan menjadi pengganti bahan bakar fosil yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Di Jawa Barat terdapat sumber energi geothermal dalam jumlah yang sangat besar dengan kualitas uap yang sangat baik, bahkan ditingkat dunia dicirikan dengan tekanan 37 kg/cm<sup>2</sup> dan temperatur sekitar 250°C. Mulai awal tahun 1980an telah beroperasi pembangkit listrik panas bumi di wilayah Jawa Barat. Saat ini terdapat beberapa pembangkit seperti PGE Kamojang, Indonesian Power, Chevron, Star Energy, dll. Daya total yang dihasilkan sudah diatas 1300 MW.

Di salah satu pembangkit di Jawa Barat pipa transmisi PL-403 memasok uap kering ke turbin yang dikumpulkan dari 4 kluster terdiri dari 10 sumur. Pada saat ini tekanannya bervariasi antara 8,2 kg/cm<sup>2</sup> sampai 12,7 kg/cm<sup>2</sup> dengan energi thermal bervariasi dari 18,47 kalorisampai 30,06 kalori. Debit uap bervariasi antara 12,16 ton/jam sampai 59,9 ton/jam. Setelah beroperasi sekitar lebih dari 25 tahun terjadi penurunan tekanan, temperatur dan debit yang cukup signifikan. Sementara parameter operasi yang harus dipenuhi dari uap yang keluar harus memiliki tekanan minimal 6,5 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu superheat 169°C untuk menghasilkan suhu saturasi diatas 167,8°C.

Dengan melihat trend penurunan tekanan dan temperatur, dalam beberapa tahun mendatang diperkirakan akan dicapai tekanan di bawah batas yang diinginkan. Ditinjau dari nilai enthalpi, penurunan tersebut berdampak pada menurunnya kWh yang dihasilkan. Ditinjau dari kualitas uap, penurunan tekanan dan temperatur memungkinkan tercapainya *dew point* temperatur saat terjadi pengembunan yang menunjukkan kualitas uap menurun (<1) [1]. Hal ini akan mengakibatkan korosi pada turbin. Oleh karena itu perlu diantisipasi dari awal agar tidak membahayakan

kelangsungan beroperasinya pembangkit geothermal tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Memprediksi penurunan enthalpi dan kualitas uap sebagai fungsi waktu akibat perubahan tekanan dan temperatur dari kepala sumur.
2. Menghitung penurunan tekanan ketika uap ditransmisikan sampai ke turbin.
3. Memberikan rekomendasi untuk menghambat laju penurunan tekanan uap.

Untuk menghitung kualitas uap digunakan persamaan di bawah ini dan dibantu oleh tabel air jenuh dan tabel *superheated* [1].

Enthalpi uap dihitung berdasarkan persamaan

$$h = u + pv \quad \dots (1)$$

Dengan  $h$  : enthalpi spesifik,  $u$ : energi dalam spesifik,  $v$ : volume spesifik dan  $p$ : tekanan. Kualitas uap (*dryness*)

$$x = \frac{m_{uap}}{m_{air} + m_{uap}} \quad \dots (2)$$

Enthalpi spesifik untuk campuran cair-uap:

$$h = (1 - x)h_f + xh_g \quad \dots (3)$$

Dengan  $h_f$  Enthalpi spesifik air jenuh dan  $h_g$  entalpi spesifik uap jenuh.

Untuk menghitung penurunan tekanan pada PL-403 digunakan persamaan General Flow Equation (4) dan Weymouth (5) dengan memperhitungkan besaran tekanan, panjang, diameter dan kekasaran pipa, temperatur serta elevasi [2].

$$Q = 88,77F \left( \frac{T_b}{P_1} \right) \left( \frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f L_e Z} \right)^{0,85} D^{2,667} \dots (4)$$

$$Q = 433,5F \left( \frac{T_b}{P_1} \right) \left( \frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f L_e Z} \right)^{0,85} D^{4,667} \dots (5)$$

Dengan  $Q$ : debit,  $F$ : faktor transmisi yang merepresentasikan faktor friksi,  $E$ : efisiensi pipa,  $T_b$ : temperatur dasar,  $P_b$ : tekanan dasar,  $P_1$ : tekanan masuk,  $P_2$ : tekanan keluar,  $s$ : perbedaan elevasi,  $G$ : spesifik gravitasi,  $T_f$ : temperatur fluida,  $L_e$ : panjang pipa  $Z$ :

nilai kompresibilitas, D: diameter dalam pipa. Dihitung juga penurunan tekanan akibat bentuk dan *junction* pipadengan persamaan [3] :

$$H_L = K \frac{V^2}{2g} \quad \dots (6)$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L \quad \dots (7)$$

Dengan  $H_L$ : head loss akibat bentuk dan *junction*, K: koefisien resistensi, g: gravitasi,  $\gamma$ : berat spesifik air, V: laju aliran. Sedangkan tekanan akhir ( $P_2$ ) diperoleh dari persamaan 5.

Disimulasikan pula efek turbulensi pada T *junction* dan Y *junction* yang mengurangi nilai tekanan akibat efek turbulensi dengan program fluent. Disimulasikan pula penurunan tekanan akibat T *junction* dan Y *junction*, sehingga tampak perbedaannya [4].

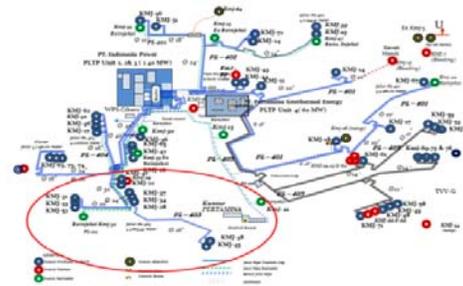
**Metode Penelitian**

Untuk memulai penelitian ini perlu dilakukan review terhadap dokumen dan data pendukung pekerjaan [5] dengan tujuan untuk mengetahui perkembangan pembangkit listrik. Selanjutnya dilakukan pengambilan data lapangan. Berdasarkan data lapangan tersebut dilakukan perhitungan dan analisa penurunan tekanan pada pipa transmisi yang disebabkan oleh panjang pipa, friksi, elevasi, dan *junction*. Khusus untuk *junction* dilakukan simulasi model aliran pada *junction*. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisa penurunan tekanan dan temperatur pada kepala sumur dan pengaruhnya terhadap enthalpi dan kualitas uap. Berdasarkan analisa yang dilakukan diperoleh kesimpulan dan rekomendasi.

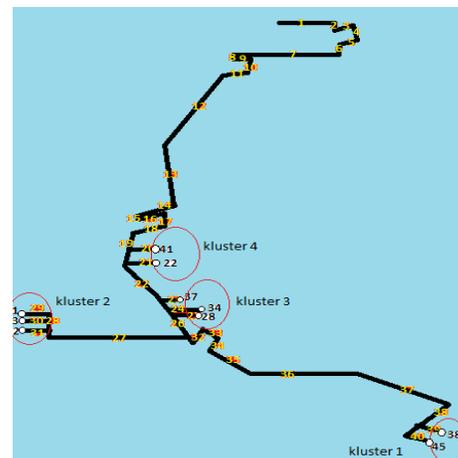
**Peta Lokasi**

Gambar 1 adalah peta lokasi dari PLTP di Jawa Barat. Penelitian dilakukan hanya pada PL-403 yang berada daerah elips yang diasumsikan

mewakili ke empat PL lainnya. Gambar 2 adalah rute pipa transmisi PL-403, terdiri dari 4 kluster dengan 10 sumur. Kluster 1 memiliki 2 sumur, kluster 2 memiliki 3 sumur, kluster 3 memiliki 3 sumur dan kluster 4 memiliki 2 sumur. Nomor pada Gambar 2 menyatakan segmen pipa lurus yang berjumlah 40 buah yang diperlukan untuk perhitungan penurunan tekanan



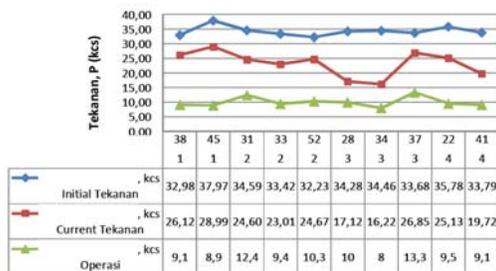
Gambar 1. Peta lokasi sumur pada PLTP di Jawa Barat



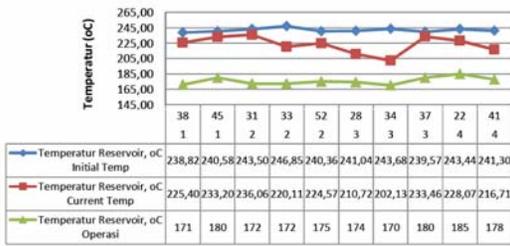
Gambar 2. Peta lokasi PL-403 pada PLTP di Jawa Barat

Pada grafik 1 dan 2 terlihat terjadi penurunan tekanan dan temperatur yang signifikan dari kepala sumur selama 30 tahun operasi pada kluster 1. Untuk kluster 2, 3 dan 4 perilaku penurunan tekanan uap dan temperatur hampir serupa sehingga perhitungannya cukup diwakili oleh kluster 1.

Uap yang keluar dari kepala sumur, tekanannya harus diturunkan sampai tekanan yang ditentukan demikian pula untuk temperaturnya.



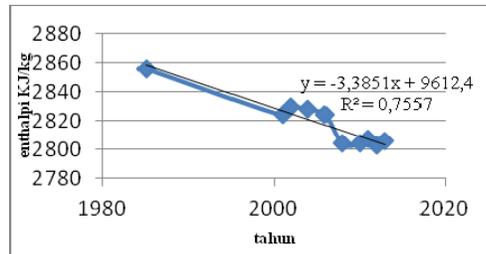
Gambar 3. Profil tekanan PL-403



Grafik 4. Profil temperatur PL-403

Pada grafik 3, terlihat profil tekanan PL-403 terjadi penurunan tekanan dari awal operasi sampai sekarang. Tekanan operasi yang digunakan masih jauh dibawah dari tekanan kepala sumur pada saat ini. Sehingga penurunan tekanan belum berpengaruh terhadap kinerja turbin sampai beberapa puluh tahun yang akan datang. Demikian pula untuk penurunan temperatur yang dapat dilihat pada grafik 4. Temperatur operasi masih jauh dibawah dari temperatur dari kepala sumur saat ini. Hal ini mengindikasikan bahwa tekanan dan temperatur masih dalam keadaan aman karena tekanan dan temperatur dari kepala sumur tidak mendekati tekanan dan temperatur operasi.

### Hasil perhitungan penurunan enthalpi dari kepala sumur



Grafik 4. Penurunan enthalpi kepala sumur

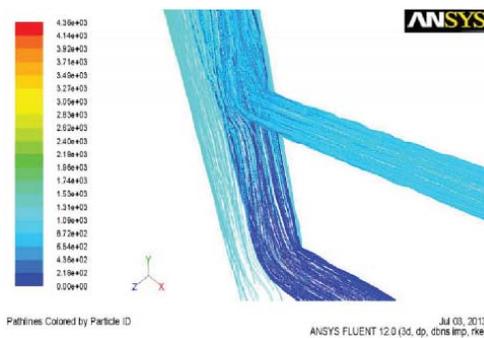
Penurunan enthalpi pada kepala sumur selama 30 tahun sekitar 50 kJ/kg [6] atau 1,75%. Penurunan ini sangat kecil untuk jangka waktu yang cukup lama. Uap dari kepala sumur masih dalam kondisi diatas saturasi (*superheat*) sekalipun terjadi penurunan tekanan karena temperatur kepala sumur selalu berada diatas temperatur saturasinya.

### Hasil perhitungan penurunan tekanan pada pipa transmisi

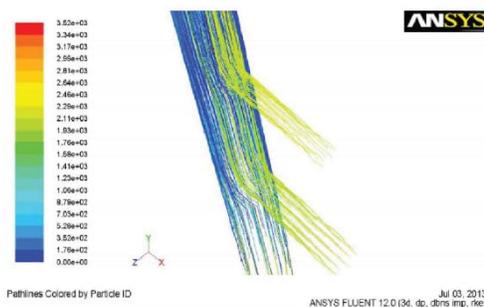
Penurunan tekanan uap ketika mengalir dari kepala sumur ke turbin disebabkan oleh panjang pipa, faktor friksi, elevasi dan *junction*. Panjang pipa transmisi sekitar 5km, elevasinya sekitar 4 derajat, pipa terdiri dari 40 segmen, dengan diameter 10,12,14,16, dan 24 inci dengan diameter pipa utama 18, 24, 32 dan 40 inci. Fluida geothermal didominasi oleh uap air dan mengandung sedikit *non-condensable* gas dan partikulat silika. Spesifik gravitasi dari fluida sebesar 0,6218. Penurunan tekanan akibat efek friksi dihitung dengan General Flow Equation (4) diperoleh penurunan tekanan  $\Delta P$  0,0117kg/cm<sup>2</sup>. Akibat efek elevasi dan *junction* dihitung dengan persamaan Weymouth (5) didapatkan  $\Delta P = 1,2755$ kg/cm<sup>2</sup>. Dengan total penurunan tekanan sebesar 1,2872kg/cm<sup>2</sup> atau setara dengan 1,2508 bar atau 16,1% dari tekanan semula sebesar 7,9kg/cm<sup>2</sup>. Tekanan ketika sampai di turbin adalah

6,7 kg/cm<sup>2</sup>. Terlihat faktor elevasi dan *junction* lebih dominan dibandingkan dengan faktor friksi. Berdasarkan standar tekanan operasi pada turbin, minimal memiliki tekanan 6,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Penurunan tekanan sebesar 16,1% telah mendekati nilai batas minimum tekanan yang diizinkan. Dari sejumlah faktor yang mempengaruhi penurunan tekanan yang dapat diupayakan untuk meminimasi penurunan adalah dari efek *junction*. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan software fluent untuk membandingkan efek penurunan tekanan dari T *junction* dan Y *junction*. Hasil dari simulasi pola aliran uap dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Untuk T *junction* (Gambar 3) pola aliran pada daerah pertemuan, mengalami turbulensi, mengindikasikan terjadinya penurunan tekanan akibat sejumlah energi yang dikonversi menjadi energi turbulensi. Sedangkan pada Gambar 4, pola aliran lebih teratur, tidak teramati adanya turbulensi.

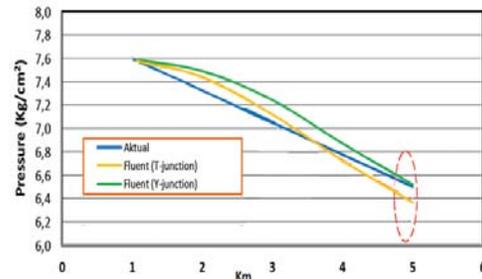


Gambar 3. Pola aliran pada T *junction*



Gambar 4. Pola aliran pada Y *junction*

Pada Gambar 5 terlihat penurunan tekanan pada T *junction* lebih besar dibandingkan dengan Y *junction* di km 5. Terdapat selisih sekitar 0,35kg/cm<sup>2</sup>. Selisih ini cukup berarti sehingga jika T *junction* yang selama ini terpasang diganti oleh Y *junction*, penurunan tekanan dapat direduksi.



Gambar 5. Perbandingan pressure drop untuk T dan Y *junction*

### Kesimpulan

Penurunan enthalpi kepala sumur selama perioda 30 tahun sebesar 1,75% dari nilai asalnya. Nilai ini relatif kecil yaitu 1,67 kJ per tahun. Kualitas uap yang keluar dari kepala sumur tidak berubah sekalipun terjadi penurunan tekanan.

Penurunan tekanan pada pipa transmisi sebesar 16,1% yaitu 1,2 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai ini cukup besar dan diperlukan upaya untuk memperkecil penurunan tekanan agar tidak mencapai nilai minimum yang diizinkan yaitu 6,5 kg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil simulasi dengan software fluent upaya memperkecil dapat dilakukan dengan cara mengganti T *junction* menjadi Y *junction*.

### Ucapan Terima Kasih

Kepada direktur PLTP terkait kami mengucapkan terimakasih atas diberikan kesempatan untuk mengambil data sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Demikian pula kepada direktur PT. AT Solusi yang memberikan bantuan berupa peralatan dan link sehingga tim kami dapat terhubung dengan PLTP terkait.

**Daftar Pustaka**

- [1] Moran, Michael J. and Howard N. Shapiro. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. United State: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Menon, E. Sashi. 2005. *Gas Pipeline Hydraulics*. New York: Taylor and Francis Group.
- [3] Munson, Bruce R and Donald F. Young. 2002. *Fundamental of Fluid Mechanics* fourth edition. United State: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] FLUENT ANSYS (2012), *User's Manual*.
- [5] Laporan Pemeriksaan Teknis Dalam Rangka Memperoleh Sertifikasi Kelayakan Penggunaan Peralatan (SKKP) Dari Dirjen EBTKE, untuk Resertifikasi Pipa Penyalur PL-403 di Jawa Barat.2012.
- [6] Steam Thermodynamics Calculator, <http://www.spiraxsarco.com>, diakses pada tanggal 7 Juli 2013.