

Data Produksi untuk Analisis Penurunan Produksi Uap

¹⁾M.Th. Kristiati E.A¹⁾, Eko Widhi P²⁾, Gilang A.S³⁾

^{1,2,3)} Staf Pengajar Prodi Teknik Perminyakan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Corresponding author email: kristiati_ea@upnyk.ac.id

Abstrak

Saat ini, lapangan panasbumi “PPL” menghasilkan listrik 56.2 MWe, dari unit 1 sejak 2014 dan nilai ini akan diupayakan untuk mencapai 60 MWe. Usaha yang dilakukan, dengan melakukan optimasi peralatan produksi, sehingga akan meminimalisir terbentuknya kondensat di sepanjang pipa produksi, akibat penurunan tekanan dan temperatur. Total produksi uap semula terproduksi dari setiap sumur adalah 370,175 ton/jam, akan tetapi saat ini berkurang menjadi 365,175 ton/jam. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kebocoran pipa scaling, serta terbentuknya kondensat berlebih yang menyebabkan produksi pembangkit listrik hanya menghasilkan 56,2 MWe. Dalam menghitung kehilangan tekanan dan temperatur pada pipa digunakan simulator. Sedangkan pengambilan data adalah pembacaan langsung alat di lapangan dan data *civil construction* untuk rute dan spesifikasi pipa. Data dimasukan kedalam simulator untuk melakukan kalibrasi pada satu segmen pipa. Dilanjutkan uji validasi hingga persentase kesalahan <10, dilanjutkan dengan membuat model jaringan pipa lapangan. Langkah terakhir adalah penentuan nilai P_{wh} optimum, penurunan *exergy* serta penurunan enthalpi setiap segmen pipa *main line*, sehingga dapat ditentukan kehilangan *exergy* dan enthalpi terbesar, dan diketahui faktor-faktor penyebab menurunnya suplai uap menuju turbin.

Kata Kunci: panasbumi, produksi optimum, *exergy*, enthalpi

Abstract

At present, PPL Geothermal Field generates 56.2 MWe of electricity, from Unit 1 since 2014 and this value will be sought to reach 60 MWe. Efforts are made, by optimizing production equipment, so that it will minimize the formation of condensate along the production pipe, due to a decrease in pressure and temperature. The total steam production originally produced from each well is 370,175 tons / hour, but now it will be reduced to 365,175 tons / hour. This can be caused by several factors, including scaling pipe leaks, as well as the formation of excess condensate which causes the production of power plants to only produce 56.2 MWe. In calculating the pressure and temperature loss in the pipe used a simulator. While data collection is the direct reading of tools in the field and civil construction data for route and pipeline specifications. Data is entered into the simulator to calibrate one pipe segment. The validation test continues until the percentage of errors <10, followed by making a model of the pipeline network. Finally, determining the optimum P_{wh} value, decreasing the energy and decreasing the enthalpy of each main line pipe segment, so that the largest energy and enthalpy loss can be determined, and the factors causing the decrease in the supply of steam to the turbine can be determined.

Keyword : *geothermal, optimization production, exergy, enthalpy*

I. Pendahuluan

Lapangan panasbumi “PPL” memiliki sistem *reservoir* dominasi uap, sistem panasbumi ini sumur-sumurnya memproduksi uap kering atau uap basah. Kandungan uap dari sumur-sumur produksi lapangan secara umum memiliki kandungan Cl, SiO₂, Fe, Ca, Mg, dan SO₄. Fluida yang terproduksi tidak hanya uap murni, tetapi terdapat zat-zat lain (*impurities*) yang ikut terproduksi dari dalam sumur. Zat-zat lain ini yang perlu dipertimbangkan dalam simulator. Adapun data komposisi fluida yang terproduksi dari lapangan panasbumi “PPL” dapat dilihat pada Tabel 1.

Lapangan “PPL” dioperasikan sejak 2014 dengan kapasitas 1x55 MW pada tahun 2014. Lapangan mengalami *decline rate* sebesar 5% per

tahun, nilai cukup besar dibandingkan dengan lapangan lain dengan sistem yang sama. Terdapat delapan sumur uap aktif dengan satu sumur injeksi

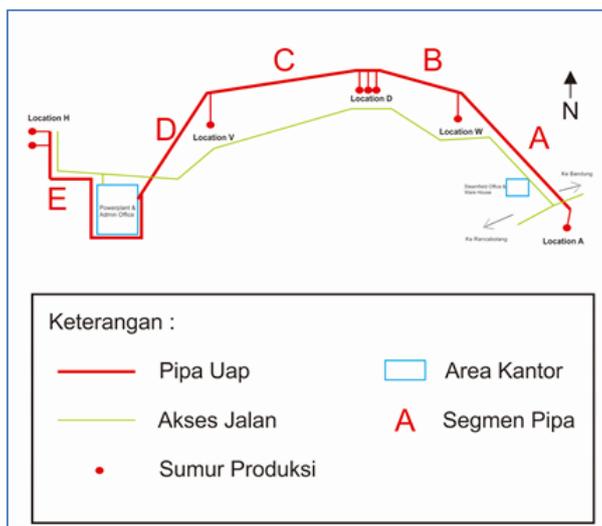
Untuk memudahkan proses simulasi dan mendapatkan hasil simulasi yang akurat, maka pipa produksi utama (*main line*) di bagi dalam beberapa segmen pipa. Untuk pipa yang terdapat di dalam area *well pad* digunakan nama sumur. Sedangkan *main line* secara umum dibagi kedalam lima segmen utama dari A hingga E ditunjukkan gambar 1, dengan data pembagian segmen seperti pada tabel 2.

Data Produksi untuk Analisis Penurunan Produksi Uap

Tabel 1. Data Komposisi Fluida

Nama Sumur	pH	Cl		SiO ₂		Fe	
		(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)
PPL#01	4,18	0,2	0,00002	0,037	0,0000037	0,01	0,000001
PPL#05	4,3	0,3	0,00003	0,023	0,0000023	0	0
PPL#03B	4,25	0	0	0,034	0,0000034	0,01	0,000001
PPL#03A	4,15	0,1	0,00001	0,06	0,000006	0,43	0,000043
PPL#03	4,22	0,2	0,00002	0,031	0,0000031	0	0
PPL#07	4,38	0,1	0,00001	0,02	0,000002	0	0
PPL#02	4,29	0	0	0,052	0,0000052	0,01	0,000001
PPL#02A	4,26	0,1	0,00001	0,029	0,0000029	0,01	0,000001

Nama Sumur	Ca		Mg		SO ₄		Water Steam
	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(%)
PPL#01	0,76	0,000076	0,11	0,000011	0	0	99,999888300
PPL#05	0,64	0,000064	0,15	0,000015	0	0	99,999888700
PPL#03B	0,39	0,000039	0,12	0,000012	0	0	99,999944600
PPL#03A	0,18	0,000018	0,07	0,000007	4	0,0004	99,999916000
PPL#03	0,41	0,000041	0,12	0,000012	0	0	99,999923900
PPL#07	0,28	0,000028	0,17	0,000017	0	0	99,999943000
PPL#02	0,43	0,000043	0,1	0,00001	0	0	99,9999408
PPL#02A	0,6	0,00006	0,16	0,000016	0	0	99,9999101



Gambar 1. Layout Pipa Utama Lapangan PPL

Tabel 2. Data Sumur Lapangan PPL

Nama Sumur	WHP (bar)	M (t/h)	T (deg C)
PPL#01	9,72	63,14	181
PPL#05	9,2	22,29	189
PPL#03B	8,5	80,54	182
PPL#03A	8,5	20,61	174
PPL#03	8,5	56,23	182
PPL#07	9,79	36,42	184
PPL#02	8,1	41,97	174
PPL#02A	8,2	48,97	174

Tabel 3. Pembagian Segmen Pipa

Segmen	Equivalent Length (m)
A	1138.709
B	645.204
C	1261.501
D	750.8892
E	1133.457
ML-END	30
PPL#01	31.18078
PPL#05	31.18078
PPL#03B	31.18078
PPL#03A	31.18078
PPL#03	31.18078
PPL#07	31.18078
PPL#02	30.3975
PPL#02A	30.3975

II. Metodologi

2.1. Uji Validasi

Sebelum melakukan simulasi secara keseluruhan, perlu dilakukan kalibrasi simulator, dengan mengambil satu segmen pipa yang terdapat data di titik awal dan di titik akhir untuk kemudian di simulasikan. Dalam proses kalibrasi ini, digunakan segmen pipa *S-Bend* PPL-01 yang

memiliki panjang ekuivalen sebesar 31,180775 meter dengan data tekanan dan temperatur sebagai berikut:

Data Produksi untuk Analisis Penurunan Produksi Uap

Tabel 4. Data Tekanan dan Temperatur Lapangan panasbumi “PPL”

	Titik Awal	Titik Akhir
P, bar	9,72	9,55
T, °C	?	181

Berdasarkan data Tabel 4 serta data komposisi fluida, dilakukan uji validasi dengan cara *trial & error*. Untuk mendapatkan nilai keluaran mendekati dengan angka 9,55 bar, dengan mengubah harga kekasaran pipa (*roughness*). Dari *trial & error* diperoleh harga kekasaran pipa pada segmen ini sebesar 0,04446 ft dengan nilai tekanan keluar sebesar 9,549 bar. Nilai ini dinyatakan valid karena nilai persentase kesalahan kurang dari 10%.

Uji validasi juga dilakukan terhadap temperatur. Dan sebelum uji validasi ini, terdahulu dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_o). Kemudian dilakukan *trial & error* dengan cara memasukan nilai di titik awal sedemikian hingga hasil simulasi di titik akhir mendekati dengan 181 °C. Dengan mengubah temperatur di titik masuk, maka diperoleh temperatur masuk adalah sebesar 181,461 °C dengan temperatur di titik akhir sebesar 180,97 °C. Nilai ini juga valid karena kesalahan <10%.

2.2. Proses Simulasi

Setelah diketahui harga koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_o), selanjutnya dilakukan simulasi. Diawali dengan mengisi komponen, membuat *block* atau *flow process* dari lapangan panasbumi PPL, mengisi komponen, dilanjutkan dengan mengisi parameter yang diperlukan dan melakukan simulasi. Bila diketahui nilai rujukan atau nilai titik keluar berupa parameter tekanan maupun temperatur, maka prosesnya dapat dilakukan seperti uji validasi ditunjukkan pada tabel 3., diimana nilai akhir dari segmen pipa harus memiliki persentase kesalahan maksimum sebesar 10%.

Setelah melakukan simulasi dengan simulator, dapat diketahui besarnya kehilangan tekanan

dari ujung Timur *main line* hingga ke ujung Barat sebelum masuk ke *tee* yang membawa fluida dari wilayah produksi di sebelah Barat. Besarnya kehilangan tekanan di dalam berbagai macam segmen pipa dapat dilihat pada Tabel 5.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Exergy

Untuk mendapatkan gambaran seberapa besar kehilangan energi di sepanjang peralatan produksi, maka dilakukan analisa dengan menggunakan konsep *exergy*.

Data Air Properties Pada $T = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{Enthalpy} = 291,54 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Entropy} = 6,84 \text{ kJ/kg.K}$$

Dengan menggunakan data diatas dan dihitung menggunakan

$$Ex = W(h_i - h_o) - T_o(s_i - s_o)$$

didapatkan nilai *exergy* pada setiap kepala sumur ditunjukkan pada tabel 6.

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa total *exergy* dari seluruh sumur adalah sebesar 232,4722 MW_t. Berdasarkan tabel terlihat bahwa sumur PPL-03B memiliki *exergy* yang paling besar sekaligus memiliki laju alir yang terbesar pula. Dapat diinterpretasikan bahwa besarnya *exergy* adalah berbanding lurus dengan besarnya laju alir. Selain menentukan besarnya *exergy* di kepala sumur, dilakukan juga penentuan besarnya *exergy* di titik-titik (*node*) setiap akhir segmen pipa *main line*. Adapun besarnya nilai *exergy* di setiap segmen pipa disajikan dalam tabel dibawah ini: Penurunan *exergy* terbesar terjadi pada segmen pipa C yang memiliki nilai penurunan sebesar 0,6263768 MW_t. Nilai tersebut merupakan penurunan terbesar jika dibandingkan dengan segmen pipa lainnya. Penurunan *exergy* pada segmen pipa A dan B misalnya, yang memiliki nilai penurunan sebesar 0,1410116 MW_t dan 0,2352159 MW_t. Sedangkan pada segmen D dan E memiliki nilai penurunan *exergy* sebesar 0,2854607 MW_t dan 0,1320922 MW_t.

Tabel 5. Hasil Simulasi

Segmen	L_{eq} (m)	P_{in} (bar)	P_{out} (bar)	ΔP (bar)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	ΔT (°C)	P_{real} (bar)	% Error
A	1138,709	8,585	8,400	0,185	180,472	179,780	0,692	8,5	0,994
B	645,204	8,400	8,100	0,300	181,579	180,914	0,665	8,4	0,006
C	1261,501	8,100	7,950	0,150	180,671	180,171	0,500	8,1	0,000
D	750,889	7,950	7,806	0,144	180,234	179,840	0,395	8	0,628
E	1133,457	8,100	8,035	0,065	175,891	175,582	0,308	-	-
ML-END	30,000	7,806	7,800	0,006	178,867	178,859	0,008	7,8	0,003
PPL#01	31,181	9,720	9,550	0,170	181,000	180,512	0,488	9,55	0,001
PPL#05	31,181	9,239	9,230	0,009	189,000	188,976	0,024	-	-
PPL#03B	31,181	8,549	8,423	0,127	182,000	181,642	0,358	-	-
PPL#03A	31,181	8,549	8,549	0,000	174,001	174,000	0,001	-	-
PPL#03	31,181	8,549	8,411	0,139	182,000	181,609	0,391	-	-
PPL#07	31,181	9,791	9,740	0,051	184,000	183,859	0,141	-	-
PPL#02	30,398	8,102	7,926	0,176	175,930	175,102	0,828	-	-
PPL#02A	30,398	8,206	8,204	0,002	175,001	175,000	0,001	-	-

Tabel 6. Nilai Exergy di Kepala Sumur

Nama Sumur	<i>Mass Flow</i> (kg/s)	T (°C)	<i>Enthalpy</i> (kJ/kg)	<i>Entropy</i> (kJ/kg.K)	<i>Exergy</i> (Mwt)
PPL#01	15,91128	181	2778,0858	6,5761451	39,640908
PPL#05	5,61708	189	2784,5603	6,5136961	14,098449
PPL#03B	20,29608	182	2778,9397	6,568247	50,563544
PPL#03A	5,19372	174	2771,7657	6,6322308	12,942058
PPL#03	14,16996	182	2778,9397	6,568247	35,325435
PPL#07	9,17784	184	2780,6099	6,5525319	22,927938
PPL#02	10,57644	174	2771,7657	6,6322308	26,292419
PPL#02A	12,34044	175	2772,7045	6,6241297	30,68148

Data Produksi untuk Analisis Penurunan Produksi Uap

Tabel 7. Nilai *Exergy* Pada Akhir Segmen *Main Line*

Node	<i>M</i> (kg/s)	<i>T</i> (°C)	<i>Enthalpy</i> (kJ/kg)	<i>Entropy</i> (kJ/kg.K)	<i>Exergy</i> (Mwt)	$\Delta Exergy$ (Mwt)
Akhir Segmen A	15,879	177	2774,74	6,60630	39,499896	0,1410116
Akhir Segmen B	21,475	176	2773,47	6,61745	53,36313	0,2352159
Akhir Segmen C	61,054	175	2773,04	6,62124	151,56779	0,6263768
Akhir Segmen D	70,204	174	2772,15	6,62895	174,21027	0,2854607
Akhir Segmen E	22,888	175	2772,36	6,62712	56,841807	0,1320922

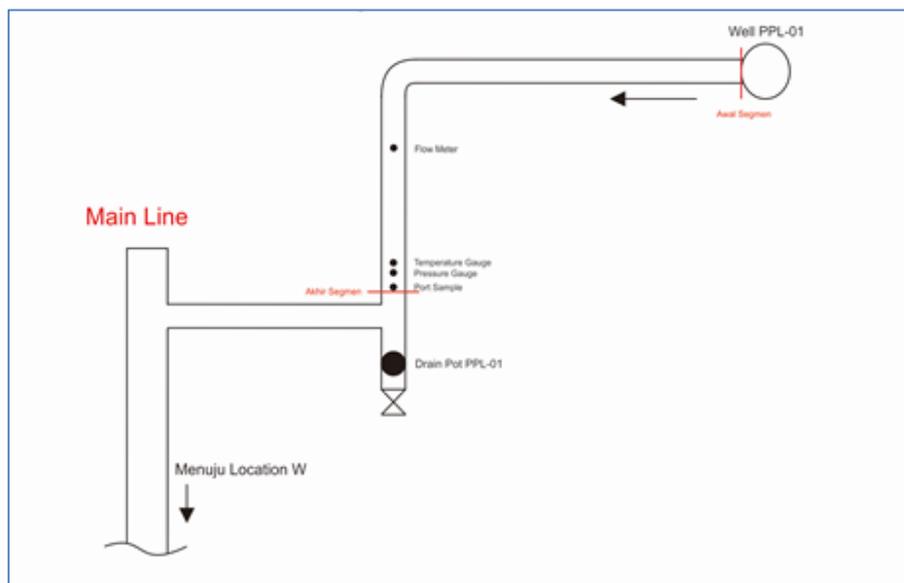
3.2. Analisa *Enthalpy*

Selain dengan metode *exergy*, untuk mengetahui seberapa besar energi yang hilang di peralatan produksi adalah dengan cara menganalisa nilai *enthalpy* dari peralatan produksi, dalam penelitian ini adalah *drain pot*. *Drain pot* digunakan untuk membuang kondensat yang terbentuk akibat dari penurunan tekanan dan temperatur di dalam pipa. Kondensat yang terbentuk di dalam pipa apabila tidak dibuang akan mengakibatkan penurunan nilai *enthalpy*.

Untuk melakukan analisa ini, nilai *enthalpy* yang didapatkan dari hasil simulasi dicatat kemudian diplot dalam diagram dengan sumbu-*x*

adalah jarak, dan sumbu-*y* adalah nilai *enthalpy*. Berdasarkan diagram ini, dapat dianalisa dimana letak penurunan *enthalpy* paling besar. Maka, apabila terjadi penurunan nilai *enthalpy* yang cukup besar, dapat disebabkan oleh jarak antar *drain pot* yang terlalu jauh atau diperlukan penambahan *drain pot* di antara zona tersebut.

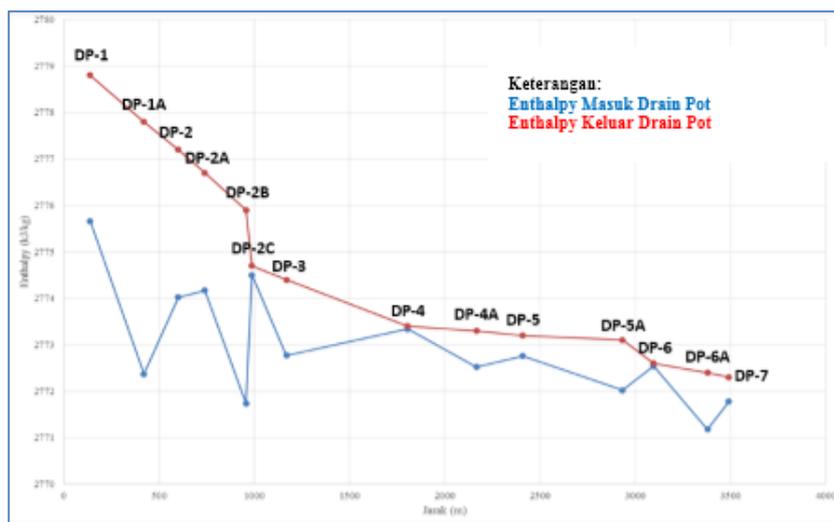
Pada analisa ini, terdapat dua sumber data yang digunakan, yakni hasil simulasi dengan menggunakan *simulator*. Diagram *enthalpy* vs jarak area produksi Timur Lapangan dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Skematik Segmen Pipa PPL#01

Berdasarkan gambar 3 dapat diinterpretasikan bahwa pada wilayah Timur Lapangan Panasbumi Patuha penurunan entalpi terbesar terjadi pada segmen pipa antara DP-1 menuju DP-1A. Pada segmen pipa tersebut mengalami penurunan entalpi paling besar dari 2778,8 kJ/kg hingga menjadi 2772,37 kJ/kg.

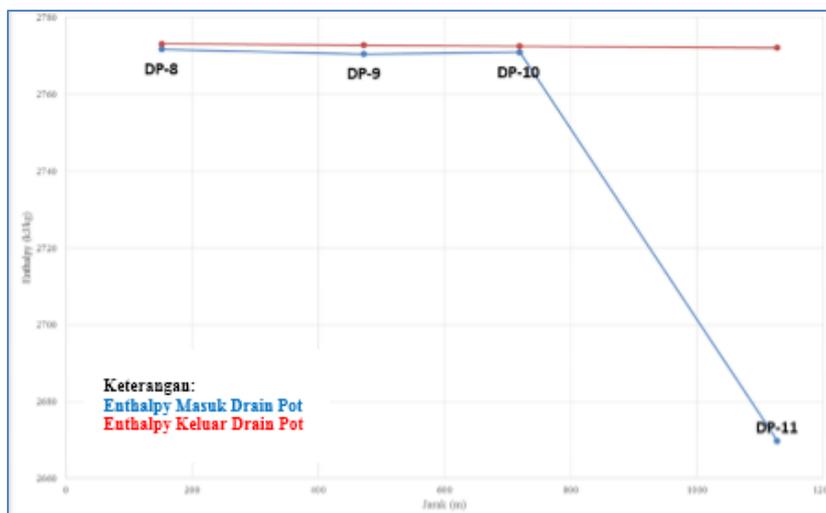
Sehingga pada segmen ini terindikasi terjadi pembentukan kondensat yang paling banyak diantara segmen antar *drain pot* lainnya. Pembentukan kondensat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan entalpi yang cukup besar.



Gambar 3. Enthalpy vs Jarak Area Timur

Sedangkan grafik *enthalpy* vs jarak untuk area produksi di wilayah Barat, berturut-turut DP-8,

DP-9, DP-10, dan DP-11 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Enthalpy vs Jarak Area Barat

Data Produksi untuk Analisis Penurunan Produksi Uap

Berdasarkan grafik diatas dapat diinterpretasikan bahwa pada segmen pipa di Area Barat Lapangan Panasbumi Patuha terjadi penurunan terbesar pada segmen pipa antara *drain pot* DP-10 dan DP-11. Entalpi yang keluar dari DP-10 memiliki nilai 2772,5 kJ/kg turun menjadi 2669,73 kJ/kg saat masuk di DP-1. Selain itu, pada Area Produksi Barat ini penurunan entalpi dari DP-8 hingga DP-10 tidak terlalu signifikan. Sehingga disarankan pada pipa produksi Area Barat untuk dilakukan penambahan ketebalan insulasi pipa pada segmen antara DP-10 hingga DP-11 untuk mengurangi pembentukan kondensat yang dapat menyebabkan penurunan entalpi.

Pada seluruh grafik hasil analisa *enthalpy*, titik berwarna biru adalah *enthalpy* yang masuk ke dalam *drain pot*, sedangkan titik berwarna merah adalah *enthalpy* yang keluar dari *drain pot*.

3.3. Penentuan Tekanan Kepala Sumur

Optimum

Setelah melakukan serangkaian proses simulasi yang diawali terlebih dahulu dengan uji validasi, selanjutnya menganalisa hasil simulasi. Tekanan kepala sumur optimum yang mampu untuk mengimbangi kehilangan tekanan di sepanjang jaringan pipa utama, dinyatakan pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 8. Tekanan Kepala Sumur Optimum Berdasarkan Simulator

Nama Sumur	P_{turbin} (bar)	ΔP_{pipa} (bar)	ΔP_{trim} (bar)	$P_{\text{whoptimum}}$ (bar)	$P_{\text{whsimulasi}}$ (bar)
PPL#01	7,8	0,9548	0,9652	8,7548	9,72
PPL#05		0,6088	0,8212	8,4088	9,23
PPL#03B		0,4271	0,2729	8,2271	8,5
PPL#03A		0,3003	0,3997	8,1003	8,5
PPL#03		0,4388	0,2612	8,2388	8,5
PPL#07		0,2008	1,7892	8,0008	9,79
PPL#02		0,2405	0,0595	8,0405	8,1
PPL#02A		0,0666	0,3334	7,8666	8,2

Berdasarkan tabel diatas, disajikan pula besarnya kehilangan tekanan pada *trim valve*. Besarnya kehilangan tekanan pada *trim valve* berbeda-beda bergantung kepada besarnya bukaan pada *trim valve* tersebut. Tekanan kepala sumur optimum yang disajikan pada tabel diatas adalah dengan asumsi bahwa *trim valve* dalam kondisi terbuka 100%.

3.4. Faktor Penyebab Berkurangnya Uap

Jumlah uap dari seluruh sumur produksi aktif adalah 370,175 ton/jam. Jumlah uap ini berkurang menjadi 365,175 ton/jam saat memasuki pembangkit. Terdapat kehilangan uap sebesar 5 ton/jam di sepanjang peralatan produksi di permukaan. Peristiwa tersebut diduga terjadi akibat beberapa hal, yakni terjadi kebocoran dalam jaringan pipa produksi, terjadi *scaling* didalam pipa, terakhir dapat disebabkan oleh penurunan tekanan dan temperatur yang mengubah uap menjadi kondensat di dalam pipa.

Untuk membuktikan kebocoran pipa, perlu dilakukan inspeksi di lapangan. Bilamana hal ini terjadi, maka hasil pemodelan dengan data lapangan tidak akan sesuai (*matching*). Hasil *run* simulator menunjukkan bahwa hasil dari *simulator* dan data lapangan sesuai dengan persentase kesalahan <10%, bahkan seluruhnya memiliki nilai persentase kesalahan dibawah 1%. Dengan demikian, dinyatakan penurunan suplai uap tidak disebabkan oleh kebocoran pipa produksi.

Kemungkinan kedua, penurunan suplai uap disebabkan oleh terjadinya *scaling* didalam pipa produksi. Untuk menjawab hipotesa tersebut, maka harus ditinjau komposisi fluida yang mengalir di dalam pipa. Data lapangan menunjukkan, fluida yang mengalir didalam pipa produksi adalah uap dengan kandungan silika terbesar adalah 0,6 ppm. Selain itu, hasil pemodelan dengan simulator tidak terindikasi terjadinya *scaling* didalam pipa.

Terakhir, terjadi penurunan tekanan dan temperatur pada pipa sehingga menyebabkan fasa

uap terkondensasi menjadi kondensat. Kondensat yang terbentuk pada pipa kemudian dibuang menggunakan *drain pot* untuk mencegah penurunan entalpi. Untuk mendapatkan jawaban dari hipotesa ini, maka dilakukan analisa dari hasil pemodelan yang meliputi, penurunan tekanan, temperatur, dan *enthalpy*. Hasil pemodelan menggunakan simulator seperti disajikan pada Tabel 5, dapat dilihat terjadi penurunan tekanan dan temperatur pada seluruh segmen pipa. Penurunan tekanan terbesar terjadi pada segmen pipa B sebesar 0,3 bar sedangkan penurunan temperatur terbesar terjadi pada segmen pipa A dengan nilai penurunan temperatur sebesar 0,692°C. Selain ditinjau dari nilai penurunan tekanan dan temperatur dari hasil pemodelan, dapat juga ditinjau pada penurunan *enthalpy* pada setiap *drain pot*. Berdasarkan Gambar 3, penurunan *enthalpy* terbesar terjadi dari DP-1 menuju DP-1A yang terletak pada segmen pipa A. Berdasarkan fakta-fakta tersebut, dapat dipastikan bahwa penurunan suplai uap yang terjadi pada peralatan produksi Lapangan Panasbumi PPL disebabkan oleh penurunan tekanan.

IV. Kesimpulan

1. Uji validitas parameter tekanan menghasilkan kekasaran pipa 0,04446 ft dengan nilai tekanan keluar sebesar 9,549 bar dari harga actual 9.55 bar. Sedangkan uji validitas parameter temperature, dengan mengubah temperatur di titik masuk, maka diperoleh temperatur masuk adalah sebesar 181,461 °C dengan temperatur di titik akhir sebesar 180,97 °C, mendekati harga actual 181 °C. Nilai keduanya dinyatakan valid karena nilai persentase kesalahan kurang dari 10%.
2. Hasil inspeksi lapangan dan *run* simulator menunjukkan bahwa penurunan suplai uap tidak disebabkan kebocoran pipa, dengan kesalahan hanya 1%.
3. Data lapangan menunjukkan, fluida yang mengalir didalam pipa produksi adalah uap dengan kandungan silika terbesar adalah 0,6 ppm. Selain itu, hasil pemodelan dengan simulator tidak terindikasi terjadinya *scaling* didalam pipa.
4. Terjadi penurunan tekanan dan temperatur pada pipa sehingga menyebabkan fasa uap terkondensasi menjadi kondensat. Kondensat yang terbentuk pada pipa kemudian dibuang menggunakan *drain pot* untuk mencegah penurunan entalpi. Berdasarkan fakta yang ada,

dapat dipastikan bahwa penurunan suplai uap yang terjadi pada peralatan produksi Lapangan Panasbumi PPL disebabkan oleh penurunan tekanan.

V. Daftar Pustaka

- Brown, K.E. and Beggs, H. Dale. 1984. *The Technology of Artificial Lift Methods Volume 1*. PennWell Books, Oklahoma.
- Grant, Malcolm A, Paul F. Bixley. 2011 “*Geothermal Reservoir Engineering 2nd Edition*”. Elsevier, San Fransisco.
- Layman, Erik B., and Soemarinda, Sukusen. 2003. *The Patuha Vapor-Dominated Resource West Java, Indonesia*. Proceedings, 28th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, California.
- Saptadji, Nenny Miryani. 2009. *Teknik Panasbumi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Schotanus, Martijn. 2013. *The Patuha Geothermal System: A Numerical Model of A Vapor-Dominated System*. M.Sc-Thesis. Universiteit Utrecht.
- Sutisna, Gilang Aryandi. 2016. *Dasar-dasar Perpindahan Massa dan Panas di Dalam Pipa Sebagai Dasar Pembuatan Simulator*”. Komprehensif – UPN “Veteran” Yogyakarta.
-, 2014. *As Built Drawing – Civil. Steam Above Ground System*. PT. Geo Dipa Energi. Internal Report.