

Kajian Kehilangan Tekanan dan Temperatur pada Fluida Dua Fasa Lapangan Panas Bumi Dieng

Eko Widi Pramudihadi* dan M. Th. Kristiati. EA

Program Studi Teknik Perminyakan, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. Padjajaran No 104, Condong Catur, Yogyakarta, Indonesia

*E-mail: ewpramudihadi@gmail.com

Abstract

The Dieng Geothermal Field is one of the geothermal fields in Indonesia which is managed by P.T GEODIPA ENERGI, with a power generated by 60 Mwe. The researcher tried to calculate the pressure loss obtained from the Begg and Brill equations and the temperature loss from the law of energy conservation equations, by using two-dimensional mathematical manipulation from Newton Rapson, obtained a simultaneous decrease in pressure and temperature from a particular pipe segment. At Dieng Field, two-phase pipes use 18 – 24" diameters, all pipes are coated with 7.5 cm thick polyurethane insulation, pressure drops range from 1.78 to 8.2 barg and temperature drops between 0 – 1 °C. The distance of the separator to the turbine varies from the farthest distance is 9677 m until the closest distance is 5341 m, with the smallest diameter of 0.6096 m and the largest diameter of 0.9144 m, the thickness of the steam pipe insulation is 7.5 cm with the type of carbonate. At turbine inlet, the pressure drop that occurs ranges from 2-2.20 barg and temperature drop between 9.87-10.87 °C, steam mass of 88.86 kg with a turbine pressure of 9.8 barg and turbine inlet temperature of 177.126 °C.

Keywords: pressure loss, temperature loss, two-phase pipe, single-phase steam pipe

Pendahuluan

Metoda konvensional dalam menghitung kehilangan tekanan dan temperatur, tekanan di iterasi dahulu sampai tercapai toleransi, baru diiterasi ketemperaturnya, sampai temperatur konvergesi, metoda ini dinamakan metoda suptitisi, demikian yang dilaporkan oleh Nenny Miryani Saptadji (1998), Pudjo Sukarno, Leksono Mucharam (2000). Metoda yang dikemukakan disini, penurunan tekanan menggunakan Begg dan Brill (1973) dan profil temperatur dari persamaan konservasi energi dan dengan manipulasi dari newton rapson dua variabel digunakan untuk menghitung penurunan tekanan dan temperatur secara simultan untuk segmen pipa di depannya, perhitungan satu segmen pipa setiap sepuluh meter.

Di Dieng di titik tertentu saja ada manometer (kepala sumur, separator, scrubber), untuk memperkirakan tekanan dan temperatur ditempat lain dapat menggunakan *software*, juga memperkirakan massa uap yang masuk ke turbin walaupun sudah dipasang alat penangkap kondensat (CDP).

Metode Penelitian

Kehilangan Tekanan Aliran dalam Pipa

Metode Kehilangan Tekanan Menurut Beggs-Brill (1973).

Pada metode ini memperhitungkan pola aliran (*segregated*, transisi, *intermittent*, *distributed*), *liquid hold up* dan faktor kemiringan pipa. Persamaan umum penentuan kehilangan tekanan aliran ini adalah :

$$\frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{\frac{g}{g_c} \sin\theta [\rho_L H_L + \rho_G (1 - H_L)] + \frac{f_{tp} G_m V_m}{2 g_c d}}{1 - \frac{[\rho_L H_L + \rho_G (1 - H_L)] V_m V_{sg}}{g_c P}} \quad (1)$$

Beggs dan Brill (1973) mengembangkan korelasi kehilangan tekanan aliran fluida dua fasa dan efek sudut kemiringan pada *liquid hold-up* dalam pipa berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan di laboratorium.

Kehilangan Panas Dalam Pipa

Pada proses transportasi fluida panas bumi dalam pipa alir di permukaan akan terjadi proses kehilangan panas dari dalam pipa menuju ke lingkungan, untuk mengurangi pelepasan panas menuju ke lingkungan, maka pada pipa alir di permukaan selalu dipasang isolasi, kehilangan panas pada pipa tersebut meliputi, kehilangan panas di dalam pipa

(proses konveksi), kehilangan panas melalui penampang pipa (proses konduksi), kehilangan panas melalui isolasi (proses konduksi), kehilangan panas ke lingkungan (proses konveksi).

Kehilangan Panas Total

Kehilangan panas total merupakan proses perambatan panas yang terjadi dari kolom fluida sampai dengan udara luar (lingkungan) atau sama dengan perpindahan panas berdasarkan diameter luar (isolasi), yang dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U_0 A_0 (T_i - T_a) \quad (2)$$

Profil Temperatur

Profil temperatur di peroleh dari persamaan keseimbangan energi (dengan mengabaikan energi potensial) bentuk akhirnya diperoleh:

$$T_2 = T_1 - Q / C_p \quad (3)$$

Simulator PipeSim

Simulator PipeSim memasukkan profil kehilangan tekanan seperti pada Persamaan 1 dan profil temperatur, Persamaan 3. Manipulasi matematik menjadi penurunan tekanan dan temperatur secara serentak dari suatu segmen pipa, menjadi:

$$P_{k+1} = P_k + \frac{V(P_k, T_k) \frac{\partial U(P_k, T_k)}{\partial T} - U(P_k, T_k) \frac{\partial V(P_k, T_k)}{\partial T}}{Det} \quad (4)$$

dan temperatur menjadi:

$$T_{k+1} = T_k + \frac{U(P_k, T_k) \frac{\partial V(P_k, T_k)}{\partial P} - V(P_k, T_k) \frac{\partial U(P_k, T_k)}{\partial P}}{Det} \quad (5)$$

Keterangan: Det, adalah diterminan:

$$Det = \frac{\partial U(P_k, T_k)}{\partial P} \frac{\partial V(P_k, T_k)}{\partial T} - \frac{\partial U(P_k, T_k)}{\partial T} \frac{\partial V(P_k, T_k)}{\partial P} \quad (6)$$

Persamaan Beggs dan Brill (1973) diubah menjadi :

$$U(P, T) = P_1 - P_0 + \frac{\left(\frac{g}{g_c} \sin \theta [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] + \frac{f_{tp} G_m V_m}{2g_c d} \right) \Delta L}{1 - \frac{[\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] V_m V_{sg}}{g_c \bar{P}}} \quad (7)$$

Persamaan profil temperatur diubah, dalam fungsi V(P,T)

$$V(P, T) = T_0 - T_1 - \frac{Q}{MC_p} \quad (8)$$

Perhitungan Catch Pot (alat pembuang kondensat).

Laju alir massa uap sesaat sebelum mencapai peralatan pembuang kondensat dapat diperhitungkan dengan menggunakan rumus :

$$M_v = x M \text{ dan massa kondensat, } M_c = (1 - x)M \quad (9)$$

Massa kondensat yang keluar alat pembuang:

$$M_{c(out)} = (1 - \eta_{cp})(1 - x)M \quad (10)$$

Massa total setelah fluida melalui alat penangkap:

$$M = M_v + M_{c(out)} \quad (11)$$

dryness uap setelah melalui alat pembuang, $x = \frac{M_v}{M}$, sehingga entalpi uap setelah melalui alat pembuang, sifat termodinamika pada persamaan diatas dievaluasi pada temperatur alat pembuang.

$$h = h_f + x(h_g - h_f) \quad (12)$$

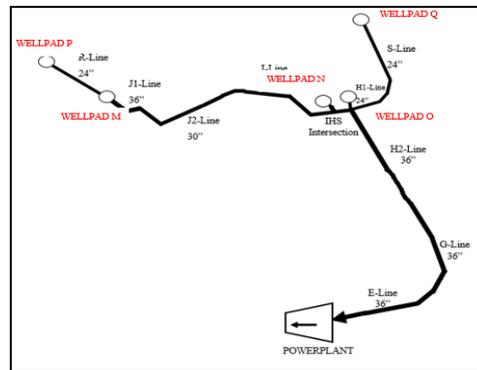
Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Kehilangan Tekanan dan Temperatur.

Uap tersebut dialirkan dengan menggunakan pipa alir (*steam line*) menuju *power plant*, namun dalam perjalanannya menuju unit pembangkit (*power plant*) fluida mengalami kehilangan tekanan dan penurunan temperatur yang akan merubah sifat fisik dari fluida (uap) tersebut, yaitu penurunan tekanan, temperatur, enthalpi serta kualitas uapnya (*dryness*). Untuk menghitung besarnya kehilangan tekanan dan temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan program simulator, salah satunya adalah Simulator Pipa (PipeSim) yang membantu mempercepat perhitungan.

a) Data

Data yang dipakai merupakan data yang diambil dari kelima wellpad yang dirun menggunakan software Pipe-Sim, data tersebut berupa tekanan, temperatur, entalpi fluida. Data mengenai diameter pipa, panjang pipa dan sudut kemiringan rata-rata untuk tiap *line* dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan data produksi dari sumur-sumur produksi pada tiap *wellpad* dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Skema Jaringan Pipa dari Separator ke *Power Plant*

Tabel 1. Data Pipa

Line	Segmen	ID, m	OD, m	Panjang Pipa, m	Inklinasi, °
R	R	0,6096	0,6223	564.25	0,17
J	J1	0,9144	0,9271	268.65	3,21
	J2	0,762	0,7747	782.39	12,21
I	I	0,9144	0,9271	2108.4	2,26
S	S	0,6096	0,6223	1256.3	0
H	HI	0,6096	0,6223	614.68	6,64
HGE	HE	0,9144	0,9271	5340.9	-0,94

Tabel 2. Data Output Sumur Tahun 2019

Sumur Produksi	Laju Alir Dua Fasa, kg/s	Laju Alir Dua Fasa, ton/jam	Laju Alir Uap, kg/s	Laju Alir Uap, ton/jam
29	20,45	81,15	8,18	32,46
7b	20,45	81,15	8,18	32,46
31	66,3	263	26,52	105,23
28a	67,9	269,5	27,16	107,8
30	53,8	221,4	21,25	84,32
Total	228,9	961,2	91,3	362,27

b) Data Aliran Dikepala Sumur Sampai Dengan Separator

Aliran dari kepala sumur merupakan fluida dua fasa yang akan dipisahkan antara uap dan air *brine* di separator, adapun jarak dari kepala sumur sampai dengan separator sepanjang 200 meter. Ketika fluida mengalir dari kepala sumur, tekanannya akan diturunkan dengan melalui *valve* agar tekanan pada saat mencapai separator sesuai dengan

yang telah ditentukan. Pemisahan antara uap dan air dilakukan di separator dua fasa, uap yang terpisah kemudian dialirkan melalui pipa sampai dengan *power plant*, sedangkan air yang terpisah masuk ke dan AFT (*Atmospher Falsh Tank*) dan ditampung di *pond* untuk diinjeksikan kembali ke dalam sumur, untuk Sumur 29 dan 7b menggunakan diameter pipa 0,4572 m, Sumur 30, 28a dan 31 menggunakan diameter 0,6096 m.

c) Data Aliran Dari Separator Sampai Dengan Input Turbin

Data aliran yang dihasilkan merupakan hasil simulasi aliran fluida satu fasa yang keluar separator masing-masing *wellpad* sampai ke *power plant* (Gambar 1). Simulasi dilakukan dengan menghitung penurunan tekanan dan temperatur dari setiap segmen pipa yang dilewati sampai dengan *input turbin*. Data aliran dari kepala sumur sampai separator dan data dari separator sampai input turbin ditabulasikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 3. Data Aliran di Kepala Sumur Sampai dengan Separator

Well	29	7b	31	28a	30
Entalphi di kepala Sumur, kj/kg	2784	2783	2784	2784	2784
Tekanan di kepala sumur, barg	13,78	19	18,47	18,4	20
Temperatur di Kepala Sumur, deg C	189	189	189	188	188
Entalphi di Separator, kj/kg	2779,96	2778,97	2781,95	2781,24	2781,52
Tekanan di Separator, barg	12	12	11,8	11,8	11,8
Temperatur di Separator, deg C	188	188	188	187	187

Tabel 4. Data Aliran dari Separator Sampai dengan Input Turbin

Well	29	7B	31	28a	30
Entalphi di Separator, kj/kg	2779,96	2778,97	2781,95	2781,24	2781,52
Tekanan di Separator, barg	12	12	11,8	11,8	11,8
Temperatur di Separator, deg C	188	188	188	187	187
Entalphi input turbin, kj/kg	2718,23	2718,23	2718,23	2718,23	2718,23
Tekanan input turbin, barg	9,88074	9,88074	9,88074	9,88074	9,88074
Temperatur input turbin, deg C	177,023	177,023	177,023	177,023	177,023

Tabel 5 merupakan hasil pengujian validitas perhitungan, data tersebut merupakan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran di lapangan, bisa ditarik kesimpulan bahwa hasil menunjukkan bahwa hasil perhitungan tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran di lapangan. Perbedaan tekanan berkisar antara 0,001-0,1 bar dan temperatur menunjukkan perbedaan yang berkisar antara 2,875-9,18°C.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Hasil Pengukuran

Lokasi	Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan	
	Tekanan, barg	Temperatur, °C	Tekanan, barg	Temperatur, °C
StartR-Line	12	188	12	188
StartJ1-Line	12	188	11,99	185,71
RJI-Intersection	11,75	184,5	11,97	180,42
Start H1-Line	11,8	187	11,87	177,82
HI-Intersection	11,8	184	11,6	182,34
End E-Line	9,9	180	9,8	177,126

d) Kehilangan Tekanan Dan Panas Pada Pipa Alir Dua fasa

Kehilangan Tekanan dan Panas terjadi ketika sepanjang pipa salur dari kepala sumur sampai input ke separator, selain penurunan tekanan terjadi pula penurunan temperatur, ditabulasikan dalam Tabel-6 dan Tabel-7 berikut ini:

Tabel 6. Kehilangan Tekanan dari Kepala Sumur ke Separator

Wellpad	Tekanan Kepala Sumur, barg	Tekanan pada valve, barg	Tekanan di Separator, barg
29	13,79	12,2	12
7b	19,1	12,2	12
31	18,47	11,9	11,8
28a	18,04	11,9	11,8
30	20,68	11,9	11,8

Tabel 7. Kehilangan Temperatur Dari Kepala Sumur Ke Separator

Wellpad	Temperatur di Kepala Sumur, °C	Temperatur di Separator, °C
29	188	188,37
7b	188	188,37
31	188	188,71
28a	187	187,71
30	187	187,63

Kehilangan Tekanan Dan Panas Pada Jaringan Pipa Dua Fasa Dan Satu Fasa Uap.

Optimasi Peralatan Pada Aliran Fluida Dua Fasa

Fluida dua fasa yang diproduksi keluar melalui kepala sumur dan tekanannya diturunkan melalui set tekanan di *valve*, untuk mendapatkan tekanan yang sudah ditentukan di separator maka digunakan *valve* yang mampu menurunkan tekanan dengan estimasi *Pressure drop* 1-2 bar, kemudian sepanjang pipa salur *wellhead* sampai separator digunakan insulator dengan bahan *polyurethane* dengan tebal 7,5 cm, separator yang digunakan adalah separator dua fasa yang mampu memisahkan fasa cair dan fasa uap dengan baik.

Optimasi Pada Segmen Pipa Salur Satu Fasa

Uap yang keluar dari separator selanjutnya didistribusikan melalui beberapa segmen pipa sampai ke *power plant*, optimasi yang dilakukan pada pipa penyalur tersebut dengan menggunakan insulator setebal 7,5 cm dengan material CaCO_3 yang memiliki konduktivitas termal sebesar 0,05526 $\text{w/m}^2\text{C}$. Penambahan material CaCO_3 berfungsi untuk mengurangi penurunan panas selama uap mengalir melalui segmen pipa dengan ukuran yang berbeda.

Tata Letak Alat Pembuang Kondensat (*Catchpot*)

Kualitas uap dapat dijaga dengan manajemen tata letak alat pembuang kondensat. Dengan menggunakan PipeSim dapat dilakukan strategi tata letaknya, yaitu dengan menggunakan harga interval pemasangan *catchpot*. Pada Lapangan Panasbumi Dieng, jarak *catchpot* efisiensi *catchpot* sebesar 90 %. Kondensat yang tertampung di dalam *catchpot* nantinya akan disalurkan ke setiap *wellpad* untuk diinjeksikan kembali kedalam sumur. Berdasarkan hasil simulasi, jumlah *catchpot* yang digunakan sebanyak 49 buah dengan laju alir yang awalnya sebesar 91 dipasang setiap 250 meter dengan, 3 kg/s (dari separator) setelah di-*run* mendapatkan besar laju alir sebesar 88,8674 kg/s pada *input* turbin dan kecepatan fasa uap nya sebesar 26,6097 m/s.

Kesimpulan

Kesimpulan dari paper ini ialah:

1. Penurunan tekanan pada pipa penyalur dua fasa berkisar antara 1,78-8,2 barg dan temperatur berkisar antara 0-1°C.
2. Penurunan tekanan pada pipa penyalur satu fasa uap berkisar antara 2-2,2 barg dan penurunan temperatur antara 9,87-10,87°C.
3. Laju alir mengalami penurunan akibat adanya perpindahan massa dari separator menuju *input* turbin 91,3 kg/s menjadi 88,86 kg/s dengan kecepatan fasa uap nya sebesar 26,609 m/s.

Daftar Notasi

- ΔP : kehilangan tekanan, psi
 Δz : panjang segmen pipa, ft
 g_c : faktor konversi gravitasi = 32,2 lbm/sec^2



- ρ : densitas fluida, lbm/ft³
 V_m : kecepatan aliran fluida campuran, ft/sec
 V_{sg} : *superficial gas velocity*, ft/sec
 G_m : fluks massa campuran, lbm/sec. ft²
 d : diameter pipa, ft
 f : faktor gesekan (*friction factor*)
 P : tekanan rata-rata antara dua titik aliran, psi
 H_L : *liquid hold-up*
 Q : *heat loss* dalam penampang, watt
 A_o : penampang berdasarkan isolasi, m²
 U_o : koefisien perpindahan panas keseluruhan, W/m².°C
 T_i : temperatur tengah pipa, °C.
 T_a : temperatur ambient, °C.
 T_1 : temperatur di sisi masuk, °C.
 T_2 : temperatur di sisi keluar, °C.
 C_p : kapasitas panas fluida pada tekanan tetap watt/°C
 P_k : tekanan di segmen pipa masuk, psi
 P_{k+1} : tekanan di segmen pipa keluar, psi
 M : massa total, kg/s
 M_v : massa uap, kg/s
 M_c : massa kondensat, kg/s.
 x : *dryness*, fraksi
 $M_{c(out)}$: massa kondensat yang keluar *cathpot*, kg/s
 η_{cp} : efisiensi *cathpot*, fraksi
 h : entalpi campuran fluida (kondensat+uap), kJ/kg
 h_g : entalpi uap, kJ/kg
 h_f : entalpi kondensat, kJ/kg

Daftar Pustaka

- Abdassah, Doddy. Ph.D. Teknik eksploitasi panas bumi. Teknik Perminyakan. ITB. 1992.
Chillinger, George V. Handbook of geothermal energy. Gulf Publishing Company: University of Southern California, Texas. 1982.
Freeston D. H. Geothermal technology: Teaching The Teachers. Course Stage III, Bandung, 1996.
Hawkins, George A. Elements of heat transfer and insulation. John Willey and Sons Inc., New York. 1957.
Pramudihadi E. W. Optimasi pipa salur fluida panas bumi untuk reservoir dominasi air. Teknik Perminyakan ITB, Bandung, Tesis Magister, 1999.
Saptadji N M. Kehilangan tekanan di pipa alir fluida panas bumi versi 1. Kelompok Studi Panas bumi ITB, Bandung, 1998.
Sukarno, Pudjo, Mucharam Leksono. Aliran fluida multifasa dalam pipa. Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB, Bandung, 2000.
Dieng Unit I: Geothermal Power Plant Resource Gathering System Pipeline., Veizades & Associates, Inc. 1997.
Laporan harian operator produksi lapangan panas bumi dieng, PT. Geo Dipa Energi
www. geodipa.co.id.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Yuli Ristianingsih (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah metode yang digunakan pada penelitian ini sudah dibandingkan dengan metode-metode lain?
Jawaban : Metode ini metode yang pertama digunakan air dan udara.
Kesalahan terkecil dibanding metode lain
2. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Efisiensi 90% yang didapat adakah dari hasil pemodelan atau sudah divalidasi dilapangan?
Jawaban : Efisiensi 90% sudah divalidasi dan sudah data riil.
3. Penanya : Bagus Drajat Trimulyo (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah dalam simulasi dengan pipesin tersebut dapat diketahui pengaruh scalling yang terjadi dipipa sumur produksi ampai dengan pipa aliran 2 fase?
Jawaban : Scalling dapat diperkirakan/dimodelkan sebagai pipe rongness dalam simulasi, jika model itu mewujudkan rongness tinggi diperkirakan bisa scalling.