



Penentuan Dimensi Pipa Pada Lapangan Panasbumi Gedongsongo

Eko Widi Pramudihadi^{1*}

¹Program Studi Teknik Perminyakan, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta Jl. Padjajaran No 104, Condong Catur, Depok, Sleman, DIY

*E-mail: ewpramudihadi@gmail.com

Abstract.

To meet the demand for electricity in the Ungaran area in particular, it is necessary to build geothermal power in the Gedongsongo area, but there are no production facilities, both below and on the surface, so the authors plan production facilities on the surface, regarding the selection of optimum pipe diameters. The goal is to build a power plant with a capacity of 110 MWe based on the optimum diameter, which provides the smallest possible loss of pressure and temperature and the maximum possible mass flow, for this the authors use the pressure loss profiles from Begg and Brill and temperature loss using the 1st law of thermodynamics, With two-dimensional Newton Rapson manipulation, it can be seen that the drop in pressure and temperature at the exit point simultaneously on a pipe segment. In this field, there are 4 clusters, including: cluster 1 (4 wells), cluster 2 (5 wells), cluster 4 (2 wells), each 2 wells served by 1 separator, starting from the pressure of each wellhead 15 Barg, dryness 0.25 and rate 105.5 kg/s, insulation thickness 8 cm, polyurethane type, pipe length from wellhead to separator 150 m, resulting in pipe diameter from 18-24 in, minimum thickness from 30.82-39.62 mm, pressure drop 0.55 Barg, temperature 1.67 °C, from separator to turbine input, pipe 50-1200 m long, yield diameter from 16-48 in, minimum thickness 25.01-61.50 mm, pressure drop 1.61 Barg, temperature 3.11 °C, with a generated power of 154 MWe.

Keywords: Mass of vapor; Loss of pressure and temperature; Loss of Heat; Power generated.

Pendahuluan

Lapangan Panasbumi Gedongsongo terletak di dua Kabupaten, yaitu Kabupaten Semarang dan Kabupaten Kendal, Gambar 1, Lokasi daerah penelitian, meliputi daerah seluas 12 km² dan dibawah manajemen Perusahaan PT. Golden Spike Energy Indonesia (GSEI).

Dilapangan ini direncanakan ada 4 kluster, namun hanya ada 3 kluster untuk menyuplai uap ke turbin, yaitu kluster 1 (4 sumur yang digunakan), kluster 4 (2 sumur yang digunakan) dan kluster 2 (5 sumur yang digunakan). Untuk jelasnya lihat Gambar 2. Memiliki karakteristik reservoir: potensi statis 150 – 190 Mwe, kedalaman resevoir rata-rata 1500 m, porositas 15-20%, permeabilitas 14 – 140 mD, dengan temperatur reservoir 250-300 °C dengan out put per sumur 5-20 Mwe/well, entalpi 1500 Kj/Kg, dryness 0,25, non condensable gas 1-2 %.

Di Lapangan panasbumi Gedongsongo belum ada fasilitas produksi, oleh karena itu Peneliti mencoba merencanakan peralatan produksi permukaan terutama dimensi pipa, terdiri dari pipa 2 fasa dari kepala sumur (Wellhead) sampai separator, demikian juga pipa 1 fasa uap dari separator menuju turbin, dimensi pipa terdiri diameter, tebal, dan jenis isolasi dan tebal isolasi. Lapangan panasbumi ini direncanakan akan membangun turbin dengan daya 110 MWe.

Metoda konvensional dalam menghitung kehilangan tekanan dan temperatur, tekanan di iterasi dahulu sampai tercapai toleransi, baru diiterasi ketemperaturnya, sampai temperatur konvergensi, 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.



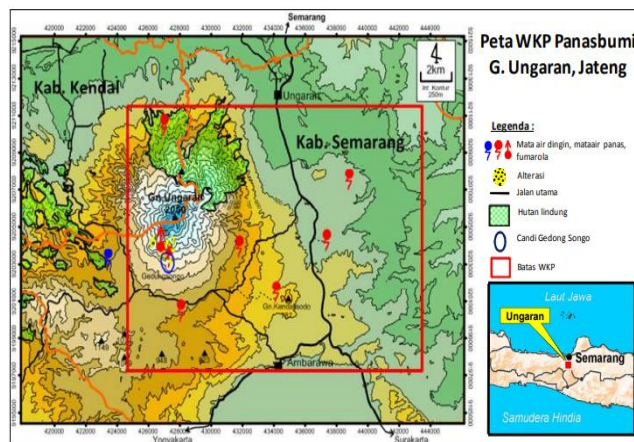
Untuk menentukan dimensi pipa peneliti menggunakan simulator ASPEN, pada dasarnya pemilihan diameter pipa dua fasa, diameter yang memberikan kecepatan 20 sampai dengan 30 m/s dan diameter pipa satu fasa uap, memberikan kecepatan uap 30 sampai dengan 50 m/s. Tebal pipa merupakan fungsi tekanan kerja, dan tebal isolasi merupakan fungsi jenis bahan, temperatur didalam pipa dan ambien (temperatur sekitar).

Pelepasan panas dari dalam pipa ke lingkungan kesekitar, tergantung: konduktivitas bahan pipa, konduktivitas isolasi, temperatur di dalam pipa, dan temperatur sekitar.

Metode Penelitian

Kehilangan Tekanan Aliran dalam Pipa

Metode Kehilangan Tekanan Menurut Beggs-Brill (1973).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

Pada metode ini memperhitungkan pola aliran (*segregated*, *transisi*, *intermitten*, *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 panasbumi 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 Aspen 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 :

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

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 kondensat:

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

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.

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

Tebal Minimum Pipa

$$t_m = \frac{P \cdot D_o}{2[S \cdot E + (P \cdot y)]} + A \quad (13)$$

Perhitungan Daya Yang Dibangkitkan

$$W = \eta \times M v \times (h_{input} - h_{output}) \quad (14)$$

Hasil Dan Pembahasan

Aliran fluida dari kepala sumur (Well head), dialirkan menuju separator dengan penghubung pipa salur 2 fasa, di separator cairan air (brine) di pisahkan dengan uap, dan uap tersebut dialirkan dengan menggunakan pipa uap 1 fasa, dialirkan menuju pembangkit listrik tenaga panas bumi, namun dalam perjalanannya dari kepala sumur menuju unit pembangkit, fluida mengalami kehilangan tekanan dan penurunan temperatur, yang akan merubah sifat fisik dari uap tersebut, yaitu kenaikan density, viskositas, penurunan enthalpi, kualitas uapnya (*dryness*), serta *heat loss* untuk diameter pipa tertentu. Sedangkan air (Brine) di injeksikan kembali kedalam reservoir.

Untuk menghitung besarnya kehilangan tekanan dan temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan program simulator, salah satunya adalah simulator pipa (Aspen) yang membantu mempercepat perhitungan.

a) Data

Data berikut yang di masukan di software ASPEN, konfigurasi panjang pipa bervariasi lihat Tabel 1 dan *lay out* peralatan produksi permukaan Gambar 2.

Input Data

Input data yang diperlukan untuk menjalankan simulator ASPEN berupa :

Pwh (tekanan kepala sumur)	: 15 Barg
Panjang pipa	: Data pipa dapat dilihat pada Tabel 1
Dryness	: 0,25
Massa total	: 380 ton/jam
Temperatur lingkungan	: 26°C
Diameter pipa	: Diameter pipa disesuaikan dengan perhitungan terhadap jenis fluida, tekanan fluida dan batas kecepatan fluida
Roughness	: <i>Comersial Steel Pipe</i> : 0,00015 m
Konduktivitas termal pipa	: 36 w/m °C
Konduktivitas termal isolasi	: 0,074 w/m °C (<i>polyurethane</i>)
Tebal isolasi	: 8 cm (Lapangan Dieng : 7, 5 cm)

Pola aliran dua fasa antara kepala sumur sampai separator harus dibatasi pada aliran *annular* untuk menghindari terjadinya *water hammer*, yang akan mengakibatkan kerusakan dalam pipa, dapat diketahui dari peta pola aliran Mendhane seperti pada Gambar 3, dengan memplot harga *supervicial liquid velocity* (vsl) vs *superficial gas velocity* (vsg).

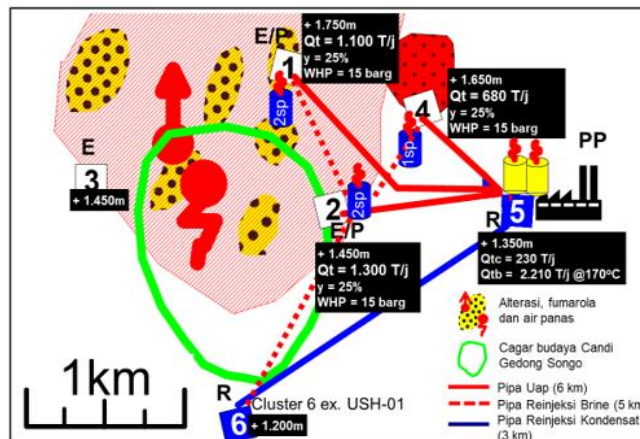
b) Hasil Simulasi

1). Untuk Diameter Aliran 2 fasa

Susunan fasilitas produksi dipermukaan dapat dilihat pada Gambar 4, pemilihan diameter untuk aliran dua fasa, dari kepala sumur sampai separator, dibatasi yang memiliki kecepatan antara 20-30 m/s di dalam pipa, nampak dalam Gambar 5, dari kepala sumur hingga manifold (berjarak 50 m, pipa 2 fasa: C1-P1, C1-P2, C1-P3, C1-P4, C4-P1, C4-P2, C2-P1, C2-P2, C2-P3, C2-P4, C2-P5), yang memenuhi diameter (jika diameter 12 in kebawah,

Tabel 1. Data Panjang Pipa dan Elevasi

Segmen pipa	Profil pipa, m	Elevasi, °
E1A	50	0
E1B	50	0
E1C	50	0
E1D	50	0
E1E	100	0
A	439,37	4
B	230,25	23
C	211,56	13
E4A	50	0
E4B	50	0
E4C	100	0
G	434,19	5
H	151,39	33
I	291,65	10
E2A	50	0
E2B	50	0
E2C	50	0
E2D	50	0
E2E	50	0
E2F	100	0
K	270,77	10
L	901,28	3
Jumlah	3780,49	-



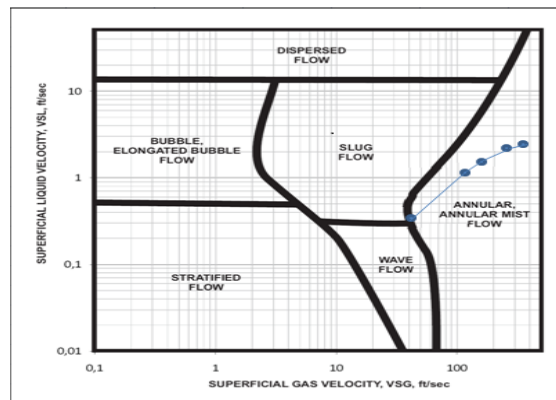
Gambar 2. Lay Out Fasilitas Produksi Permukaan

diameter nominal sama dengan diameter dalam, jika lebih dari 12 in, diameter nominalnya menggunakan diameter luar) 16 in dan 18 in, namun dipilih 18 in, dengan tebal pipa 30,82 mm, untuk menganulir jika ada pertambahan massa, sedangkan dari manifold sampai separator (yang berjarak 100 m, pipa 2 fasa: C1-PB1,C1-PB2,C4-PB1,C2-PB1,C2-PB2), seperti pada Gambar 6, diameter pipa yang di pilih hanya 24 in, dengan tebal pipa 39,62 mm.

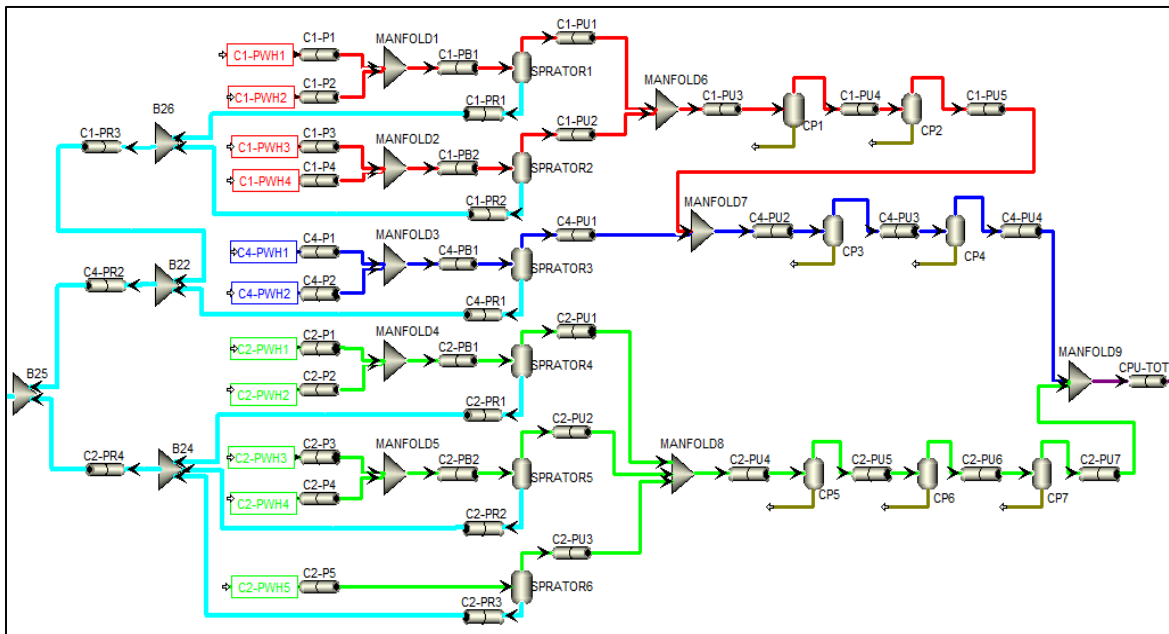
2) Untuk Diameter aliran 1 fasa uap

Untuk aliran 1 fasa uap, pemilihan diameter pipa yang memberikan kecepatan uap, antara 30-50 m/s, dalam Gambar 7, terdiri dari pipa uap yang berjarak 50 m, terdiri dari pipa C1-PU1, C1-PU2 (kecuali C1-PU2) berjarak 300 m, C4-PU1, C2-PU1, C2-PU2, diameter pipa yang dipilih 20 in, dengan tebal pipa 30,52 mm, kecuali dipipa C2-PU3, adalah 16 in, Gambar 8, dengan tebal 25,02 mm.

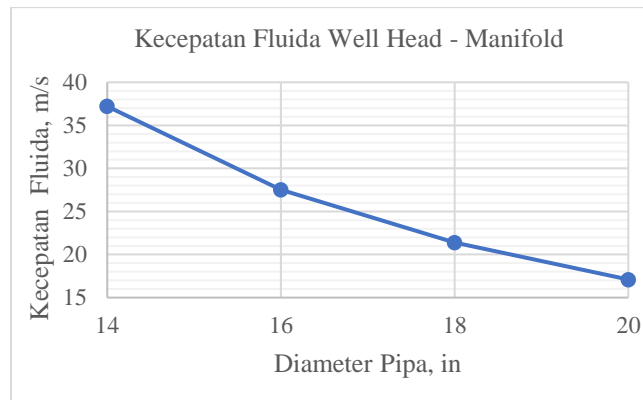
Untuk selanjutnya pipa C1-PU1 dan C1-PU2 bertemu di manifold 6, disambungkan dengan pipa berdiameter 30 in (C1-(PU3-PU5)), Gambar 9, dengan tebal 45,82 mm, menuju manifold 7, disambungkan dari kluster 4 (pipa C4-PU1) diteruskan, memerlukan panjang pipa uap (C4-(PU2-PU4)) 877 m dan diameter 36 in, Gambar 10, dengan tebal 48,67 mm.



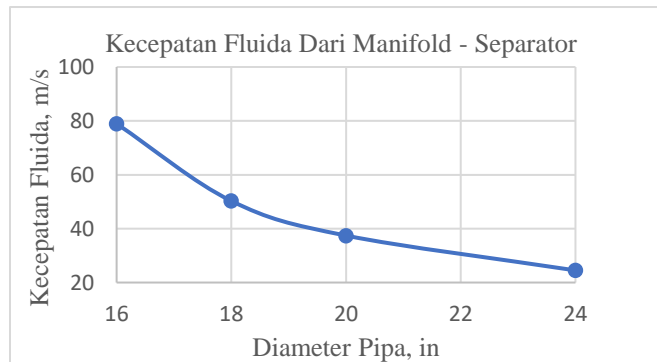
Gambar 3. Penentuan Tekanan Kepala Sumur (Pwh) 15 barg Untuk Mendapatkan Annular Flow.



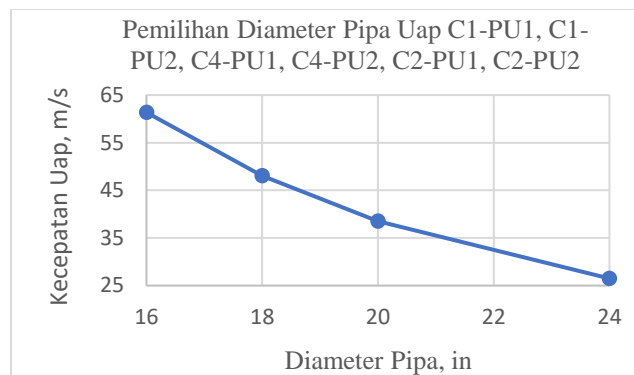
Gambar 4. Susunan Fasilitas Permukaan Secara Lengkap.



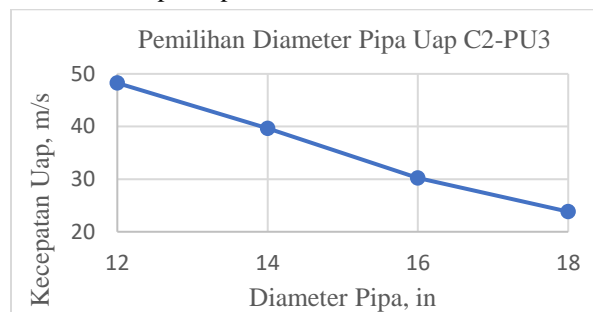
Gambar 5. Variasi Diameter Terhadap Kecepatan Fluida Dari Kepala Sumur Sampai Manifold



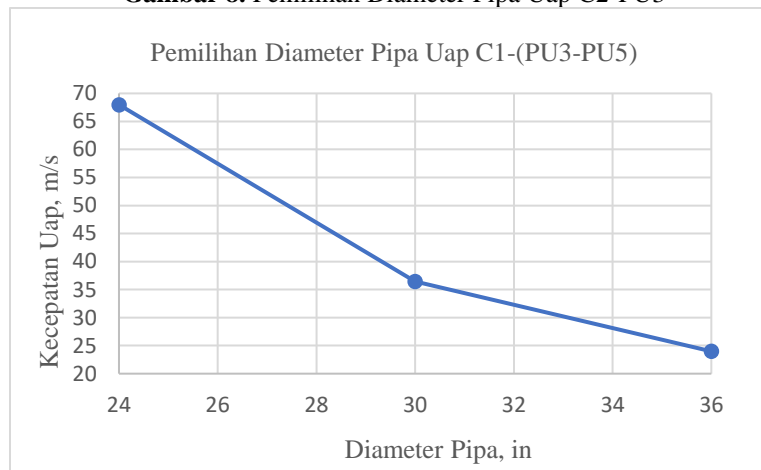
Gambar 6. Variasi Diameter Terhadap Kecepatan Fluida Dari Manifold Sampai Separator



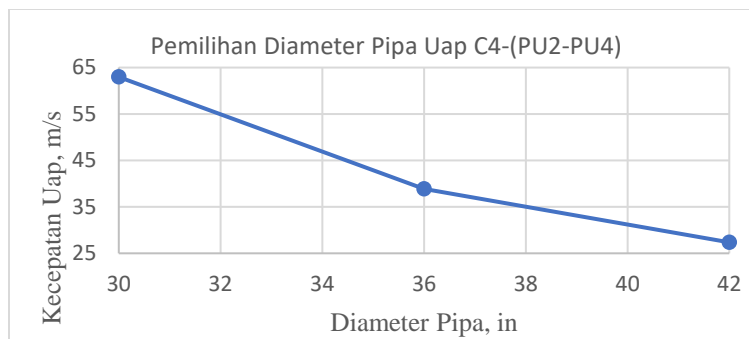
Gambar 7. Pemilihan Diameter Pipa Uap C1-PU1, C1-PU2, C4-PU1, C4-PU2, C2-PU1, C2-PU2



Gambar 8. Pemilihan Diameter Pipa Uap C2-PU3

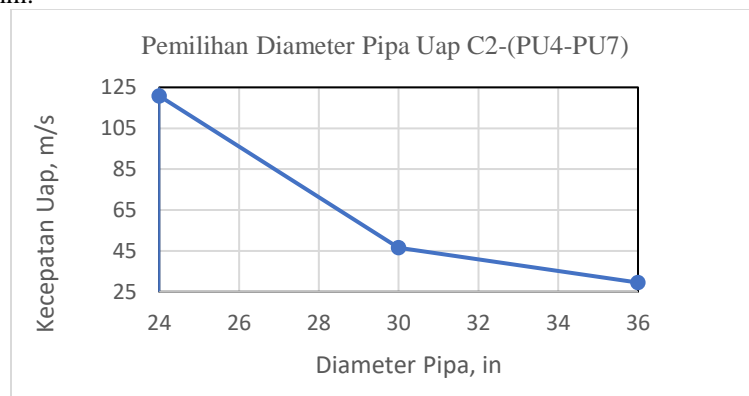


Gambar 9. Pemilihan Diameter Pipa Uap C1-(PU3-PU5)

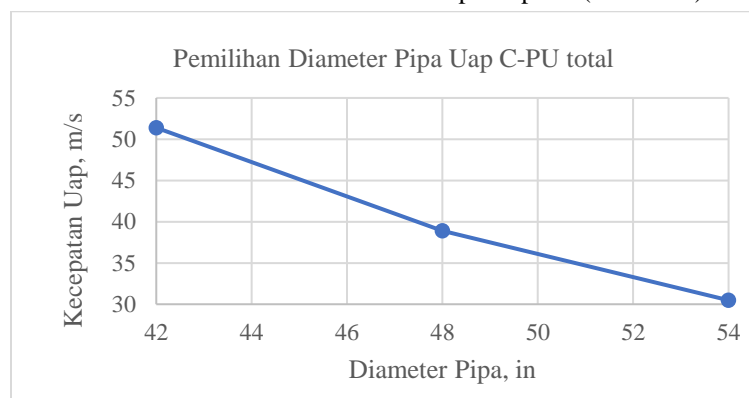


Gambar 10. Memilih Diameter Pipa Uap C4-(PU2-PU4)

Selanjutnya Pipa uap C2-PU1,C2-PU2, C2-PU3 bertemu di manifold 8, disambungkan pipa uap C2-(PU4-PU7) sepanjang 1200 m, dan diameter 30 in, **Gambar 11**, dengan tebal 44,05 mm, diteruskan dengan menyambungkan pipa dari kluster 4 di manifold 9, untuk diteruskan pipa uap sepanjang 50 m, memerlukan diameter 48 in, **Gambar 12**, dengan tebal 61,50 mm.



Gambar 11. Memilih Diameter Pipa Uap C2-(PU4-PU7).



Gambar 12. Penentuan Diameter Pipa Uap CPU (Total) Masuk Input Turbin

Berikut hasil parameter aliran berdasarkan diameter yang dipilih, untuk pipa aliran 2 fasa, di sajikan pada **Tabel 2**, dan untuk pipa aliran 1 fasa uap, disajikan pada **Tabel 3** dan massa uap 273,61kg/s, tekanan masuk turbin 11,67 Barg (yang di pergunakan 11,00 barg), tekanan kondensor 0,1 Barg dan efisensi turbin 0,8, menghasilkan daya sebesar 154 MWe.

Pemilihan diameter pipa amatlah penting, terutama dalam aspek keteknikan dan aspek keekonomian, jika terlalu besar, diameter yang besar, baik bagi massa yang dialirkan tetapi buruk bagi pelepasan panas karena luas permukaan pipa bertambah, demikian sebaliknya, artinya massa dan panas pada diameter tertentu akan selalu berlawanan, dalam

dunia panasbumi, pemilihan diameter aliran 2 fasa, minimal memiliki kecepatan 20 m/s, minimal entalpi dari hulu mampu mengatasi kehilangan panas ke hilir dan sekitar, sedangkan pada batas maksimal 30 m/s, menyakan kecepatan aliran tidak melebihi kecepatan erosional, demikian pula untuk aliran 1 fasa uap kecepatan minimal 30 m/s dan maksimum 50 m/s, akan menghasikan kehilangan tekanan dan penurunan temperatur sekecil mungkin, dan mengasihkan daya yang semaksimal mungkin, karena daya merupakan hasil kali massa uap dan delta entalpi masuk turbin yang dikurang yang keluar turbin.

Tabel 2. Parameter Aliran 2 Fasa Berdasarkan Diameter Yang Dipilih.

Dia	Lokasi	Panjang	Tekanan		Temperatur		Massa Cairan		Massa Uap		Entalpi		Heat Flux	
	Whead-Mfold	Pipa	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
in		m	Barg		oC		kg/s		kg/s		kj/kg		Watt/m	
18	C1-P1	0-50	15	14,8	201,42	200,81	72	71,7	23,94	24,05	-14629,5	-14629,4	65,68	66,22
	C1-P2													
	C1-P3													
	C1-P4													
	C4-P1													
24	C4-P2	0-100	14,8	14,45	200,81	199,75	143	143	48,09	48,46	-14629,4	-14629,4	73,61	74,94
	C2-P1													
	C2-P2													
	C2-P3													
	C2-P4													
	C2-P5													
	M-fold-Sepa													
	C1-PB1													
	C1-PB2													
	C4-PB1													
C2-PB1														
C2-PB2														

Tabel 3. Parameter Aliran Uap 1 Fasa Berdasarkan Diameter Yang Dipilih

Dia	Lokasi	Panjang	Tekanan		Temperatur		Massa Cairan		Massa Uap		Entalpi		Heat Flux	
	Pipa	Pipa	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
in	Uap	m	Barg		°C		kg/s		kg/s		kj/kg		Watt/m	
20	C1-PU1	0-50	13,28	13,2	196,03	195,82	0	0	49,74	49,74	-13183,3	-13183,3	6,12	6,24
	C4-PU1													
	C2-PU1													
	C2-PU2													
20	C1-PU2	0-300	13,28	12,78	196,03	194,85	0	0	49,74	49,74	-13183,3	-13183	40,16	40,83
16	C2-PU3	0-50	13,28	13,21	196,03	195,87	0	0	24,87	24,87	-13183,3	-13183,3	12,31	12,3914
30	C1-(PU3-PU5)	0-900	12,78	12,07	194,81	193,26	0	0	99,49	99,49	-13183,2	-13182,4	78,69	80,2216
36	C4-(PU2-PU4)	0-877	12,17	11,59	193,76	192,55	0	0	149,24	149,24	-13181,8	-13181	139,72	141,2
30	C2-(PU4-PU7)	0-1200	13,2	12,86	195,82	195,17	0	0	124,36	124,36	-13183,3	-3148,65	221,41	222,06
48	CPU total	0-50	11,69	11,67	192,94	192,92	0	0	273,61	273,61	-13180,7	-13180,6	479,81	479,84



Kesimpulan.

Berdasarkan bab yang terdahulu dapat disimpulkan:

1. Dengan tekanan kepala sumur 15 Barg, kandungan uap 25 % dan massa 105,5 kg/s pada masing-masing sumur, memberikan diameter pipa dua fasa dari kepala sumur hingga manifold yang optimum adalah 18 in, tebal pipa 30,82 mm, dan dari manifold ke separator adalah 24 in, dengan tebal pipa 39,62 mm, sehingga menghasilkan penurunan tekanan 0,55 Barg.
2. Diameter pipa satu fasa uap diameter pipa berkisar 16 in hingga 48 in, dengan tebal pipa 25,02 mm hingga 61,30 mm, sehingga menghasilkan penurunan tekanan 1,61 Barg.
3. Isolasi dengan ketebalan 8 cm dan konduktivitas termal isolasi 0,074 W/m °C (*polyurethane*) cukup mampu menahan panas sebagian besar yang keluar dari pipa ke lingkungan sekitar, sehingga dari kepala sumur-separator menghasilkan penurunan temperatur 1,67 °C, dan dari separator-input turbin 3,11 °C.
4. Menghasilkan daya diturbin sebesar 154 Mwe lebih besar dari yang ditargetkan 110 MWe.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada manajemen P.T Golden Spike Energy Indonesia, yang telah membolehkan pemakaian data Lapangan Panasbumi Gedongsongo.

Daftar Notasi

A	: Ketebalan korosi yang di iijinkan, di panasbumi 3 mm
E	: efisiensi sambungan
ΔP	: kehilangan tekanan, psi
Δz	: panjang segmen pipa, ft
g_c	: faktor konversi gravitasi = 32,2 lbm/sec ²
ρ	: densitas fluida, lbm/ft ³
V_m	: kecepatan aliran fluida campuran, ft/sec
V_{sg}	: <i>superficial gas velocity</i> , ft/sec
G_m	: fluks massa campuran, lbm/sec. ft ² .
D_o	: diameter pipa bag luar, mm
d	: diameter pipa, ft
f	: faktor gesekan (<i>friction factor</i>).
P	: Tekanan internal di dalam pipa, barg
P	: tekanan rata-rata antara dua titik aliran, psi
H_L	: <i>liquid hold-up</i> .
.y	: konstanta pipa, dipanasbumi 4
Q	: <i>heat loss</i> dalam penampang, watt
A_o	: penampang berdasarkan isolasi, m ²
U_o	: koefisien perpindahan panas keseluruhan, W/m ² .°C
S	: Stres yang di iijinkan, barg
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 fuida 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	: <i>dryness</i> , fraksi
$M_{c(out)}$: massa kondensat yang keluar <i>cathpot</i> , 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
 η : efisiensi panas sampai listrik
 W : daya yang dapat dibangkitkan, MWe

Daftar index

.i : menyatakan di tengah-tengah pipa
.o : menyatakan di luar pipa

Daftar Pustaka

- Abdassah, Doddy. Ph.D.. *Teknik Eksploitasi Panasbumi*. 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 Panasbumi Untuk Reservoir Dominasi Air*", Tesis Magister, Teknik perminyakan ITB, Bandung, 1999.
- Pramudihadi E. W." *Exergy pada surface facilities lapangan hululais*", Journal Mineral, Energi, dan Lingkungan, Vol 6 No 1, 2022.
- Pramudihadi. EW." *Kajian Kehilangan Tekanan dan Panas Pada Fluida Dua Fasa dan Evaluasi Penentuan Tata Letak Catchpot Sepanjang Pipa Salur, Lapangan Panasbumi Dieng*", Prosiding Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, 2020.
- Saptadji N M., " *Kehilangan Tekanan di Pipa Alir Fluida Panasbumi*", Versi 1, Kelompok Studi Panasbumi ITB, Bandung, 1998.
- Sukarno, Pudjo, Mucharam Leksono., " *Aliran Fluida Multifasa Dalam Pipa*", Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB, Bandung, 2000.

