

Perencanaan Pipa Dua Fasa pada Fasilitas Produksi Panas Bumi Dieng

Ady Setya Nugroho

PT. PLN (Persero)

Corresponding author email: Adhie1nugros@gmail.com

Abstrak

Lapangan Panas Bumi Dieng beroperasi sejak tahun 2004 dengan kapasitas turbin 60 MW serta memiliki target produksi sebesar 55 MW selama tigapuluh tahun. Lapangan ini, masih layak untuk dilakukan pengembangan dengan total sebesar 110 MW. Dalam mengoptimalkan kualitas uap (*steam quality*) dari kepala sumur sampai dengan input turbin maka perlu adanya perencanaan mengenai dimensi dari pipa yang mengalirkan uap. Parameter yang diperhatikan dalam perencanaan pipa dua fasa yaitu diameter pipa dan penurunan tekanan. Tujuan penelitian adalah menentukan diameter pipa dua fasa dan penurunan tekanan pada salah satu sumur pengembangan lapangan Panas Bumi Dieng. Metodologi perhitungan dimensi pipa ini menggunakan standar ASME dalam penentuan diameter pipa dan menghitung besarnya penurunan tekanan sebelum input turbin menggunakan *software pipesim*. Hasil perhitungan salah satu sumur yang memiliki masa aliran sebesar 60 kg/s didapatkan jenis pipa Xtra Strong (XS) kualitas uap 0.176 dengan diameter pipa 8 inci serta kecepatan aliran yang optimal sebesar 27.33 m/s serta penurunan tekanan dari *well head* menuju separator adalah 7, 476 bar dengan tekanan input turbin sebesar 22,985 bar.

Kata kunci : perencanaan, pipa, dua fasa, fasilitas produksi.

Abstract

Dieng Geothermal Field operates since 2004 with a 60 MW turbine capacity and has a production target of 55 MW for thirty years. This field is still feasible for development with a total of 110 MW. In optimizing the quality of steam (steam quality) from the wellhead to the turbine input, it is necessary to plan on the dimensions of the pipe that flows steam. Parameters that are considered in planning two-phase pipes are pipe diameter and pressure drop. The research objective was to determine the two-phase pipe diameter and pressure drop at one of the wells in the Dieng Geothermal field development. The methodology for calculating the pipe dimensions uses the ASME standard in determining pipe diameter and calculating the amount of pressure drop before the turbine input using pipesim software. The calculation results of one well that has a flow period of 60 kg / s obtained Xtra Strong (XS) pipe type vapor quality 0.176 with 8 inch pipe diameter and optimal flow velocity of 27.33 m / s and pressure drop from well head to separator is 7, 476 bars with turbine input pressure of 22,985 bars.

Keywords: planning, pipeline, two phase, production facilities.

I. Pendahuluan

Dieng yang berlokasi di Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu lokasi proyek Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Geo Dipa Energi. Dengan kontur pegunungan, sumber air panas, solfatara, fumarole serta bebatuan mengindikasikan bahwa Dieng merupakan lokasi yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumber energi panas bumi. Total potensi energi panas bumi di sekitar Dieng diperkirakan sebesar 400 MW.

Dieng Unit 1, dengan kapasitas terpasang 60 MW, selesai pada Juli 1998 tetapi tidak dibawa ke dalam operasi komersial karena dikeluarkannya Keputusan Presiden No. 5/98 yang menunda proyek dieng serta beberapa proyek lainnya. Pembangunan Dieng Unit II juga ditangguhkan pada tahun 1998. Pada tahun 2002, komisioning kembali Dieng Unit I dilakukan di bawah Geo Dipa

Energi dan pada September 2002. Unit Dieng 1 mulai beroperasi secara komersial. Sampai sekarang, Dieng Unit I terdiri dari sembilan sumur HCE yang berlokasi di sektor Sileri; untuk keperluan injeksi menggunakan sumur satu HCE di Sileri dan 4 sumur Pertamina di sektor Sileri dan Sikidang.(Sirait P, dkk. 2015)

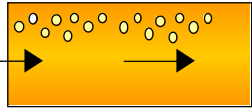
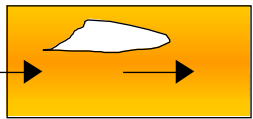
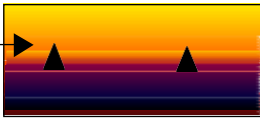
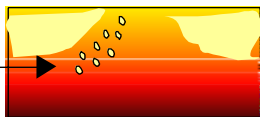
Saat ini, Geo Dipa Energi berhasil mengoperasikan proyek Dieng Unit 1 dengan kapasitas sebesar 60 MW yang terhubung ke jaringan Jawa-Madura-Bali melalui system interkoneksi. Selain itu, untuk memenuhi target usaha dilakukan peningkatan serta pengembangan kapasitas proyek Dieng 2 dan 3, masing-masing berkapasitas 55 MW. Banyaknya sumur di lapangan Dieng memberikan ketersediaan data teknis yang lebih tinggi sehingga dapat lebih meningkatkan *success ratio* pemboran.

Perencanaan Pipa Dua Fasa pada Fasilitas Produksi Panas Bumi Dieng

Dalam mengoptimalkan kualitas uap (*steam quality*) dari kepala sumur sampai dengan input turbin maka perlu adanya Analisa mengenai dimensi dari pipa yang mengalirkan uap. Pipa dua fasa merupakan hal yang sangat penting karena dalam aliran dua fasa memiliki penurunan tekanan

yang cukup besar. Dengan kecepatan aliran dua fasa yang ideal adalah 20-30 m/s. Aplikasi pipesim dapat mengetahui penurunan tekanan, temperatur dan kualitas uap fluida dalam pipa.

Pola aliran dalam pipa horizontal terlihat pada Gambar 1, antara lain :

No	Gambar	keterangan
1		Bubble flow: gelembung-gelembung uap terbentuk dan mengalir di bagian atas pipa dengan kecepatan kira-kira sama dengan kecepatan fasa cair
2		Plug flow : secara bergantian plug cairan dan gelembung-gelembung uap bergerak di bagian atas pipa
3		Stratified flow : fasa cair mengalir bagian bawah pipa sedangkan fasa uap mengalir di atasnya. Antarmuka uap-cair
4		Wavy flow : sama seperti stratified fasa cair mengalir di bagian bawah sedangkan fasa uap mengalir di atasnya, tetapi karena fasa uap bergerak lebih maka antarmuka fasa uap-cair menjadi bergelombang atau berombak
5		Slug flow: fasa uap mengalir dengan kecepatan lebih tinggi mengubah aliran menjadi slug flow
6		Annular flow : Air berupa lapisan mengalir di dinding pipa dan uap di bagian tengah pipa dengan Kecepatan tinggi.

Gambar 1. Pola Aliran Pipa Horizontal di Panas Bumi

Batas kecepatan dalam pipa aliran dua fasa dan aliran perlu ditetapkan, batas kecepatan minimal menggambarkan batas perpindahan panas untuk mencapai proses adiabatik, sedangkan batas kecepatan maksimum menyatakan batas tidak terjadi pengikisan dinding pipa bagian dalam. Batas kecepatan pada pipa aliran dua fasa, batas minimal 20 m/s dan batas maksimal 30 m/s.

Parameter-parameter yang perlu diketahui terlebih dahulu adalah sebagai berikut :

- Massa Fluida (*Liquid dan Steam*)
- Kualitas Uap
- *Mix Enthalpy*
- *Mix Specific Volume*

Sedangkan parameter yang menentukan optimasi yang diperlukan dari keluaran simulator PipeSim adalah sebagai berikut :

1. Diameter (dalam) pipa alir dua fasa (m).
2. Kecepatan rata-rata aliran pada pipa dua fasa (m/s).
3. Kehilangan tekanan pada pipa dua fasa (bar).
4. Temperatur pada input separator (°C).
5. Daya yang ditimbulkan (MW).
6. Nilai uang saat ini karena investasi pipa salur (\$)

II. Metodologi

Perhitungan dimensi pipa ini menggunakan standar ASME tentang standar pipa yang sesuai dan kemudian dilakukan perbandingan penurunan tekanan menggunakan software pipesim.

Tahapan dalam menentukan dimensi pipa dua fasa adalah :

1. Menentukan Di (diameter dalam) Sementara Kecepatan aliran dalam pipa air tergantung pada ukuran pipa dan laju aliran. Jika laju aliran seragam di seluruh pipa (aliran tetap), kecepatan di setiap bagian lintas sepanjang pipa akan menjadi nilai konstan. Namun, ada variasi kecepatan di sepanjang penampang pipa. Kecepatan di dinding pipa akan nol, meningkat secara maksimal di garis tengah pipa.

$$Velocity = \frac{flow\ rate}{area\ of\ flow} \dots \dots \dots (1)$$

Karena area aliran dalam pipa adalah lingkaran maka persamaannya menjadi :

$$V = \frac{m \times Vm}{\frac{1}{4} \times \pi \times Di^2} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

- V = Velocity (m/s)
M = massa fluida (kg/s)
Vm = Viskositas mix
Di = Diameter dalam (m)

Perhitungan Viskostas mix (campuran) adalah dengan persamaan :

$$Vm = x Vg + (1 - x) Vl \dots \dots \dots (3)$$

dengan :

- Vm = Viskositas Campuran
X = Kualitas Uap (*Steam Quality*)

Vg = Viskositas gas

Vl = Viskositas liquid

2. Menentukan perencanaan pipa dengan jenis XS (Xtra strong)
Berdasarkan ASME B36.10M bisa dilihat tabel schedule pipa, pada pembangkit panas bumi yang mempunyai karakteristik suhu yang tinggi pada umumnya digunakan jenis XS (*Xtra Strong*).
3. Menghitung tebal minimum kemudian disinkronisasi dengan *schedule pipe*
Menurut ASME 31.1 ketebalan dinding minimum yang diperlukan untuk tekanan desain dan untuk suhu yang tidak melebihi nilai tegangan yang diperbolehkan dari bahan yang dipergunakan.

$$tm = \frac{P \times Do}{2 \times (Sh E + P y)} + A \dots \dots \dots (4)$$

dengan:

Tm = ketebalan pipa yang diperlukan

P = tekanan yang direncanakan

Do = diameter luar pipa (m)

Sh = tegangan material yang diizinkan pada suhu desain

E = faktor pengelasan, 1

Y = koefisien, untuk pipa dengan

T < 482° C menggunakan 0.4

A = *corrosion allowable*, dalam panas bumi biasanya 0.003 m

4. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

III. Hasil dan Pembahasan

Data yang dibutuhkan dalam menjalankan simulator pipesim antara lain :

- PWH : 18.8 bar
Panjang pipa : 250 m
Steam quality : 0,23
Massa total : 79 kg/s
Temperatur lingkungan : 19 °C

Perencanaan Pipa Dua Fasa pada Fasilitas Produksi Panas Bumi Dieng

Data material dan lapangan antara lain data sebagai input dalam aplikasi pipesim terlihat pada Gambar 2.

Karakter	Pipa	Isolasi
Konduktivitas (w/m °C)	54	0.0677
Kekasaran pipa (m)	0.00005	-
Material	Baja karbon rendah API 5L grade B, A106 Grade B, A53 Grade B	Calcium silica
Jenis Pipa	Xs (extra strength), Electric Resistant Welding	-
Densitas pipa (kg/m ³)	7800	-

Gambar 2. Spesifikasi Material

Dalam melakukan desain pipa dua fasa, yaitu dari *wellhead* ke separator, maka terlebih dahulu dilakukan pembuatan *layout* dari *wellhead* ke separator yang nantinya akan dijadikan tahapan dalam perhitungan pada masing-masing segmen.

Input data pada sumur adalah :

PWH : 30,46 bar

Panjang pipa : 130 m

Dryness : 0,176

Massa total : 60 kg/s

Temperatur lingkungan : 19° C

Diameter pipa :

Diameter pipa disesuaikan dengan perhitungan terhadap jenis fluida, tekanan fluida dan batas kecepatan fluida.

Roughness :

Comercial Steel Pipe = 0,00005 m

Tahapan menghitung diameter pipa dua fasa adalah tahapan dalam menentukan dimensi yaitu :

1. Menentukan Di (diameter dalam) Sementara

$$V = \frac{m \times V_m}{\frac{1}{4} \times \pi \times Di^2}$$

Persamaan diatas digunakan untuk mencari diameter dalam pipa, dengan diketahui data :

V : 30 m/s

Massa : 60 kg/s

V_m : 0.01342 m³/kg

2. Menghitung Spesific Volume (V_m) adalah specific volume campuran antara *steam* dan *water* dengan menggunakan persamaan :

$$V_m = x V_g + (1 - x) V_l$$

pada x (kualitas uap) sebesar 0.176 maka dengan melihat steam table diketahui :

$$V_g = 0.058878$$

$$V_l = 0.001231$$

Sehingga :

$$V_m = 0.176 \times 0.058878 + (1 - 0.176) \times 0.001231$$

$$V_m = 0.013418868$$

Sehingga diameter dalam pipa sementara adalah :

$$V = \frac{60 \times 0.01342}{\frac{1}{4} \times \pi \times \frac{22}{7} \times Di^2}$$

$$30 = \frac{60 \times 0.01342}{\frac{1}{4} \times \pi \times \frac{22}{7} \times Di^2}$$

Maka Di (diameter dalam) sementara adalah :

$$Di \text{ (sementara)} = 0.18490 \text{ m}$$

$$= 7.27955 \text{ inch}$$

$$= 184.9005 \text{ mm}$$

3. Menentukan Schedule pipa dengan jenis XS (Xtra strong).

Sesuai dengan kondisi tekanan dan temperatur yang tinggi maka dipilihlah Schedule pipa dengan jenis XS (xtra strong).

Dengan melihat perhitungan diameter dalam pipa adalah 7,27 in maka dipilih pipa schedule berdasarkan *ASME B36.10M* (dipilih diameter yang diatas perhitungan) terlihat pada tabel 1 yaitu :

Tabel 1. *Pipe Schedule* standar *ASME B36.10M*

Carbon steel (dn, Imperial units)		Dn =	8	in
		SCH =	XS	-
$d_i =$	Pipe_Imp_CS_Dint_dn_sch	$d_i =$	193.7	mm
$d_e =$	Pipe_Imp_CS_Dext_dn	$d_e =$	219.1	mm
$s =$	Pipe_Imp_CS_Thickness_dn_sch	$s =$	12.7	mm

			Carbon steel pipe thickness s (mm)													
			ASME B36.10M SCHEDULE													
dn	dn	d_{ext}	5	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	STD	XS	XXS
mm	"	mm														
6	1/8	10.3	0	1.24	0	1.45	1.73	0	2.41	0	0	0	0	0	0	0
8	1/4	13.7	0	1.65	0	1.85	2.24	0	3.02	0	0	0	0	0	0	0
10	3/8	17.1	0	1.65	0	1.85	2.31	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0
15	1/2	21.3	1.65	2.11	0	2.41	2.77	0	3.73	0	0	0	4.78	2.77	3.73	7.47
20	3/4	26.7	1.65	2.11	0	2.41	2.87	0	3.91	0	0	0	5.56	2.87	3.91	7.82
25	1	33.4	1.65	2.77	0	2.9	3.38	0	4.55	0	0	0	6.35	3.38	4.55	9.09
32	1 1/4	42.2	1.65	2.77	0	2.97	3.56	0	4.85	0	0	0	6.35	3.56	4.85	9.7
40	1 1/2	48.3	1.65	2.77	0	3.18	3.68	0	5.08	0	0	0	7.14	3.68	5.08	10.15
50	2	60.3	1.65	2.77	0	3.18	3.91	0	5.54	0	0	0	8.74	3.91	5.54	11.07
65	2 1/2	73.0	2.11	3.05	0	4.78	5.16	0	7.01	0	0	0	9.53	5.16	7.01	14.02
80	3	88.9	2.11	3.05	0	4.78	5.49	0	7.62	0	0	0	11.13	5.49	7.62	15.24
90	3 1/2	101.6	2.11	3.05	0	4.78	5.74	0	8.08	0	0	0	-	5.74	8.08	-
100	4	114.3	2.11	3.05	0	4.78	6.02	0	8.56	0	0	0	13.49	6.02	8.56	17.12
125	5	141.3	2.77	3.4	0	0	6.55	0	9.53	0	0	0	15.88	6.55	9.53	19.05
150	6	168.3	2.77	3.4	0	0	7.11	0	10.97	0	0	0	18.26	7.11	10.97	21.95
200	8	219.1	2.77	3.76	6.35	7.04	8.18	10.31	12.7	15.09	18.26	20.62	23.01	8.18	12.7	22.23
250	10	273	3.40	4.19	6.35	7.8	9.27	12.7	15.09	18.26	21.44	25.4	28.58	9.27	12.7	25.4
300	12	323.8	3.96	4.57	6.35	8.38	10.31	14.27	17.48	21.44	25.4	28.58	33.32	9.53	12.7	25.4
350	14	355.6	3.96	6.35	7.92	9.53	11.13	15.09	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71	9.53	12.7	0
400	16	406.4	4.19	6.35	7.92	9.53	12.7	16.66	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49	9.53	12.7	0
450	18	457	4.19	6.35	7.92	11.13	14.27	19.05	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24	9.53	12.7	0
500	20	508	4.78	6.35	9.53	12.7	15.09	20.62	26.19	32.54	38.1	44.45	50.01	9.53	12.7	0
550	22	559	4.78	6.35	9.53	12.7	0	22.23	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98	9.53	12.7	0
600	24	610	5.54	6.35	9.53	14.27	17.48	24.61	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54	9.53	12.7	0
650	26	660	0	7.92	12.7	15.88	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
700	28	711	0	7.92	12.7	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
750	30	762	6.35	7.92	12.7	15.88	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
800	32	813	0	7.92	12.7	15.88	17.48	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
850	34	864	0	7.92	12.7	15.88	17.48	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
900	36	914	0	7.92	12.7	15.88	19.05	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
950	38	965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
1000	40	1016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
1050	42	1067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
1100	44	1118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
1150	46	1168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0
1200	48	1219.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.53	12.7	0

4. Menghitung Tebal minimum kemudian di cek dengan schedule pipa

Pengecekan dilakukan dengan menghitung tebal minimum pipa.

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2 \times (S_h E + P y)} + A$$

$$t_m = \frac{30.46 \times 219.1}{2 \times (1379 \times 1 + 30.46 \times 0.4)} + 3$$

$$t_m = 5.409 \text{ mm}$$

Sehingga tebal minimum adalah 5.409 mm, jika dibandingkan dengan tebal material Carbon

Perencanaan Pipa Dua Fasa pada Fasilitas Produksi Panas Bumi Dieng

Steel Xstra Strong memiliki tebal sebesar 12.7 mm. Sehingga ketebalannya memenuhi standar.

5. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa Setelah ditentukan dimensi pipa berdasarkan *pipe schedule (Carbon Steel Xstra Strong)* maka dihitung kecepatan fluida dalam pipa dengan persamaan :

$$V = \frac{m \times Vm}{\frac{1}{4} \times \pi \times Di^2}$$

$$V = \frac{60 \times 0.01341}{\frac{1}{4} \times \pi \times Di^2}$$

$$V = \frac{60 \times 0.01341}{\frac{1}{4} \times \pi \times Di^2}$$

Maka diperoleh kecepatan aliran:

$$V = 27,33 \text{ m/s}$$

Untuk perhitungan kehilangan tekanan digunakan simulator pipesim. Hasil *output* simulator dapat ditunjukkan pada gambar 3.

INPUT							

Pressure	=	.30460E+02	bar				
Temperature	=	.23490E+03	deg C				
Ambient Temperature	=	.19000E+02	deg C				
Enthalpy	=	.13289E+04	kJ/kg				
Thickness Of The Insulator	=	.75000E-01	m				
Thermal Conductivity Of The Pipe	=	.54000E+02	watt/m.deg C				
Thermal Conductivity Of The Insulator	=	.74000E-01	watt/m.deg C				
Pipe Roughness	=	.91000E-03	m				
Massflow	=	.60000E+02	kg/sec				
Steam Quality	=	.17600E+00	fraction				
Inside Diameter Of The Pipe	=	.19370E+00	m				
Outside Diameter Of The Pipe	=	.21910E+00	m				
Delta Length	=	.10000E+02	m				
Pipe Length	=	.13000E+03	m				
Teta	=	.00000E+00	deg				
Error Tolerance For Pressure	=	.10000E-05	bar				
Error Tolerance For Temperature	=	.10000E-05	deg C				

Pipe (m)	Steam Quality (fraction)	Enthalpy (kJ/kg)	Pressure (bar)	Temperature (deg C)	Massa Total (kg/s)	Kecepatan Fasa Cair (m/s)	Flow
.000000E+00	.176000E+00	.132891E+04	.304600E+02	.234900E+03	.600000E+02	-	-
.100000E+02	.170991E+00	.132467E+04	.298264E+02	.234895E+03	.600000E+02	.125551E+03	Distributed
.200000E+02	.168630E+00	.132045E+04	.292104E+02	.234889E+03	.600000E+02	.128091E+03	Distributed
.300000E+02	.166240E+00	.131618E+04	.286024E+02	.234884E+03	.600000E+02	.130883E+03	Distributed
.400000E+02	.163822E+00	.131186E+04	.280025E+02	.234879E+03	.600000E+02	.133749E+03	Distributed
.500000E+02	.161375E+00	.130748E+04	.274108E+02	.234873E+03	.600000E+02	.136690E+03	Distributed
.600000E+02	.158900E+00	.130306E+04	.268274E+02	.234868E+03	.600000E+02	.139709E+03	Distributed
.700000E+02	.156396E+00	.129858E+04	.262524E+02	.234863E+03	.600000E+02	.142806E+03	Distributed
.800000E+02	.153863E+00	.129406E+04	.256859E+02	.234858E+03	.600000E+02	.145984E+03	Distributed
.900000E+02	.151301E+00	.128948E+04	.251280E+02	.234852E+03	.600000E+02	.149245E+03	Distributed
.100000E+03	.148710E+00	.128485E+04	.245789E+02	.234847E+03	.600000E+02	.152590E+03	Distributed
.110000E+03	.146090E+00	.128017E+04	.240385E+02	.234842E+03	.600000E+02	.156020E+03	Distributed
.120000E+03	.143442E+00	.127543E+04	.235070E+02	.234836E+03	.600000E+02	.159537E+03	Distributed
.130000E+03	.140765E+00	.127065E+04	.229845E+02	.234831E+03	.600000E+02	.163143E+03	Distributed

Gambar 3. Hasil *Output* Simulator Pipesim

Dari hasil *output* simulator pipesim didapatkan tekanan *input* pipa dari *wellhead* 30, 460 bar dan

tekanan *output* pipa menuju turbin sebesar 22,985 bar maka diperoleh kehilangan tekanan sebesar 7, 476 bar.

IV. Kesimpulan

1. Perhitungan diameter pipa sesuai standar ASME dengan diketahui masa sebesar 60 kg/s dan kualitas uap sebesar 0.176 yaitu 8 inci.
2. Penurunan tekanan dari *well head* menuju separator adalah 7, 476 bar dengan tekanan input turbin sebesar 22,985 bar sehingga diperlukan *valve* untuk menyesuaikan tekanan dengan spesifikasi turbin.
3. Kecepatan aliran yang memenuhi kondisi ideal antara 20 – 30 m/s adalah 27.33 m/s.

V. Daftar Pustaka

- Sirait P., Ridwan R. H., Battistelli A., 2015. *Reservoir Modeling for Development Capacity of Dieng Geothermal Field, Indonesia*. Proceedings Fortieths Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 26-28.
- Saptadji N. M., 1998. *Teknik Panas Bumi*. Kelompok Studi Panas Bumi, Institut Teknologi Bandung: Bandung. Chapter 10 page 1-12.
- Sashi E. M., Piping Calculation Manual., 2005. *Systek Technologies, Inc*. New York. Chapter 4 Page 231-232.
- ASME Code for Tekanan Piping, B31 dan B36.