

Penentuan Kehilangan Tekanan dari Wellhead menuju Separator dengan Bantuan Simulator pada Sumur Panas Bumi

Lia Yunita, Eko Widi Pramudihadi

¹⁾Dosen Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta

²⁾Dosen Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Korespondensi : yunitalia478@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan fasilitas produksi dirancang sebaik mungkin karena akan berdampak pada daya yang dihasilkan turbin. Adanya kehilangan tekanan di sepanjang pipa dari wellhead menuju separator perlu diperhitungkan. Parameter yang mempengaruhi kehilangan tekanan dalam perencanaan fasilitas produksi adalah panjang pipa, diameter pipa, kemiringan pipa, valve, belokan (bends) dan perubahan diameter pipa. Penelitian ini, bertujuan untuk menentukan kehilangan tekanan pipa pada sumur panas bumi "UP 1" dari wellhead menuju separator dengan bantuan simulator. Sumur "UP 1" merupakan sumur water dominated. Metodologi yang digunakan menggunakan bantuan simulator yaitu pepesim lokal. Hasil kehilangan tekanan dari wellhead menuju separator dengan perencanaan dengan panjang pipa 98 meter diperoleh 4.65 bar.

Kata Kunci : Kehilangan tekanan, wellhead, separator, simulator.

1. PENDAHULUAN

Dalam perencanaan fasilitas produksi khususnya pemipaan sangat diperlukan. Kehilangan tekanan menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan karena akan berpengaruh pada input turbin dan daya yang dihasilkan. Pada sistem aliran fluida yang mengalir dari satu titik ke titik yang lain dan mengalami berbagai proses mekanik maka perubahan energi akibat proses yang terjadi dalam sistem tersebut akan mengikuti hukum konservasi energi. Secara umum konservasi energi yang terjadi diantara dua titik tersebut menyatakan bahwa : "Energi yang masuk ke titik pertama ditambah dengan kerja yang dilakukan oleh dan terhadap fluida diantara titik pertama dan kedua, dikurangi dengan energi yang hilang diantara kedua titik tersebut sama dengan energi yang keluar dari titik kedua". (DiPippo, Ronald. 2008)

Berdasarkan hukum konservasi energi tersebut diturunkan persamaan energi sebagai dasar pengembangan persamaan aliran fluida dalam pipa. Untuk sistem fluida pemakaian hukum konservasi energi antara titik masuk dan titik (1) keluar (2), dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$U_1 + \frac{mv_1^2}{2gc} + \frac{mgZ_1}{gc} + P_1V_1 + q - Wp + Wt + Lw = U_2 + \frac{mv_2^2}{2gc} + \frac{mgZ_2}{gc} + P_2V_2 \quad (1)$$

Keterangan :

U = Energi dalam

PV = Energi ekspansi

$\frac{mv^2}{2gc}$ = Energi kinetik

$\frac{mgZ}{gc}$ = Energi potensial

q = Energi panas dari fluida sebagai hasil proses reversibel

W = Kerja yang dilakukan oleh dan terhadap fluida.

Dalam aliran dua fasa untuk mempermudah perhitungan kehilangan tekanan (pressure drop) perlu diasumsikan terlebih dahulu aliran fluidanya. Asumsi aliran fluida dua fasa meliputi Homogeneous Flow dan Separated Flow. (Saptadji, N. M.1998). Asumsi aliran fluida dua fasa meliputi *Homogeneous Flow* dan *Separated Flow*.

- *Homogeneous Flow*

Dalam homogeneous flow, aliran fluida dua fasa (Uap dan Air) diasumsikan tercampur sempurna, sehingga campuran air dan uap berkelakuan seperti fluida satu fasa dengan sifat rata-rata tergantung dari sifat masing-masing fasa.

Dengan anggapan tersebut, maka kehilangan tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti cara perhitungan kehilangan tekanan untuk aliran satu fasa. Apabila kehilangan tekanan karena akselerasi diabaikan, maka persamaan kehilangan tekanan dapat ditulis dalam persamaan yaitu :

$$(dp/dZ)_t = \rho_m g \sin \theta + \{(\lambda V_m^2)/(2 v_m)\} \quad (2)$$

Apabila volume spesifik campuran uap-air (v_m) adalah :

$$v_m = x v_g + (1 - x) v_l \quad (3)$$

Maka densitas campuran uap-air (ρ_m) adalah :

$$\rho_m = 1/v_m \quad (4)$$

Apabila laju alir massa fluida adalah m dan luas penampang pipa adalah A (D adalah diameter pipa) maka kecepatan fluida, V_m adalah :

$$V_m = (mv_m)/A \quad (5)$$

Friction factor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\lambda = 8\{(8/Re)^{12} + [1/(A+B)^{3/2}]\}^{1/12} \quad (6)$$

keterangan :

$$Re = (\rho_m V_m D)/\mu_m$$

$$\mu_m = x \mu_g + (1 - x) \mu_l$$

$$A = [2.547 \ln\{1/((7/Re)^{0.9} + 0.27 \varepsilon/D)\}]^{16}$$

$$B = [37530/Re]^{16}$$

- *Separated Flow*

Dalam anggapan separated flow, aliran fluida dua fasa (uap-air) berbeda dengan aliran satu fasa. Perbedaan tersebut terletak pada adanya antar muka yang menyebabkan uap – air apabila mengalir bersama-sama dalam pipa maka masing-masing fasa terpisah dan terdistribusi menempati bagian dari pipa. Pola aliran dua fasa antara kepala sumur sampai separator harus dibatasi pada aliran annular untuk menghindari terjadinya water hammer pada separator yang akan mengakibatkan kerusakan. Aliran annular dapat diketahui dari output curve dengan memplot harga v_{sl} vs v_{sg} . Data v_{sl} vs v_{sg} dapat dilihat pada gambar berikut :

4.1. Profil Tekanan

Pemakaian dalam pipa salur profil tekanan ditulis dengan persamaan yang dinyatakan dalam fungsi $E(P,T)$ sebagai berikut (Stevens, L. 2000):

$$E(P,T) = P_1 - P_2 + \frac{\left(\frac{g}{g_c} \sin \theta [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] + \frac{f_p G_m V_m}{2 g_c d} \right) \Delta L}{1 - \frac{[\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] V_m V_{sg}}{g_c \bar{P}}} \quad (7)$$

dan

$$T_2 = T_1 - \frac{Q}{C_p} - \frac{g(Z_1 - Z_2)}{C_p} \quad (8)$$

Kedua persamaan diatas merupakan persamaan non linier, dapat diselesaikan dengan menggunakan metoda Newton Rapsion secara simultan dengan dua variabel P dan T . Misalkan kedua persamaan , memiliki hubungan terhadap P dan T sebagai berikut :

$$E(P,T) = f(P,T).$$

$$G(P,T) = f(P,T).$$

Jika (P_k, T_k) memenuhi ke dua persamaan diatas yang dinyatakan dalam $E(P_k, T_k)$ dan $G(P_k, T_k)$ dan (P_{k+1}, T_{k+1}) merupakan pendekatan yang lebih baik dari pendekatan sebelumnya dalam menentukan akar-akar persamaan yang merupakan variabel dari fungsi $E(P_{k+1}, T_{k+1})$ dan $G(P_{k+1}, T_{k+1})$.

Tranformasi dari (P_k, T_k) untuk memperoleh harga (P_{k+1}, T_{k+1}) dengan menggunakan tranformasi linier :

$$E(P_{k+1}, T_{k+1}) - E(P_k, T_k) = (P_{k+1} - P_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} + (T_{k+1} - T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \quad (9)$$

$$G(P_{k+1}, T_{k+1}) - G(P_k, T_k) = (P_{k+1} - P_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} + (T_{k+1} - T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} \quad (10)$$

Akar persamaannya yang dinyatakan akar dalam P_{k+1} dan T_{k+1} hanya dapat dipenuhi jika fungsi yang mengandung kedua akar tersebut berharga nol :

$$E(P_{k+1}, T_{k+1}) = 0$$

$$G(P_{k+1}, T_{k+1}) = 0$$

persamaan (9) dan (10) menjadi :

$$- E(P_k, T_k) = (P_{k+1} - P_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} + (T_{k+1} - T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \quad (10)$$

$$- G(P_k, T_k) = (P_{k+1} - P_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} + (T_{k+1} - T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} \quad (11)$$

persamaan diatas dinyatakan dalam matrik :

$$\begin{bmatrix} - E(P_k, T_k) \\ - G(P_k, T_k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \\ \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta T \end{bmatrix}$$

Keterangan :

$$\Delta P = P_{k+1} - P_k$$

$$\Delta T = T_{k+1} - T_k$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \\ \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} \end{bmatrix}^{-1} = A^{-1}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{D} (C_{ij})^T$$

D = Determinan

$$D = \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} - \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} \quad (12)$$

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} & -\frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} \\ -\frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} \end{bmatrix} \quad C_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} & -\frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \\ -\frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} \end{bmatrix}$$

maka :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \\ \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} & -\frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} \\ -\frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T \cdot D} & \frac{-\partial E(P_k, T_k)}{\partial T \cdot D} \\ -\frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial P \cdot D} & \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial P \cdot D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} - E(P_k, T_k) \\ - G(P_k, T_k) \end{bmatrix}$$

Dengan demikian hasil penurunan tekanan dan temperatur secara simultan pada ujung grid aliran keluar, dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta P = \frac{G(P_k, T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} - E(P_k, T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T}}{D} \quad (13)$$

$$P_{k+1} = P_k + \frac{G(P_k, T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T} - E(P_k, T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T}}{D} \quad (14)$$

$$\Delta T = \frac{E(P_k, T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} - G(P_k, T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T}}{D} \quad (15)$$

$$T_{k+1} = T_k + \frac{E(P_k, T_k) \frac{\partial G(P_k, T_k)}{\partial T} - G(P_k, T_k) \frac{\partial E(P_k, T_k)}{\partial T}}{D} \quad (16)$$

Simulator pipa (pipesim lokal) digunakan untuk perhitungan tekanan, temperatur, fraksi uap di pipa salur permukaan. Data masukan untuk simulator pipesim berupa data sumur pada kondisi wellhead, data tersebut adalah :

1. Data produksi pada berbagai tekanan kepala sumur (kurva output), yang meliputi laju alir massa fluida, (uap, air dan total), entalpi dan fraksi uap pada berbagai tekanan kepala sumur.
2. Temperatur, Merupakan temperatur aliran di kepala sumur sebagai akibat dari perpindahan panas yang dibawa oleh fluida (cairan).
3. Entalpi, pada simulator ini digunakan asumsi bahwa tidak terjadi perubahan entalpi, sehingga entalpi di reservoir sama dengan entalpi campuran di permukaan (proses isentalpi).
4. Kualitas uap, sebagai akibat dari perubahan temperatur di permukaan sehingga dalam perjalanan aliran menuju kepala sumur terjadi pertambahan massa cairan dan pengurangan massa uap di kepala sumur.

Simulator ini (pipesim), berperan memberikan data berupa parameter yang diperlukan untuk mengetahui perilaku aliran fluida di pipa alir permukaan. Dengan simulator ini dapat dihitung kehilangan tekanan di pipa alir permukaan (baik untuk aliran dua fasa, maupun aliran fluida satu fasa), dan pengaruhnya terhadap penurunan temperatur, penurunan kualitas uap (dryness), penurunan enthalpi masukan, laju alir dan ukuran pipa tertentu. Kehilangan tekanan dengan rute jaringan pipa seperti pada Layout dihitung dengan simulator pipesim. Pada rute tersebut terdapat valve, belokan (bends) dan perubahan diameter pipa, untuk menghitung kehilangan tekanannya digunakan persamaan dari E.S.D.U.

Persamaan umum kehilangan tekanan dua fasa pada fitting jaringan pipa (ESDU):

$$\Delta P_{TP} = \phi^2_{LO} \cdot \Delta P_{LO} \quad (17)$$

dimana ϕ^2_{LO} adalah faktor pengali dua fasa dan ΔP_{LO} adalah kehilangan tekanan satu fasa untuk fasa cair yang mengalir pada laju alir massa yang sama dengan laju alir massa pada campuran dua fasanya.

Harga ϕ^2_{LO} dan ΔP_{LO} berbeda-beda untuk masing-masing kategori, yaitu :

1. Kehilangan tekanan karena adanya valve persamaan untuk ϕ^2_{LO} dan ΔP_{LO} adalah :

$$\Delta P_{LO} = \frac{G_1^2 Ck}{2\rho_L} \quad (18)$$

dengan harga Ck dan ϕ^2_{LO} diberikan pada tabel V-A

2. Kehilangan tekanan karena adanya belokan (bends) dirumuskan oleh *Chisholm* :

$$\phi^2_{LO} = 1 + \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} - 1\right) \{Bx(1-x) + x^2\} \quad (19)$$

dimana : $B = 1 + \frac{2.2}{Ck(2 + R/D)}$ dan koefisien kehilangan tekanan satu fasa untuk belokan 90° pada

aliran turbulenta. Untuk belokan dengan sudut yang lain *Chisholm* juga merekomendasikan menggunakan persamaan diatas dan untuk belokan 180° ("U" Bends) koefisien kehilangan tekanan satu fasa harus dikalikan dua.

(catatan : R/D adalah radius ratio yaitu perbandingan antara jari-jari belokan dengan jari-jari pipa)

3. Kehilangan tekanan karena adanya perubahan diameter pipa dirumuskan oleh *Simpson* (1983) dengan persamaan :

$$\text{Area ratio } \sigma = (D1/D2)^2 \quad (20)$$

$$\phi^2_{LO} = \left[1 + \left\{ \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{1/6} - 1 \right\} \right] \left[1 + x \left\{ \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{5/6} - 1 \right\} \right] \quad (21)$$

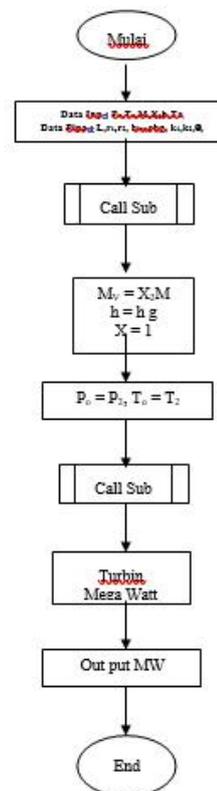
$$\Delta P_{LO} = -\frac{G_1^2}{2\rho_L} \{\sigma^2 - 1 + (1 - \sigma)^2\} \quad (22)$$

2. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan menggunakan bantuan simulator pipesim lokal. Perhitungan kehilangan tekanan dihitung tiap segmen dengan prosedur sebagai berikut :

1. Pada program simulator data-data yang dimasukkan adalah :
 - tekanan, temperatur, enthalpy, laju alir massa, kualitas uap (dryness faktor), panjang bagian pipa yang akan dihitung dan sudut inklinasi (kemiringan) pipa. Setelah program di-run dari pipesim kita mendapat data-data output sebagai berikut :
 - kualitas uap, enthalpy, tekanan, temperatur, kecepatan fasa cair dan jenis pola alirannya.
 Kemudian data-data output ini akan menjadi masukan untuk bagian pipa berikutnya.
2. Untuk bagian pipa yang terdapat valve, belokan atau perubahan diameter pipa maka perhitungannya adalah data output dari pipesim kita gunakan sebagai masukan untuk perhitungan kehilangan tekanan karena adanya valve, belokan dan perubahan diameter pipa menggunakan persamaan 19 sampai dengan 20

Bagan alir simulator pipesim dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Flowchart Simulator Pipesim Lokal

3. HASIL DAN ANALISIS

Perencanaan layout pipa “UP 1” bertujuan untuk mendapatkan panjang pipa yang sesuai, sehingga input data pada simulator pipesim akan memberikan hasil yang valid. Adapun perencanaan pipa pada setiap segmen terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan layout pipa “UP 1” tiap segmen

No	Segmen Pipa	Panjang (m)	Kemiringan (°)
1	Dari Well head sampai valve crown	3.5	90
2	Dari Crown Valve sampai pangkal S - Bend	1	0
3	Dari pangkal S - Bend sampai ujung S - Bend	4	25
4	Dari ujung S - Bend sampai throttle valve	3.5	0
5	Dari Throttle valva sampai elbow - A	28	0
6	Dari Elbow - A sampai Elbow - B	24	0
7	Dari Elbow - B sampai Elbow - C	20	0
8	Dari Elbow - C sampai Elbow - D	10	90
9	Dari Elbow - D sampai Separator	4	0
TOTAL		98	

Input data yang diperlukan untuk menjalankan simulator pipesim lokal pada segmen pertama berupa

Massa 59.00
 T 215.72
 P 18.0
 Dryness 0.21
 Entahply di WH 1296.3

Setelah input data dimasukkan, maka didapatkan output pada segmen pertama sebagai berikut

```

LIA1 - Notepad
File Edit Format View Help
Temperature = .20980E+03 deg C
Ambient Temperature = .19000E+02 deg C
Enthalpy = .12963E+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 Rougness = .61000E-04 m
Massflow = .59000E+02 kg/sec
Steam Quality = .23000E+00 fraction
Inside Diameter Of The Pipe = .64010E+00 m
Outside Diameter Of The Pipe = .66040E+00 m
Delta Length = .50000E+00 m
Pipe Length = .35000E+01 m
Teta = .90000E+02 deg
Error Tolerance For Pressure = .10000E-05 bar
Error Tolerance For Temperature = .10000E-05 deg C
    
```

OUTPUT

```

-----

```

Pipe (m)	Steam Quality (fraction)	Enthalpy (kj/kg)	Pressure (bar)	Temperature (deg C)	Massa Total (kg/s)	Kecepatan Fasa Cair (m/s)	Flow
.00000E+00	.23000E+00	.129630E+04	.180000E+02	.209800E+03	.590000E+02	-	-
.50000E+00	.208641E+00	.129612E+04	.179842E+02	.209798E+03	.590000E+02	.195117E+02	Segregated
.10000E+01	.208545E+00	.129594E+04	.179672E+02	.209796E+03	.590000E+02	.194426E+02	Segregated
.15000E+01	.208449E+00	.129575E+04	.179501E+02	.209795E+03	.590000E+02	.194609E+02	Segregated
.20000E+01	.208353E+00	.129556E+04	.179331E+02	.209793E+03	.590000E+02	.194792E+02	Segregated
.25000E+01	.208257E+00	.129537E+04	.179161E+02	.209791E+03	.590000E+02	.194976E+02	Segregated
.30000E+01	.208161E+00	.129518E+04	.178990E+02	.209789E+03	.590000E+02	.195160E+02	Segregated
.35000E+01	.208064E+00	.129499E+04	.178820E+02	.209787E+03	.590000E+02	.195344E+02	Segregated

```

-----

```

Kemudian dilakukan perhitungan dan *running* kehilangan tekanan pada segmen yang lain, sehingga didapatkan output tiap segmen terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Running Pipesim* Lokal Kehilangan Tekanan tiap segmen pada sumur “UP 1”

Segmen	Panjang (m)	P in (bar)	Delta P (bar)
1.00	3.50	18.0000	
2.00	1.00	13.4874	4.5126
3.00	4.00	13.4678	0.0196
4.00	3.50	13.3878	0.0800
5.00	28.00	13.3825	0.0053
6.00	24.00	13.3676	0.0149
7.00	20.00	13.3628	0.0049
8.00	10.00	13.3579	0.0049
9.00	4.00	13.3547	0.0032
Separator		13.3500	0.0047
Jumlah	98.00		4.6500

4. KESIMPULAN

1. Kehilangan tekanan pada pipa dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, kemiringan pipa, valve, belokan (bends) dan perubahan diameter pipa.
2. Perhitungan kehilangan tekanan dari wellhead menuju separator pada perencanaan fasilitas produksi sumur dengan panjang pipa 98 meter diperoleh 4.65 bar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grant, M. A., & Bixley, P. F. 2011. *Geothermal Reservoir Engineering (Second Edition)*. Elsevier INC.
- [2] DiPippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact Second Edition*, Butterworth-Heinemann.
- [3] DiPippo, Ronald. 2012. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact Third Edition*, Butterworth-Heinemann.
- [4] Saptadji, N. M. 1998. *Kehilangan Tekanan di Pipa Alir Fluida Panasbumi Versi 1*, Kelompok Studi Panasbumi ITB : Bandung.
- [5] Sukarno, Pudjo, Mucharam Leksono. 2000. *Aliran Fluida Multifasa Dalam Pipa*. Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB : Bandung.
- [6] Stevens, L. 2000. *Pressure, Temperature and Flow Logging in Geothermal Wells*. In Proceedings World Geothermal Congress. Kyushu-Tohoku. Retrieved from <https://www.geothermal->