

THE APPLICATION OF “MODIFIED HIRIART” FOR FLUIDS FLOW MEASUREMENT IN GEOTHERMAL WELLS FLOW TEST USING HORIZONTAL LIP PRESSURE METHODE

Yanuaris Dwi Cahyono

Operasi Produksi PT. Pertamina Geothermal Energy
Menara Cakrawala Lantai 14, Jl. MH. Thamrin No.09 Jakarta Pusat
e-mail: yanuarisdwic@pertamina.com

ABSTRACT

In order to know the capacity and fluid properties of a newly drilled geothermal well, it is very critical to carry out a series of flow test measurements. Currently, there are several methods used, but only two of them are used commonly those are Lip Pressure and Separator methods. Lip Pressure technique can be used either vertically or horizontally discharge test, but normally, Separator technique can be used just in horizontal discharge.

Both types of test is aimed to clean out bottom hole impurities or drilling mud and secondly to understand potential electric capacity of the tested well. Lip Pressure technique and measurement will result relatively rough production capacity.

After long application and development, Lip Pressure method is quite accurate in geothermal well fluid flow measurements. The accuracy has been agreed by statistical analyses of the data. Lip Pressure method uses Russel James formulas to obtain enthalpy and total flow values.

The objective of this study is to test the accuracy of Horizontal Lip Pressure method using “Modified Hiriart” against Separator method. This method can be employed for all types of fluid, for steam dominated and for two phase. In addition, the result can be known instantly at field.

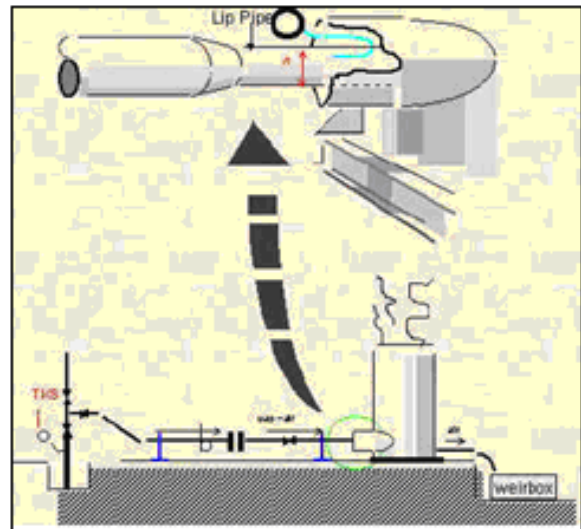
PENDAHULUAN

Persamaan Russel James

Lip Pressure datar merupakan metode yang pertama kali dikembangkan oleh Russel James di New Zealand pada tahun 1970. Metode tersebut sangat umum dipakai untuk uji produksi dengan keakuratan

rata-rata 5% (Grant, et. Al., 1982). Dalam metode ini, fluida dari sumur disemburkan mendatar ke silencer (atmospheric separator) seperti terlihat pada Gambar 1. Tekanan diukur pada bagian paling ujung pipa.

Laju aliran air dari separator diukur dengan menggunakan weir box. Dengan menggunakan data yang diperoleh, besarnya flowing enthalpy dan laju aliran massa dapat dihitung dengan menggunakan rumus Russel James yang akan dijelaskan di bawah ini.



Gambar 1 : Metode Horizontal Discharge (Gambar oleh Dudi Duardi, 1997)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, Russel James menghubungkan laju aliran massa, enthalpi, luas penampang pipa dan tekanan lip sebagai berikut:

$$\frac{Gxh^{1,102}}{P^{0,96}} = 0,184 \quad (1)$$

$$G = \frac{M}{3600 \times A} \quad (2)$$

$$\frac{Mxh^{1,102}}{3600 \times A \times P^{0,96}} = 0,184 \quad (3)$$

dimana P “lip pressure” [bar absolut]; h flowing enthalpy [kJ/kg]; G total laju alir massa unit area

[kg/cm².s]; A luas area dari pipa lip [cm²]; M total laju alir massa [ton/jam]. Laju aliran air dari silencer dihubungkan dengan laju aliran total dari sumur (M) oleh flash correction factor [FCF]

$$M = W_{atm} \times FCF \quad (4)$$

$$FCF = \frac{1}{1 - x} \quad (5)$$

$$M = \frac{W_{atm} \times h_{fgatm}}{h_{gatm} - h} \quad (6)$$

Substitusi persamaan di atas ke persamaan Russel James maka diperoleh:

$$\frac{W_{atm} \times h_{fgatm} \times h^{1.102}}{3600 \times A \times P^{0.96} \times (h_{gatm} - h)} = 0,184 \quad (7)$$

untuk tekanan atmosfer sebesar 1 bar absolute ($h_{g_{atm}} = 2675$ kJ/kg dan $h_{f_{g_{atm}}} = 2258$ kJ/kg) maka diperoleh:

$$\frac{W_{atm}}{A \times P^{0.96}} = \frac{0,184 \times 3600 \times (2675 - h)}{2258 \times h^{1.102}} \quad (8)$$

$$= \frac{0,293 \times (2675 - h)}{h^{1.102}} \quad (9)$$

dengan menggunakan persamaan di atas maka harga $W_{atm}/A \times P^{0.96}$ dapat dihitung untuk berbagai harga h. Bila h diplot terhadap $\log[W_{atm}/A \times P^{0.96}]$ maka diperoleh hubungan yang hampir linear.

Bila kita definisikan

$$Y = \frac{W_{atm}}{A \times P^{0.96}} \quad (10)$$

dan kita gunakan persamaan linear, maka harga enthalpy (bila diukur pada tekanan atmosfer sebesar 1 bara) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$h = \frac{2675 + 925Y}{1 + 7.85Y} \quad (11)$$

Setelah harga flowing enthalpy diperoleh maka laju aliran massa dapat dihitung dengan menggunakan flash correction factor, yaitu:

$$M = \frac{W_{atm} \times h_{fgatm}}{h_{gatm} - h} \quad (12)$$

dimana jika tekanan atmosfer adalah 1 bara, maka persamaan di atas menjadi

$$M = \frac{W_{atm} \times 2258}{2675 - h} \quad (13)$$

Perhitungan laju alir dan enthalpy dari hasil pengujian dengan metode lip pressure (horizontal discharge) sangat mudah, yaitu dengan cara sebagai berikut:

1. Hitung harga Y dengan persamaan

$$Y = \frac{W_{atm}}{A \times P^{0.96}}$$

2. Hitung enthalpy h dengan menggunakan

$$h = \frac{2675 + 925Y}{1 + 7.85Y}$$

3. Hitung laju alir massa M dengan persamaan

$$M = \frac{W_{atm} \times 2258}{2675 - h}$$

Persamaan Hiriart

Pada tahun 1982, Gerardo Hiriart membuat persamaan untuk menghitung laju alir uap dari sumur panas bumi dengan karakteristik dominasi uap sebagai berikut :

$$Q_s = (0.066 + 0.036P)d^2 \quad (14)$$

Dimana : Q_s = laju alir uap (ton/jam)

P = tekanan lip (psia)

d = diameter pipa lip (inch)

Persamaan Hiriart ini sangat sederhana karena menghilangkan asumsi nilai flowing enthalpy seperti pada persamaan Russel James dan mengkorelasikan laju alir uap sebagai fungsi dari tekanan lip. Asumsi dasar dari persamaan ini adalah laju alir uap yang mengalir ke atmosfer pada kondisi kecepatan sonik seperti pada gas sempurna (Hiriart, 1982).

Persamaan (14) diatas, hanya berlaku untuk sumur dominasi uap. Sedangkan untuk sumur dua fasa, laju alir uap dikoreksi menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$Q_s' = Q_s \left(1 - 0.007 \frac{Q_w}{Q_s}\right) \quad (15)$$

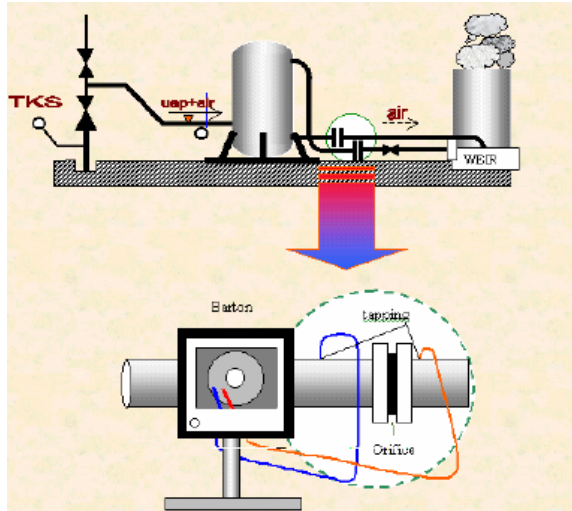
dimana : Q_s' = laju alir uap terkoreksi (ton/jam)

Q_w = laju alir air pada kondisi atmosfer

Hasil perhitungan menggunakan persamaan Hiriart ini mempunyai rata-rata keakuratan 10% (Hiriart, 1982) jika hasilnya dibandingkan dengan perhitungan menggunakan persamaan Russel James.

Metode Separator

Metode ini paling akurat untuk mengukur aliran dua fasa dari sumur panas bumi dengan penggunaan cyclone separator. Separator akan memisahkan fasa uap dan fasa cair pada tekanan separator. Ukuran separator tergantung dari perkiraan besarnya laju aliran massa. Berikut ditampilkan gambar skema pengujian menggunakan metode separator.



Gambar 2 : Laju Alir Uap dengan Orifice dan Laju Alir Air Dialirkan ke Silencer dan Diukur dengan Weir Box (Gambar oleh Dudi Duardi, 1997)

Persamaan Orifice di jalur uap

Bila air diukur dengan menggunakan orifice meter, maka harus dijaga agar tidak terjadi flashing (penguapan) yang berlebih waktu air melewati orifice. Hal ini dapat dihindarkan dengan mendinginkan air atau menempatkan orifice pada ketinggian tertentu sehingga tekanan air antara separator dan orifice cukup besar untuk mencegah terjadinya flashing penguapan dalam orifice. Aliran melalui orifice dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$M = 0,03959172xcxZxexExd^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{v_g}} \quad (16)$$

dimana : M = laju alir massa (ton/jam)

Z = 1

c = koefisien yang merupakan fungsi m

$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$, d adalah diameter dalam

orifice (cm) dan D adalah diameter dalam pipa (cm). Baik d maupun D harus nilai yang sebenarnya (hasil pengukuran bukan harga nominalnya). Untuk mempermudah dalam perhitungan, besarnya d dan D yang sebenarnya bisa didekati dengan cara mengalikan harga nominalnya dengan faktor panas materialnya yang digunakan.

e = faktor ekspansibilitas

$$= 1 - (0.41 - 0.35m^2) \times \frac{1}{k} \times \frac{\Delta p}{P_{upstream}} \quad (k)$$

adalah adiabatik indeks (1.33 untuk saturated steam dan 1.3 untuk superheated steam).

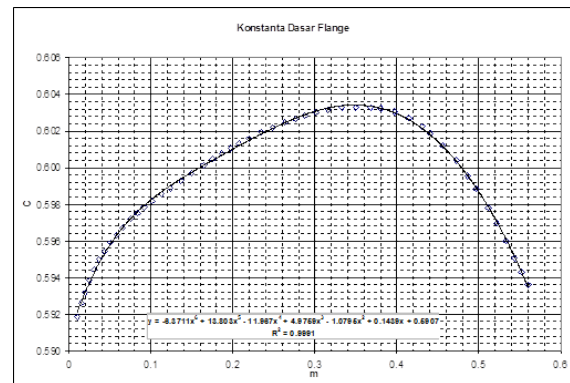
E = faktor pendekatan kecepatan

$$= (1 - m^2)^{-0.5}$$

ΔP = perbedaan tekanan upstream dan downstream, ksc

P_u = tekanan upstream, ksc absolut

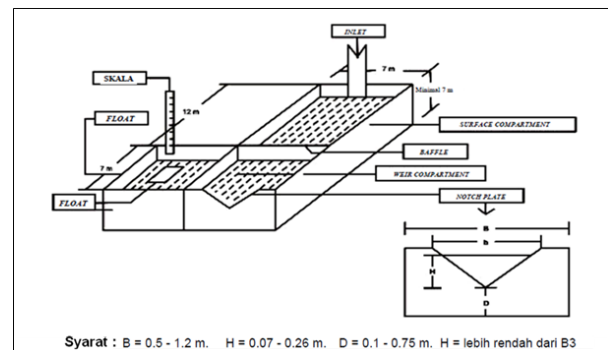
v_g = specific volume uap pada P_u , m^3/kg



Gambar 3 : Contoh grafik konstanta flange tapping orifice untuk menentukan nilai c.

Persamaan Weir Box di jalur air

Weir Box digunakan untuk mengukur laju alir air yang keluar dari atmospheric separator (silencer). Weir Box mempunyai banyak tipe, seperti V-Notch, Rectangular dan Trapezoidal. Secara umum konstruksi weir box dengan tipe V-Notch adalah sebagai berikut :



Gambar 4 : Standar umum konstruksi weir box tipe V-Notch beserta ukurannya.

Persamaan untuk menghitung laju alir air yang melewati weir box dengan tipe V-Notch adalah

$$K = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}}\right) \times \left(\frac{h}{B} - 0.09\right)^2 \quad (17)$$

$$M_{brine} = K \times h^{\frac{5}{2}} \quad (18)$$

$$x = \frac{(h_{f(separator)} - h_{f(weir\ box)})}{h_{fg(weir\ box)}} \quad (19)$$

$$M_{brineterflashing} = M_{total} - M_{brine-weir\ box} \quad (20)$$

$$M_{total} = \frac{M_{brine-weir\ box}}{(1-x)} \quad (21)$$

dimana : h = Tinggi brine di weir box dari V-Notch (cm)

B = Lebar weir box (cm)

D = Tinggi dari dasar weir box sampai bibir V-Notch

ρ = Berat jenis brine (kg/m³).

K = Koefisien discharge

P_{sep} = Tekanan separator (barg)

P_{atm} = Tekanan atmosfer (bara)

h_{f sep} = Entalphi liquid pada Psep (kJ/kg)

h_{f atm} = Entalphi liquid pada Patm (kJ/kg)

h_{g atm} = Entalphi vapor pada Patm (kJ/kg)

h_{fg atm} = Entalphi vapor-liquid pada P_{atm} (kJ/kg)

m_{brine weir box} = Laju brine pada weirbox (ton/jam)

m_{brine terflashing} = Laju brine yang flashing di silencer (ton/jam)

m_{brine total} = Laju brine total (ton/jam)

menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart.

Tabel 1: Perbandingan nilai laju alir uap antara persamaan Hiriart dan Russel James dalam uji produksi menggunakan Lip Pressure datar di salah satu area operasi EDC.

SUMUR	WF (TPH)	RUSSEL JAMES		HIRIART			
		SF (TPH)	% DRY	SF ₁ (TPH)	SF ₂ (TPH)	% VAR	SF ₃ (TPH)
A	40.32	20.50	33.71	25.40	22.50	9.82	21.20
B	134.28	74.20	35.59	89.20	79.80	7.57	75.20
C	130.68	72.40	35.65	87.50	78.40	8.34	73.90
D	63.36	36.40	36.49	43.50	39.00	7.37	36.80
E	134.64	85.30	38.78	101.30	91.90	7.71	86.70
F	32.04	20.50	39.02	24.60	22.40	9.04	21.10
G	99.00	65.20	39.71	76.10	69.20	6.15	65.20
H	143.64	94.30	39.63	110.80	100.70	6.78	95.00
I	83.88	65.20	43.73	75.30	69.50	6.62	65.50
J	69.84	55.80	44.41	64.60	59.70	6.96	56.30
K	69.48	60.50	46.55	69.70	64.80	7.20	61.10
L	82.08	73.40	47.21	82.40	76.70	4.39	72.30
M	68.04	61.60	47.52	70.30	65.60	6.52	61.80
N	78.48	99.40	55.88	108.40	102.90	3.57	97.00
O	70.20	89.30	55.99	98.20	93.30	4.48	88.00
P	54.36	73.10	57.35	80.60	76.80	5.07	72.40
Q	46.08	94.30	67.17	100.80	97.60	3.48	92.00
R	9.72	23.00	70.29	24.20	23.50	1.92	22.10
S	17.28	42.10	70.90	44.10	42.80	1.73	40.40
T	33.12	88.90	72.86	95.80	93.50	5.14	88.20
U	142.56	84.20	37.13	99.50	89.50	6.26	84.40
V	54.72	79.20	59.14	85.60	81.70	3.21	77.10
W	96.84	62.30	39.15	73.30	66.50	6.80	62.70
X	126.72	100.10	44.13	113.90	105.10	4.97	99.10
Y	77.76	46.80	37.57	54.40	49.00	4.67	46.20
Z	66.60	120.20	64.35	128.10	123.40	2.66	116.40

Keterangan :

- WF : laju alir brine di atmospheric separator (trapezoidal weir box)
- SF : laju alir uap (dengan Russel James)
- SF₁ : laju alir uap (dengan Hiriart belum dikoreksi dengan laju alir brine)
- SF₂ : laju alir uap (dengan Hiriart setelah dikoreksi dengan laju alir brine)
- SF₃ : laju alir uap (dengan Hiriart setelah dikoreksi dengan % rata-rata varian)
- SF₃ : SF₂ x (1 - 0.0571)

Tabel 1 diatas menunjukkan perbandingan laju alir uap dari sumur panas bumi di salah satu area operasi EDC Filipina yang mempunyai dryness antara 33% - 64% dengan enthalpy dari 1177 kJ/kg – 2061 kJ/kg menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart. Nilai laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart mempunyai selisih 1.73% - 9.82% dengan rata-rata

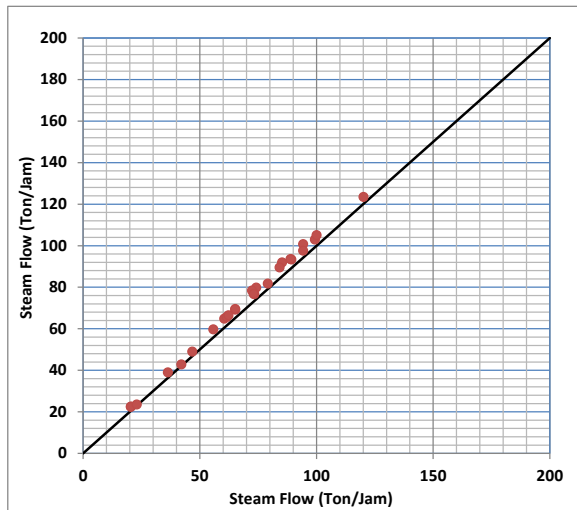
APLIKASI PERSAMAAN HIRIART

1. Sumur Panas Bumi di Filipina

Aplikasi persamaan Hiriart dilakukan untuk menghitung laju alir uap sumur panas bumi yang dikelola oleh EDC (Energy Development Corporation) sebagai perusahaan swasta pemegang WKP terbesar di Filipina (dulunya sebagai anak perusahaan PNOC yang telah diprivatisasi pada tahun 2007 oleh Lopez Corporation). EDC menggunakan persamaan Hiriart sebagai pembanding persamaan Russel James untuk menghitung laju alir uap saat dilaksanakan uji produksi metode Lip Pressure datar. Perlu diketahui juga bahwa metode Lip Pressure datar merupakan metode uji produksi yang sudah dijadikan standar pengukuran laju alir fluida di seluruh lapangan panas bumi yang dikelola oleh EDC tersebut.

Berikut disajikan data uji produksi sumur panas bumi di salah satu lapangan EDC di Filipina

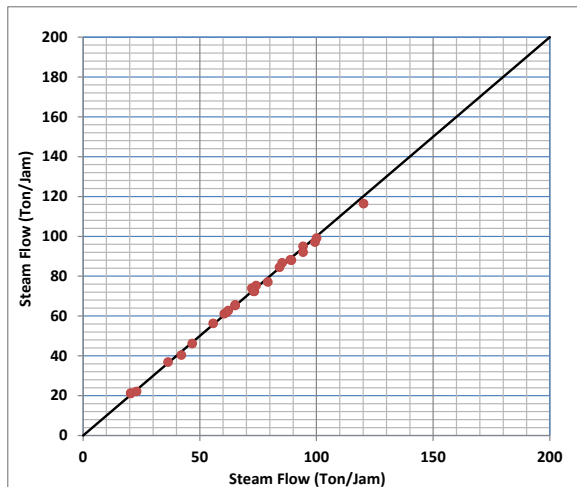
nilai varian 5.71%. Berikut ditampilkan plot grafik korelasi antara nilai laju alir uap menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart.



Gambar 2 : Perbandingan hasil perhitungan laju alir uap menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart di salah satu area operasi EDC Filipina.

Untuk menyesuaikan nilai laju alir uap yang dihitung menggunakan persamaan Hiriart agar mendekati nilai laju alir uap yang dihitung menggunakan persamaan Russel James, digunakan faktor koreksi 0.9429. Faktor koreksi tersebut diperoleh dari rata-rata nilai varian atau selisih nilai perhitungan antara kedua persamaan tersebut.

Berikut ditampilkan plot grafik korelasi nilai laju alir uap menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart setelah diberikan faktor koreksi 0.9429.



Gambar 3 : Perbandingan hasil laju alir uap antara persamaan Russel James dan Hiriart setelah dikoreksi.

Hasil akhir setelah diberikan faktor koreksi 0.9429 tersebut, diperoleh nilai perhitungan laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart yang sangat mendekati persamaan Russel James. Nilai rata-rata varian yang semula 5.71% menjadi 1.66% seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2: Perbandingan nilai laju alir uap setelah diberikan faktor koreksi antara persamaan Russel James dan Hiriart.

Russel James	Tanpa Faktor Koreksi			Dengan Faktor Koreksi		
	Hiriart	Diff	% Var	Hiriart	Diff	% Var
20.50	22.50	2.00	9.82	21.25	0.75	3.53
74.20	79.80	5.60	7.57	75.22	1.02	1.36
72.40	78.40	6.00	8.34	73.92	1.52	2.06
36.40	39.00	2.60	7.37	36.81	0.41	1.11
85.30	91.90	6.60	7.71	86.65	1.35	1.56
20.50	22.40	1.90	9.04	21.10	0.60	2.84
65.20	69.20	4.00	6.15	65.22	0.02	0.03
94.30	100.70	6.40	6.78	94.97	0.67	0.71
65.20	69.50	4.30	6.62	65.51	0.31	0.47
55.80	59.70	3.90	6.96	56.28	0.48	0.85
60.50	64.80	4.30	7.20	61.13	0.63	1.03
73.40	76.70	3.30	4.39	72.29	-1.11	1.54
61.60	65.60	4.00	6.52	61.83	0.23	0.37
99.40	102.90	3.50	3.57	97.03	-2.37	2.44
89.30	93.30	4.00	4.48	87.96	-1.34	1.52
73.10	76.80	3.70	5.07	72.40	-0.70	0.97
94.30	97.60	3.30	3.48	92.03	-2.27	2.47
23.00	23.50	0.50	1.92	22.14	-0.86	3.88
42.10	42.80	0.70	1.73	40.40	-1.70	4.21
88.90	93.50	4.60	5.14	88.15	-0.75	0.85
84.20	89.50	5.30	6.26	84.41	0.21	0.25
79.20	81.70	2.50	3.21	77.07	-2.13	2.76
62.30	66.50	4.20	6.80	62.72	0.42	0.67
100.10	105.10	5.00	4.97	99.06	-1.04	1.05
46.80	49.00	2.20	4.67	46.19	-0.61	1.32
120.20	123.40	3.20	2.66	116.39	-3.81	3.27
AVERAGE		3.75	5.71		-0.39	1.66

Modifikasi Persamaan Hiriart

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, persamaan Hiriart cukup akurat dalam memperoleh nilai laju alir uap. Akan tetapi untuk aplikasi di salah satu area operasi EDC tersebut di atas, perlu dilakukan modifikasi terhadap persamaan yang ada. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan faktor koreksi sebesar 0.9429 yang hanya berlaku untuk satu area operasi tersebut. Hasil modifikasi persamaan Hiriart adalah sebagai berikut.

$$Q_s = 0.9429((0.066 + 0.036P)d^2) \quad (22)$$

Persamaan diatas berlaku untuk sumur dominasi uap, sedangkan untuk sumur dominasi air hasil modifikasi adalah sebagai berikut.

$$Q_s' = 0.9429 \left(Q_s \left(1 - 0.007 \frac{Q_w}{Q_s} \right) \right) \quad (23)$$

Persamaan yang telah dimodifikasi ini, ketika diaplikasikan untuk menghitung laju alir uap di area operasi yang sama, khususnya untuk sumur dominasi uap memperoleh nilai penyimpangan yang relatif kecil, yaitu antara 0.2% - 3.78% dibandingkan dengan hasil menggunakan persamaan Russel James. Sedangkan penentuan nilai enthalpi dilakukan dengan mengasumsikan dari sumur terdekat.

2. Sumur Panas Bumi di Indonesia

Untuk aplikasi persamaan Hiriart di Indonesia, penulis mengambil kasus pada saat dilakukan uji produksi sumur-sumur baru di area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy. Dalam mengaplikasikan persamaan ini, penulis bandingkan bukan dengan Metode Lip Pressure datar, tetapi menggunakan Metode Separator karena metode ini yang sudah standar digunakan untuk pelaksanaan uji produksi.

Berikut disajikan data hasil uji produksi sumur panas bumi di beberapa area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy menggunakan metode Separator dan Lip Pressure datar dengan persamaan Hiriart

Tabel 3: Perbandingan nilai laju alir uap antara persamaan Hiriart menggunakan metode Lip Pressure datar dan persamaan orifice menggunakan metode separator dalam uji produksi di beberapa area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy.

SUMUR	WF (TPH)	SEPARATOR		HIRIART			
		SF (TPH)	% DRY	SF ₁ (TPH)	SF ₂ (TPH)	% VAR	SF ₃ (TPH)
A	359.61	55.27	13.32	62.74	60.22	8.22	55.48
B	307.80	49.62	13.88	60.22	58.07	14.55	53.49
C	319.50	92.31	22.42	84.72	82.48	11.92	89.92
D	242.60	79.79	24.75	83.73	82.04	2.74	75.57
E	253.04	86.28	25.43	84.25	82.48	4.60	89.92
F	362.15	122.21	25.23	140.73	138.20	11.57	127.32
G	351.38	119.34	25.35	126.73	124.27	3.96	114.48
H	178.98	40.46	18.44	35.04	33.79	19.74	36.84
I	161.62	33.38	17.12	34.93	33.80	1.23	31.13
J	176.88	37.34	17.43	36.88	35.64	4.77	38.86

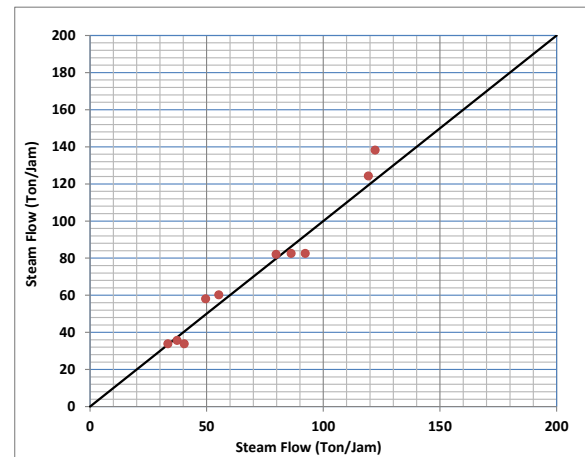
Keterangan :

- WF : laju alir brine di atmospheric separator (V-Notch weir box)

- SF : laju alir uap (dengan Separator)
- SF₁ : laju alir uap (dengan Hiriart belum dikoreksi dengan laju alir brine)
- SF₂ : laju alir uap (dengan Hiriart setelah dikoreksi dengan laju alir brine)
- SF₃ : laju alir uap (dengan Hiriart setelah dikoreksi dengan % rata-rata varian)
SF₃ : SF₂ x (1 + 0.079) dan SF₂ x (1 - 0.0902)

Tabel 3 diatas menunjukkan perbandingan laju alir uap dari sumur panas bumi di beberapa area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy yang mempunyai dryness antara 13% - 25% dengan enthalpy dari 1025.96 kJ/kg - 1282.77 kJ/kg menggunakan persamaan Hiriart pada metode Lip Pressure datar dan persamaan orifice pada metode Separator. Nilai laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart mempunyai selisih 1.23% - 19.74% dengan rata-rata nilai varian 8.33%.

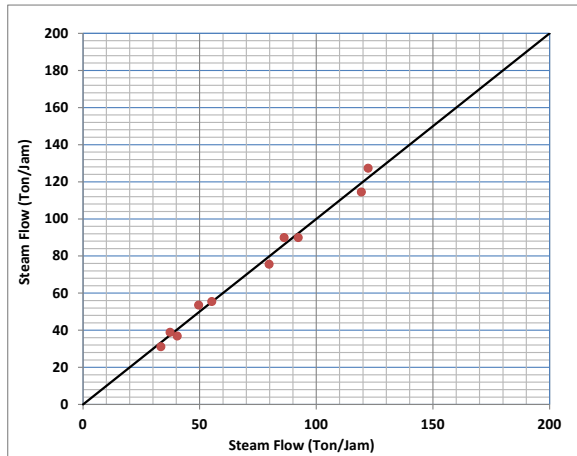
Berikut ditampilkan plot grafik korelasi antara nilai laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart dan persamaan orifice pada metode separator.



Gambar 4 : Perbandingan hasil perhitungan laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart dan persamaan orifice pada metode separator di area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy.

Untuk menyesuaikan nilai laju alir uap yang dihitung menggunakan persamaan Hiriart agar mendekati nilai laju alir uap yang dihitung menggunakan persamaan orifice pada metode separator, digunakan dua faktor koreksi, yaitu 1.0788 dan 0.9098. Faktor koreksi tersebut diperoleh dari rata-rata nilai varian atau selisih nilai perhitungan antara kedua persamaan tersebut, dimana 1.0788 merupakan faktor koreksi yang diperoleh berdasarkan selisih negatif antara kedua persamaan, sedangkan 0.9098 merupakan selisih positif antara kedua persamaan.

Berikut ditampilkan plot grafik korelasi nilai laju alir uap menggunakan persamaan Russel James dan Hiriart setelah diberikan faktor koreksi.



Gambar 5 : Perbandingan hasil laju alir uap antara persamaan orifice dan Hiriart setelah dikoreksi.

Hasil akhir setelah diberikan faktor koreksi 1.0788 dan 0.9098 tersebut, diperoleh nilai perhitungan laju alir uap menggunakan persamaan Hiriart yang cukup mendekati persamaan orifice. Nilai rata-rata varian yang semula 8.33% menjadi 4.91% seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4: Perbandingan nilai laju alir uap setelah diberikan faktor koreksi antara persamaan Hiriart dan orifice.

Separator	Tanpa Faktor Koreksi			Dengan Faktor Koreksi		
	Hiriart	Diff	% Var	Hiriart	Diff	% Var
55.27	60.22	4.95	8.22	55.48	0.21	0.38
49.62	58.07	8.45	14.55	53.49	3.87	7.24
92.31	82.48	-9.83	11.92	89.92	-2.39	2.65
79.79	82.04	2.25	2.74	75.57	-4.21	5.57
86.28	82.48	-3.80	4.60	89.92	3.64	4.05
122.21	138.20	15.99	11.57	127.32	5.11	4.01
119.34	124.27	4.93	3.96	114.48	-4.86	4.25
40.46	33.79	-6.67	19.74	36.84	-3.62	9.83
33.38	33.80	0.42	1.23	31.13	-2.25	7.21
37.34	35.64	-1.70	4.77	38.86	1.52	3.90
AVERAGE		1.50	8.33		-0.30	4.91

Modifikasi Persamaan Hiriart

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, persamaan Hiriart mempunyai tingkat akurasi $\pm 10\%$ dalam memperoleh nilai laju alir uap apabila dibandingkan dengan metode separator. Dalam mengaplikasikan persamaan Hiriart tersebut dibandingkan dengan metode separator yang sudah

standar dipakai di PT. Pertamina Geothermal Energy, perlu dilakukan modifikasi terhadap persamaan yang ada. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan faktor koreksi sebesar 1.0788 dan 0.9098 yang hanya berlaku untuk sumur-sumur panas bumi yang di uji produksi pada beberapa area proyek tersebut. Hasil modifikasi persamaan Hiriart adalah sebagai berikut.

$$Q_s' = 1.0788 \left(Q_s \left(1 - 0.007 \frac{Q_w}{Q_s} \right) \right) \quad (24)$$

$$Q_s' = 0.9098 \left(Q_s \left(1 - 0.007 \frac{Q_w}{Q_s} \right) \right) \quad (25)$$

Persamaan (24) diatas berlaku untuk perhitungan nilai laju alir uap dengan selisih negatif dibandingkan dengan laju alir uap yang dihitung dengan persamaan orifice pada metode separator, sedangkan persamaan (25) berlaku untuk perhitungan nilai laju alir uap dengan selisih nilai positif dibandingkan dengan laju alir uap yang dihitung dengan persamaan orifice pada metode separator.

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Berdasarkan aplikasi persamaan Hiriart di atas, baik di EDC Filipina dan PT. Pertamina Geothermal Energy Indonesia, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan dalam membandingkan persamaan Hiriart. EDC membandingkan persamaan Hiriart dengan persamaan Russel James pada saat dilaksanakan uji produksi metode Lip Pressure datar. Melalui perbandingan tersebut, persamaan Hiriart cukup akurat untuk mengukur laju alir uap di salah satu area EDC tersebut sehingga ke depan bisa dijadikan alternatif untuk menggantikan persamaan Russel James, mengingat persamaan Hiriart ini jauh lebih mudah dan sederhana serta laju alir uap bisa langsung diketahui pada saat di lapangan karena hanya memasukkan parameter tekanan lips dan diameter pipa lips saja.

Sedangkan di area proyek PT. Pertamina Geothermal Energy, aplikasi persamaan Hiriart dibandingkan dengan metode separator karena metode separator merupakan metode yang standar digunakan dan sudah terbukti sangat akurat dalam mengukur laju alir uap. Hasil perbandingan laju alir uap antara persamaan Hiriart dengan persamaan orifice pada metode separator setelah diberikan faktor koreksi bisa dikatakan cukup akurat karena mempunyai error (penyimpangan) rata-rata di bawah 5% dan error (penyimpangan) maksimum di bawah 10%. Namun demikian, kesimpulan tersebut merupakan kesimpulan sementara karena masih terbatasnya data uji produksi sumur panas bumi yang diuji produksi menggunakan kedua metode, baik Lip Pressure datar maupun metode separator sehingga ke depan perlu

dilakukan uji produksi kedua metode khususnya untuk sumur panas bumi di area proyek agar dapat dilakukan analisis serta kajian yang lebih mendalam dan komprehensif. Sangat memungkinkan ke depan, sumur-sumur panas bumi di area proyek bahkan area operasi PT. Pertamina Geothermal Energy menggunakan persamaan Hiriart ini, mengingat begitu banyaknya keuntungan yang bisa diambil oleh perusahaan baik materiil maupun immaterial.

REFERENSI

- Borromeo, CMR., Orizonte, RG. (1997), "Output Computation for SNGP Wells Discharging Dry Steam".
- Grant, Malcolm A., Donaldson, Ian G. and Bixley, Paul F. (1982), "Geothermal Reservoir Engineering". Texas
- Hiriart, Gerardo, (1982). "Steam Flow Rate Calculation by a Very Simple Equation", GRC6, 269-271.
- Saptadji, Nenny Miryani, Ir., Ph.D, "Teknik Panas Bumi", ITB.