

Studi Perhitungan Potensi Cadangan Panas Bumi Pada Lapangan Jailolo Di Wilayah Halmahera

Fefria Tanbar¹, Arionmaro A. Simaremare¹, Indra A. Aditya¹

¹ PT. PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistikan

Corresponding author. email : : fefria.t@gmail.com

Abstrak

Lapangan Panas Bumi Jailolo terletak di wilayah Halmahera, Maluku Utara. Lapangan panas bumi ini direncanakan untuk dikembangkan sebagai pemenuhan kebutuhan energy listrik di wilayah Indonesia Timur. Sebelum dilakukan pengembangan lapangan panas bumi maka perlu dilakukan perhitungan potensi cadangan panas bumi. Dalam perhitungan potensi cadangan panas bumi menggunakan metode volumetric dan metode monte carlo yang merujuk pada SNI No. 13-6169-1999, karena lapangan panas bumi Jailolo belum ada sumur eksplorasi dan belum adanya data produksi sumur. Parameter yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari data hasil kegiatan survei pendahuluan dan geotermometer berupa data ketebalan, luas serta temperatur reservoir. Sedangkan parameter lainnya yang belum diperoleh dari kegiatan survei pendahuluan didasarkan pada SNI No. 13-6482-2000. Hasil perhitungan potensi cadangan terduga panas bumi menggunakan metode volumetrik dengan luas area prospek sekitar 6 km², ketebalan reservoir sekitar 1500 m dari permukaan, dan temperatur reservoir 200 – 220 °C diperoleh sebesar 98.38 MWe, sedangkan hasil perhitungan metode monte carlo diperoleh potensi cadangan terduga sebesar P10 = 14.88 MW, P50 = 29.44 MW dan P90 = 50.26 MW.

Kata kunci: potensi; cadangan; volumetric; monte carlo

Abstrak

The Jailolo Geothermal Field is located in the Halmahera region, North Maluku. This geothermal field is planned to be developed as a fulfillment of electrical energy needs in Eastern Indonesia. Before developing a geothermal field, it is necessary to calculate the potential of geothermal reserves. In calculating the potential of geothermal reserves using the volumetric method and the monte carlo method which refers to SNI No. 13-6169-1999, because there is no exploration well in the Jailolo geothermal field and no well production data. The parameters used in the calculations are obtained from data from preliminary survey activities and geothermometers in the form of thickness, area and reservoir temperature data. Meanwhile, other parameters that have not been obtained from the preliminary survey activities are based on SNI No. 13-6482-2000. The results of the calculation of potential geothermal reserves using the volumetric method with a prospect area of about 6 km², a reservoir thickness of about 1500 m from the surface, and a reservoir temperature of 200 – 220 °C obtained 98.38 MWe, while the results of the calculation of the Monte Carlo method obtained potential reserves of estimated amounted to P10 = 14.88 MW, P50 = 29.44 MW and P90 = 50.26 MW

Keywords: potential; reserves; volumetric; monte carlo

I. Pendahuluan

Pulau Halmahera yang terletak di provinsi Maluku Utara memiliki kekayaan Sumber Daya Alam yang melimpah baik pertambangan logam, perikanan, pertanian serta potensi panas bumi. Menurut kementerian Energi Sumber Daya Mineral, Pulau Halmahera diharapkan menjadi salah satu pusat pertumbuhan ekonomi berbasis energi bersih dari panas bumi (Puspitasari, 2018). Energi Pembangkit Listrik yang umum digunakan di Provinsi Maluku Utara adalah PLTD. Ketidacukupan pasokan energi merupakan salah satu kendala dalam pengembangan ekonomi di beberapa kabupaten Halmahera yang sangat memerlukan pengembangan sumber daya energi listrik. Berdasarkan data

ESDM, ada beberapa lokasi daerah panas bumi di Halmahera yang dapat digunakan sebagai sumber energy listrik, salah satunya adalah lapangan panas bumi Jailolo. Namun, hingga saat ini lapangan panas bumi Jailolo baru dilakukan survei Pendahuluan dan belum sampai ketahapan eksplorasi.

Untuk memenuhi penyediaan pembangkit listrik berbasis energy bersih di wilayah Halmahera maka perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut pada lapangan panas bumi Jailolo dengan menghitung perkiraan potensi maksimum yang tersedia dan dapat dimanfaatkan dalam periode tertentu. Metode yang digunakan untuk menghitung potensi cadangan di lapangan panas bumi Jailolo menggunakan metode volumetric dan metode monte carlo.

II. Metodologi

Langkah pertama dalam melakukan studi ini adalah studi literature data dari penelitian sebelumnya terkait estimasi kapasitas lapangan panas bumi di Indonesia, selanjutnya adalah langkah pengumpulan data yang diperoleh dari hasil studi pendahuluan sebelumnya. Kemudian dilakukan pengembangan model teknis untuk memperkirakan kapasitas reservoir pada lapangan panas bumi. Untuk memperkirakan kapasitas cadangan panas bumi menggunakan metode volumerik pada kelas sumber daya hipotesis sampai dengan terbukti.

Persamaan dasar perhitungan mengenai besarnya energy panas bumi yang dapat dimanfaatkan dan diubah menjadi energi listrik (Saptadji, 2003), sebagai berikut:

1. Hitung kandungan energy pada keadaan awal (initial) atau besarnya sumber daya panasbumi dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{ei} = A \cdot h \cdot [(1-\phi) \rho_r C_r T_i + \phi (S_L \rho_L U_L + S_v \rho_v U_v)]_i$$

2. Hitung kandungan energi pada keadaan akhir (T final):

$$H_{ef} = A \cdot h \cdot [(1-\phi) \rho_r C_r T_f + \phi (S_L \rho_L U_L + S_v \rho_v U_v)]_f$$

3. Hitung maksimum energi yang dapat dimanfaatkan:

$$H_{th} = H_{ei} - H_{ef}$$

4. Hitung energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya (=besarnya cadangan bila dinyatakan dalam kJ):

$$H_{de} = R_f H_{th}$$

5. Hitung besarnya cadangan, yaitu energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk kurun waktu t tahun (biasanya 25-30 tahun) dengan persamaan berikut:

$$H_{thermal} = \frac{H_{de}}{t \times 365 \times 24 \times 3600}$$

$H_{thermal}$ mempunyai satuan $MW_{thermal}$

6. Hitung besarnya potensi listrik, yaitu energi listrik yang dapat dibangkitkan untuk kurun waktu t tahun (MWe) dengan cara sebagai berikut:

$$H_{el} = \eta \times H_{thermal}$$

Dimana:

H_{ei} = Kandungan energy keadaan awal, kJ

H_{ef} = Kandungan energy keadaan akhir, kJ

A = Luas reservoir, m^2

h = Ketebalan reservoir, m

T_i = Temperatur reservoir keadaan awal, $^{\circ}C$

T_f = Temperatur reservoir keadaan akhir, $^{\circ}C$

ϕ = Porositas batuan reservoir (fraksi)

C_r = Kapasitas panas batuan, $kJ/kg^{\circ}C$

ρ_r = Density batuan, kg/m^3

ρ_L = Density air, kg/m^3

ρ_v = Density uap, kg/m^3

S_L = Saturasi air, fraksi

S_v = Saturasi uap, fraksi

U_L = Energi dalam air, kJ/kg

U_v = Energi dalam uap, kJ/kg

H_{th} = Maksimum energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan, kJ

H_{de} = Energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya, kJ

$H_{thermal}$ = Energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan selama kurun waktu tertentu, Mwe

H_{el} = Energi listrik yang dapat dibangkitkan selama kurun waktu tertentu, MWe

R_f = *Recovery factor*, %

t = umur pembangkit listrik, tahun

η = Faktor konversi listrik

Kesulitan utama dalam menghitung besarnya potensi cadangan panas bumi adalah data tidak seluruhnya ada. Ketersediaan data tergantung dari kegiatan survei yang telah dilakukan didaerah tersebut. Selain data hasil survey, ada parameter yang tidak dapat diketahui dengan pasti sehingga biasanya diasumsikan sesuai dengan hasil eksplorasi dan eksploitasi pada lapangan panas bumi tipikal yang sudah beroperasi. Asumsi – asumsi yang umum digunakan dalam perhitungan potensi cadangan panas bumi sesuai dengan tabel 1.

Tabel 1. Asumsi Angka Parameter pada Tingkat Cadangan Terduga.

Parameter	Temp. Sedang (125 - 225 °C)
Saturasi Air (%)	100
Porositas Batuan (%)	10
Kapasitas Panas Batuan (kJ/kg°C)	0.9
Densitas Batuan (kg/m ³)	2600
Umur Pembangkitan (tahun)	30
Faktor konversi listrik (%)	10

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode volumetric, maka langkah kedua dari hasil perhitungan volumetric dikalkulasikan menggunakan simulasi Monte Carlo. Perhitungan simulasi Monte Carlo sering digunakan sebagai pendekatan probabilistik dalam memperkirakan besaran potensi cadangan panas bumi pada suatu lapangan. Metode ini merupakan analisa yang membutuhkan suatu distribusi data yang akan diselesaikan secara statistic. Simulasi menggunakan Monte Carlo mewajibkan pengujian data yang sama dilakukan secara berulang-ulang dengan menggunakan bilangan acak yang berlainan tapi memiliki keseragaman sehingga informasi dapat dihasilkan lebih efisien.

Simulasi Monte Carlo umumnya dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas Microsoft excel untuk mencari distribusi besaran yang diamati berdasarkan besaran – besaran yang mempengaruhinya, seperti luas, ketebalan, temperatur, saturasi, porositas, recovery, dan lain – lain. Jumlah data yang didapat dari kegiatan hasil survei dilapangan (Geologi, Geofisika, geokimia) mempengaruhi bentuk distribusinya. Jika, data hanya terdapat 2 maka bentuk dristribusinya segiempat, apabila jumlah data terdapat 3 maka bentuk distribusinya segitiga, sedangkan data lebih dari 5 maka bentuk distribusinya bisa *normal*, *log normal*, *binominal*, *multinomial*, *hypergeometric*, dan lain – lain.

Sebagai contoh perhitungan jenis distribusi segiempat, rumus yang digunakan pada Microsoft excel adalah dengan membuat iterasi 1 s/d 10000 pada cell secara vertikal, kemudian pada cell berikutnya masukkan

rumus random number “=RAND()x(Luas Max – Luas Min)+Luas Min” maka akan diperoleh frekuensi parameter distribusi luas (Dictus, 2002). Sedangkan, pada perhitungan jenis distribusi segitiga, rumus yang digunakan untuk tiap iterasi (Habibirahman *et al.*, 2019) sebagai berikut:

- Jika bilangan acak lebih kecil atau sama dengan M:

$$X = X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min})[(RN.M)^{0.5}]$$
- Jika bilangan acak lebih besar atau sama dengan M:

$$X = X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min})\{1 - [(1 - RN)(1 - M)]^{0.5}\}$$

Hasil akhir perhitungan simulasi monte carlo akan diperoleh gambaran seberapa besar potensi suatu daerah panas bumi yang akan dikembangkan dengan tingkat resiko paling kecil (P10), sedang (P50) dan besar (P90).

III. Hasil dan Pembahasan

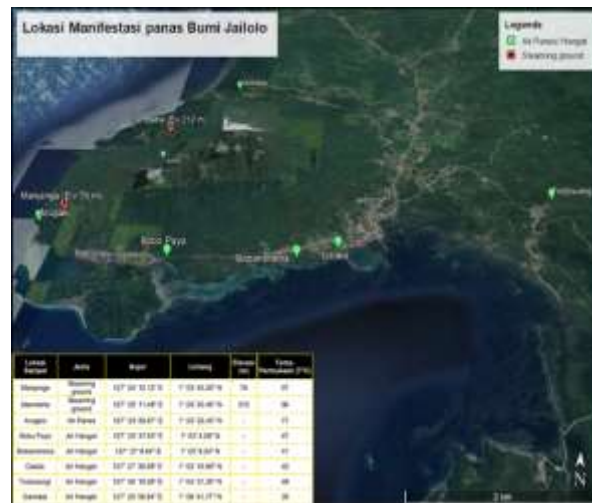
Paramater yang digunakan dalam perhitungan potensi cadangan energy panas bumi didapatkan dari hasil survei pendahuluan (geologi, geofisika, geokimia), korelasi steam tabel dan asumsi yang merujuk pada SNI 13-6482-2000.

3.1 Temperatur Reservoir

Berdasarkan data geokimia yang diperoleh selama kegiatan survei pendahuluan di WKP Jailolo pada tahun 2014, diindikasikan terdapat sumber energi panas bumi yang potensial untuk dikembangkan. Terdapat manifestasi permukaan di Jailolo yang terdiri dari 6 kelompok mata air panas (temperatur: 34 – 77 °C) dan 2 lokasi steaming ground (temperatur: 96 – 97 °C) tersebar di seluruh area WKP, dengan dominan mata air muncul

Studi Perhitungan Potensi Cadangan Panas Bumi Pada Lapangan Jailolo Di Wilayah Halmahera

mendekati elevasi muka laut atau berupa rembesan (seepage) (EBTKE, 2017).

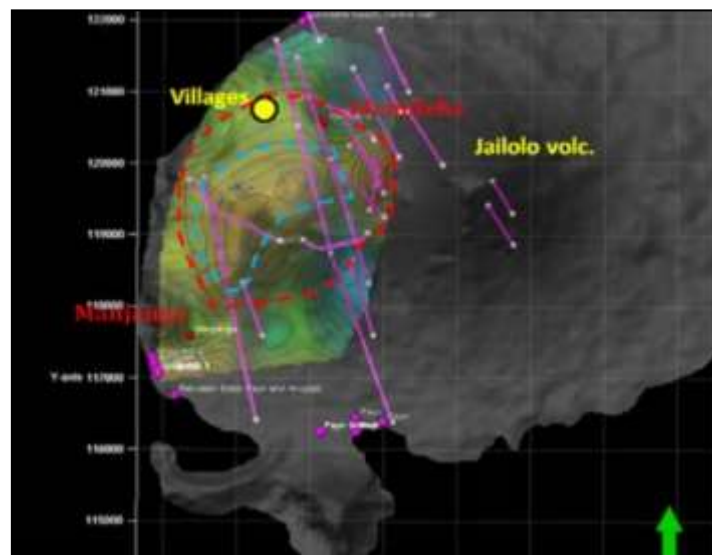


Gambar 1. Lokasi Manifestasi Panas Bumi Jailolo

Hasil pengukuran geothermometer Na – K dan Na – K – Ca temperatur fluida reservoir sekitar 200 – 220 °C. Berdasarkan tipe manifestasi permukaan dan hasil analisa kimia, air dan gas, sistem panasbumi Jailolo merupakan sistem dominasi air dengan kandungan klorida representatif reservoir sekitar 5000 – 6000 mg/kg, pH netral (Star Energy, 2014).

3.2 Luas Area

Berdasarkan hasil survei geosain yang telah dilakukan, maka luas area prospek lapangan Jailolo dari data pengukuran *magnetotelluric* (MT) didapatkan batas minimum reservoir didasarkan pada batas yang digambarkan dari updoming dasar konduktor di dalam Idamdehe maar luasnya sekitar 3 km², sedangkan Batas maksimum reservoir didasarkan pada batas yang digambarkan dari updoming dasar konduktor di dalam dan di luar Idamdehe maar, memiliki luas sekitar 9 km².(Ramadhan *et al.*, 2012)



Gambar 2. Estimasi luas area minimum dan maksimum Reservoir Jailolo (Ramadhan *et al.* 2012)

Perkiraan batas reservoir dari dari dasar konduktor yang dihasilkan magnetotulleric (MT) dilihat pada bentuk berwarna; garis merah

muda tipis adalah jejak patahan di permukaan; garis putus-putus merah adalah batas maksimum reservoir; sedangkan garis putus-putus

biru adalah batas minimum reservoir; titik merah mengepul di Idam dehe dan Manjanga.

3.3 Ketebalan Reservoir Lapangan Jailolo

Ketebalan reservoir didapatkan setelah keberadaan puncak reservoir dan lokasi lapisan batuan yang dianggap sebagai basement dapat diidentifikasi. Puncak reservoir diidentifikasi dari data basil survei MT sedangkan kedalaman basemem diidentifikasi dari hasil survei gravity. Dari data MT diketahui kedalaman dari reservoir diperkirakan sekitar 500 – 1.500 m dari permukaan, dengan batuan piroklastik sebagai batuan reservoirnya. (EBTKE, 2017)

3.4 Porositas Batuan Reservoir

Parameter porositas yang digunakan dalam perhitungan cadangan masih didasarkan pada SNI No. 13-6482-2000 tentang metode estimasi potensi energi panas bumi yaitu sebesar 10% (tabel 1). Hal ini mengingat data porositas hasil uji sampel batuan tidak tersedia

dikarenakan sumur eksplorasi belum dilakukan pemboran dan analisis terhadap batuan hasil pengeboran (core) belum dilakukan.

3.5 Hasil Perhitungan Potensi Cadangan Panas Bumi Lapangan Jailolo

Penggunaan Metode perhitungan potensi cadangan panas bumi sangat tergantung pada tahapan kegiatan yang telah dilakukan dan ketersediaan data. Pada studi perhitungan ini akan menggunakan metode volumetrik dan metode monte carlo. Metode ini dipergunakan karena dapat menggunakan data yang relative terbatas, namun telah mengakomodir adanya faktor ketidakpastian dalam penentuan asumsi dasar perhitungan. Berdasarkan parameter – parameter tersebut diatas maka didapatkan hasil perhitungan potensi cadangan panas bumi lapangan Jailolo dengan menggunakan metode volumetrik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Cadangan Energi Panas Bumi Menggunakan Metode Volumetrik

Parameter	Initial	Final	Satuan
Area		6	km ²
Thickness		1500	m
Rock Porosity		0.1	Fraction
Rock Density		2600	kg/m ³
Reservoir Temperature	220	180	°C
Water Saturation	0.9	0.1	Fraction
Vapour Saturation	0.1	0.9	Fraction
Rock Conductivity		0.9	kJ/kg°C
Recovery Factor		0.5	Fraction
Electrical Conversion Factor		0.14	Fraction
Plant factor		0.9	Fraction
Life Time		30	Year
Water Heat Energy	940.88	762.06	kJ/kg
Vapour Heat Energy	2601.36	2582.85	kJ/kg
Water Density	840.23	887.01	kJ/m ³
Vapour Density	11.61	5.16	kJ/m ³
Electricity Potential		98.38	MWe

Parameter luas area reservoir 6 km² diperoleh hasil perhitungan nilai tengah dari data pengukuran magnetotulleric (MT) batas nilai minimum konduktor 3 km² dan nilai maksimum konduktor 9 km². Ketebalan

reservoir adalah 1500 m. Temperatur reservoir adalah 220 °C. Parameter energy panas air, energy panas uap, densitas air, dan densitas uap didapatkan dari korelasi perhitungan steam tabel. Sedangkan, parameter porositas, saturasi

Studi Perhitungan Potensi Cadangan Panas Bumi Pada Lapangan Jailolo Di Wilayah Halmahera

air, saturasi uap, panas batuan, konduktivitas batuan, recovery factor, Electrical factor, dan life time diambil dari data SNI No. 13-6482-2000. Sehingga, Perhitungan volumetric lapangan Jailolo menghasilkan Potensi cadangan panas bumi yang bisa dibangkitkan listrik 98,38 MWe. Studi lain menunjukkan

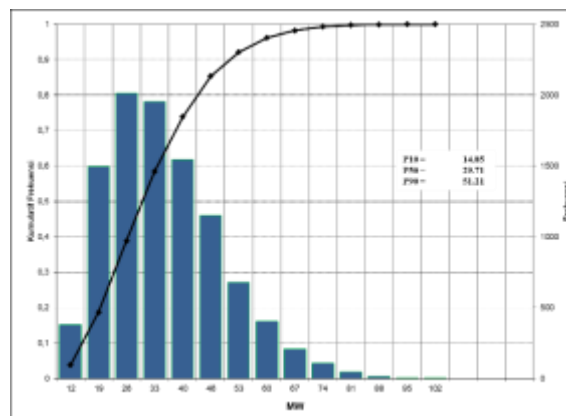
bahwa untuk perhitungan potensi cadangan panas bumi berdasarkan interpretasi survei pendahuluan pada lapangan Jailolo sebesar 50 MW (Nilamsuri *et al.*, 2012). Selanjutnya, hasil perhitungan metode volumetric dikalkulasikan menggunakan simulasi monte carlo, pada table 3.

Tabel 3. Parameter Perhitungan Potensi Cadangan Panas Bumi dengan Metode Montecarlo

Variable	Min	Max	Mostlikely	Distribusi
Area (sq-km) =	3	9	6	Segiempat
Thickness (m) =	1000	1500	1250	Segiempat
Rock Dens. (kg/cu-m) =	2600		2600	fix
Porosity (fract) =	0.10		0.1	fix
Rock Heat Cap. (kJ/(kg.deg-C)) =	0.9		0.9	fix
Life Time (years) =	30		30	fix
RF (fract) =	0.25	0.5	0.3	Segitiga
Elect. Eff. (fract) =	0.1	0.14	0.12	Segiempat
Ti (deg-C) =	200	220	210	Segiempat
Tf (deg-C) =	180		180	fix
Water Sat. Init. (fract) =	0.9		0.9	fix
Water Sat. Fina. (fract) =	0.3	0.5	0.4	Segiempat
Random Number =	10000		MW	29.82

Hasil perhitungan metoda monte carlo dari fungsi dristribusi probabilitas didapatkan

potensi cadangan panas bumi, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Grafik frekuensi perhitungan potensi cadangan panas bumi metode monte carlo

Hasil kumulatif frekuensi perhitungan potensi cadangan energy panas bumi dari gambar grafik didapatkan bahwa kumulatif frekuensi 10% (P10) sebesar 14.88 MW, kumulatif frekuensi 50% (P50) sebesar

MW, dan kumulatif Frekuensi 90% (P90) sebesar 50.21 MW.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode volumetric dan analisa metode monte carlo yang telah disebutkan sebelumnya, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan metode perhitungan volumetric dan metode monte carlo sangat membantu dalam melakukan estimasi potensi cadangan panas bumi pada suatu lapangan yang datanya relative terbatas.
2. Perhitungan potensi cadangan panas bumi dengan menggunakan metode volumetric yang dapat dibangkitkan untuk menjadi energy listrik adalah 98.38 MWe.
3. Metode monte carlo digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan dalam pengembangan ke tahap eksplorasi, besaran resiko keberhasilan dipilih berdasarkan persentase P10 = 10%, P50 = 50% dan P90 = 90%.
4. Hasil Perhitungan monte carlo bahwa area prospek lapangan Jailolo untuk P10 sebesar 14.88 MW, P50 sebesar 29.71 MW dan P90 sebesar 50.21 MW.

V. Daftar Pustaka

- Dian Eka Puspitasari. (2018). *Klaster Halmahera Diproyeksikan Jadi Percontohan Pengembangan SDA Berbasis Energi Bersih*. ESDM. <https://www.esdm.go.id/en/media-center/arsip-berita/klaster-halmahera-diproyeksikan-jadi-percontohan-pengembangan-sda-berbasis-energi-bersih>
- Dictus, B. F. (2002). SIMULASI RESERVOIR PANAS BUMI METODE MONTE CARLO WKP GUNUNG LAWU. *Core.Ac.Uk*, 9(3), 23–30. <https://core.ac.uk/download/pdf/287239111.pdf>
- EBTKE. (2017). Buku Potensi Panas Bumi Indonesia. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Habibirahman, S. A., Lestari, L., & Kustono, B. (2019). Perhitungan Potensi Cadangan Panasbumi Lapangan “X” Menggunakan Data Eksplorasi. *PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 8(1), 20–27. <https://doi.org/10.25105/petro.v8i1.4291>

- Nilamsuri, R., Gautama, S., & Indrinanto, Y. (2012). *Development Impact Analysis of Jailolo Geothermal Field , West. November*.
- Ramadhan, Y., Diningrat, W., Sutrisno, L., Tasrif, A., Bogie, I., Pacific, W. B., Letjen, J., & Kav, S. P. (2012). Geoscientific Survey Results from the Jailolo Geothermal Field , Northern Halmahera , Indonesia. *New Zealand Geothermal Workshop 2012 Proceedings, November, 2008–2013*.
- Saptadji, N. M. (2003). Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi. *Jurnal Teknologi Minyak Dan Gas Bumi, (JMGB) – IATMI, Vol. 14-20, 26–29*.