



Prosiding

SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI*

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

Ambon, 07 Mei 2014

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

ANALISIS TERMAL DI DAERAH PROSPEK PANAS BUMI AIR KELIANSAR, KABUPATEN EMPAT LAWANG, SUMATERA SELATAN

J. R. Kelibulin

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura¹,
e-mail: kelibulin_ronny_josephus@yahoo.com¹

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran suhu di daerah prospek panas bumi (*geothermal*) Air Keliansar, Kabupaten Empat Lawang Sumatera Selatan, untuk mengetahui pemetaan penyebaran suhu dan memodelkan distribusi suhu bawah permukaan bumi. Pengukuran suhu secara monitoring dan mapping dilakukan pada area seluas 800 m x 800 m.

Pengambilan data pengukuran suhu secara monitoring dan mapping dilakukan dengan tongkat suhu dan termometer elektronik yang didalamnya dipasang termistor sebagai sensor berupa IC LM35. Prinsip kerja alat ini yaitu fenomena fisis yang dideteksi sensor suhu diubah menjadi sinyal-sinyal listrik dalam beda potensial, selanjutnya dikonversikan dalam derajat Celsius.

Hasil pengukuran *mapping* suhu di lokasi Air Keliansar diperoleh suhu permukaan rata-rata antara 27,30°C-30,51°C. Distribusi panas bawah permukaan dihitung dengan menyelesaikan persamaan konduksi panas (*Laplace*) dengan metode beda hingga yang telah dikonstruksi (dikenal sebagai metode Liebmann). Pemodelan ini mengasumsikan bahwa benda dua dimensi berbentuk plat. Hasil pemodelan sumber panas bawah permukaan dengan teknik beda hingga memperkirakan suhu reservoir Air Keliansar diperoleh suhu reservoir dengan orde 400°C pada kedalaman 1300 m.

Kata kunci : *Geothermal*, monitoring, pemetaan suhu permukaan, teknik beda hingga, pemodelan sumber panas.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dalam kehidupan manusia pada saat ini sudah meningkat menjadi suatu kebutuhan primer. Seiring dengan meningkatnya populasi manusia, kebutuhan energi juga akan meningkat. Ketergantungan hidup manusia pada energi fosil telah menggeser prioritas kebutuhan energi setaraf dengan kebutuhan akan sandang, pangan dan papan. Panas bumi merupakan suatu energi alternatif dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Panas bumi mempunyai resiko sangat minimal, karena relatif aman terhadap lingkungan serta ketersediaan yang sangat potensial di bumi Indonesia.

Menurut Wulandari (2004) Indonesia didominasi oleh minyak, gas dan batu bara. Minyak bumi memegang 57% dari pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia, gas 23%, batubara 18%, sedangkan 2%-nya dipegang oleh energi yang bebas emisi karbon hingga beremisi rendah (seperti hidroelektrik dan panas bumi). Salah satu wilayah potensial panas bumi adalah Provinsi Sumatera Selatan. Meskipun daerah ini memiliki potensi sumberdaya energi yang relatif besar, namun untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama energi listrik,

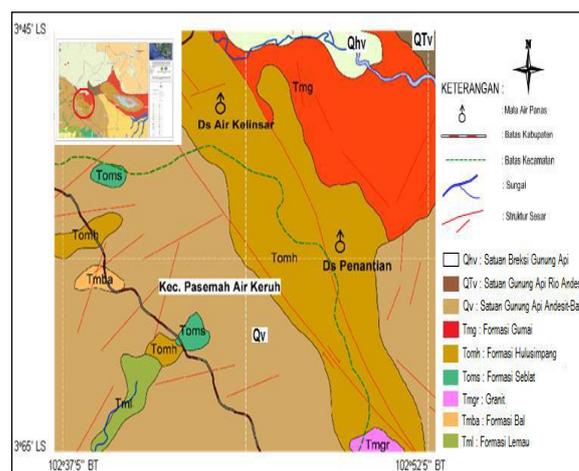
seringkali diperlukan suplai listrik dari luar provinsi. Dengan terbatasnya kapasitas listrik yang tersedia mengakibatkan sering terjadinya pemadaman listrik secara bergiliran.

Panas bumi dapat ditemui pada daerah gunungapi karena sumber panasnya adalah magma yang berada di kantung magma atau batuan yang mengalami konduksi panas dari magma. Beberapa metode telah diterapkan untuk mengetahui reservoir geotermal di antaranya metode geofisika (metode magnetik, gravitasi, CSAMT, dan resistivitas), survei geologi dan geokimia. Setiap metode memberikan hasil yang mungkin tidak sama, akan tetapi integrasi semua metode diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih akurat.

Panas merupakan parameter dominan pada panas bumi. Hal ini mendorong dilakukannya penelitian dengan metode termal pada daerah Air Keliansar, Kabupaten Empat Lawang, Sumatera Selatan. Daerah penelitian meliputi desa Air Keliansar dan sekitarnya. Secara geografis daerah penelitian terletak di antara koordinat ($3^{\circ}45'$ - $3^{\circ}65'$) LS serta ($102^{\circ}37'5''$ - $102^{\circ}52'5''$) BT seperti pada Gambar 1.1.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Geologi regional daerah Sumatera merupakan salah satu lajur magmatik yang ada di Indonesia. Berdasarkan pemetaan geologi lokal dan alterasi batuan yang telah dilakukan, serta dengan membandingkan dengan kesetaraan stratigrafi (Gafoer et.al (2007), maka sistem panasbumi yang ada di desa Air Keliansar merupakan sistem panasbumi yang sumber panasnya berasosiasi dengan intrusi batuan beku muda. Berikut adalah gambar peta geologi (Gambar 1).



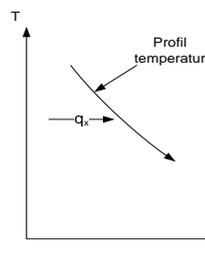
Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian (Virgo dkk , 2013)

Secara umum, formasi pada daerah terdiri atas dua kelompok utama yaitu kelompok Cekungan Bengkulu yang terwakili oleh batuan-batuan produk aktivitas vulkanisme pegunungan Barisan pada kala Oligosen–Miosen sampai Zaman Kuartar. Kelompok batuan dari Cekungan Sumatera selatan terwakili oleh Formasi Gumai sebagai produk endapan

sistem paparan *passive margin* ke dalam lingkungan *Fluvial, Deltaic* sampai laut dangkal (*Shallow Marine*). Urutan stratigrafi dari tua kemuda daerah penelitian adalah sebagai berikut: Formasi Hulusimpang (Tmoh), Formasi Gumai (Tmg), Endapan Vulkanik Kuarter (Qv). Gambar peta stratigrafi daerah penelitian terlihat pada Gambar 1.

HUKUM DASAR PERPINDAHAN PANAS SECARA KONDUKSI

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikemukakan oleh ilmuwan Prancis J.B.J Fourier pada tahun 1822 (Lienhard IV, 2003). Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa panas akan mengalir secara otomatis dari titik bersuhu tinggi menuju ketitik bersuhu rendah, maka aliran konduksi panas q_x adalah positif jika gradien suhu bernilai negatif. Selain itu arah kenaikan jarak x merupakan arah aliran konduksi panas positif (Gambar 2).



Gambar 2. Arah aliran konduksi panas

Laju konduksi panas ke dalam arah x yaitu q_x dapat ditulis sebagai:

$$q_x = \left(-k \frac{\partial T}{\partial x}\right) dz \quad (1)$$

Laju konduksi panas yang keluar dari elemen dengan melintasi permukaan pada $x + dx$ yaitu q_{x+dx} adalah:

$$q_{x+dx} = \left[\left(-k \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(-k \frac{\partial T}{\partial x}\right) dx \right] dz \quad (2)$$

Laju panas yang meninggalkan elemen dikurangkan dengan laju aliran panas ke dalam elemen, sehingga akan diperoleh:

$$q_x - q_{x+dx} = \frac{\partial \left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)}{\partial x} dx dz \quad (3)$$

dan dengan cara yang sama untuk arah z :

$$q_z - q_{z+dz} = \frac{\partial \left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right)}{\partial z} dx dz \quad (4)$$

Rumus diatas disubstitusikan ke dalam keseimbangan energi dan dibagi tiap sukunya dengan $dx dz$, maka akan diperoleh:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = c\rho \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (5)$$

Jika sistemnya homogen dan panas jenis (*specific heat*) c serta kepadatan massa ρ tidak tergantung dari suhu dan dianggap seragam pula, maka persamaan (5) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{A} \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (6)$$

dimana konstanta $A=k/c\rho$ disebut difusivitas termal. Jika sistemnya tidak mengandung sumber panas, maka persamaan (6) menjadi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{A} \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (7)$$

Jika sistemnya *steady*, tetapi terdapat sumber-sumber panas, maka persamaan (7) menjadi :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = 0 \quad (8)$$

Dalam keadaan *steady*, aliran suhu di dalam benda tanpa sumber panas menjadi :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (9)$$

Pengertian *steady* adalah bila laju aliran panas suatu sistem tidak berubah dengan waktu, yaitu laju tersebut konstan, maka suhu di titik manapun tidak berubah (Kreith, 1997).

METODE NUMERIK

Dasar penggunaan metode numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial adalah dengan suatu pendekatan beda hingga. Bila pendekatan beda hingga tersebut diterapkan seluruh titik-titik variabel yang terdapat pada model konsep, maka solusi dari rangkaian persamaan simultan yang digunakan dapat ditentukan secara langsung atau menggunakan cara iterasi (Setiawan, 2006).

Jika suatu fungsi mengandung lebih dari satu variabel bebas, maka deret Taylor menjadi:

$$T(x_{i+1}, y_{j+1}) = T(x_i, y_j) + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\Delta x}{1!} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\Delta y}{1!} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \frac{\Delta x^2}{2!} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \frac{\Delta y^2}{2!} + \dots \quad (10)$$

Jika dimisalkan $y = z$ (diasumsikan z untuk menyatakan kedalaman), maka turunan pertama terhadap variabel x dan z berturut-turut dapat ditulis dalam bentuk diferensial maju sebagai berikut:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T(x_{i+1}, z_j) - T(x_i, z_j)}{\Delta x} \quad (11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{T(x_{i+1}, z_j) - T(x_i, z_j)}{\Delta z} \quad (12)$$

Untuk menyederhanakan penulisan, bentuk $T(x_i, z_j)$ ditulis menjadi $T_{i,j}$, dengan i dan j menunjukkan komponen dalam arah sumbu x dan sumbu z (Triatmojo, 2002), sehingga turunan kedua dari persamaan (11) dan (12) sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta x^2} \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta z^2} \quad (14)$$

Masing-masing mempunyai tingkat kesalahan $O[(\Delta x)^2]$ dan $O[(\Delta z)^2]$, selanjutnya persamaan (13) dan (14) disubstitusikan ke dalam persamaan Laplace, sehingga,

$$\frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta z^2} = 0 \quad (15)$$

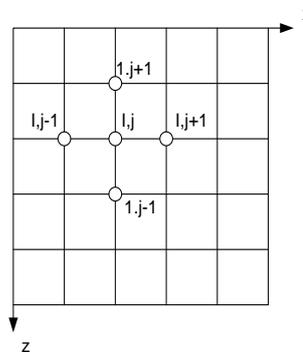
Jika $\Delta x = \Delta z$, maka persamaan (15) akan menjadi,

$$T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 4T_{i,j} = 0 \quad (16)$$

Jika $\Delta x \neq \Delta z$, maka persamaan (16) akan menjadi,

$$(T_{i+1,j})(\Delta z^2) + (T_{i-1,j})(\Delta z^2) + (T_{i,j+1})(\Delta x^2) + (T_{i,j-1})(\Delta x^2) - T_{i,j}(2\Delta x^2 + 2\Delta z^2) = 0 \quad (17)$$

Untuk dapat menyelesaikan persamaan (17), kondisi batas harus ditentukan suatu nilai tetap. Disini diasumsikan sumbu x sebagai permukaan dan z sebagai kedalaman seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grid untuk solusi *finite difference*

Persamaan yang terbentuk selanjutnya diselesaikan secara iterasi dengan persamaan over-relaksasi berikut :

$$T_{i,j}^{baru} = \lambda T_{i,j}^{baru} + (1 - \lambda) T_{i,j}^{lama} \quad (18)$$

dengan $T_{i,j}^{baru}$ dan $T_{i,j}^{lama}$ adalah nilai iterasi sekarang dan sebelumnya, sedangkan λ merupakan koefisien relaksasi yang besarnya dapat diambil antara 1 dan 2.

$$\lambda = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - \omega^2}} \quad (19)$$

dengan

$$\omega = \frac{1}{1 + \left(\frac{\Delta x}{\Delta z}\right)^2} \left[\cos \frac{\pi}{m} + \left(\frac{\Delta x}{\Delta z}\right)^2 \cos \frac{\pi}{n} \right] \quad (20)$$

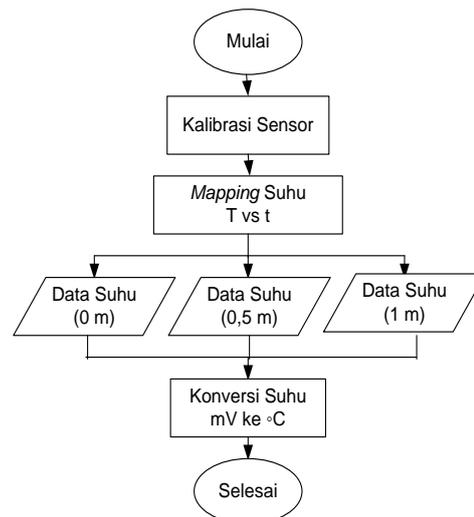
ω = parameter relaksasi.

Over-relaksasi digunakan untuk mempercepat dari kestabilan dengan menggunakan rumus pada persamaan (18). Besarnya kesalahan relatif atau nilai *error* didefinisikan sebagai berikut (Setiawan, 2006),

$$|(\varepsilon_a)_{i,j}| = \left| \frac{T_{i,j}^{baru} - T_{i,j}^{lama}}{T_{i,j}^{baru}} \right| \times 100\% \quad (21)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada area seluas 800 m x 800 m di lokasi Air Keliansar secara mapping .



Gambar 4. Diagram alir pengukuran pemetaan suhu permukaan

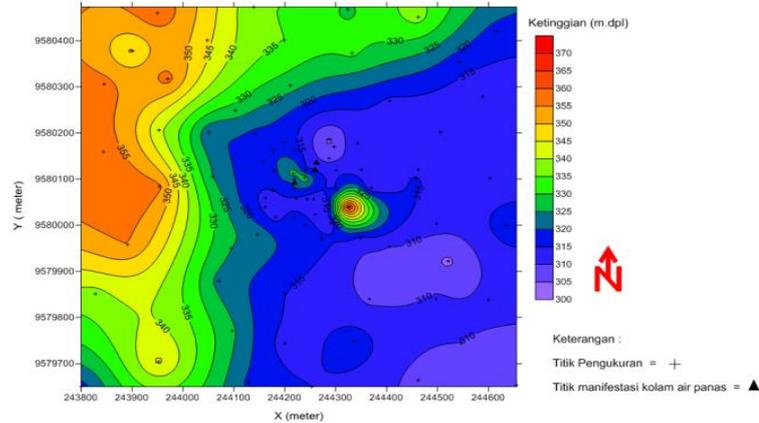
Untuk pemetaan suhu digunakan termometer elektronik dimana bagian alat ini terdiri dari kotak operator yang merupakan modifikasi dari multimeter yang mengalami penambahan fungsi. Fungsi utama kotak operator adalah menampilkan nilai suhu yang terukur. Panjang

tongkat termometer elektronik 1,4 m dimana bagian dalam terdapat sensor suhu LM 35 untuk mengukur suhu medium yang diukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Monitoring Suhu Keliansar

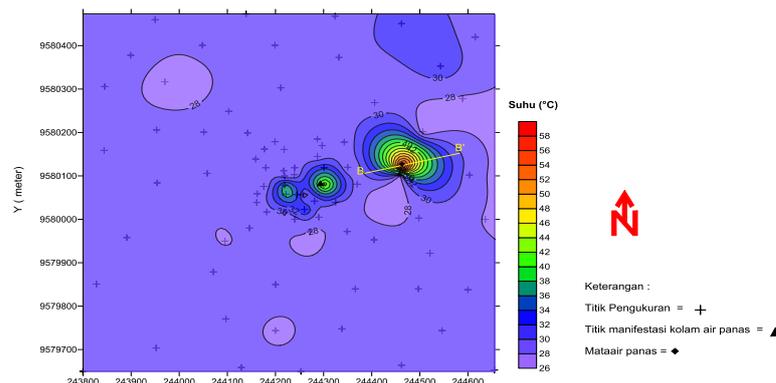
Peta topografi lokasi Penantian dapat terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Peta topografi lokasi Air Keliansar

2. Interpretasi Kuantitatif

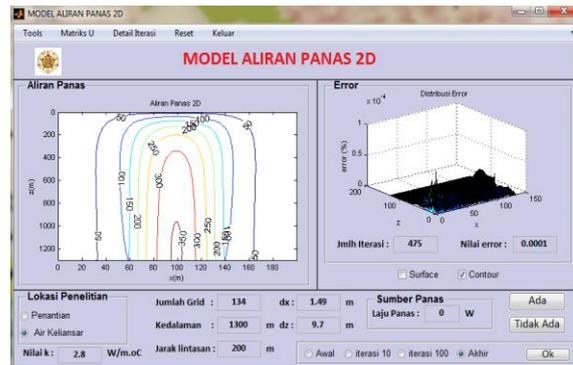
Interpretasi kuantitatif data suhu dengan membuat model penampang bawah permukaan di daerah penelitian. Kontur suhu data pengukuran dipilih sayatan yang paling simetris untuk kemudian dicocokkan dengan pemodelan distribusi panas. Sayatan B-B' memotong area mata air panas untuk lokasi Air Keliansar seperti terlihat pada gambar 6.



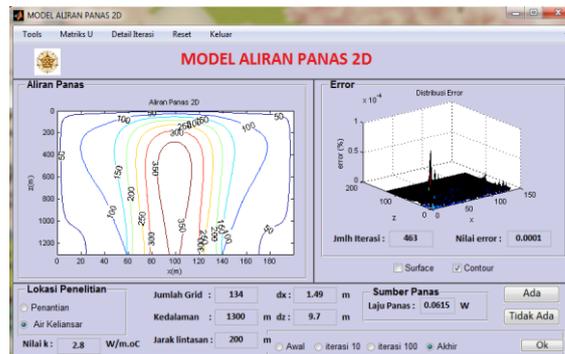
Gambar 6. Pemilihan sayatan data suhu lokasi Air Keliansar (B-B')

Analisa Model 2D Air Keliansar

Hasil simulasi serta visualisasi aliran panas dalam keadaan *steady* dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.

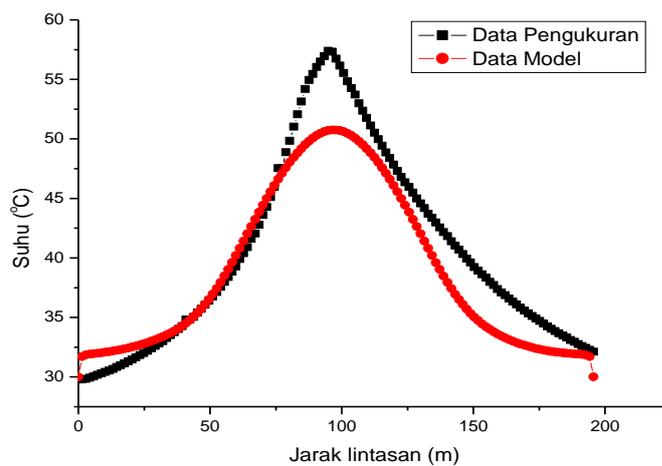


Gambar 7. Grafik aliran panas (*surface*) lokasi Air Keliansar dengan nilai *error* 0,01% pada kedalaman 1300 m (tanpa sumber panas)

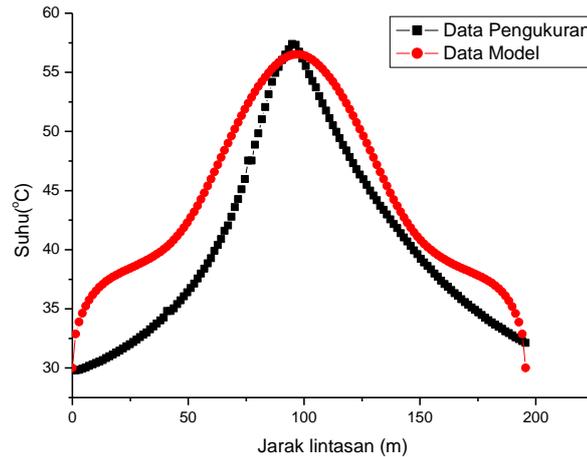


Gambar 8. Grafik aliran panas (*surface*) lokasi Air Keliansar dengan laju panas 0,0615 W/m, nilai *error* 0,01% dan konduktivitas termal sebesar 2,8 W/m^oC pada kedalaman 1300 m (dengan sumber panas)

Hasil pencocokan data pengukuran dan data model pada kedalaman 1300 meter lokasi Air Keliansar dapat terlihat pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Hasil pencocokan data pengukuran dan data model kedalaman 1300 m (tanpa sumber panas)



Gambar 10. Hasil pencocokan data pengukuran dan data model kedalaman 1300 m (dengan sumber panas)

Berdasarkan hasil pencocokan grafik data pengukuran dengan data model diatas, maka dapat diduga besar suhu sumber reservoir lokasi Air Keliansar dengan orde 400°C pada kedalaman 1300 m.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan peta penyebaran suhu permukaan, konsentrasi suhu di daerah Keliansar memiliki dua klosur suhu yang berbeda. Klosur suhu tersebut menyebar secara merata tetapi belum menunjukkan batas-batas pola aliran panas secara horizontal. Hal ini berarti klosur-klosur suhu masih berada di atas zona lemah bidang sesar.
2. Hasil pemodelan sumber panas bawah permukaan dengan metode beda hingga 2D dapat memperkirakan orde suhu sumber reservoir lokasi Air Keliansar orde suhu sumber reservoir sebesar 400°C pada kedalaman 1300 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryono, N. A dan Siregar, Erwin, 2003, *Pemenuhan Kebutuhan Listrik Masa Datang di Provinsi Sumatera Selatan*, Prosiding Seminar Teknologi, Vol. I, hal. 157-163.
- Gafoer, S., Amin, T.C & Pardede, R., 2007, *Geology of Bengkulu Quadrangle (0912), Sumatera, (1:250.000)*. Directorate General of Geology and Mineral Resource, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Kreith, F., dan Priyono. A., 1985, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas (terjemahan)*, Edisi Ketiga, Erlangga.
- Kusuma, Dendi S., dkk, 2005, *Prospek Panas Bumi di Daerah Ranau, Lampung dan Sumatra Selatan*, Subdik Panas Bumi.
- Lienhard IV., John H., dan John H. Lienhard V., 2003, *A Heat Transfer Text Book, 3rd Edition*. Phlogiston Press Cambridge, Massachusetts, USA.
- Setiawan, Agus, 2006, *Pengantar Metode Numerik*, Yogyakarta : Andi.
- Triatmojo, Bambang. 2002. *Metode Numerik Dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta: Beta Offset.

- Virgo, Frinsyah; Wahyudi; Suryanto, Wiwit; Suharno dan Zaenudin, A., 2013, *Magnetic Survey Within Penantian Geothermal Area in Pasema Air Keruh, South Sumatra*, The Third Basic Science International Conference, page : P20-1 until P20-3.
- Wulandari, F, 2004, *Government Tender 13 Geothermal Areas*, The Jakarta Post, 03 April 2004.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/energipanasbumi>. Diakses pada tanggal 09 Mei 2013.