

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Potensi sumber daya panasbumi adalah sisi lain dari kekayaan energi di Jawa Timur. Meskipun tidak seramai eksplorasi dan eksploitasi sumber panas bumi di Jawa Barat dan Sumatera Utara, namun telah diketahui ada kurang lebih 11 lokasi sumber panas bumi di Jawa Timur. 3 dari 11 lokasi tersebut (Welirang-Arjuno, Wilis-Argopuro dan Blawan-Ijen) diperkirakan mempunyai cadangan yang mungkin sebesar 274 MW dan sumber daya sebesar 240 MW. Jika upaya eksplorasi untuk lokasi-lokasi lain dilakukan, bisa dipastikan jumlah total sumber daya (515 MW) ini akan semakin bertambah, yang semakin menambah lengkap julukan Jawa Timur sebagai tanah energi (*land of energy*).

Variasi spasial dari energi panas dalam kerak dan mantel bumi menimbulkan konsentrasi energi panas dekat permukaan bumi yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Energi panasbumi merupakan energi yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Energi panasbumi juga telah dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik menggantikan bahan bakar fosil yang semakin lama semakin berkurang (Finger and Blankenship, 2010).

Daerah Cangar merupakan daerah pemandian air panas yang memanfaatkan sumber energi panasbumi yang berasal dari dua gunung api kembar yaitu gunung Arjuno-Welirang di Jawa timur. Penelitian tentang penentuan sebaran anomali temperatur ini diharapkan bermanfaat untuk pengembangan energi listrik dengan memanfaatkan potensi panasbumi yang ada. Serta mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil yang semakin lama semakin berkurang. Pada penelitian kali ini bertujuan untuk menentukan suhu spasial bawah permukaan bumi dengan menggunakan *CAN bus*. Penggunaan *CAN bus* bertujuan agar data kebal terhadap *noise* dan menjamin bahwa pengukuran menghasilkan angka tanpa kesalahan (Darmawan H. A., 2013). Penelitian ini merupakan salah satu cara untuk mengetahui variasi spasial suhu panasbumi menggunakan sensor DS18S20 dan merupakan penelitian lanjutan dari akuisisi sensor suhu menggunakan sensor suhu LM35 yang telah dilakukan.

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini diharapkan memberikan masukan positif dari penelitian-penelitian yang telah

dilakukan sebelumnya dan sebagai informasi tambahan bagi pembaca. Penelitian ini dilakukan dengan judul “ PENENTUAN SEBARAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN BUMI MENGGUNAKAN SENSOR DIGITAL DS18S20”

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan sebaran temperatur pada kedalaman 0.5 – 1.5 m berdasarkan kontur anomali panas?
2. Bagaimana menentukan gradien temperatur dan laju aliran panas di area pemandian air panas Cangar kota Batu?

1.3. Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi panasbumi di Cangar, kota Batu berdasarkan suhu spasial permukaan bumi pada kedalaman tertentu dengan menggunakan sensor suhu DS18S20.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian sebagai berikut:

1. Untuk menentukan sebaran suhu pada kedalaman 0.5–1.5 m berdasarkan kontur anomali panas?
2. Untuk menentukan gradien temperatur dan laju aliran panas di area pemandian air panas Cangar kota Batu?

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan masukan informasi tambahan terkait potensi panasbumi di daerah Cangar, kota Batu dan tambahan informasi bagi mahasiswa maupun pembaca.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi geografis daerah penelitian

Secara geografis daerah penelitian terletak pada $7^{\circ}44'30''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}31'24''$ Bujur Timur dengan ketinggian sekitar 1600 dpl. Tepatnya terletak di area pemandian air panas Cangar, kelurahan Tulungrejo, kecamatan Bumiaji, kota Batu. Daerah Cangar merupakan daerah yang terletak di lereng gunung Arjuno-Welirang dan merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi panasbumi di Jawa Timur. Berikut merupakan peta daerah penelitian ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Peta daerah penelitian (Anonymous, 2013).

2.2. Perpindahan panas pada permukaan bumi

Permukaan bumi merupakan penyerap utama radiasi matahari. Oleh sebab itu permukaan bumi merupakan sumber panas bagi udara di atasnya dan bagi lapisan tanah di bawahnya. Pada siang hari suhu permukaan tanah akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pada lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini karena permukaan tanah menyerap radiasi matahari secara langsung pada siang hari, setelah itu panas merambat ke lapisan tanah yang lebih dalam. Sebaliknya pada malam hari permukaan tanah akan kehilangan panas terlebih dahulu, akibatnya suhu pada permukaan tanah akan lebih rendah

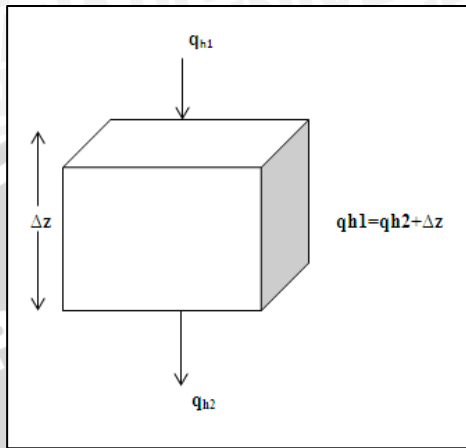
dibandingkan dengan suhu pada lapisan yang lebih dalam. Pada malam hari panas akan merambat dari lapisan yang lebih dalam menuju permukaan. Karena pola dan tingkah laku perambatan panas tersebut, maka fluktuasi suhu tanah akan tinggi pada permukaan dan akan semakin kecil dengan bertambahnya kedalaman. Suhu tanah maksimum pada permukaan akan tercapai pada saat intensitas radiasi matahari mencapai maksimum, tetapi untuk lapisan yang lebih dalam suhu maksimum tercapai beberapa saat kemudian. Semakin lama untuk lapisan yang lebih dalam, hal ini karena dibutuhkan waktu untuk perpindahan panas dari permukaan ke lapisan-lapisan tanah selanjutnya.

Proses stedi (*steady*;) atau proses takstedi (*unsteady*) terjadi dalam proses transfer panas. Bilamana laju aliran panas dalam suatu sistem tidak berubah dengan waktu (konstan), maka suhu dititik manapun tidak berubah. Hal ini yang dikatakan kondisi keadaan-stedi. Dengan kondisi keadaan-stedi (*steady state*), kecepatan fluks-masuk pada titik manapun dari sistem manapun harus tepat sama dengan kecepatan fluks-keluar, dan tidak dapat terjadi perubahan energi-dalam. Aliran panas dalam suatu sistem takstedi terjadi bila suhu diberbagai titik dari sistem tersebut berubah dengan waktu. Dengan adanya perubahan suhu, maka akan terjadi perubahan energi dalam.

Perubahan kandungan panas dari sebuah permukaan tanah antara permukaan $Z_1 = 0$ dan beberapa kedalaman Z_2 diberikan oleh :

$$\Delta z = -(q_h - q_1) \approx \frac{\partial q_h}{\partial z} \Delta z \quad (2.1)$$

Dimana q_h positif ke arah bawah. Kerapatan fluks panas tanah positif arah bawah ketika pada persamaan (2.1) positif, maka lebih banyak panas yang masuk di bagian atas daripada yang meninggalkan bagian bawah lapisan tanah sehingga tanah menjadi panas. Jika pada persamaan (2.1) negatif, maka lebih banyak panas yang keluar daripada yang masuk ke permukaan sehingga tanah menjadi dingin (Subgan, 2006).



Gambar 2.2. Aliran fluks panas pada lapisan tanah

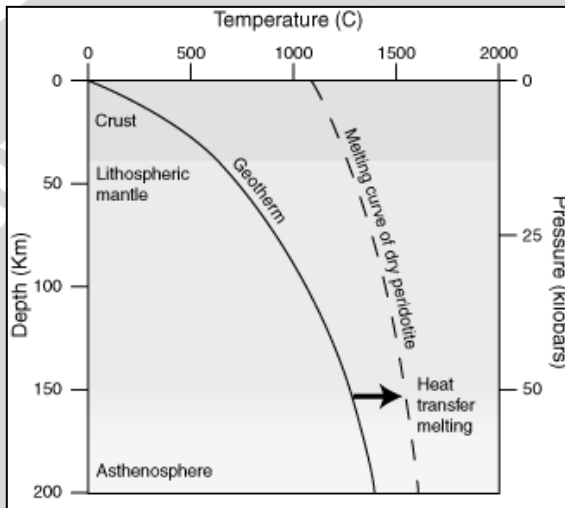
2.3. Energi panas bumi

Secara sederhana energi panas bumi adalah energi yang dipindahkan dari bagian dalam bumi. Energi tersebut dapat diambil dalam bentuk uap atau air panas. Sumber panas bumi didefinisikan sebagai suatu reservoir dimana energi panas bumi dapat diekstraksi secara ekonomis dan dimanfaatkan untuk tenaga listrik atau keperluan industri, pertanian atau keperluan domestik yang sesuai. (Gupta, 1980). Pendapat lain menyatakan bahwa energi panas bumi merupakan energi panas yang keluar dari dalam bumi yang terkandung pada batuan dan fluida yang mengisi rekahan dan pori batuan pada kerak bumi (Rybach & Muffler, 1981).

2.3.1. Gradien Geotermal

Gradien geotermal dan aliran panas merupakan informasi dasar tentang suhu bawah permukaan bumi. Gradien geotermal dan aliran panas pada kerak bumi rata-rata sebesar $20\text{--}25^\circ\text{C}/\text{km}$ dan $87\text{ mW}/\text{m}^2$. Semakin kebawah, temperatur bawah permukaan bumi semakin meningkat atau semakin panas. Panas yang berasal dari dalam bumi dihasilkan dari reaksi peluruhan unsur-unsur radioaktif seperti uranium dan potassium. Reaksi nuklir yang sama saat ini masih terjadi di matahari dan bintang-bintang yang tersebar di jagad raya. Reaksi ini menghasilkan panas hingga jutaan derajat celsius. Permukaan bumi pada awal terbentuknya juga memiliki panas yang dahsyat. Namun setelah melewati masa milyaran tahun, temperatur

bumi terus menurun dan saat ini sisa-sisa reaksi nuklir tersebut hanya terdapat dibagian inti bumi saja. Pada kedalaman 10.000 meter atau 33.000 feet, energi panas yang dihasilkan bisa mencapai 50.000 kali dari jumlah energi seluruh cadangan minyak bumi dan gas alam yang masih tersimpan di dunia. Inilah yang menjadi sumber energi panas bumi.



Gambar 2.3. Gradien geotermal bumi
(<http://www.geol.umd.edu/>)

Secara sederhana, Gradien geotermal dirumuskan sebagai berikut:

$$G = \frac{T^o_{formation} - T^o_{surface}}{Depth} \quad (2.2)$$

Dimana : $T_{surface}$ adalah rata-rata suhu di permukaan dimana untuk iklim tertentu nilainya akan berbeda. Iklim tropis (25 derajat celsius), iklim subtropis/*temperate zones* (15 derajat celsius), *permafrost zones* (-5 derajat celsius) dan di zona dingin (5 derajat celsius). Gradien geotermal juga dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal dari formasinya, sehingga, saat nilai konduktivitas termal

tinggi, otomatis aliran panas akan cepat dihantarkan dan gradien geotermal di formasi tersebut akan bernilai tinggi (Novianto, 2013).

2.3.2. Komponen Panasbumi

Komponen dalam panasbumi terbagi menjadi empat, yaitu (Daud, 2010):

a) Sumber Panas

Gunung api merupakan contoh dimana panas terkonsentrasi dalam jumlah besar. Pada gunung api, konsentrasi panas ini bersifat *intermittent* yang artinya sewaktu-waktu dapat dilepaskan dalam bentuk letusan gunung api. Berbeda dengan gunung api, pada sistem panasbumi konsentrasi panas ini bersifat kontinyu. Namun demikian, pada kebanyakan kasus, umumnya gunung api baik yang aktif maupun yang *dormant*, adalah sumber panas dari sistem panasbumi. Daerah lain yang berpotensi menjadi sumber panas adalah: daerah dengan tekanan litostatik lebih besar dari normal (misal pada *geopressured system*), daerah yang memiliki kapasitas panas tinggi akibat peluruhan radioaktif yang terkandung di dalam batuan, daerah yang memiliki magmatisme dangkal di bawah basement. Namun pada kasus-kasus ini, intensitas panasnya tidak sebesar panas dari gunung api.

b) Reservoir

Reservoir panasbumi adalah formasi batuan di bawah permukaan yang mampu menyimpan dan mengalirkan fluida termal (uap dan atau air panas). Reservoir biasanya merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik. Porositas berperan dalam menyimpan fluida termal sedangkan permeabilitas berperan dalam mengalirkan fluida termal. Reservoir panasbumi dicirikan oleh adanya kandungan Cl (klorida) yang tinggi dengan pH mendekati normal, adanya pengayaan isotop oksigen pada fluida reservoir jika dibandingkan dengan air meteorik (air hujan) namun di saat bersamaan memiliki isotop deuterium yang sama atau mendekati air meteorik, adanya lapisan konduktif yang menudungi reservoir tersebut di bagian atas, dan adanya gradien temperatur yang tinggi dan relatif konstan terhadap kedalaman. Reservoir panasbumi bisa saja ditudungi atau dikelilingi oleh lapisan batuan yang memiliki permeabilitas sangat kecil (*impermeable*). Lapisan ini dikenal

sebagai lapisan penudung atau *cap rock*. Batuan penudung ini umumnya terdiri dari mineral-mineral lempung yang mampu mengikat air namun sulit meloloskannya (*swelling*). Mineral-mineral lempung ini mengandung ikatan-ikatan hidroksil dan ion-ion seperti K dan Ca sehingga menyebabkan lapisan tersebut menjadi sangat konduktif.

c) Daerah Resapan (*Recharge*)

Daerah resapan merupakan daerah dimana arah aliran air tanah di tempat tersebut bergerak menjauhi muka tanah. Dengan kata lain, air tanah di daerah resapan bergerak menuju ke bawah permukaan bumi. Dalam suatu lapangan panasbumi, daerah resapan berada pada elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi dari daerah dimana sumur-sumur produksi berada. Daerah resapan juga ditandai dengan rata-rata resapan air tanah per tahun yang bernilai tinggi. Menjaga kelestarian daerah resapan penting artinya dalam pengembangan suatu lapangan panasbumi. Menjaga kelestarian daerah resapan berarti juga menjaga keberlanjutan hidup dari reservoir panasbumi untuk jangka panjang. Hal ini karena daerah resapan yang terjaga dengan baik akan menopang tekanan di dalam formasi reservoir karena adanya fluida yang mengisi pori di dalam reservoir secara berkelanjutan. Menjaga kelestarian daerah resapan juga penting artinya bagi kelestarian lingkungan hidup.

d) Daerah Discharge dengan Manifestasi Permukaan

Daerah luhan (*discharge area*) merupakan daerah dimana arah aliran air tanah di tempat tersebut bergerak menuju muka tanah. Dengan kata lain, air tanah di daerah luhan akan bergerak menuju ke atas permukaan bumi. Daerah luhan pada sistem panasbumi ditandai dengan hadirnya manifestasi di permukaan.

2.3.3. Karakterisasi reservoir panasbumi

Ada beberapa jenis reservoir panasbumi, yaitu reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*), reservoir bertekanan tinggi (*geopressured reservoir*), reservoir batuan panas kering (*hot dry rock reservoir*) dan reservoir magma (*magma reservoir*) (Edwards, Chilingar, et al., 1982). Dari keempat reservoir tersebut, reservoir panasbumi yang paling banyak dimanfaatkan hingga saat ini adalah

reservoir dari sistim hidrotermal, yaitu sistim panasbumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya, tergantung tekanan dan temperatur reservoirnya. Apabila temperatur reservoir lebih rendah dari temperatur saturasi atau temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida hanya terdiri dari satu fasa saja, yaitu air. Apabila temperatur lebih tinggi dari temperatur saturasi atau temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida hanya terdiri satu fasa saja, yaitu uap. Pada kondisi tersebut, uap disebut sebagai *superheated steam*. Apabila tekanan dan temperatur reservoir sama dengan tekanan dan temperatur saturasi air maka fluida terdiri dari dua fasa, yaitu campuran uap dan air (Saptadji, 2003).

2.3.4. Sifat Batuan Panas bumi

a. Porositas (ϕ)

Reservoir panasbumi umumnya ditemukan pada batuan rekah alami, dimana batuananya terdiri dari rekahan-rekahan dan rongga-rongga atau pori-pori. Fluida panasbumi, terkandung tidak hanya dalam pori-pori tetapi juga dalam rekahan-rekahan. Volume rongga-rongga atau pori-pori batuan tersebut umumnya dinyatakan sebagai fraksi dari volume total batuan dan didefinisikan sebagai porositas (ϕ) (Saptadji,2003).

Secara matematis porositas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\phi = \frac{V_p}{V_b} \quad (2.3)$$

dimana V_p adalah volume pori dan V_b adalah volume total batuan.

b. Permeabilitas (k)

Permeabilitas suatu batuan merupakan ukuran kemampuan batuan untuk mengalirkan fluida. Permeabilitas merupakan parameter yang penting untuk menentukan kecepatan alir fluida di dalam batuan berpori dan batuan rekah alami. permeabilitas yang biasanya dinyatakan dalam satuan mD (*mili Darcy*), di bidang geotermal seringkali dinyatakan dalam m^2 , dimana 1 *Darcy* besarnya sama dengan $10^{-12} m^2$. Besarnya permeabilitas batuan tidak sama ke segala arah (*anisotropy*), umumnya permeabilitas pada arah horizontal jauh lebih besar dari permeabilitasnya pada arah

vertikal. Batuan reservoir panasbumi umumnya mempunyai permeabilitas matriks batuan sangat kecil seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1 dimana reservoir mempunyai permeabilitas antara 1 sampai 100 mD dan transmisivitas (hasil kali permeabilitas dan ketebalan) antara 1 sampai 100 Dm (Darcy meter) (Saptadji, 2003).

Tabel 2.1 Sifat batuan reservoir di beberapa lapangan panasbumi
(Sumber: Bjornsson & Bodvarsson, 1988)

Lapangan	Negara	Temp. (°C)	k (mD)	ϕ (%)	kh (Darcy.m)
Krafla	Iceland	300-350	2-10	3-5	1-3
Laugarnes	Iceland	130	15	0.20	15
Laugaland	Iceland	80-100	2		2
Nesjavellir	Iceland	300-400	1-5	5	5
Svartsengi	Iceland	240	100-150	5-10	
Larderello	Italy	240		5	10-100
Olkari	Kenya	300	3-8	2	1-5
Cerro Prieto	Mexico	280-340	10-30	20	4-40
Broadlands	NZ	270	30	20	50-100
Wairakei	NZ	270	35-40	20	20-100
BacMan	Phillipines	300-320	20	5	30
Tongonan	Phillipines	300-350	10-50	5-10	10-50
The Geysir	USA	240	50-100	5	1-50
Baca	USA	270	3-10	5	1.8

c. Densitas (ρ)

Densitas batuan adalah perbandingan antara berat batuan dengan volume dari batuan tersebut. (Saptadji, 2003)

d. Konduktivitas Panas (K)

Konduktivitas panas suatu batuan merupakan parameter yang menyatakan besarnya kemampuan batuan tersebut untuk menghantarkan panas dengan cara konduksi apabila pada batuan tersebut ada perbedaan temperatur (gradien temperatur) (Saptadji, 2003).

Tabel 2.2 Konduktivitas termal batuan (Saptadji, 2003 & Reysa, 2014)

JENIS BATUAN	KONDUKTIVITAS (W/mK)
Limestone	2.2 – 2.8
Salt	2.4
Sandstone	3.2
Bituminous coal	0.26
Rock salt	5.5
Gnesis	2.7
Granite	2.6
Gabro	2.1
Peridotite	3.8
Sand	0.76

Konduktivitas panas tidak sama untuk setiap batuan seperti diperlihatkan pada Tabel 2.2 Konduktivitas panas suatu batuan tidak hanya ditentukan oleh jenis batuan atau mineral-mineral penyusunnya, tetapi juga ditentukan oleh struktur kristal yang membentuk batuan tersebut. Hal ini menyebabkan panas merambat dengan laju yang berbeda ke arah yang berlainan. Keanekaragaman sifat konduktivitas panas batuan diperkirakan tidak hanya karena susunan ion dari suatu struktur kristal tetapi juga orientasi dari masing-masing butiran mineral (Saptadji, 2003).

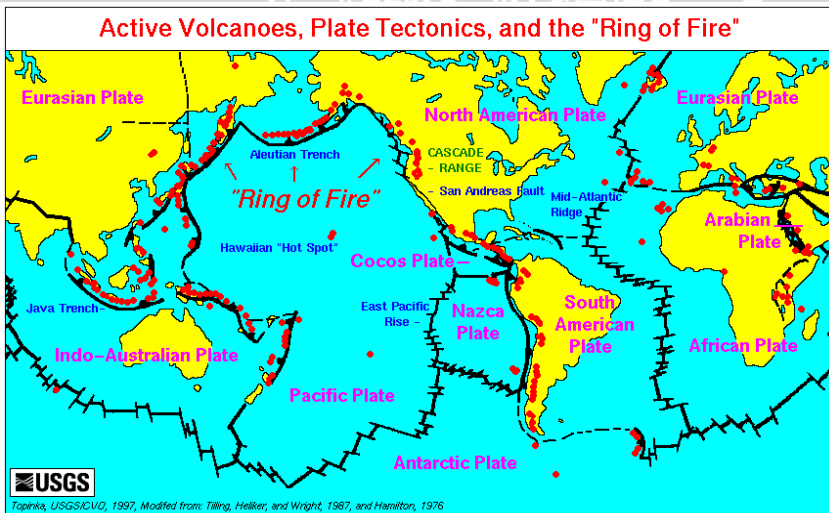
e. Panas Spesifik Batuan (cp)

Panas spesifik batuan adalah suatu parameter yang menyatakan banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu satuan masa batuan tersebut sebesar 1^oC. Satuan dari panas spesifik batuan adalah J/kg.K. Panas spesifik batuan umumnya mempunyai harga sebagai berikut (Saptadji, 2003):

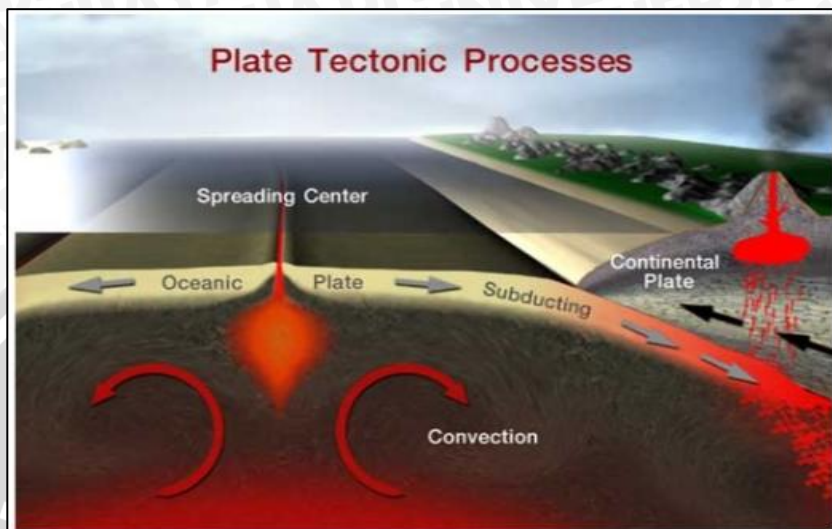
- Pada temperatur rendah 0.75 - 0.85 kJ/kg^oC
- Pada temperatur sedang 0.85 - 0.95 kJ/kg^oC
- Pada temperatur tinggi 0.95 - 1.10 kJ/kg^oC.

2.3.5. Sistem Hidrotermal

Sistim hidrotermal yang telah ditemukan dan dimanfaatkan saat ini umumnya terletak diperbatasan lempeng tektonik (Gambar 2.4), antara lain sistim hidrotermal di Italy, New Zealand, Indonesia, Phillipina, Jepang, Amerika, Mexico, El Savador dan beberapa negara lain. Sistim ini diperkirakan terbentuk karena interaksi lempeng-lempeng tektonik yang merupakan bentangan batuan setebal 64 - 145 km yang mengapung di atas astenosfer. Lempeng-lempeng ini bergerak secara perlahan-lahan dan menerus. Di beberapa tempat lempeng-lempeng bergerak memisah sementara di beberapa tempat lainnya lempeng-lempeng saling mendorong dan salah satu diantaranya akan menujam di bawah lempeng lainnya (Gambar 2.5). Karena panas di dalam astenosfere dan panas akibat gesekan, ujung dari lempengan tersebut hancur meleleh, mempunyai temperatur tinggi (proses magmatisasi). Adanya batuan panas ini menyebabkan gradien temperatur di daerah tersebut menjadi lebih besar dari gradien tempetatur rata-rata, sehingga dapat mencapai 70-80⁰C/km, bahkan di suatu tempat besarnya gradien temperatur sangat tinggi sekali hingga besarnya tidak lagi dinyatakan dalam ⁰C/km tetapi dalam ⁰C/cm (Bignall, 1994).



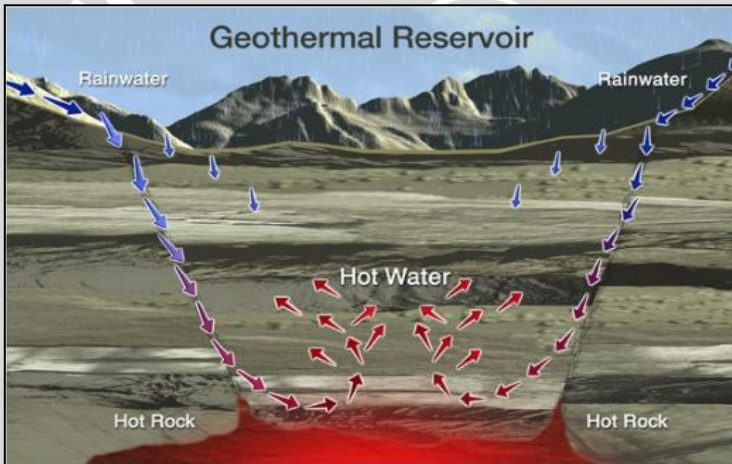
Gambar 2.4. Lempeng-lempeng tektonik (<http://vulcan.wr.usgs.gov/>)



Gambar 2.5. Pergerakan lempeng tektonik
(<http://taman.blogsome.com>)

White (1967) berpendapat, bahwa fluida panasbumi yang terkandung dalam reservoir hidrotermal berasal dari air permukaan, antara lain air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan dan terpanaskan oleh suatu sumber panas (Gambar 2.6). Air tersebut akan masuk melalui rekahan-rekahan kedalam batuan permeabel. Apabila disekitar batuan tersebut terdapat sumber panas, maka panas akan dirambatkan melalui batuan (secara konduksi) dan melalui fluida (secara konveksi). Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Batuan pada sistim hidrotermal umumnya merupakan batuan rekah alam. Apabila struktur geologi memungkinkan maka air tersebut akan mengalir melalui rekahan-rekahan dan atau batuan permeabel, dan kemudian muncul di permukaan. Perubahan fasa mungkin saja terjadi dalam

perjalanannya ke permukaan, yaitu pada saat temperatur air telah mencapai temperatur saturasinya atau temperatur titik didihnya. Bila hal itu terjadi maka fluida akan berupa campuran uap-air atau mungkin berupa uap satu fasa saja. Hal ini menyebabkan jenis-jenis manifestasi panasbumi permukaan (*geothermal surface manifestation*) menjadi sangat beragam, ada mata air panas, geyser atau mata air panas yang menyembur ke permukaan hingga ketinggian mulai dari satu meter hingga beberapa puluh meter setiap selang waktu mulai dari beberapa menit hingga beberapa jam atau beberapa hari, kolam lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, serta manifestasi panasbumi lainnya yang masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda-beda walaupun letaknya berdekatan (White, 1967).



Gambar 2.6. Sistem hidrotermal (<http://geoful.wordpress.com>)

2.4. Perpindahan panas

Perpindahan panas dibagi menjadi tiga proses : konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas melalui bahan akibat adanya interaksi atomik atau molekul penyusun batuan tersebut dalam mantel, pada sistem panasbumi konveksi dapat terjadi di *recharge* area dan reservoir panas atau pada lapisan permeable. Karena suhu adalah suatu pernyataan tentang kinetik energi molekul benda, adanya suatu beda suhu di dalam suatu benda umumnya akan menyebabkan

perpindahan energi kinetik oleh banyaknya tumbukan dari molekul-molekul yang bergerak dari daerah yang lebih panas ke daerah sekitarnya yang lebih dingin.

Secara matematis perpindahan panas yang terjadi pada permukaan bumi dituliskan sebagai berikut:

Konduksi:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.4)$$

Dimana :

Q = Kalor (W)

k = konduksi termal batuan ($Wm^{-1}K^{-1}$)

$\frac{dT}{dx}$ = gradien termal (K/m atau $^{\circ}C/m$)

A = Luas permukaan (m^2)

Proses perpindahan panas konveksi terjadi karena molekul penyusun batuan dapat berpindah atau dengan kata lain perpindahan panas diikuti oleh perpindahan massa. Kedua proses inilah yang dominan terjadi di dalam bumi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi ketika panas melewati batuan, pada sistem panasbumi panas secara konduksi dapat terjadi ketika perpindahan panas dari batuan sumber panas melalui lapisan batuan impermeable hingga ke permukaan. Sedangkan perpindahan panas secara konveksi ketika melewati fluida, Secara matematis perpindahan panas yang terjadi pada permukaan bumi dituliskan sebagai berikut:

Konveksi:

$$Q = hA T_s - T_{\infty} \quad (2.5)$$

Dimana :

Q = laju aliran panas (W)

A = luas permukaan (m^2)

h= koefisien perpindahan panas ($Wm^{-2}K$)

T_s = temperatur padat berisi fluida (K)

T_{∞} = temperatur fluida terjauh namun tidak ditentukan nilainya(K).

Perpindahan panas secara radiasi merupakan perpindahan panas dari matahari kepermukaan bumi secara langsung kepermukaan bumi. Perpindahan panas secara hanya mengontrol panasbumi pada permukaan.

Secara matematis perpindahan panas yang terjadi pada permukaan bumi dituliskan sebagai berikut:

Radiasi :

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (2.6)$$

Dimana :

Q = lajuran panas (W)

ε = emisivitas

A = Luas permukaan (m^2)

σ = konstanta Stefan-Boltzman ($Wm^{-2}K^{-4}$)

T = temperatur permukaan bumi (K) (Gupta, 2007).

2.5. Teknik Ekplorasi Termal

Teknik eksplorasi termal sangat berguna untuk menilai ukuran dan potensi panasbumi. Pengukuran secara rutin dekat permukaan *gradient thermal* dan *heat flow* merupakan salah satu program utama untuk menentukan lokasi titik bor. Pengukuran suhu pada kedalaman 1 meter merupakan pengukuran yang murah dan cepat dan dapat digunakan untuk menentukan nilai anomali panas. Keadaan geologi yang memiliki kondisi aktivitas termal, pengukuran 1 meter ini memiliki nilai yang sama dengan survey citra infamerah (Gupta, 2007).

Pengukuran suhu dapat dilakukan melalui sensor suhu analog maupun digital. Sensor suhu analog memberikan keluaran tegangan analog dan umumnya membutuhkan rangkaian tambahan yang disebut pengkondisi sinyal sebelum dihubungkan dengan perangkat pembaca atau penampil. Sensor suhu digital mempunyai beberapa kelebihan dari sensor suhu analog. Diantaranya adalah kekebalannya terhadap *noise*. Sensor digital juga dapat dihubungkan ke masukan digital perangkat pembaca tanpa rangkaian tambahan.

Salah satu sensor digital yang ada di pasaran adalah DS18S20. Sensor ini menggunakan keluaran secara serial yang disebut 1-wire bus. Bila beberapa DS18S20 digunakan, maka sensor-sensor ini dapat dihubungkan ke 1-wire bus melalui hubungan multi-drop. Koneksi multi-drop akan memberikan solusi yang baik untuk mengurangi kekomplekan pengkabelan dari sensor-sensor yang digunakan. DS18S20 dapat melakukan pembacaan temperatur dari -55 °C sampai +125 °C dengan resolusi 9-bit (Anonymous).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September di wisata pemandian air panas Cangar Desa Sumber Brantas Kecamatan Bumi Aji Kota Batu. Secara geografis lokasi ini terletak pada $112^{\circ}32'00''$ Bujur Timur dan $7^{\circ}044'30''$ Lintang Selatan.

3.2. Peralatan

Dalam survey geofisika kali ini, digunakan beberapa peralatan yang menunjang pelaksanaan pengambilan data, diantaranya:

- Beberapa sensor suhu (DS18S20) yang dilengkapi dengan pipa
- Baterei 9 volt
- GPS, sebagai alat penentu posisi dari setiap titik ukur
- Leptop
- Perangkat lunak (software)
- Alat pengukur waktu (jam)
- Alat bor
- Kamera.



Gambar 3.1. Sensor yang dimasukan dalam pipa

i. Spesifikasi peralatan

Peralatan terdiri dari 6 buah sensor digital DS18S20 yang memiliki kemampuan membaca suhu dari -55°C sampai $+125^{\circ}\text{C}$ dan memiliki tingkat keakuratan 0.5°C dengan resolusi 9 bit. Peralatan ini diintegrasikan dengan 1-wire dan CAN untuk mendapatkan hasil pengukuran secara serentak yang lebih akurat dan kebal terhadap noise. Peralatan juga dirancang dalam bentuk portable sehingga akan

lebih mudah dibawa pada saat pengukuran dilapangan. Selain itu peralatan dilengkapi dengan pipa sepanjang 0.5m (@4buah) dan 1m (@2buah) yang apabila dihubungkan dapat mengukur hingga kedalaman 3m.

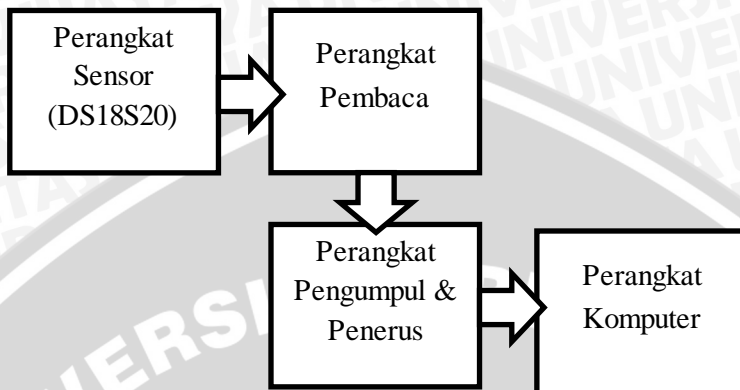
3.3. Bentuk Penelitian

Dalam penelitian ini, yang dilakukan adalah menganalisa temperatur panasbumi dengan menggunakan sensor suhu (DS18S20) dan membandingkan hasilnya dengan penelitan sebelumnya yaitu sensor suhu (LM35). Adapun data yang didapatkan dalam penelitian ini meliputi: temperatur, kedalaman, posisi dari titik pengambilan data (bujur dan lintang), dan waktu pengambilan data (hari, tanggal, dan jam).

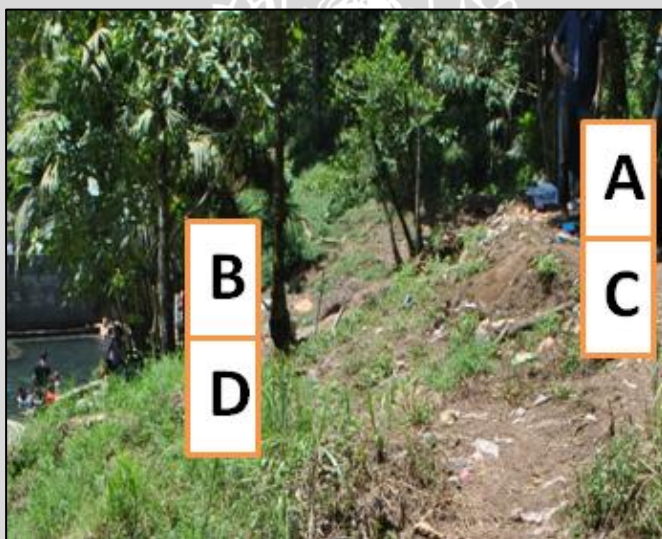
3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Tahap Pengambilan Data

Secara umum sistem yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 3.2. Sistem terbagi dalam beberapa sub-sistem, yaitu: Perangkat Sensor, Perangkat Pembaca, Perangkat Pengumpul & Penerus serta komputer. Perangkat Sensor berupa pipa yang berisi sensor-sensor suhu (DS18S20) yang akan dimasukkan ke dalam tanah. Proses pengambilan data dilakukan dengan memasukan beberapa sensor suhu (DS18S20) kedalam tanah dengan menggunakan pipa dekat permukaan tanah dengan kedalaman 0.5 meter sampai kedalaman 1.5 meter. Hasil pembacaan dari sensor-sensor suhu yang berupa data digital disalurkan secara serial melalui sebuah kabel yang disebut *1-Wire bus*. Data-data ini akan dibaca oleh mikrokontroller yang diletakkan dalam sebuah unit yang disebut Perangkat Pembaca.



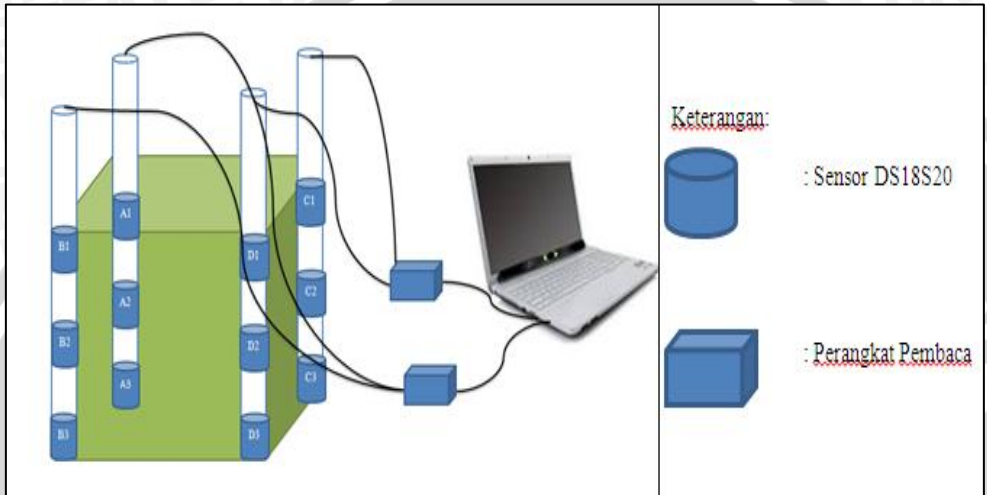
Gambar 3.2. Sistem Pengukuran



Gambar 3.3. Lokasi pengeboran dan akuisisi data

Lokasi pengeboran dan akuisisi data ditunjukkan pada Gambar 3.3 seluas $3 \times 6 \text{ m}^2$. Pengeboran dilakukan pada 4 titik yang berbeda yaitu; titik A, titik B, titik C, dan titik D. Masing-masing jarak antara A ke B, C ke D sejauh 3 meter dan A ke C, B ke D sejauh 6 meter. Selanjutnya sensor dimasukkan pada lubang bor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan jarak antar sensor 0.5 meter. Akuisi data dilakukan di 4 titik yang berbeda secara serentak yaitu; A, B dan

C, D sebanyak 200 kali dengan waktu lebih dari 200 detik. Pengukuran yang singkat diharapkan dapat mengurangi radiasi sinar matahari yang sampai ke permukaan.



Gambar 3.4. Proses akuisisi lapangan

3.4.2. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan berdasarkan anomali panas dilokasi penelitian. Data yang didapatkan merupakan data primer yang kemudian dimasukkan ke *Microsoft excel*. Pada *Microsoft excel* kemudian dilakukan analisa anomali panas maksimum, minimum, dan rata-rata. Kemudian dari anomali panas rata-rata dibentuk kontur anomali panas berdasarkan kedalaman dengan menggunakan Surfer 10.0. Kontur anomali panas dibuat berdasarkan interpolasi *kriging*, dengan interpolasi *kriging* dapat ditentukan estimasi distribusi temperatur secara acak didaerah penelitian berdasarkan temperatur pengukuran. Dari hasil pengolahan data menggunakan surfer 10.0 didapatkan penampang 2D yang menggambarkan distribusi anomali panas yang berada dilokasi penelitian. Selanjutnya gradien temperatur ditentukan berdasarkan hasil *slope* temperatur sebagai fungsi kedalaman dengan regresi linier menggunakan *Microsoft excel*. Selain itu dilakukan perhitungan laju aliran panas dengan

menggunakan metode perhitungan agar dapat dianalisa laju aliran panas disetiap titik bor.

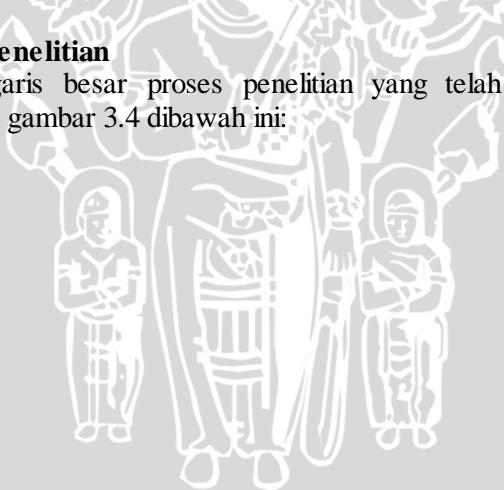
3.4.3. Interpretasi data

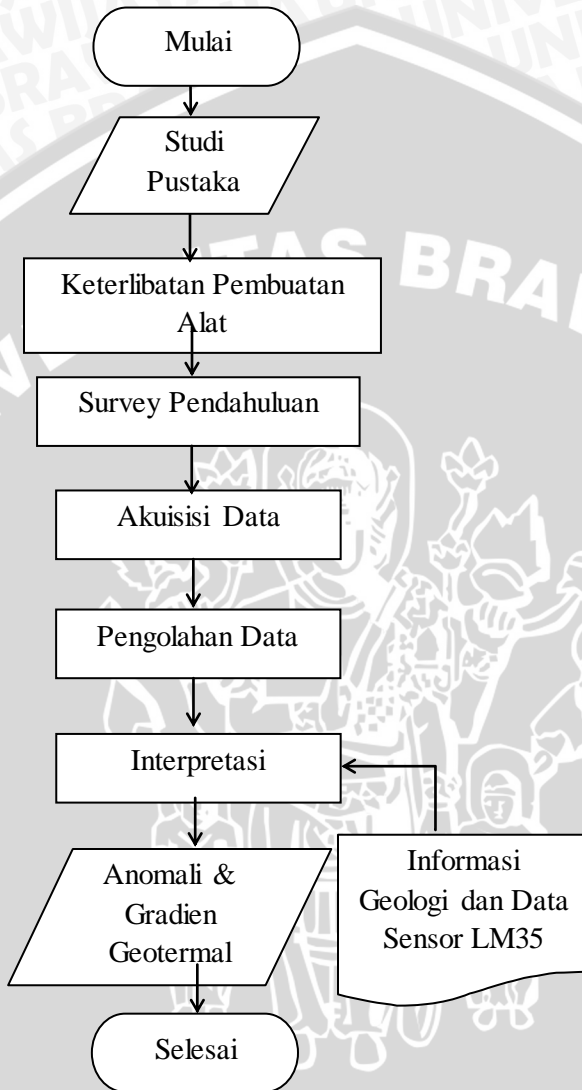
Proses terakhir yang dilakukan pada penelitian ini adalah interpretasi data berdasarkan pengolahan data berupa penampang 2D berupa kontur anomali panas sebelumnya telah di olah menggunakan software Surfer 10.0. Interpretasi data dimaksudkan untuk mengetahui dan menggambarkan transfer panas yang terjadi dilokasi penelitian.

Interpretasi dilakukan dengan melihat sebaran anomali panas dari kontras warna kontur anomali panas 2D, dimana kontur anomali panas 2D tersebut menunjukkan nilai sebaran suhu didaerah tersebut. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara anomali panas dengan pengukuran sebelumnya, yaitu; perbandingan antara anomali panas rata-rata hasil pengukuran sensor LM35. Untuk mamastikan sebaran panas berasal dari potensi panasbumi dapat dilihat berdasarkan gradien temperatur dan laju aliran panas dari hasil pengolahan data.

3.4.4 Skema Penelitian

Secara garis besar proses penelitian yang telah dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini:





Gambar 3.4. Skema Penelitian

BAB IV

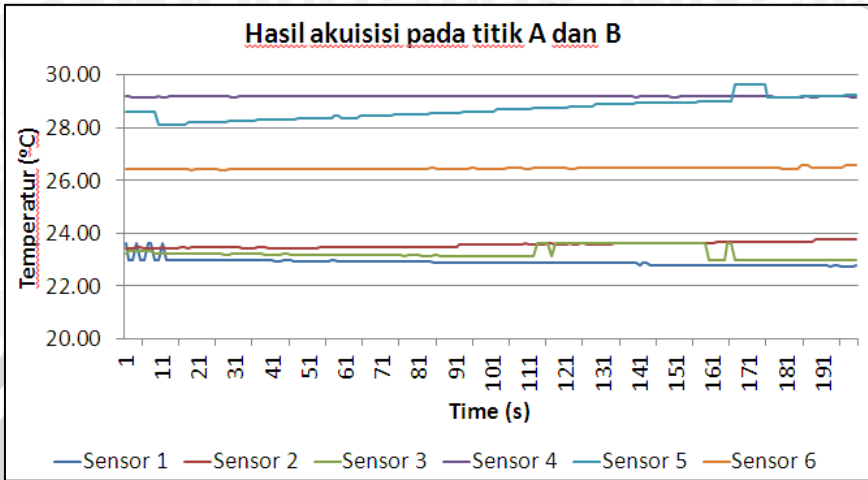
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

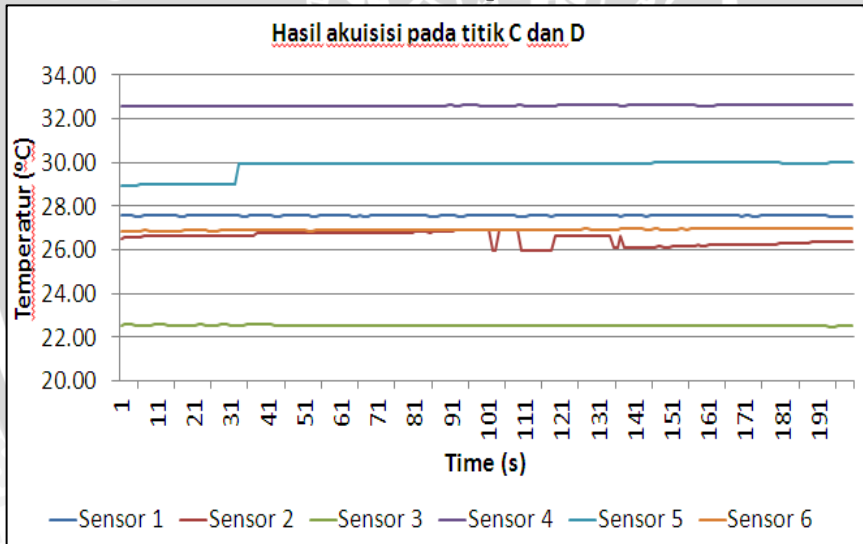
Dari hasil akuisisi data lapangan didapatkan nilai sebaran suhu bawah permukaan sebanyak 4 titik pengukuran dengan lebar 3 m, panjang 6 m dan kedalaman 1.5 m. Sedangkan sensor disusun secara *array* dengan kedalaman masing-masing 1.5m, 1m, dan 0.5m. Dari hasil pengukuran pada titik A, B, C dan D (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2) pada kedalaman 0.5m didapatkan suhu rata-rata permukaan bumi berturut-turut sebesar 23.26, 26.46, 26.94, dan 22.57°C. Titik A, B, C dan D pada kedalaman 1 m didapatkan suhu rata-rata permukaan bumi berturut-turut sebesar 23.56, 28.70, 29.81, dan 26.54°C. Titik A, B, C dan D pada kedalaman 1.5 m didapatkan suhu rata-rata permukaan bumi berturut-turut sebesar 22.91, 29.17, 32.64, dan 27.55°C.

Akuisisi data dilakukan disekitar pemandian air panas Cangar untuk mendapatkan nilai sebaran suhu dibawah permukaan bumi. Akuisisi data dilakukan pada kedalaman 1.5m, 1m, dan 0.5m. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir pengaruh radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Akuisisi data dilakukan serempak pada 2 titik A,B dan C,D. Hal ini dilakukan agar didapatkan nilai sebaran suhu yang akurat. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan sensor suhu DS18S20 yang dipasang pada pipa. Selain itu sensor suhu DS18S20 yang dihubungkan dengan *1-wire bus* dan *CAN bus* diharapkan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Penggambaran dan pemodelan 2 dimensi (2D) bertujuan untuk menentukan dan menduga sebaran panas bumi yang berada disekitar kolam berendam pemandian air panas daerah Cangar kota Batu. Pemodelan ini dilakukan dengan mengukur suhu bawah permukaan disekitar kolam pemandian air panas.



Gambar 4.1. Hasil akuisisi pada titik A dan B



Gambar 4.2. Hasil akuisisi pada titik C dan D

4.2. Pembahasan

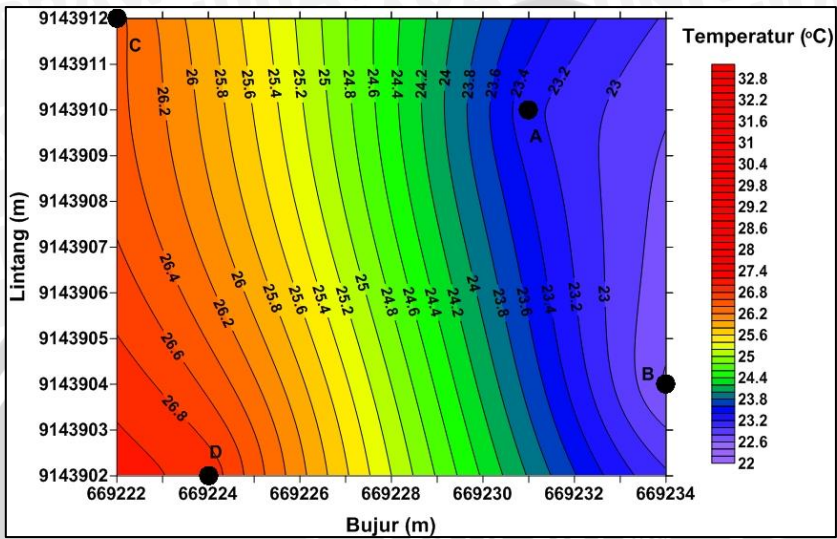
4.2.1. Keadaan Geologi

Pemunculan manifestasi panasbumi di Cangar berkaitan erat dengan kondisi geologi, terutama adanya struktur sesar dari arah utara-selatan. Adanya sesar dapat menyebabkan retakan-retakan yang memungkinkan transfer panas secara konveksi melalui permeabilitas batuan dari sistem panasbumi Gunung Arjuno-Welirang sampai ke daerah Cangar dan membentuk manifestasi panasbumi (lihat Lampiran 3).

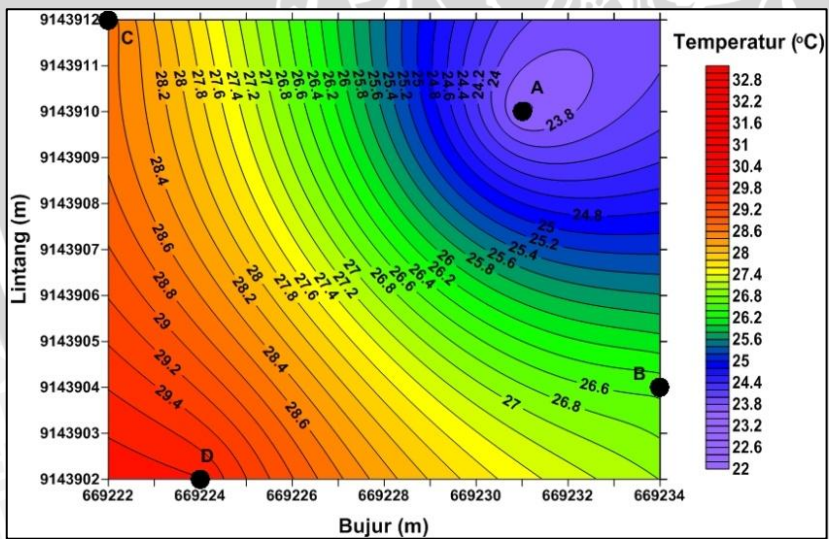
Secara garis besar, kondisi geologi di daerah penelitian didominasi oleh batuan breksi, tuff dan lava. Batuan breksi mempunyai ciri-ciri dengan warna coklat-kuning keruh, kelabu dan kemerahan, berbutir pasir kasar kurang rapat bermasa dasar tuff pasiran, batuan lava memiliki ciri dengan warna kelabu, hitam bercorak coklat kemerahan dan kehijauan, dengan struktur sisipan melidah dengan tebal puluhan meter, tuff memiliki ciri putih keruh kecoklatan, berbutir kasar hingga halus, disebagian tempat berukuran lapili yang tersebar tidak merata dengan tebal lapisan mencapai puluhan centimeter (Santoso dan Suwarti, 1992).

4.2.2. Interpretasi kontur anomali panas

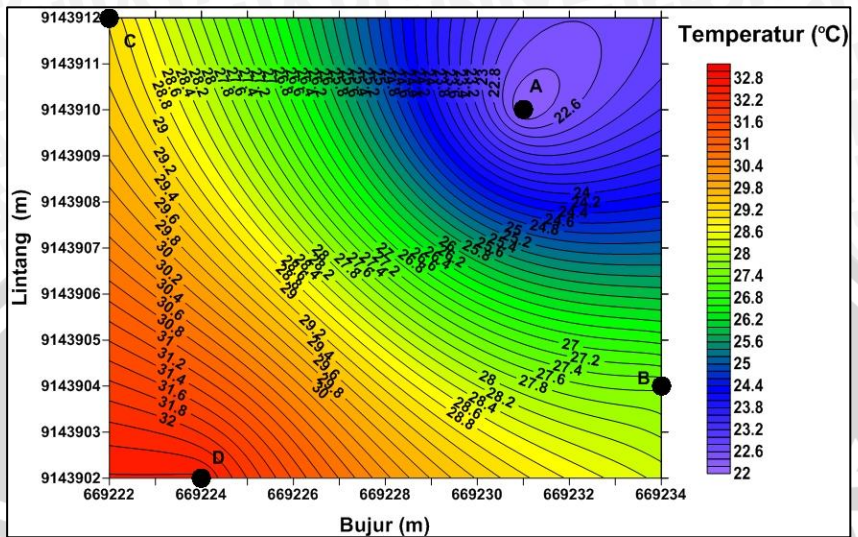
Kontur anomali panas merupakan kontur anomali yang digunakan untuk menentukan dugaan sebaran panas di daerah penelitian. Selanjutnya sebaran anomali panas dikorelasikan dengan keadaan geologi dan hasil data pengeboran agar didapatkan sebaran anomali panas yang sesuai dengan keadaan lapangan. Hasil prosesing data menggunakan Surfer 10.0 didapatkan kontur sebaran anomali panas secara mapping pada tiap kedalaman 0.5 meter yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3. Kontur Anomali panas di kedalaman 0.5 m



Gambar 4.4. Kontur Anomali panas di kedalaman 1 m



Gambar 4.5. Kontur Anomali panas di kedalaman 1.5 m

Berdasarkan sebaran anomali pada kontur anomali panas dapat diinterpretasikan bahwa sebaran anomali panas pada Gambar 4.3 berkisar 22-27°C. Pada Gambar 4.4 sebaran anomali panas berkisar 22-30°C. Sedangkan pada Gambar 4.5 sebaran anomali panas berkisar 22-33°C. Perbedaan anomali panas yang terjadi sebagian besar dipengaruhi oleh transfer panas secara konduksi dari batuan-batuan yang berinteraksi dengan sumber air panas. Perbedaan warna pada kontur anomali panas digunakan untuk menentukan perbedaan temperatur pada tiap titik pengamatan. Dari kontur anomali panas pada Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 terlihat nilai sebaran anomali panas dari arah barat daya-tenggara semakin besar. Hal ini disebabkan adanya sumber mata air panas disebelah tenggara. Dari hasil pengukuran sebelumnya menggunakan sensor temperatur juga disebutkan bahwa anomali yang terbesar juga ditunjukkan pada titik D dengan temperatur berkisar 27.9-39.5 °C, pengaruh iklim maupun cuaca dapat berpengaruh pada transfer panas yang terjadi dilokasi penelitian.

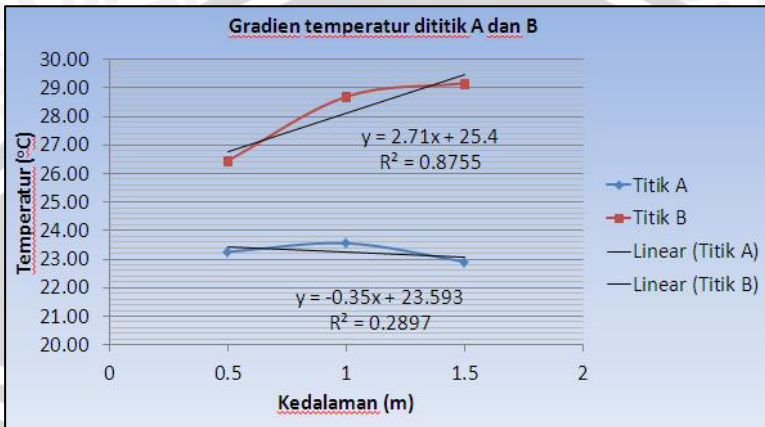
Nilai anomali panas yang besar diinterpretasikan berhubungan dengan batuan bawah permukaan yang memiliki porositas yang kecil dengan konduktivitas termal batuan yang besar. Anomali panas terbesar ditunjukkan pada titik D pada kedalaman 1.5 meter

dengan temperatur 32.61-32.68 °C. Dari hasil kontur anomali panas terlihat bahwa semakin dalam bawah permukaan, nilai kontur anomali panas semakin rapat. Rapat kontur anomali diindikasikan bahwa semakin dalam bawah permukaan maka nilai porositas batuan semakin kecil. Pengaruh berubahnya porositas yang menurun setiap bertambah kedalamannya disebabkan karena adanya pengaruh tekanan *overburden* yang mempengaruhi setiap ruang batuan di dalam bumi, sehingga ruang batuan akan memiliki bentuk dan sifat yang berbeda-beda, diantaranya adalah harga porositas pada batuan, yang menjadi kecil setiap bertambah kedalamannya.

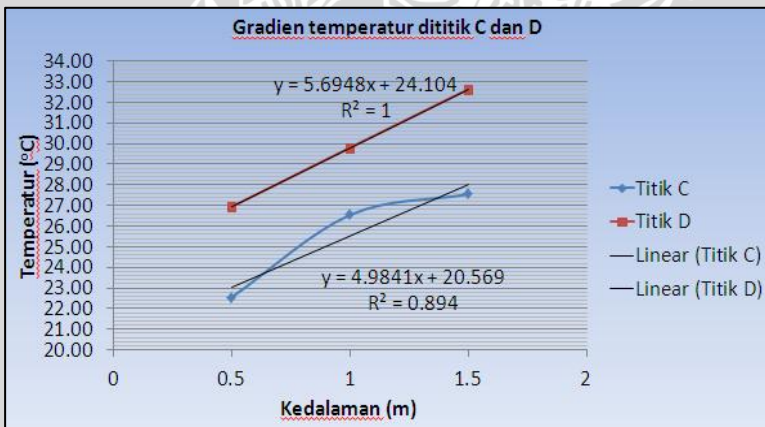
Transfer panas yang terjadi dibawah permukaan selain terjadi secara konduksi juga dipengaruhi oleh transfer panas secara konveksi. Transfer panas secara konveksi ini terjadi pada fluida panas yang teralirkan kepermukaan melalui permeabilitas batuan maupun melalui rekahan yang mengakibatkan didaerah Cagar terdapat sumber air panas. Suplai fluida terbanyak biasanya terdapat pada air meteorik namun ada juga yang terdapat dari magma dengan karakteristik kandungan unsur kimia yang berbeda. Berdasarkan data geokimia Badan Geologi tipe air bikarbonat dengan konsentrasi Cl cukup signifikan, hal tersebut menunjukkan air panas mengalami pengenceran (*diluted*) air klorida oleh air bikarbonat dari air permukaan yang menyusup melalui zona porous maupun rekahan batuan.

4.2.3. Gradien Temperatur

Berdasarkan hasil akuisisi data dapat dilakukan analisa mengenai gradien temperatur dengan menggunakan regresi linier sebagai berikut:



Gambar 4.6. Gradien temperatur dititik A dan B



Gambar 4.7. Gradien temperatur dititik C dan D

Berdasarkan pengujian gradien temperatur yang telah dilakukan menggunakan regresi linier dapat diketahui nilai gradien temperatur pada titik A semakin dalam, temperaturnya semakin menurun. Pengaruh turunnya temperatur pada titik A diindikasikan bahwa pada titik A tidak dipengaruhi oleh adanya sumber air panas

atau dipengaruhi oleh sumber air panas, tetapi jumlah panas yang diterima lebih sedikit dari titik B, C, dan D.

Gradien temperatur pada Gambar 4.1 dan 4.2 secara lateral berubah meskipun pada kedalaman yang sama. Pengaruh perubahan temperatur selain dipengaruhi oleh manifestasi panasbumi juga dipengaruhi oleh konduktivitas panas batuan, konduktivitas panas formasi, perubahan iklim, ketebalan, kedalaman dan porositas perlapisan. Dari hasil analisa regresi linier juga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$y = - 0.35x + 23.593 \quad (4.1)$$

$$y = 2.71x + 25.4 \quad (4.2)$$

$$y = 4.9841x + 20.569 \quad (4.3)$$

$$y = 5.6948x + 24.104 \quad (4.4)$$

Dari keempat persamaan diatas ditunjukkan bahwa akan terjadi perubahan temperatur pada setiap perubahan kedalaman. Sedangkan besarnya nilai gradien termperatur ditentukan dari *slope* (dT/dz) pada masing-masing titik pengukuran. Dari hasil perhitungan gradien temperatur pada masing-masing titik A, B, C, dan D berturut-turut sebesar $0.32^{\circ}\text{C}/\text{m}$, $0.82^{\circ}\text{C}/\text{m}$, $0.17^{\circ}\text{C}/\text{m}$, dan $0.17^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Persamaan (4.1) menunjukan bahwa semakin dalam perubahan temperatur cenderung menurun sebesar $0.32^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Sedangkan pada persamaan (4.2), (4.3), dan (4.4) menunjukkan perubahan temperatur cenderung meningkat antara $0.17^{\circ}\text{C}/\text{m}$ sampai $0.82^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Pengaruh perubahan temperatur dapat terjadi disebabkan oleh adanya sifat-sifat fisika dan kimia yang terkandung pada batuan dibawah permukaan. Berdasarkan gradien termal terlihat jelas bahwa temperatur bawah permukaan di pengaruhi sumber mata air panas yang terletak di antara titik C dan D.

4.2.4. Laju aliran panas (*Heat flow*)

Penentuan laju aliran panas (*heat flow*) pada penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan cara perhitungan, yaitu dengan cara perhitungan berdasarkan konduktivitas batuan pada titik bor dan gradien temperatur. Hasil perhitungan laju aliran panas ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Perhitungan laju aliran panas

	dT/dx (K/m)	Q (W/m²)
Titik A	273.47	207.8372
Titik B	273.97	208.2172
Titik C	273.32	207.7232
Titik D	273.32	207.7232

Tabel 4.1 merupakan perhitungan laju aliran panas yang dihasilkan dari perkalian antara konduktivitas batuan dan gradien temperatur pada titik A, titik B, titik C, dan titik D. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan metode geofisika (gaya berat, magnetik, dan geolistrik) menunjukkan bahwa batuan yang terdapat disekitar pemandian air panas Cangar pada kedalaman 0-1.5 meter merupakan batuan pasir. Sehingga dapat dikorelasikan dengan Tabel 3.3 Berbagai macam konduktivitas batuan, dengan demikian dapat ditentukan konduktivitas batuan untuk mengetahui laju aliran panas di disetiap titik bor. Terlihat bahwa laju aliran panas di tiap titik A sebesar 207.8372 W/m², titik B sebesar 208.2172 W/m², titik C dan D sebesar 207.7232 W/m². Transfer panas terjadi dari batuan yang memiliki temperatur tinggi ke batuan yang memiliki temperatur lebih rendah. Berdasarkan tabel 4.1 diperlihatkan bahwa semakin besar nilai gradien temperatur didapatkan semakin besar nilai laju aliran panas yang terjadi pada titik bor. Sehingga dapat diperkirakan bahwa semakin mendekati sumber panas maka energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan batuan secara konduksi akan semakin kecil.

Selain pengaruh perubahan gradien temperatur perubahan laju aliran panas juga dipengaruhi oleh waktu sedimentasi dan besarnya konduktivitas batuan, semakin besar konduktivitas batuan maka semakin baik batuan menghantarkan panas atau konduktor. Sedangkan semakin kecil konduktivitas batuan maka semakin buruk batuan menghantarkan panas atau isolator.

Lapisan dilokasi penelitian merupakan lapisan permukaan tanah yang merupakan lapisan penutup dan lapisan yang paling atas. Tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan yang berasal dari bawah permukaan. Sedangkan komponen penyusun batuan di daerah penelitian terdiri dari beberapa batuan diantaranya batuan tuff, pasir dan lempung. Batuan lempung merupakan batuan sedimen klastik

yang memiliki ukuran dan butiran kurang dari 1-2 mikron dan secara dominan disusun oleh silica (Wiliam dkk, 1954). Batuan pasir merupakan batuan yang terbentuk dari silikon dioksida dan umumnya berukuran 0.0625 sampai 2 milimeter.

Mata air panas Cangar berasal dari reservoir gunung Welirang, dibuktikan dari hasil survei magnetotelurik yang menunjukkan reservoir diperkirakan berada di bagian barat gunung Welirang dekat gunung api Coban dengan kedalaman sekitar 1500 meter di bawah permukaan tanah. Puncak reservoir ini semakin mendalam ke sebelah utara dan baratdaya yang dapat mencapai kedalaman sekitar 2500 meter di bawah permukaan tanah (Kusnadi dkk, 2010).



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Nilai sebaran anomali panas bawah permukaan di sekitar pemandian air panas Cangar, kota Batu berkisar $22-33^{\circ}\text{C}$.
2. Nilai gradien termal pada daerah penelitian dengan luas area $3 \times 6 \text{ m}^2$ berkisar $0.17^{\circ}\text{C}/\text{m} - 0.8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ pada kedalaman $0.5\text{m} - 1.5\text{m}$.
3. Laju aliran panas di daerah penelitian dipengaruhi oleh gradien termal dan konduktivitas pasir dengan laju aliran panas berkisar $208.2172\text{W}/\text{m}^2 - 207.8372\text{W}/\text{m}^2$.
4. Pengaruh perubahan temperatur di lokasi penelitian dipengaruhi oleh manifestasi panas bumi berupa sumber mata air panas maupun keadaan cuaca dan struktur tanah di lokasi penelitian.

5.2. Saran

Sebaiknya dilakukan pemetaan yang lebih luas di lokasi penelitian dengan kedalaman dangkal dan pengujian konduktivitas termal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2013. *Datasheet DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer. REV: 042208, Maxim.* Dari <http://datasheets.maximintegrated.com>. Diakses tanggal: 1 November 2013.
- Anonymous, 2013. *Peta Kota Batu.* Dari [http://: google earth.com](http://google.earth.com) Diakses tanggal: 1 November 2013.
- Anonymous. 2013. *Sistem hydrothermal.* Dari <http://geoful.wordpress.com>. Diakses tanggal: 1 November 2013.
- Anonymous. 2013. *Lempeng-lempeng tektonik* <http://vulcan.wr.usgs.gov>. Diakses tanggal: 1 November 2013
- Anonymous. <http://taman.blogsome.com>., Diakses tanggal: 1 November 2013
- Arif, I.H., & Refrizon. 2005. *Distribusi sumber panas bumi berdasarkan survei gradien suhu dekat permukaan gunungapi Hulu Lais.* Jurnal Gradien. Vol 1 No.2: 64-48.
- Bignall, G. 1994. *Thermal Evolution and Fluid-Rock Interactions in the Orakei Korako-Te Kopia.* Cambridge University Press. New York
- Bodvarsson, G.S. and Whitherspoon P.A. 1989. *Geothermal Reservoir Engineering, Geotherm. Sci. & Tech.* Volume 2(1) pp. 1-68.
- Daud Yunus. 2010. *Diktat Kuliah : Introduction to Geothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia
- Finger, J and Blankenship. 2010. *Hanbook of Best Practice for Geothermal Driling.* Sandia Report.
- Edwards, L.M., Chilingar, G.V. et al., Editors. 1982. *Handbook of Geothermal Energy, Gulf Publishing Company*, Chapter 2
- Gupta, H.K., 2007. *Geothermal Energy: An Alternative Resource for The 21st Century.* Elsevier. First edition.
- Dharmawan H.A. 2013. *Perancangan Sistem Pengukur Temperatur Spatial pada Kedalaman Tertentu dari Permukaan Tanah Menggunakan CAN Bus dan 1-Wire Bus.* Malang, Indonesia.
- Muchamad H.R., Koesnadi D., Sugianto A. 2010. *Penyelidikan Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panasbumi Arjuno - Welirang, Kabupaten Mojokerto dan Malang, Provinsi Jawa Timur.* Pusat Survey Geologi, Bandung.

- Novianto. 2013. *Pergerakan lempeng tektonik*. Dari <http://novianto-geophysict.blogspot.com>, Diakses tanggal 26 November 2013.
- Nenny Miryani Saptadji. 2001. *Teknik Panasbumi, Diktat Kuliah Prodi Teknik Perminyakan*. Penerbit ITB
- Subgan A. A. 2006. *Studi difusivitas termal pada medium tanah Melalui pengukuran suhu*. Natural vol.5 No.2
- Utama, A. P. dkk. 2012. *Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia. Proceedings, Geothermal Workshop*. Institut Teknologi Bandung. Bandung, Indonesia.
- Verna A. Suoth. 2013. *Pengembangan Sistem Akusisi Data Jaringan Sensor Suhu Untuk Mapping Suhu Bawah Permukaan*. Thesis. Universitas Brawijaya.
- William, H., Turner, F. J., Gilbert, C. M., 1954. *Petrograph*. W. H. Freeman and Company, San Fransisco.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Proses pengeboran



Proses pengambilan dan pembacaan data



Lampiran 2

Pengambilan data pada titik A dan B

Lokasi : Pemandian air panas Cangar Desa Sumber
Brantas Kecamatan Bumi Aji Kota Batu
Kedalaman : 1.5m (CH1,CH4); 1m (CH2,CH5); 0.5m (CH3,CH6)
Waktu Penelitian: 8:00-13:00/14 September 2013

Tabel L5.1 : Data Sebaran Suhu Titik A dan B

CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6
23.62	23.43	23.25	29.18	28.62	26.43
23.00	23.43	23.31	29.18	28.62	26.43
23.00	23.43	23.31	29.12	28.62	26.43
23.62	23.50	23.31	29.12	28.62	26.43
23.00	23.50	23.31	29.12	28.62	26.43
23.00	23.43	23.31	29.12	28.62	26.43
23.62	23.43	23.31	29.12	28.62	26.43
23.62	23.43	23.31	29.12	28.62	26.43
23.00	23.43	23.25	29.12	28.62	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.12	26.43
23.62	23.50	23.25	29.12	28.12	26.43
23.00	23.43	23.25	29.12	28.12	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.12	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.12	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.12	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.12	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.12	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.37
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43

23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.18	26.37
23.00	23.50	23.18	29.18	28.18	26.37
23.00	23.50	23.18	29.18	28.25	26.43
23.00	23.50	23.25	29.12	28.25	26.43
23.00	23.50	23.25	29.12	28.25	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.25	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.31	26.43
23.00	23.50	23.25	29.18	28.31	26.43
23.00	23.50	23.18	29.18	28.31	26.43
23.00	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
23.00	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.31	26.43
23.00	23.43	23.25	29.18	28.31	26.43
23.00	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.31	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.43	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43

22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
23.00	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
23.00	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.37	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.43	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.12	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.18	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.12	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.12	29.18	28.50	26.43
22.93	23.50	23.12	29.18	28.56	26.50
22.87	23.50	23.18	29.18	28.56	26.50

22.87	23.50	23.18	29.18	28.56	26.43
22.87	23.50	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.50	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.50	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.50	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.50	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.56	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.62	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.50
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.50
22.87	23.62	23.12	29.18	28.68	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.68	26.43
22.87	23.56	23.12	29.18	28.75	26.50
22.87	23.56	23.62	29.18	28.75	26.50
22.87	23.56	23.62	29.18	28.75	26.50
22.87	23.56	23.62	29.18	28.75	26.50
22.87	23.62	23.62	29.18	28.75	26.50
22.87	23.62	23.12	29.18	28.75	26.50

22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.12	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.12	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	28.93	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	29.00	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	29.00	26.50
22.81	23.62	23.62	29.18	29.00	26.50
22.81	23.62	23.00	29.18	29.00	26.50
22.81	23.62	23.00	29.18	29.00	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.00	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.00	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.00	26.50
22.81	23.68	23.62	29.18	29.00	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.62	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.12	26.50
22.81	23.68	23.00	29.18	29.12	26.50
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.50
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.50
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.43

22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.43
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.43
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.43
22.81	23.68	23.00	29.12	29.12	26.43
22.81	23.68	23.00	29.12	29.18	26.56
22.81	23.68	23.00	29.18	29.18	26.56
22.81	23.68	23.00	29.18	29.18	26.56
22.81	23.68	23.00	29.12	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.12	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.75	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.81	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.75	23.75	23.00	29.18	29.18	26.50
22.75	23.75	23.00	29.18	29.25	26.56
22.75	23.75	23.00	29.18	29.25	26.56
22.75	23.75	23.00	29.12	29.25	26.56
22.81	23.75	23.00	29.12	29.25	26.56



Pengambilan data pada titik C dan D

Lokasi : Pemandian air panas Cangar Desa Sumber
Brantas Kecamatan Bumi Aji Kota Batu

Kedalaman : 1.5m (CH1,CH4); 1m (CH2,CH5); 0.5m (CH3,CH6)

Waktu Penelitian: 8:00-13:00/14 September 2013

Tabel L5.2 Data Sebaran Suhu Titik C dan D

CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6
27.56	26.50	22.56	32.61	28.94	26.87
27.56	26.56	22.62	32.61	28.94	26.87
27.56	26.56	22.62	32.61	28.94	26.87
27.56	26.56	22.62	32.61	28.94	26.87
27.50	26.56	22.56	32.61	28.94	26.87
27.50	26.56	22.56	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.56	32.61	28.98	26.93
27.56	26.62	22.56	32.61	28.98	26.93
27.56	26.62	22.56	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.62	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.62	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.62	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.62	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.56	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.56	32.61	28.98	26.87
27.56	26.62	22.56	32.61	28.99	26.87
27.50	26.62	22.56	32.61	28.99	26.87
27.50	26.62	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93

27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.87
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.87
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.87
27.56	26.68	22.62	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	28.99	26.93
27.56	26.68	22.56	32.61	29.93	26.93
27.50	26.68	22.56	32.61	29.93	26.93
27.50	26.68	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.68	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.56	26.75	22.62	32.61	29.93	26.93
27.50	26.75	22.56	32.61	29.93	26.93
27.50	26.75	22.56	32.61	29.93	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.87
27.50	26.81	22.56	32.61	29.94	26.87
27.50	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93

27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.75	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.94	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.50	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.50	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.50	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.50	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.81	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.87	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.50	26.81	22.56	32.61	29.95	26.93
27.50	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.50	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93

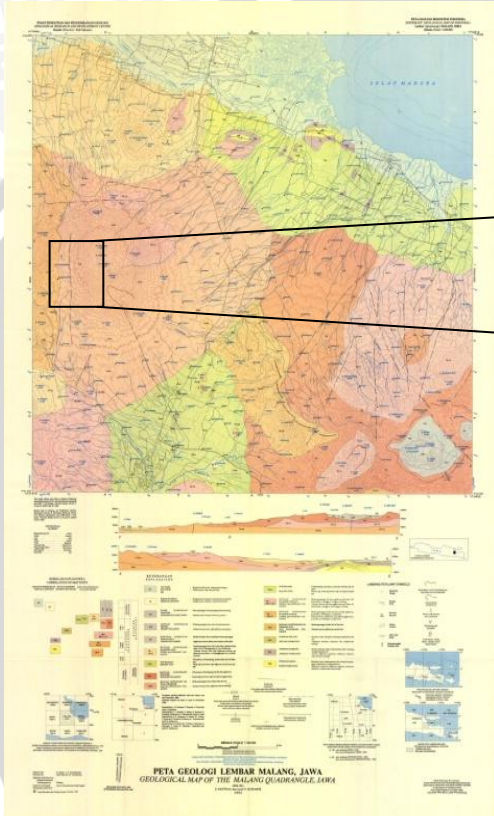
27.56	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.87	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.87	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.87	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.50	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.50	26.93	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.68	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.95	26.93
27.56	26.93	22.56	32.61	29.96	26.93
27.50	26.93	22.56	32.68	29.96	26.93
27.50	26.00	22.56	32.68	29.96	26.93
27.50	26.00	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.96	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.00	22.56	32.61	29.97	26.93
27.50	26.00	22.56	32.61	29.97	26.93

27.56	26.62	22.56	32.61	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.62	22.56	32.68	29.97	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.62	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.61	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	27.00
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	29.94	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	30.02	27.00
27.56	26.18	22.56	32.68	30.02	27.00
27.56	26.18	22.56	32.68	30.02	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	30.02	26.93
27.56	26.12	22.56	32.68	30.02	26.93

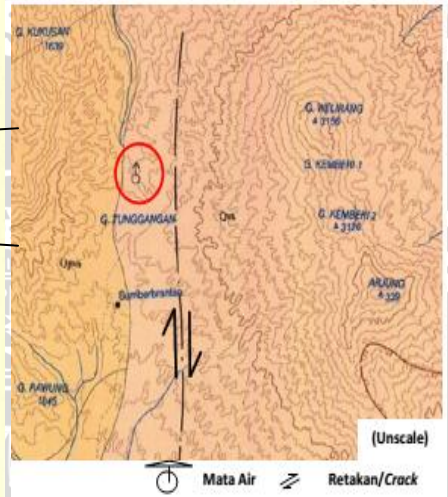
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.31	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.56	26.37	22.56	32.68	29.97	27.00
27.50	26.37	22.50	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.50	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.56	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.56	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.56	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.56	32.68	30.05	27.00
27.50	26.37	22.56	32.68	30.05	27.00



Lampiran 3 Peta Geologi



a. Geologi Daerah Malang



b. Geologi Daerah Penelitian