

# Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi Gunungapi Hulu Lais Lereng Utara dengan Menggunakan Metode Magnetik

Arif Ismul Hadi, Refrizon, dan Suhendra

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan menduga struktur bawah permukaan daerah prospek panas bumi Gunungapi Hulu Lais lereng utara dengan menggunakan metode magnetik. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan peralatan Proton Procession Magnetometer (PPM) model G-856. Data diolah berdasarkan pemodelan ke depan (forward modelling) dengan Software Mag2DC for windows. Berdasarkan model 2-D penampang lintang geomagnetik struktur bawah permukaan, daerah prospek panas bumi Gunungapi Hulu Lais lereng utara tersusun oleh batuan basalt, andesit, dan endapan piroklastik. Mata air panas yang nampak di permukaan merupakan rembesan yang berasal dari sumber air panas utama Gunungapi Hulu Lais yang melewati bidang batas antara batuan basalt dan batuan andesit serta endapan piroklastik yang menyebabkan zona ini menjadi lemah dan menyebabkan munculnya mata air panas di permukaan.

**Kata kunci:** struktur bawah permukaan, panas bumi, metode magnetik, dan mata air panas.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dunia dan perkembangan teknologi yang semakin pesat. Salah satu kecenderungan besar dalam permintaan energi terjadi secara luar biasa dibidang transportasi (bahan bakar) dan listrik. Hal ini mengakibatkan semakin menipisnya sumber energi yang menjadi andalan saat ini, dimana sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang terbatas. Oleh karena itu eksplorasi sumber energi baru (alternatif) terus menerus diupayakan oleh manusia.

Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia, lebih dari 40 % potensi panas bumi dunia berada di Indonesia. Pada umumnya panas bumi dikembangkan di daerah *post-volcanic*. Daerah prospek panas bumi Indonesia berjumlah 244 daerah, dengan perkiraan potensi total sebesar 20.000 MWe yang setara dengan 349,63 juta barel ekuivalen minyak bumi setiap tahun. Begitu besarnya potensi yang dimiliki Indonesia, beberapa ilmuwan meramalkan bahwa Indonesia akan menjadi negara yang kaya raya dengan pembangunan energi panas bumi. Potensi panas bumi Indonesia

sebesar itu baru dimanfaatkan sebesar 700 MWe atau 12,23 juta barel ekuivalen minyak per tahun, ini berarti baru sekitar 3,5% dari potensi yang ada (Wahyudi, 2004).

Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi panas bumi mampu menghemat penggunaan minyak bumi atau bahan bakar fosil lainnya sampai jutaan barel setiap tahunnya. Energi panas bumi merupakan jenis sumber energi yang menjadi dambaan manusia sejak lama, karena termasuk jenis energi yang tidak pernah habis dan terbarukan (*renewable*). Penentuan daerah panas bumi biasanya tidak lepas dari kenampakan panas bumi di permukaan. Adapun kenampakan panas bumi di permukaan seperti adanya tanah panas, tanah beruap, sumber mata air panas, fumarola, geyser dan lain-lain (Yunus, 1993).

Gunungapi Hulu Lais merupakan gunungapi tipe C yaitu gunungapi yang pusat erupsinya tidak diketahui dalam sejarah kegiatannya, tetapi masih memperlihatkan ciri-ciri kegiatan masa lampau yang ditunjukkan oleh lapangan fumarola (Sumintadiredja, 2000). Dari manifestasi yang nampak di permukaan dan hasil

penelitian pendahuluan yang sudah dilaksanakan, perlu segera dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui model sistem panas bumi, sehingga pada tahap selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik maupun pemanfaatan langsung (*direct use*), seperti sebagai penghangat ruangan, untuk pembibitan tanaman, sterilisasi, penghangat kolam pembibitan ikan, pengeringan komoditas pertanian, perkebunan, dan lain-lain.

Dalam rangka memanfaatkan potensi tersebut dengan optimal, maka perlu dilakukan survai geofisika bawah permukaan. Secara umum pengukuran geofisika untuk mengetahui parameter fisis batuan dan struktur geologi bawah permukaan (SNI, 1998). Untuk memperoleh informasi geologi yang lebih lengkap diperlukan beberapa penelitian geofisika yang saling melengkapi. Informasi tentang struktur bawah permukaan daerah prospek panas bumi salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode magnetik.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survai pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, gas bumi dan

penyelidikan batuan mineral. Metode magnetik bekerja berdasarkan sifat-sifat magnetik batuan yang terdapat di bawah permukaan bumi. Pada perkembangan selanjutnya, metode magnetik banyak digunakan di berbagai bidang geofisika lainnya termasuk untuk penelitian mengenai gunungapi dan struktur bawah permukaan.

Secara teoritis, medan magnetik utama bumi, disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Pada tahun 1838 Gauss memperlihatkan bahwa medan magnetik utama bumi yang terukur di permukaan bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi (Telford, dkk, 1990). Medan magnet utama dapat didefinisikan sebagai medan rata-rata hasil pengukuran dalam jangka waktu satu tahun mencakup daerah dengan luas sekitar satu juta km<sup>2</sup>. Karena medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standard nilai yang disebut dengan *International Geomagnetics Reference Field* (IGRF). Nilai medan magnet utama ini ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan

*International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA).

Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan ini bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet. Sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat (Sharma, 1997).

Variasi harian disebabkan oleh adanya perubahan besar pada arah sirkulasi arus listrik yang terjadi pada lapisan ionosfer. Adanya ionisasi menimbulkan fluktuasi arus sebagai sumber medan magnet. Sedangkan badai magnetik disebabkan oleh aktivitas matahari. Badai magnetik berlangsung beberapa jam dengan jangkauan mencapai 1000 nT. Karena besarnya medan magnet yang ditimbulkan, maka pengukuran nilai magnetik tidak dapat dilakukan saat terjadi badai magnetik.

Untuk survai dengan metode magnetik, variasi medan magnet yang terukur di permukaan inilah yang menjadi target dari pengukuran (anomali magnetik). Besarnya

anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik (Wahyudi, 2001). Secara garis besar anomali medan magnet disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Medan remanen mempunyai peranan yang besar terhadap magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta berkaitan dengan peristiwa kemagnetan sebelumnya, sehingga sangat rumit untuk diamati. Dengan survai magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnet kurang dari 25% medan magnet utama bumi (Telford, dkk, 1990). Anomali yang diperoleh dari survai dilakukan beberapa tahap pengkoreksian. Pengkoreksian itu adalah pengurangan dengan nilai medan magnet bumi teoritis (menggunakan model IGRF sesuai dengan waktu dan tempat pengambilan data) dan pengkoreksian terhadap sumber-sumber dari luar bumi (variasi harian). Adapun penelitian ini bertujuan menduga struktur bawah permukaan daerah prospek panas bumi Gunungapi Hulu Lais lereng utara dengan menggunakan metode magnetik.

## METODE PENELITIAN

Secara umum survai magnetik terdiri dari dua tahap, yaitu survai regional yang bertujuan memprediksi struktur internal Gunungapi Hulu Lais dan survai lokal bertujuan mencari batas-batas daerah prospek panas bumi (*boundary system*). Survai regional mencakup daerah yang lebih luas, yaitu di tubuh Gunungapi Hulu Lais dan sekitarnya, sedangkan survai lokal sifatnya lebih detail dan terbatas pada daerah sekitar lereng Gunungapi Hulu Lais.

Pengumpulan data bergantung pada target dan kondisi lapangan. Pengukuran magnetik untuk gunung, pengukuran di puncak gunung dan tubuh gunung dilakukan dengan spasi 0,5 km atau sekitar 25-30 menit perjalanan (kaki), sedangkan kaki gunung dan sekitarnya spasinya 1-2 km. Untuk target dengan daerah yang sempit dan topografi yang relatif datar dapat dilakukan dengan spasi 50-100 bergantung kepada hasil pengukuran yang diinginkan. Pengumpulan data ini dilakukan pada titik yang telah diplotkan *grid*-nya. Adapun daerah yang menjadi objek penelitian dalam artikel ini adalah lereng utara Gunungapi Hulu Lais.

Pengukuran intensitas medan magnet total dilakukan dengan peralatan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) model G-856 dilengkapi dengan sensor. Instrumen ini mengukur besar (*magnitude*) medan magnet total. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah PPM. PPM dengan satu sensor di pasang di tempat yang sama selama pengukuran (dalam penelitian ini dipasang di *basecamp* yang berlaku sebagai *basestation* dan dioperasikan secara otomatis merekam data medan magnet dengan selang waktu selama dua menit ( $PPM_{vh}$ ). Tujuan dari pemasangan *basestation* ini adalah untuk mendapatkan data variasi harian, sedangkan PPM dengan dua sensor digunakan untuk mengukur medan magnet total.

Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu ditentukan arah utara medan magnetik bumi dengan kompas geologi, sebab selama pengukuran sensor PPM harus mengarah utara-selatan. Kemudian mencatat lokasi titik pengukuran tersebut dengan *Global Positioning System* (GPS). Data yang dicatat dari GPS selama proses pengukuran ialah lintang, bujur, dan ketinggian.

Setiap satu stasiun pengukuran dilakukan pembacaan di empat titik sudut persegi atau ditambah satu titik perpotongan diagonal empat persegi tersebut. Sisi empat persegi mempunyai panjang sisi sekitar 1,5 meter. Data yang dicatat selama proses pengukuran adalah hari, tanggal, waktu, intensitas medan magnetik total serta kondisi cuaca dan keadaan geografi lokasi pada saat dilakukan pengukuran. Setiap titik sudut dan perpotongan diagonal dilakukan minimal tiga kali pembacaan untuk menghindari *noise*. Dari minimal 12 kali pembacaan untuk satu stasiun pengukuran diambil beberapa titik yang mempunyai nilai paling stabil. Nilai medan magnetik total yang berbeda cukup jauh dibuang. Nilai yang tersisa dirata-ratakan untuk mendapatkan satu nilai medan magnetik total di titik tersebut. Nilai rata-rata ini yang dianggap sebagai nilai pembacaan satu stasiun pengukuran. Lokasi pengukuran medan magnet harus diusahakan jauh dari gangguan yang dapat menimbulkan *noise* seperti logam, pagar kawat, jaringan listrik, mobil dan lain-lain.

Data disetiap stasiun dikoreksi dengan medan magnet bumi

secara teoritis IGRF tahun 2004/2009 (dengan alasan bahwa data koreksi tersebut diupdate lima tahun sekali oleh badan internasional) dan variasi harian untuk memperoleh anomali medan magnet di setiap stasiun. Variasi harian medan magnet diperoleh dari nilai medan magnet yang terukur oleh  $PPM_{vh}$  pada saat yang bersamaan dengan pengukuran setiap stasiun dikurangi dengan pembacaan  $PPM_{vh}$  pada saat pengukuran pertama di hari itu, sehingga variasi harian titik pertama pengukuran setiap harinya selalu bernilai nol. Variasi harian untuk setiap stasiun pengukuran setiap harinya diberikan oleh (Blakely, 1995):

$$B_{vh}^n = B_{vh}'^n - B_{vh}^1 \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

$B_{vh}^n$  = Variasi harian stasiun ke- $n$  (menyatakan pengukuran ke-1, 2, 3 ... dalam satu hari pengambilan data).

$B_{vh}'^n$  = Pembacaan  $PPM_{vh}$  bertepatan dengan pengukuran stasiun ke- $n$ .

$B_{vh}^1$  = Pembacaan  $PPM_{vh}$  stasiun pertama.

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh yang berasal dari medan magnet utama dan medan magnet luar. Karena tujuan dari survei medan magnet ini untuk mendapatkan anomali medan magnet sedangkan data yang diperoleh dari pengukuran merupakan medan magnet total yang merupakan gabungan dari medan magnet utama, medan magnet luar dan anomali medan magnet, maka perlu dihilangkan pengaruh-pengaruh yang berasal selain dari anomali medan magnet. Anomali medan magnet untuk setiap stasiun pengamatan diberikan oleh (Blakely, 1995):

$$\Delta T = B_t - B_{vh} - B \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

$B_t$  = Nilai medan magnet total terukur.

$B_{vh}$  = Pembacaan  $PPM_{vh}$  stasiun yang pertama.

$B$  = Medan magnet utama bumi / medan magnet bumi teoritis.

Hasil/luaran dari survai ini berupa peta anomali medan magnet total, model struktur internal Gunungapi Hulu Lais dan pendugaan batas-batas daerah prospek. Metode yang dipakai

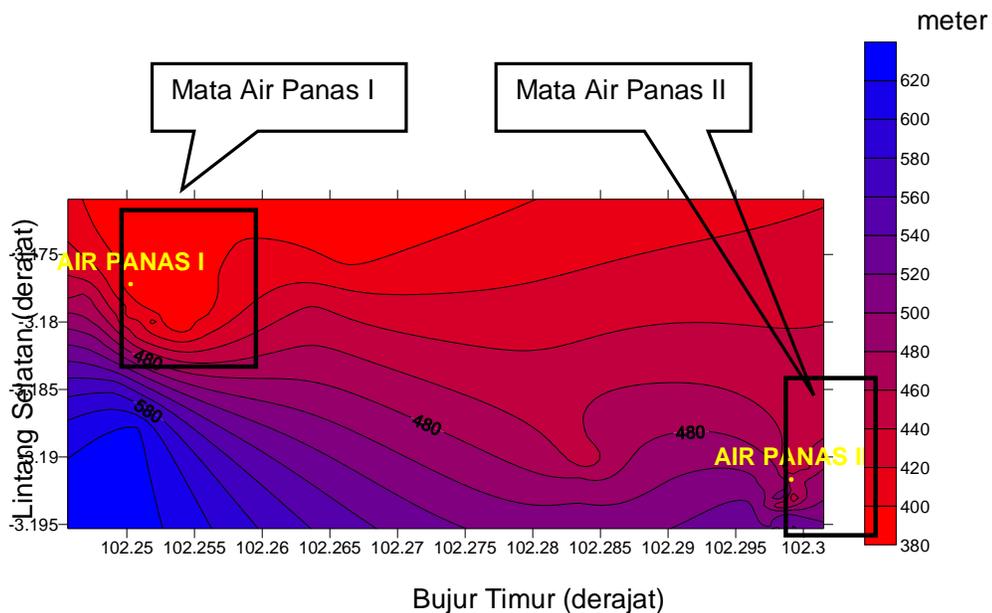
adalah pemetaan anomali geomagnetik, pengolahan dan interpretasi data. Interpretasi data anomali medan magnet total dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu interpretasi secara kualitatif dan interpretasi secara kuantitatif.

Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur anomali medan magnet total. Hasil yang diperoleh adalah lokasi benda penyebab anomali berdasarkan klosur kontur. Interpretasi secara kuantitatif dilakukan dengan pembuatan model dari kontur anomali medan magnet total direduksi ke bidang datar di tengah topografi. Dari kontur tersebut dibuat

sayatan yang melewati bidang anomali. Pemilihan posisi sayatan ini berdasarkan hasil dari interpretasi secara kualitatif. Sayatan tersebut kemudian di buat pemodelan ke depan (*forward modelling*) dengan *Software Mag2DC for windows*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

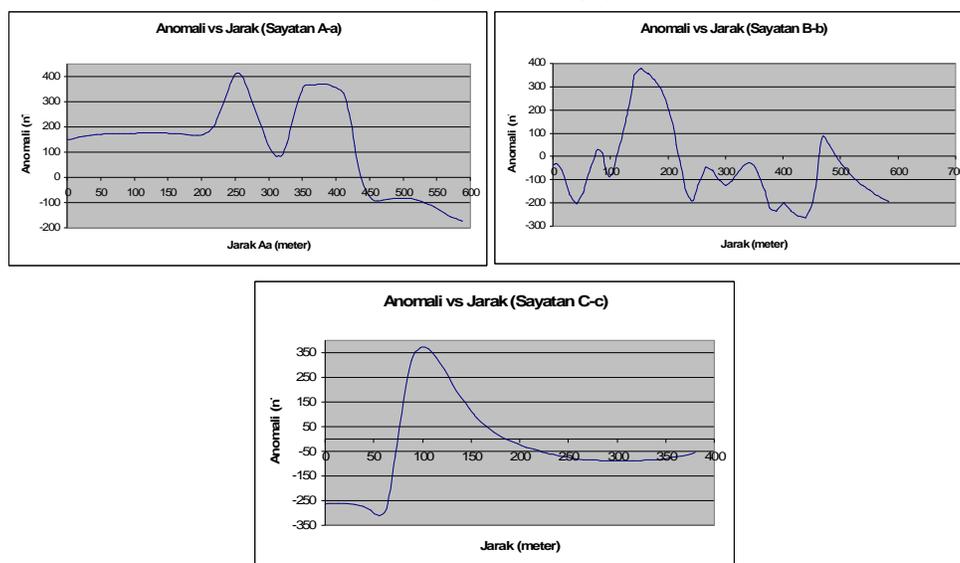
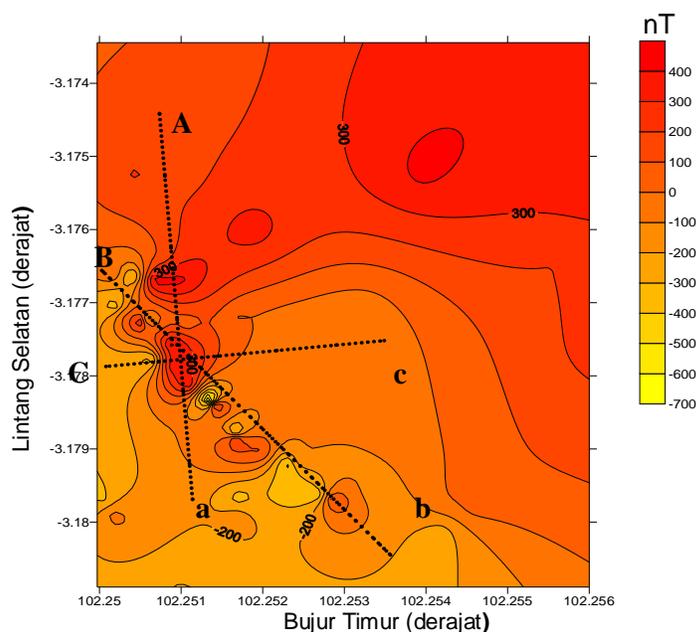
Lokasi penelitian terletak pada dua kenampakan mata air panas (*hot spring*) yaitu lokasi I pada posisi 3,1772 LS dan 102,2503° BT, sedangkan lokasi II pada posisi 3,1917° LS dan 102,2991° BT. Kedua mata air panas ini berjarak 5,6 km (gambar 1).



**Gambar 1.** Sketsa lokasi penelitian dengan metode magnetik

Kondisi geografis dan geologis lokasi memperlihatkan adanya gawir-gawir sesar akibat aktivitas geologi. Lokasi kenampakan mata air panas I tepat pada batas dataran dengan perbukitan yang diduga patahan atau

perbatasan, sehingga menghasilkan zona lemah yang mudah ditembus oleh tekanan hidrotermal dari dalam. Sedangkan lokasi mata air panas II berada pada pinggir sungai kecil yang nampak sebagai gawir sesar atau perpotongan dua jenis batuan.

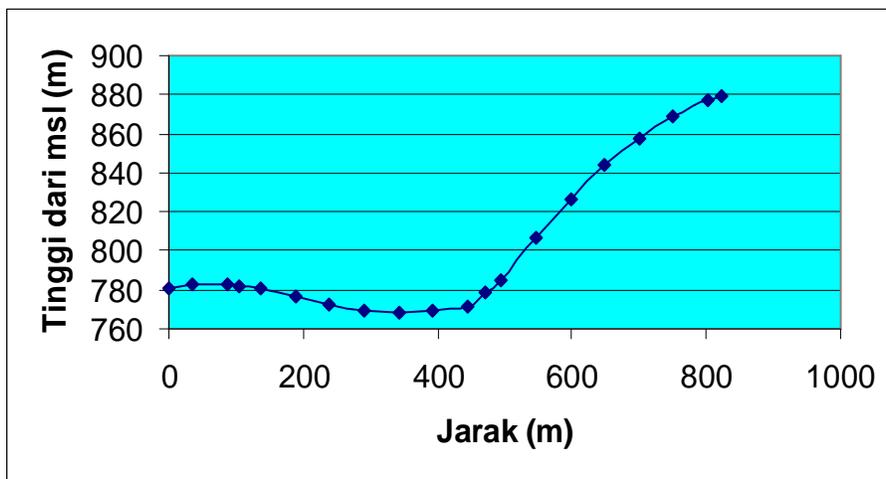


**Gambar 2.** Anomali di lokasi mata air panas I, sayatan pemodelan dan profil nilai anomali medan magnet (nT).

Lintasan pengambilan data dengan metode magnetik dilakukan memotong gawir sesar ini. Pada lokasi I dilakukan pengukuran sebanyak delapan lintasan, sedangkan pada lokasi II empat lintasan. Nilai anomali magnet yang diperoleh di lapangan kemudian digambarkan pada pada Gambar 2 serta sayatan yang dimodelkan struktur bawah permukaannya. Pada lokasi Mata Air Panas I dilakukan tiga sayatan Aa, Bb dan Cc sedangkan pada lokasi Mata Air Panas II dilakukan sayatan Dd, Ee dan Ff. Keenam sayatan tersebut dapat dilihat profil anomali yang dihasilkan. Pengamatan lapangan terhadap kondisi

kenampakan geologi di permukaan menunjukkan bahwa di daerah ini terdiri dari rekahan/retakan batuan base yang menyusun daerah ini

Berdasarkan profil anomali yang dihasilkan tersebut maka dapat dibuat model bawah permukaan yang sesuai. Model bawah permukaan diarahkan pada pemodelan struktur yang di daerah tersebut terdapat gawir sesar. Pemodelan dibuat dengan *forward modeling* dengan bantuan Mag2DC for windows, sehingga model awal dibuat berdasarkan informasi geologi di permukaan. Dengan inversi terhadap nilai anomali hasil pengukuran maka diperoleh kecocokan.



Gambar 3. Tinggi topografi di lintasan profil Cc.

Informasi geologi secara umum daerah Gunungapi Hulu Lais merupakan endapan piroklastik.

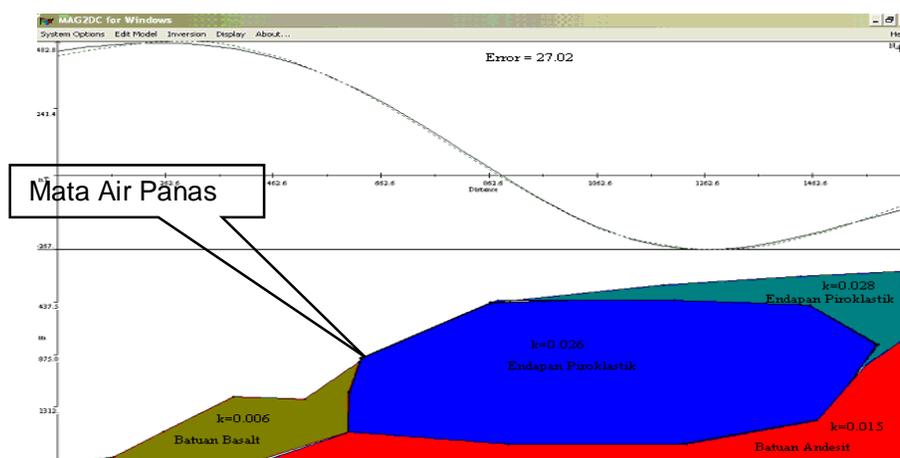
Sayatan pada gambar lintasan Cc melewati sekitar kenampakan sumber air panas. Model yang

sesuai untuk daerah tersebut dibuat berdasarkan data penelitian yang didapat dari pengukuran di lapangan. Tinggi permukaan mengacu pada tinggi topografi lintasan tersebut, selanjutnya dibuat pemodelan yang hasilnya pada gambar 3.

Hasil dari pemodelan dengan Mag2DC diperoleh 4 poligon (Gambar 9). Poligon I (warna hijau lumut) mempunyai nilai suseptibilitas dalam cgs 0,006, Poligon II (warna merah) mempunyai nilai suseptibilitas 0,015, Poligon III (warna biru) mempunyai nilai suseptibilitas 0,026, sedangkan poligon IV (warna hijau ke abu-abuan) mempunyai nilai suseptibilitas 0,028.

Berdasarkan model 2-D penampang lintang geomagnetik struktur bawah permukaan (Gambar

4) terlihat bahwa penampang lintasan ini tersusun oleh batuan dengan suseptibilitas dalam cgs 0,006 merupakan batuan basalt dan batuan dengan suseptibilitas 0,015 merupakan batuan andesit. Sedangkan untuk batuan dengan suseptibilitas 0,026 merupakan endapan piroklastik dan untuk batuan dengan suseptibilitas 0,028 juga diinterpretasikan sebagai endapan piroklastik. Mata air panas yang nampak ke permukaan merupakan rembesan yang berasal dari sumber air panas utama Gunungapi Hulu Lais yang melewati bidang batas antara batuan basalt dan batuan andesit serta endapan piroklastik yang menyebabkan zona ini menjadi lemah yang mudah untuk diterobos, sehingga di permukaannya ditemukan mata air panas.



Gambar 4. Model 2-D penampang lintang geomagnetik struktur bawah permukaan

## KESIMPULAN

Berdasarkan model 2-D penampang lintang geomagnetik struktur bawah permukaan daerah prospek panas bumi Gunungapi Hulu Lais lereng utara dapat disimpulkan bahwa daerah ini tersusun oleh batuan basalt, batuan andesit, dan endapan piroklastik. Mata air panas yang nampak di permukaan merupakan rembesan yang berasal dari sumber air panas utama Gunungapi Hulu Lais yang melewati bidang batas antara batuan basalt dan batuan andesit serta endapan piroklastik yang menyebabkan zona ini menjadi lemah dan menyebabkan munculnya mata air panas di permukaan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Hibah Bersaing Tahap I (Tahap Pertama), untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih setulusnya kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas dana yang diberikan melalui Penelitian Hibah Bersaing

TA 2009 dan rekan-rekan mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu dalam pengambilan data lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- SNI (Standar Nasional Indonesia), 1998, *Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia*, SNI 13-5012-1998.ICS 73.020.
- Sumintadiredja, 2000, *Volkanologi*, Penerbit ITB, Bandung.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, and R.E. Sheriff, 1998, *Applied Geophysics*, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press, New York.
- Wahyudi. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)* Laboratorium Geofisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Wahyudi, 2004, Penelitian Potensi Panas Bumi Daerah Prospek Gunungapi Ungaran, Jawa Tengah, Laporan Riset Unggulan Terpadu Bidang Energi, Kementerian Riset dan Teknologi RI, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Yunus. 1993, *Aplikasi Metode Geofisika Terpadu dalam Penyelidikan Sistem Geotermal*, UI, Jakarta.