

STUDI GEOFISIKA TERPADU DI LERENG SELATAN G. UNGARAN, JAWA TENGAH, DAN IMPLIKASINYA TERHADAP STRUKTUR PANASBUMI

Eddy Z. Gaffar, Dadan D. Wardhana, dan Djedi S. Widarto

Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Kompleks LIPI Sangkuriang, Bandung 40135

Abstrak

Sigian geofisika terpadu telah dilakukan di lapangan panasbumi Gedongsongo yang terletak di lereng selatan Gunung Ungaran, Jawa Tengah. Sigian ini dilakukan untuk memperkirakan sebaran zona konduktif dan atau demagnetisasi di bawah permukaan yang erat kaitannya dengan keberadaan sistem panasbumi Gedongsongo. Peta sebaran harga geomagnet menunjukkan adanya anomali rendah di sekitar Kawah Item sampai lereng timur G. Gedongsongo, serta di sekitar Dusun Darum. Anomali rendah ini diduga berasosiasi dengan zona demagnetisasi atau material panas yang boleh jadi hadir sebagai fluida termal. Model tahanan-jenis hasil inversi 2-D data magnetotelurik menunjukkan adanya anomali rendah (<30 ohm-m) pada kedalaman sekitar 400 m di bawah Kawah Item. Ini diduga berkaitan dengan reservoir panasbumi Gedongsongo. Anomali tahanan-jenis sangat tinggi (>10000 ohm-m) dijumpai berbentuk seperti kerucut parasitik gunungapi yang boleh jadi berfungsi sebagai sumber panas. Hasil penelitian menyimpulkan adanya korelasi positif antara model-model geomagnet dan magnetotelurik, terutama gambaran sebaran zona konduktif atau demagnetisasi tinggi.

1. PENDAHULUAN

Karakterisasi sumberdaya panasbumi yang tersedia di suatu daerah perlu dilakukan dengan cara mempelajari ciri-ciri fisika dan kimia dari cadangan panasbumi tersebut. Karakterisasi ini untuk menentukan kelayakan sumberdaya panasbumi dimaksud guna keperluan eksplorasi lanjut dan eksploitasi. Sumber dengan cadangan energi yang besar dapat dikembangkan menjadi pembangkit tenaga listrik, sedangkan sumberdaya dengan cadangan energi yang tidak terlalu besar dapat diarahkan untuk keperluan lain, seperti misalnya pemanfaatan langsung untuk pertanian dan geowisata. Penggunaan sumberdaya panasbumi secara bersamaan untuk pembangkit listrik dan pemanfaatan langsung untuk pertanian dan geowisata dapat merupakan pilihan yang baik bila kondisinya memungkinkan.

Komplek Depresi Vulkanik Ungaran di Jawa Tengah memiliki potensi sumberdaya panasbumi yang dapat dimanfaatkan dalam

sekala kecil. Karakterisasi sumberdaya panasbumi di daerah tersebut dimaksudkan untuk menambah basis data kepanasbumian Indonesia dan sebagai acuan atau data dasar dalam eksplorasi lanjut potensi energi panasbumi yang tersedia. Makalah ini akan membahas hasil-hasil studi mineral ubahan hidrotermal dan kimia air panas untuk pendugaan suhu bawahpermukaan, serta pemodelan struktur atau sistem panasbumi berdasarkan data geomagnet dan magnetotelurik.

2. GEOLOGI KOMPLEK UNGARAN

Penyelidikan geologi kompleks depresi Ungaran telah dibahas oleh beberapa peneliti, di antaranya van Bemmelen (1941 dan 1949), van Padang (1951), dan Hadisantono dan Sumpena (1993). Gunung Ungaran termasuk ke dalam gunungapi tipe B, yaitu gunungapi yang tidak diketahui letusannya sejak 1600 hingga sekarang. Secara umum mereka menjelaskan bahwa evolusi G. Ungaran dibagi

menjadi tiga perioda yakni, pertama Ungaran Paling Tua, kedua Ungaran Tua dan ketiga Ungaran Muda. Masing-masing perioda dibedakan antara satu terhadap lainnya oleh proses runtuh karena volkano-tektunik.

Gambar 1 menunjukkan sebaran satuan batuan geologi permukaan G. Ungaran dan sekitarnya hasil pemetaan Thanden dkk. (1996). Perioda pertama, G. Ungaran Paling Tua terbentuk pada Plestosen Bawah yang produknya terdiri dari aliran piroklastik dan lava andesit basaltik. Produk letusan G. Ungaran Paling Tua ini diendapkan sebagai Formasi Damar Tengah dan Damar Atas. Kemudian menyusul tufa andesit dan piroklastik andesitik. Perioda pertumbuhan G. Ungaran Paling Tua ini diakhiri dengan perusakan tubuhnya pada Plestosen Muda. Perioda kedua, G. Ungaran Tua terbentuk dan produknya terdiri dari basalt andesitik. Produk letusan G. Ungaran Tua ini kemudian diendapkan di atas Formasi Damar secara tidak selaras yang disebut Formasi Notopuro. Formasi Notopuro terdiri dari endapan aliran piroklastik. Perioda kedua ini berakhir dengan keruntuhan yang bersamaan dengan terjadinya sistem sesar volkano-tektunik (van Bemmelen, 1941). Perioda ketiga, G. Ungaran Muda terbentuk melalui pusat letusan G. Ungaran Tua. Hadisantono dan Sumpena (1993) menjelaskan bahwa G. Ungaran Muda menghasilkan banyak aliran lava yang komposisinya berkisar antara basaltik sampai andesitik. Endapan aliran piroklastik dapat ditemukan di lereng baratlaut, timurlaut, utara, baratdaya, timur-tenggara dan selatan. Sebagian besar telah lapuk kuat, tertutup oleh endapan jatuhnya piroklastik muda. Endapan aliran piroklastik yang lebih tua diduga berasal dari G. Ungaran Tua yang dapat ditemukan di lereng utara di daerah perkebunan Gunungsari. Sedangkan lahar tersingkap di lereng dan kaki baratlaut, tenggara dan baratdaya.

Pengamatan morfologi di lapangan menunjukkan adanya beberapa kelurusan gawir sesar. Sistem sesar di G. Ungaran ini mungkin erat kaitannya dengan peristiwa volkanik dan tektonik yang mempengaruhinya di masa lalu. Sesar yang berkembang di kompleks G. Ungaran terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar geser dan

sesar naik dapat ditemukan di daerah kaki sebagai kelanjutan dari sesar normal. Sesar normal dapat diamati terbentuk mengelilingi G. Ungaran, yang boleh jadi sebagai akibat struktur runtuh (*collapse*). Adapun sesar-sesar utama mempunyai arah umum baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut. G. Ungaran dianggap sebagai gunungapi yang telah padam dan hanya menampakkan sisa-sisa kegiatan di beberapa tempat, di antaranya adalah Kawah Item (+1350 m) yang terletak di lereng selatan di daerah Gedongsongo dan Kawah Paramasan (+750 m) di Kali Paramasan di utara-baratlaut. Kawah Item merupakan lapangan air panas, fumarol dan ubahan hidrotermal.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan meliputi kegiatan penelitian lapangan dan penelitian laboratorium. Penelitian lapangan berupa pemetaan geologi permukaan pada lintasan prospek panasbumi, pengambilan percontohan air panas untuk studi geokimia, dan pengukuran data geofisika yang terdiri dari metode gayabarat, geomagnet total, self-potential, geolistrik dan magnetotelurik frekuensi-audio. Pemetaan geologi permukaan di lapangan panasbumi Gedongsongo dilakukan pada lintasan melalui sungai atau lembah. Pemetaan ini dimaksudkan untuk mengetahui penyebaran batuan ubahan dan mineral-mineral ubahan yang terbentuk. Penggunaan metode geofisika dimaksudkan untuk memahami struktur bawahpermukaan yang berkaitan dengan sistem panasbumi di lapangan panasbumi tersebut. Selain itu, pengambilan percontohan air panas dilakukan guna pendugaan suhu bawahpermukaan berdasarkan studi kimia geotermometri. Penelitian laboratorium berupa analisis sayatan batuan dan XR-D (X-ray diffraction) percontohan tanah hasil alterasi, serta pengolahan, pemodelan dan interpretasi data geofisika, dan analisis kimia kualitatif dan kuantitatif dari percontohan air panas. Secara ringkas, keseluruhan metode lapangan dan analisis laboratorium, termasuk pemrosesan dan pemodelan data geokimia dan geofisika, dijelaskan dalam bagian berikut ini.

3.1 Gayaberat dan Geomagnet

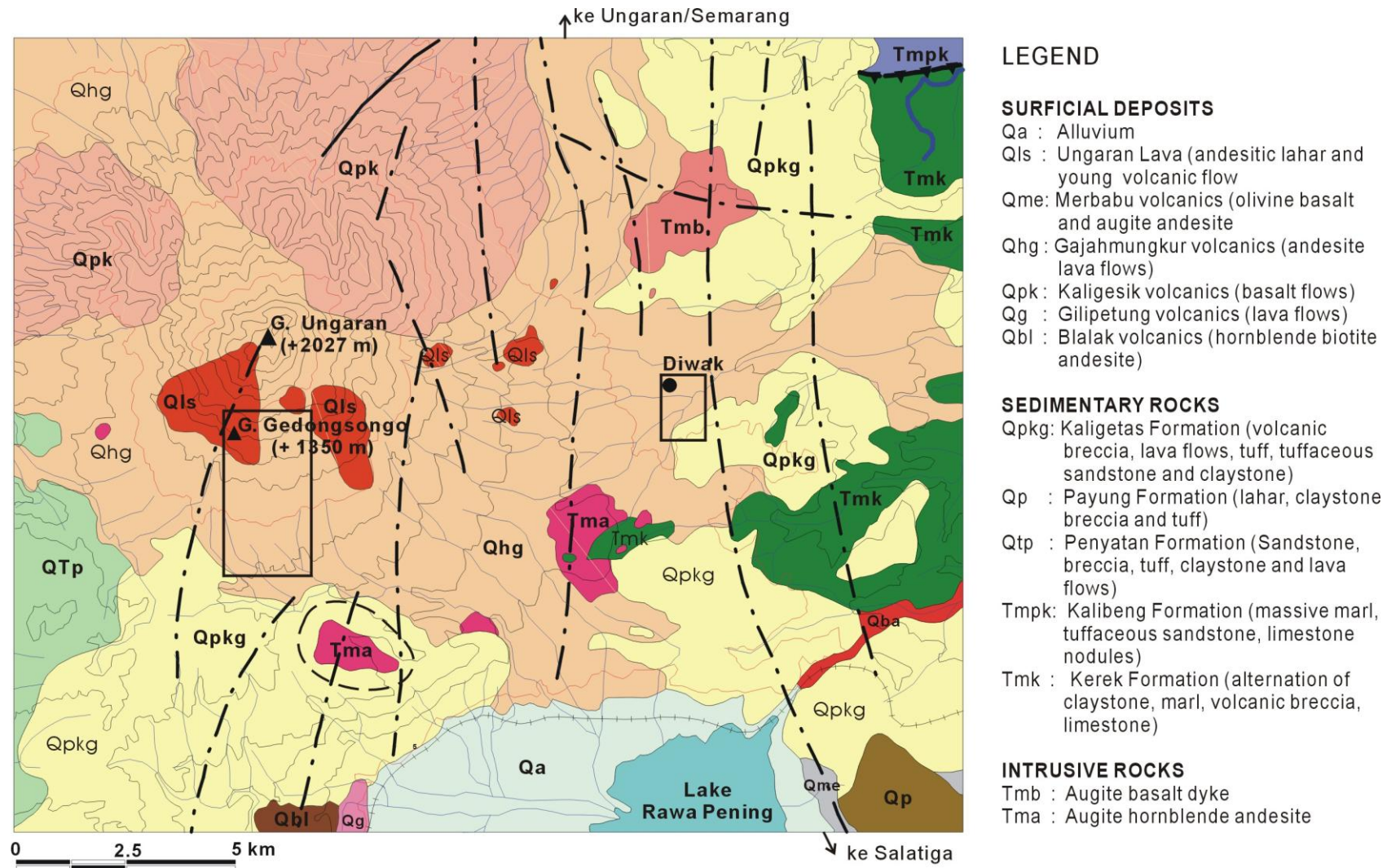
Pengukuran data gayaberat di Gedongsongo sebanyak 151 titik ukur dengan arah lintasan hampir utara-selatan, berawal dari Kawah Item sampai Desa Banyukuning di kaki selatan G. Ungaran. Jarak antar titik ukur adalah antara 100 sampai 200 meter, disesuaikan dengan kondisi topografi setempat, dengan pengukuran sistem loop tertutup selama satu hari (*one day looping*). Instrumen yang digunakan dalam pengukuran nilai relatif percepatan gayaberat adalah Gravimeter LaCoste & Romberg No. G-804. Pengukuran ketinggian menggunakan altimeter Paulin Model MDM-5 dan barograph. Posisi titik ukur ditentukan menggunakan GPS Navigasi GARMIN GPS III⁺. Koreksi atau reduksi data gayaberat dilakukan sesuai prosedur baku yang rutin dilakukan.

Pengukuran harga medan geomagnet dilakukan di lereng selatan Ungaran dengan konsentrasi di sekitar Lapangan Panasbumi Gedongsongo. Pengukuran dilakukan menggunakan magnetometer proton tipe G-856 buatan Geometric sebanyak 2 unit. Satu unit berfungsi sebagai base-station dan

ditempatkan secara tetap pada satu tempat tertentu. Sementara itu satu unit lainnya mengukur medan geomagnet secara bergerak pada titik-titik ukur. Sejumlah 376 titik ukur geomagnet tersebar secara acak mengikuti sarana jalan setapak maupun jalan aspal yang sudah ada. Satu lintasan panjang utara-selatan, dari tebing utara Kawah Item sampai selatan Desa Banyukuning, juga dibuat untuk mengetahui bentuk anomali magnet secara lebih regional. Sementara itu, posisi titik ukur ditentukan menggunakan GPS Navigasi GARMIN GPS III⁺.

3.2 Geolistrik dan Self Potensial

Pengukuran geolistrik dilakukan pada dua lintasan prospek. Lintasan ukur umumnya memotong zona kenampakan panasbumi. Pengukuran nilai self potential (SP) dilakukan di lapangan Gedongsongo secara tertutup, dimana titik awal merangkap sebagai titik akhir. Ini dilakukan untuk koreksi tutupan (*closure correction*) data pengukuran lapangan. Selain itu, data lapangan juga direduksi terhadap topografi bidang datar untuk mendapatkan nilai anomalinnya.



Gambar 1 Peta geologi Komplek G. Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah (dari Thanden dkk., 1996). Tanda segi empat adalah masing-masing lapangan panasbumi Gedongsongo dan Diwak.

3.3 Magnetotelurik

Pengukuran respon medan magnetotelurik (MT) di lapangan berupa pengukuran medan elektromagnetik alam (*natural electromagnetic field*) menggunakan alat ukur AMT (*Audio-frequency Magnetotelluric*), 4-Channel Model JCR-103, yang merekam komponen ortogonal medan listrik (E_x dan E_y) dan medan magnetik (H_x dan H_y) pada jangkauan pita frekuensi 4.2 Hz hingga 17.4 kHz, sejumlah 13 jendela. Alat ukur AMT menggunakan koil induksi sebagai sensor medan magnetik dan elektroda tembaga sebagai sensor medan listrik. Pada saat pengukuran, koil induksi diletakkan di permukaan tanah, sedang elektroda ditancapkan dengan kedalaman sekitar 30 cm. Sejumlah 27 titik pengukuran respon MT telah selesai dilakukan, dimana 14 titik ukur berada pada lintasan barat-timur dan 13 titik lainnya pada lintasan utara-selatan. Jarak antar titik ukur MT adalah antara 200-300 meter, tergantung kondisi di lapangan. Posisi dan ketinggian titik ukur MT ditentukan dengan menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*) Garmin III⁺.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapangan panasbumi Gedongsongo, terutama di sekitar Kawah Item yang terletak di lereng selatan gunungapi Ungaran menunjukkan fenomena geologi panasbumi yang menarik, di antaranya adalah adanya fumarola, lapangan air panas, batuan ubahan yang kuat dan kendali struktur geologi. **Gambar 2** menunjukkan foto-foto kenampakan panasbumi di Kawah Item dan sekitarnya, di antaranya adalah semburan uap panas (*steam discharge*), mata air panas (*hot springs*), kolam air panas (*hot pool*) dan tanah

beruap (*steaming ground*) yang sangat jelas dapat diamati di permukaan.

Gedongsongo merupakan daerah perbukitan bergelombang yang ditoreh oleh dua sungai kecil yang arah alirannya sejajar, berlembah sempit dan curam yang membentuk huruf V. Morfologi daerah Gedongsongo dikendalikan terutama oleh batuan dan struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Di bagian selatan memperlihatkan daerah perbukitan bergelombang yang disusun oleh batuan breksi laharik dan lava andesit. Sebagian breksi laharik mengalami ubahan. Batuan ini merupakan hasil kegiatan gunungapi Ungaran.

Di bagian utara, kelurusan struktur yang berarah timurlaut-baratdaya dikenali memotong morfologi tersebut. Kelurusan tersebut diduga merupakan patahan normal dan berfungsi sebagai zona rekahan dimana muncul kegiatan hidrotermal di atasnya. Batuan di daerah Gedongsongo dapat dibagi menjadi 4 satuan batuan, yaitu satuan breksi laharik, satuan lava andesit, satuan intrusi andesit, dan satuan batuan ubahan.

4.1 Data dan Anomali Gayaberat

Harga pengamatan gayaberat di setiap titik ukur adalah relatif terhadap harga gayaberat di titik *base station* BSKD. Titik acuan ini terletak di halaman parkir timur Hotel Nirmala Dharma Desa Bandungan-Ungaran, di depan pintu pengemasan air minum. Harga gayaberat di BSKD terikat dengan Stasiun Jaring Gayaberat Nasional untuk Indonesia yang berada di Rumah Sakit St. Elizabeth, Semarang. Harga gayaberat BSKD yang terikat dengan RS St. Elizabeth adalah 977941.55 mGal.



Gambar 2 Foto-foto yang menunjukkan kenampakan panasbumi di Kawah Item dan sekitarnya, di antaranya adalah semburan uap panas (*steam discharge*), mata air panas (*hot springs*), kolam panas (*hot pool*), dan tanah beruap (*steaming ground*).

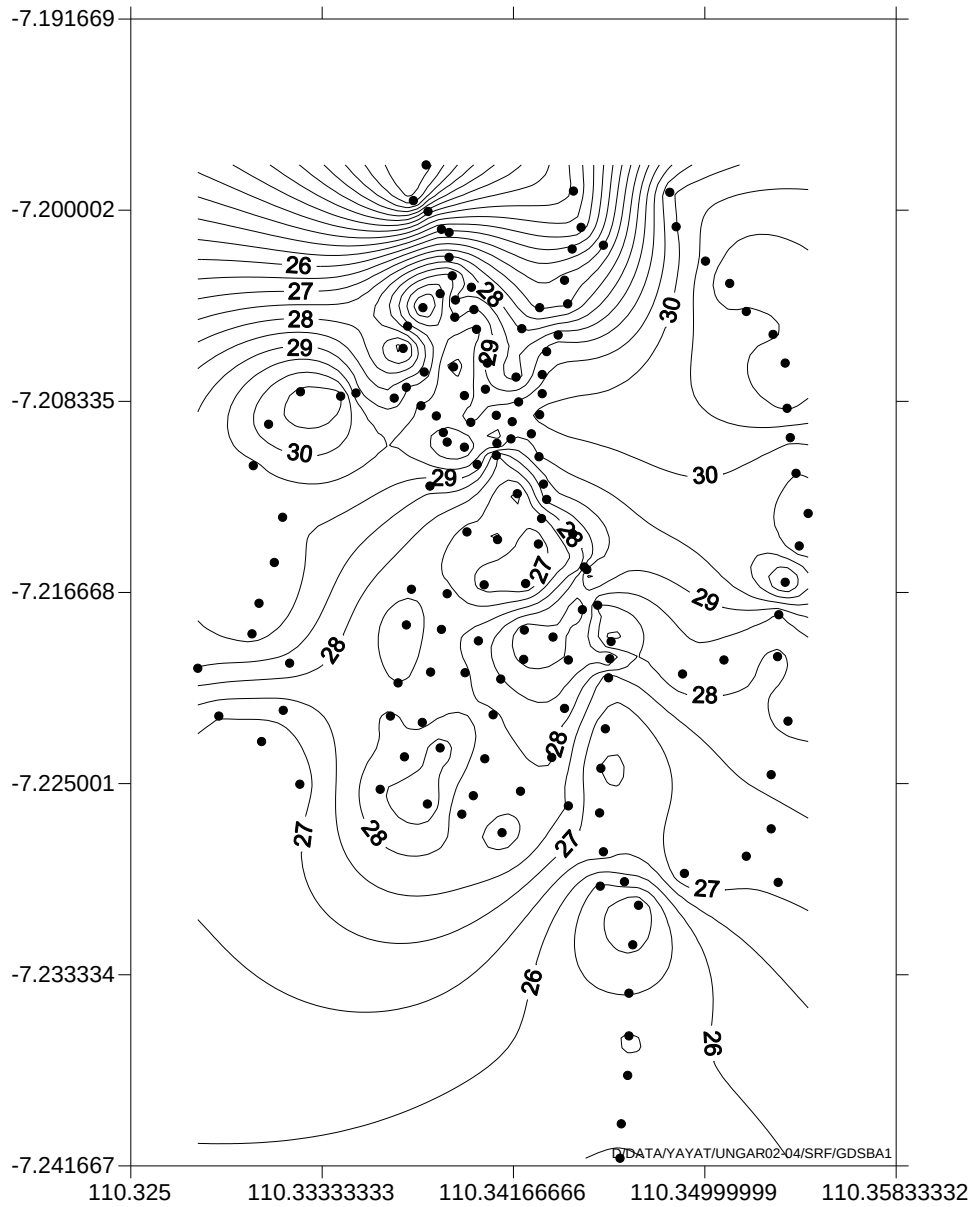
Penentuan tinggi lokasi titik ukur menggunakan altimeter Paulin Model MDM-5 dengan ketelitian baca 0.5 meter. Alat pembantu lainnya adalah termometer berskala Fahrenheit dan garograph. Barograph dipasang di titik BSKD untuk mengetahui variasi perubahan tekanan udara akibat perubahan cuaca. Sedangkan suhu di titik ukur ditentukan dengan termometer berskala Fahrenheit. Sebagai titik acuan tinggi adalah Stasiun Jaring Gayaberat Nasional yang terdapat di RS St. Elizabeth Semarang, dengan tinggi 120 meter di atas permukaan laut. Cara Nettleton digunakan untuk menentukan nilai rata-rata rapat-masa batuan. Cara ini adalah membandingkan antara profil lintasan anomali Bouguer dengan beberapa harga rapat-masa terhadap profil topografi pada lintasan tersebut. Penentuan ini mendapatkan harga rapat-masa rata-rata untuk Gedongsongo 2.5 gr/cc.

Gambar 3 menunjukkan anomali gayaberat Bouguer pada bidang datar. Secara

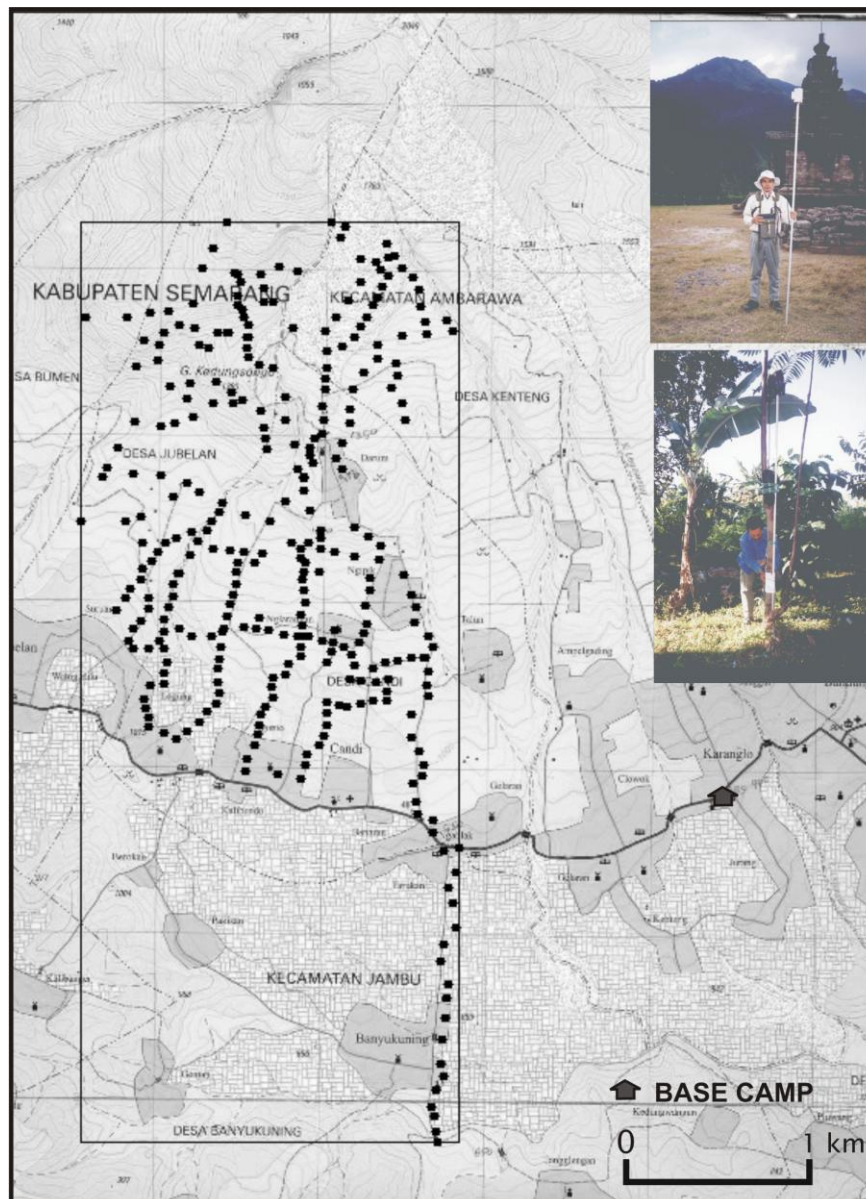
umum menunjukkan bahwa anomali Bouguer rendah lebih kecil dari 27 mGal menempati bagian paling utara daerah penelitian. Anomali rendah ini menempati zona yang berimpit dengan kenampakan panasbumi Kawah Item dan mencirikan daerah dengan rapat-masa rendah. Fakta ini menunjukkan bahwa reservoir panasbumi umumnya merupakan zona rekahan (*fractured zone*) yang menurunkan nilai rapat masa batuan dibandingkan dengan sekitarnya.

4.2 Data dan Anomali Geomagnet

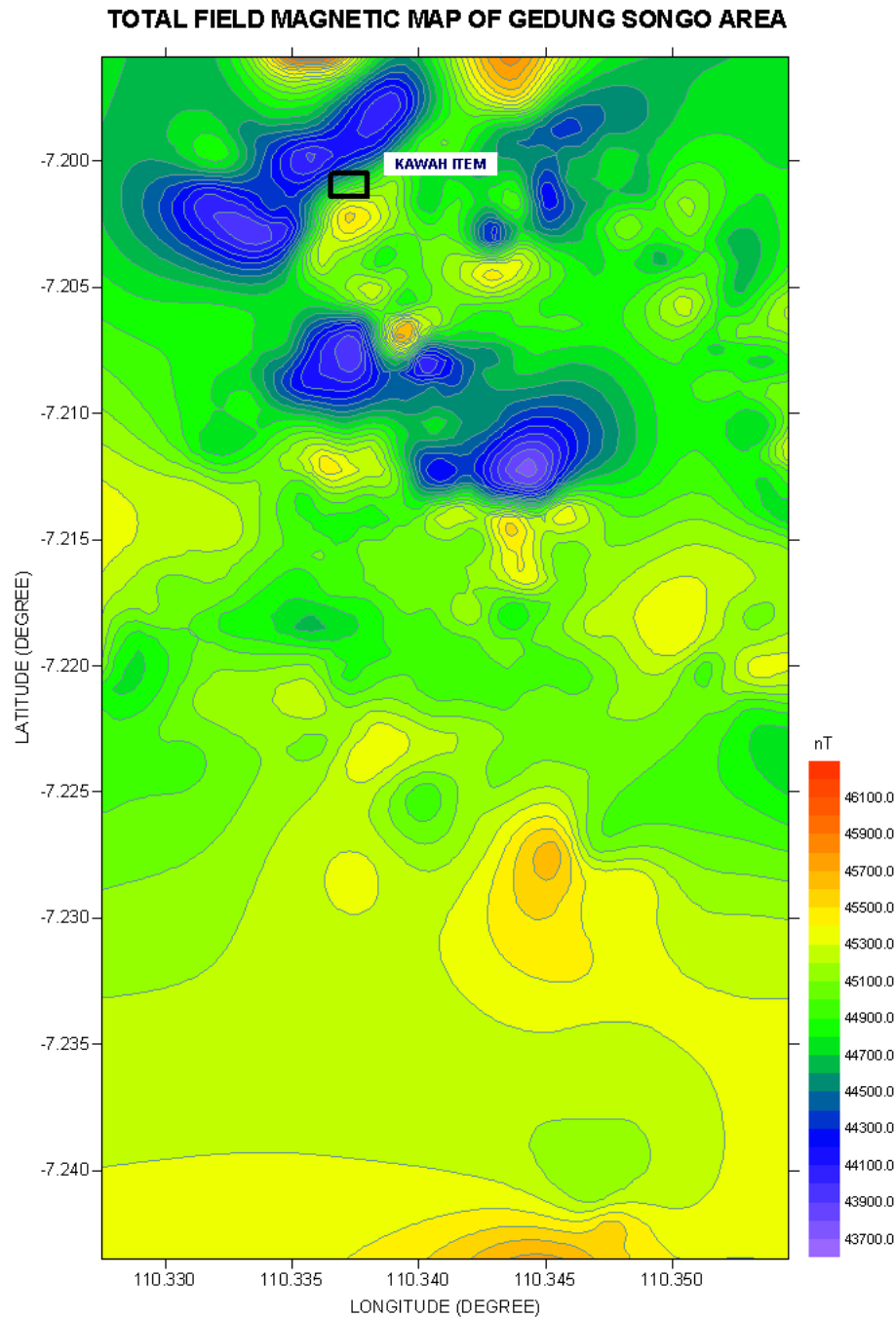
Data hasil pengukuran geomagnet tersebar di lereng selatan Ungaran dengan konsentrasi di sekitar Lapangan Panasbumi Gedongsongo. Satu lintasan panjang utara-selatan, dari tebing utara Kawah Item sampai selatan Desa Banyukuning dibuat untuk mengetahui bentuk anomali magnet secara lebih regional. **Gambar 4** menunjukkan lokasi titik ukur geomagnet di lereng selatan Ungaran.



Gambar 3 Anomali gayaberat Bouguer di lapangan panasbumi Gedongsongo.



Gambar 4 Lokasi titik ukur geomagnet di lereng selatan Ungaran.



Gambar 5 Peta sebaran anomali geomagnet total di lereng selatan G. Ungaran. Anomali rendah dijumpai di sekitar Kawah Item di bagian utara daerah penelitian.

Gambar 5 menunjukkan anomali geomagnet total di lapangan Gedongsongo. Sebaran anomali menunjukkan bahwa bagian paling utara daerah studi dicirikan oleh anomali negatif yang sangat rendah, lebih kecil dari -44500 nT. Anomali sangat

rendah ini berkaitan erat dengan zona konduktif yang ada di bawah Kawah Item, yang merupakan lapisan reservoir. Fluida panas yang ada pada reservoir menyebabkan terjadinya demagnetisasi batuan sekitarnya sehingga menghasilkan

kontras kemagnetan yang demikian tinggi itu. Setelah melewati suatu tinggian anomali magnet yang sempit, anomali sangat rendah < -400 nT dijumpai kembali dengan lebar hampir 400-meteran. Anomali rendah ini tepat berada antara Desa Darum dan Desa Ngipik dan berimpit dengan zona sangat resistif berbentuk kerucut pada penampang tahanan-jenis lintasan utara-selatan. Anomali magnet sangat rendah ini boleh jadi merupakan representasi dari kerucut parasitik bawahpermukaan yang sangat resistif tetapi dalam keadaan masih menyimpan panas. Dengan kondisi seperti ini, maka proses demagnetisasi telah dan sedang berlangsung sehingga mengakibatkan penurunan nilai kemagnetan batuan secara sangat berarti.

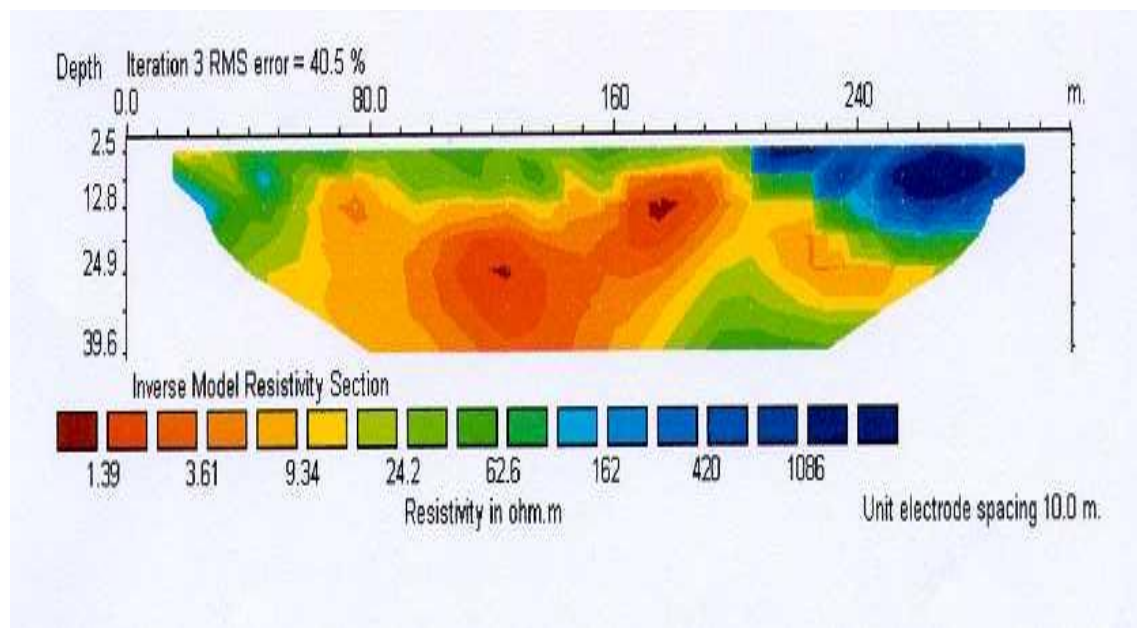
4.3 Model Tahanan-Jenis Geolistrik

Pengukuran geolistrik Eltran dengan banyak elektroda (*multi-electrode*) dilakukan sebanyak dua lintasan. **Gambar 6** adalah penampang model tahanan-jenis geolistrik yang memotong daerah prospek panasbumi Kawah Item, Gedongsongo, dalam arah hampir utara-selatan. Sementara itu, **Gambar 7** adalah penampang model dalam arah hampir barat-timur yang lokasinya sekitar 200 meter di selatan lintasan Kawah Item. Pencitraan geolistrik ini bermaksud untuk mengetahui sebaran tahanan-jenis dangkal atau sekitar ketebalan 40 m di bawahpermukaan

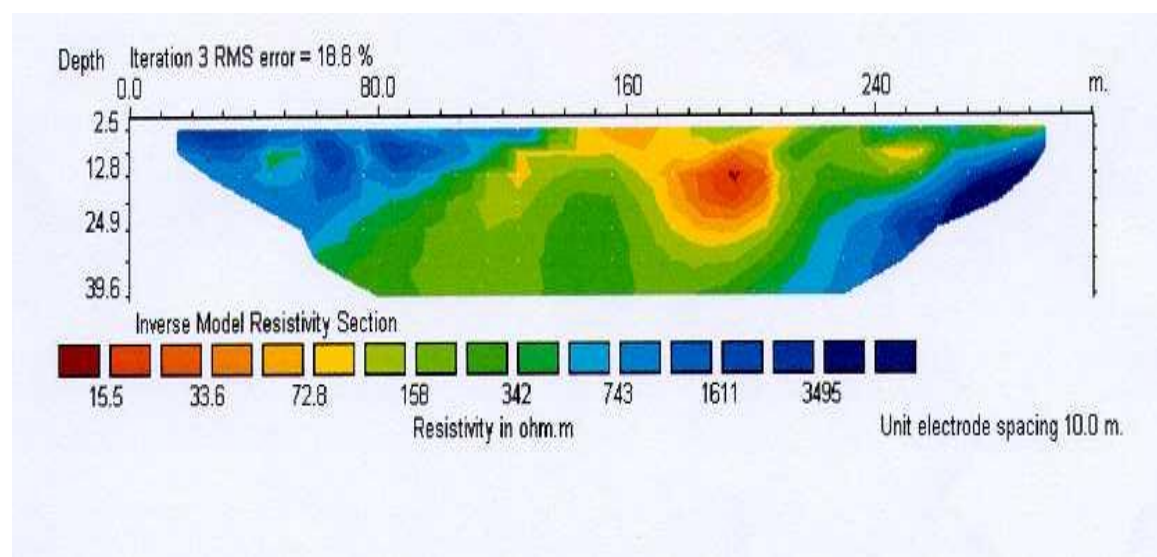
Model tahanan-jenis pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa lapisan permukaan di lintasan bagian utara sampai kedalaman antara 10-15 m ditempati oleh lapisan dengan nilai tahanan jenis tinggi > 420 ohm-m. Lapisan ini merupakan lava andesit dan aliran vulkanik muda Ungaran.

Kenampakan di lapangan menunjukkan bahwa lapisan ini sangat padat (*compacted*) dan keras. Lapisan ini diduga berfungsi sebagai batuan penudung sistem panasbumi Gedongsongo. Sementara itu, lapisan bertahanan-jenis rendah-sedang antara 20-70 ohm-m didapati mendominasi lapisan permukaan di bagian tengah dan selatan penampang. Kenampakan permukaan lapisan ini memperlihatkan singkapan batuan ubahan berwarna abu-abu keputihan. Lapisan dengan tahanan-jenis sangat rendah < 5 ohm-m ditemukan di bawah bagian tengah penampang pada kedalaman ~ 10 m. Tahanan-jenis rendah ini sangat boleh jadi disebabkan oleh hadirnya fluida dan mineral-mineral ubahan yang membentuk larutan elektrolit. Zona tahanan-jenis rendah diduga dikendalikan oleh struktur patahan atau rekahan, yang tepat berada di bawah zona kenampakan panasbumi permukaan berupa sumber air panas dan semburan uap panas.

Penampang model lintasan arah barat-timur yang ditunjukkan pada **Gambar 7** menunjukkan sebaran tahanan-jenis yang agak berbeda dengan penampang lintasan bagian utara. Lapisan permukaan pada penampang bagian timur dicirikan oleh nilas tahanan-jenis tinggi > 500 ohm-m. Kenampakan permukaan diwakili oleh singkapan lava dan lahar yang terkompaksi. Lapisan dengan tahanan-jenis rendah < 40 ohm-m dijumpai tepat di tengah lintasan yang merupakan terusan aliran air sungai Kawah Item di utaranya. Zona ini mencirikan sebuah saluran sungai (*river channel*) berbentuk U, yang boleh jadi merupakan kepanjangan zona rekahan utara-selatan yang terjadi di Gedongsongo.



Gambar 6 Model 2-D tahanan-jenis geolistrik lintasan utara-selatan memotong Kawah Item, Gedongsongo.



Gambar 7 Model 2-D tahanan-jenis geolistrik lintasan barat-timur yang memotong sungai sekitar 200 m di selatan Kawah Item, Gedongsongo.

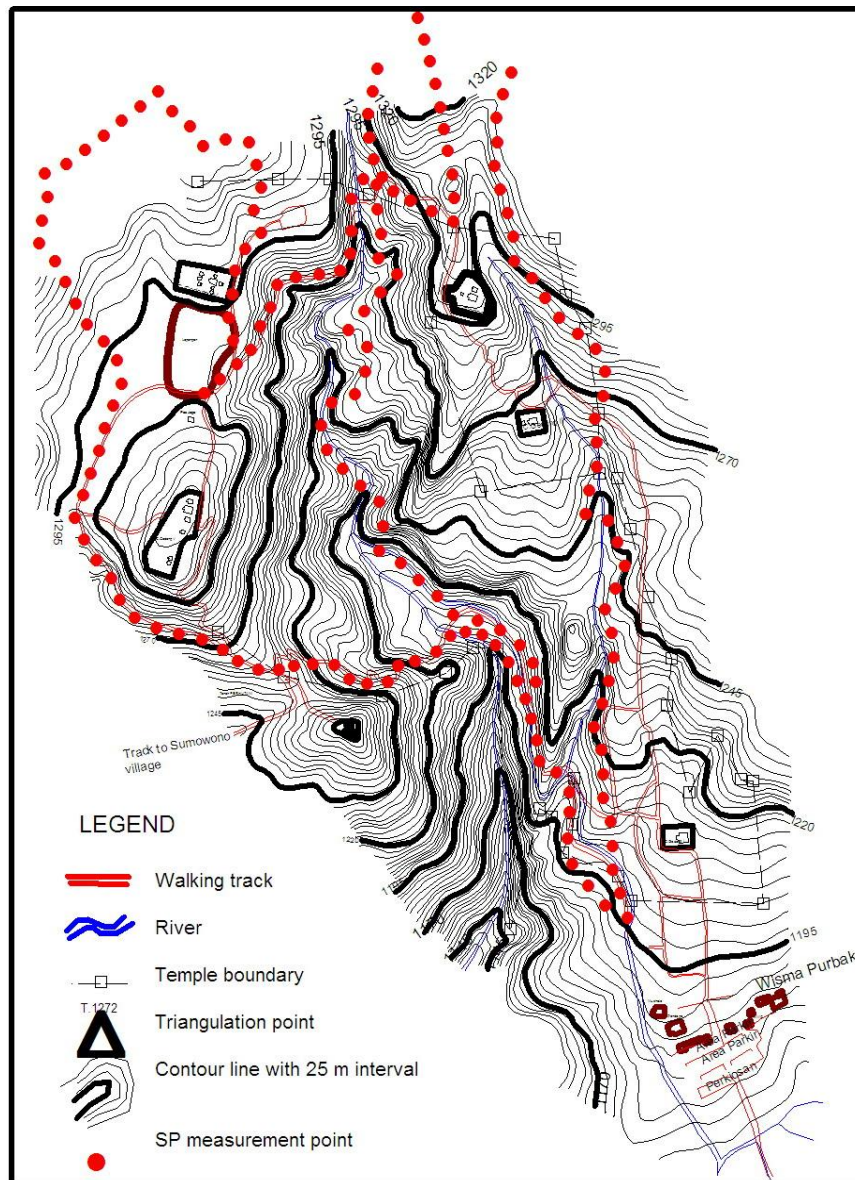
4.4 Data dan Anomali Self Potential

Pengukuran data self potential dilakukan di sejumlah 175 titik ukur, terutama di sekitar Kawah Item dan zona mineralisasi sekitarnya. **Gambar 8** menunjukkan peta lokasi titik ukur self

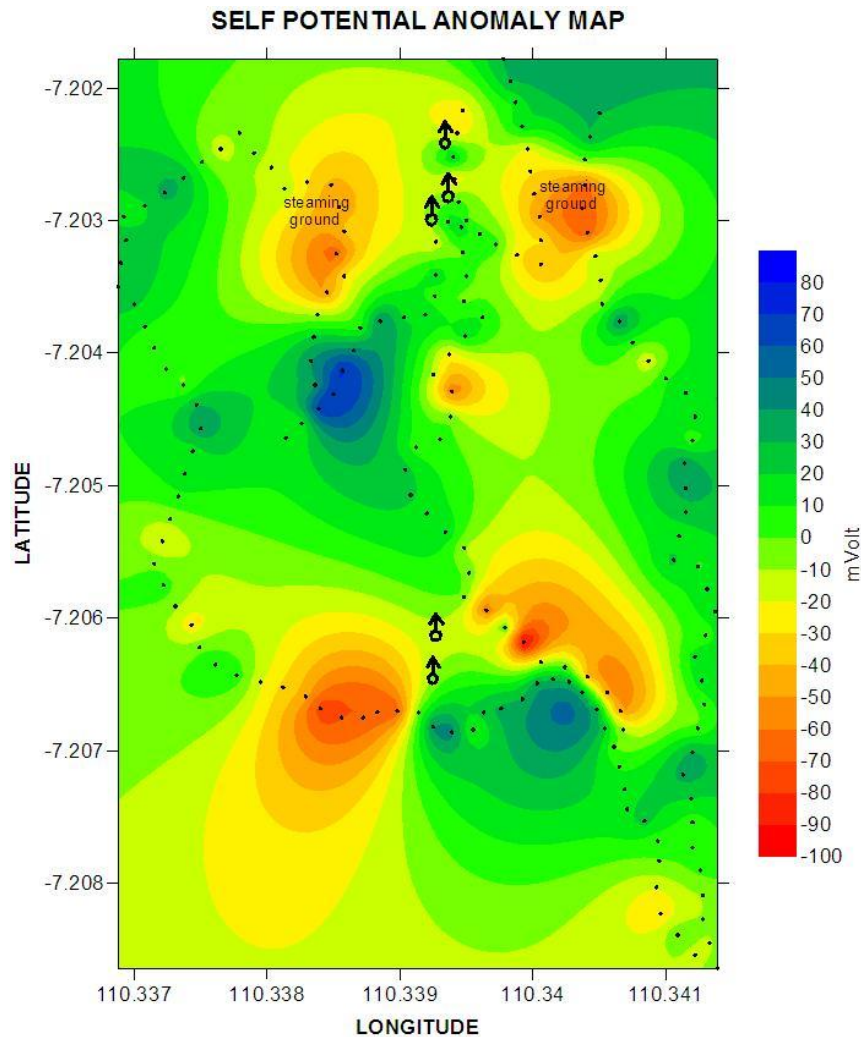
potential lapangan Gedongsongo. Sementara itu, **Gambar 9** menunjukkan peta anomali self potential setelah koreksi topografi. Secara umum menunjukkan bahwa pola kontur anomali self potential mirip dengan anomali geomagnet.

Sebaran anomali menunjukkan bahwa aliran fluida bawah permukaan mengalir dari nilai tinggi ke nilai rendah. Ini menunjukkan bahwa fluida mengalir menuju reservoir panas bumi. Selanjutnya,

air panas dalam reservoir mengalir menuju ke permukaan melalui rekahan atau zona lemah sebagai mata air (*discharge waters*).



Gambar 8 Peta lokasi titik ukur self potential di lapangan panas bumi Gedongsongo.



Gambar 9 Peta kontur anomali self potential di lapangan panasbumi Gedongsongo. Tanda panah menunjukkan lokasi mata air panas.

4.5. Model Tahanan-Jenis Magnetotelurik

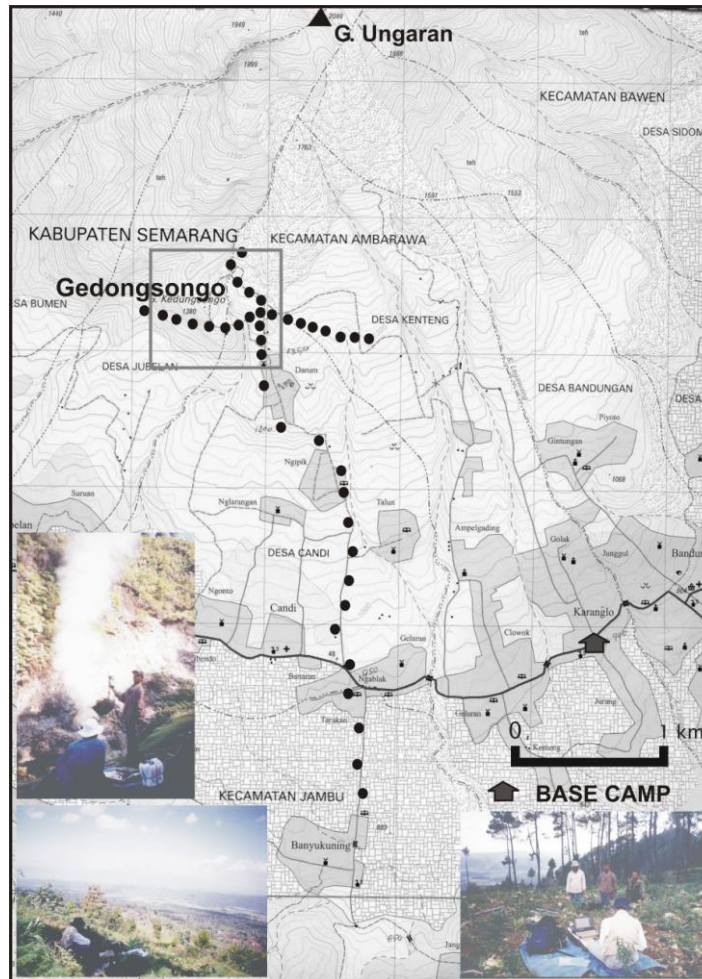
Gambar 10 menunjukkan lokasi titik ukur respon medan magnetotelurik pada dua lintasan. Sementara itu, **Gambar 11** dan **Gambar 12** adalah model tahanan-jenis hasil inversi 2-D data magnetotelurik masing-masing untuk lintasan utara-selatan dan barat-timur. Kedua lintasan itu memotong zona prospek panasbumi Gedongsongo. Lintasan utara-selatan memotong bagian utara Kawah Item, sementara itu, lintasan barat-timur diduga memotong tepian bagian selatan zona prospek panasbumi Kawah Item.

Dari kedua model tahanan-jenis

tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut. Model tahanan-jenis lintasan utara-selatan (**Gambar 11**) menunjukkan bahwa lapisan permukaan berketebalan hampir 400 m di setengah lintasan bagian utara ditempati oleh lapisan sangat resistif dengan nilai tahanan-jenis tinggi >1000 ohm-m. Lapisan resistif yang cukup tebal ini diduga merupakan lava dan breksi andesitik produk Ungaran dan berfungsi sebagai lapisan penutup (*cap rock*) sistem panasbumi. Di ujung penampang paling utara, tepat di bawah Kawah Item pada kedalaman sekitar 500 m, lapisan resistif ini menutupi suatu zona konduktif <100 ohm-m dengan ketebalan sekitar 800 m. Kemunculan banyak mata air panas dan

uap di atasnya (Kawah Item) dapat diduga bahwa zona konduktif ini merupakan sistem reservoir panasbumi di lapangan Gedongsongo. Batas utara reservoir ini tidak dapat diketahui dengan pasti karena

tidak ada titik pengukuran respon medan magnetotelurik di daerah itu. Pengukuran di utara Kawah Item tidak dapat dilakukan karena medan topografi berupa tebing sangat curam dan hutan lebat.



Gambar 10 Lokasi titik ukur respon medan magnetotelurik di lapangan panasbumi Gedongsongo. Lintasan barat-timur sejumlah 14 titik dan lintasan utara-selatan sejumlah 24 titik.

Suatu kenampakan geologi yang menarik dijumpai di bawah titik ukur di Desa Darum. Bentuk struktur menyerupai kerucut dengan tahanan-jenis sangat tinggi, yaitu >10000 ohm-m, yang diduga merupakan suatu kerucut parasitik atau aliran lava Ungaran. Thanden dkk. (1996) menjelaskan bahwa kerucut ini merupakan aliran gunungapi muda yang berkomposisi andesitik. Anomali geomagnet rendah di

atas kerucut ini mengindikasikan bahwa proses demagnetisasi telah atau sedang terjadi. Dengan demikian, sementara ini dapat disimpulkan bahwa kerucut ini merupakan batuan terobosan, yang boleh jadi merupakan bagian dari G. Gedongsongo, yang masih menyimpan panas atau masih dalam proses pendinginan (*cooling stage intrusive rock*).

Di setengah bagian selatan penampang, antara Dusun Ngablak sampai Desa Banyukuning, lapisan permukaan dengan ketebalan sekitar 200-meteran dicirikan oleh nilai tahanan-jenis rendah sampai sedang, berkisar antara 10 – 100 ohm-m dan kadang sampai 300 ohm-m. Informasi geologi di lapangan menunjukkan bahwa lapisan permukaan di daerah ini ditempati oleh aliran lava dan breksi andesit yang merupakan produk Ungaran dalam bentuk G. Gedongsongo di utara dan sisanya adalah hasil erupsi G. Gajahmungkur (Thanden dkk., 1996). Di bawah lapisan permukaan dijumpai zona sangat konduktif dengan tahanan-jenis lebih kecil dari 10 ohm-m. Dari model dapat ditentukan ketebalan zona konduktif adalah tidak kurang dari 1000 m. Lapisan ini diduga merupakan breksi yang banyak mengalami rekahan dan bercampur dengan bahan piroklastik produk gunungapi Ungaran. Selain itu, nilai tahanan-jenis yang sangat rendah ini diduga merupakan pencerminan dari hadirnya cairan hidrotermal yang banyak mengandung larutan elektrolit hasil pelarutan dengan batuan dimana ia berada.

Model tahanan-jenis untuk lintasan barat-timur (**Gambar 12**) memberikan gambaran distribusi nilai tahanan-jenis yang agak berbeda dengan lintasan utara-selatan. Berdasarkan nilai tahanan-jenis, secara umum model menunjukkan adanya tiga lapisan utama, yakni lapisan atas, lapisan tengah dan lapisan bawah. Lapisan atas atau permukaan ini memiliki ketebalan antara beberapa puluh meter sampai sekitar 200 meter, menebal dari arah barat ke timur. Lapisan ini dicirikan oleh nilai tahanan-jenis antara 300 sampai 3000 ohm-m. Hampir sama dengan lintasan utara-selatan, bagian barat lintasan barat-timur, lapisan permukaannya ditempati oleh lava dan breksi gunungapi Ungaran yang hadir sebagai G. Gedongsongo. Sementara itu, penampang

bagian timurnya ditempati oleh produk G. Gajahmungkur.

Di bawah lapisan permukaan dijumpai lapisan konduktif dengan nilai tahanan-jenis mulai dari 2 ohm-m sampai 100 ohm-m. Lapisan di bagian barat penampang memiliki nilai tahanan-jenis <10 ohm-m, lebih rendah daripada bagian timurnya dengan nilai >20 ohm-m. Ketebalan lapisan ini tidak kurang dari 1000 m, dimana ia tebal di bagian barat dan menipis ke arah timur yaitu sekitar 600 m. Lapisan konduktif ini diduga merupakan zona hidrotermal yang terbentuk oleh pencampuran air meteorik dengan air bawah permukaan pada lapisan berpori dan berkelulusan tinggi (*high-permeable*) yang berfungsi sebagai reservoir. Zona hidrotermal ini mendapatkan pemanasan dari batuan intrusi parasitik G. Gedongsongo(?) yang masih berada dalam proses mendingin. Lapisan paling bawah yang terletak pada kedalaman sekitar 1500 m dari permukaan, ditempati oleh bahan dengan nilai tahanan-jenis antara 100 sampai 1000 ohm-m. Lapisan ini boleh jadi merupakan batuan vulkanik produk dari Ungaran tua dengan ketebalan sedikitnya adalah 500 m.

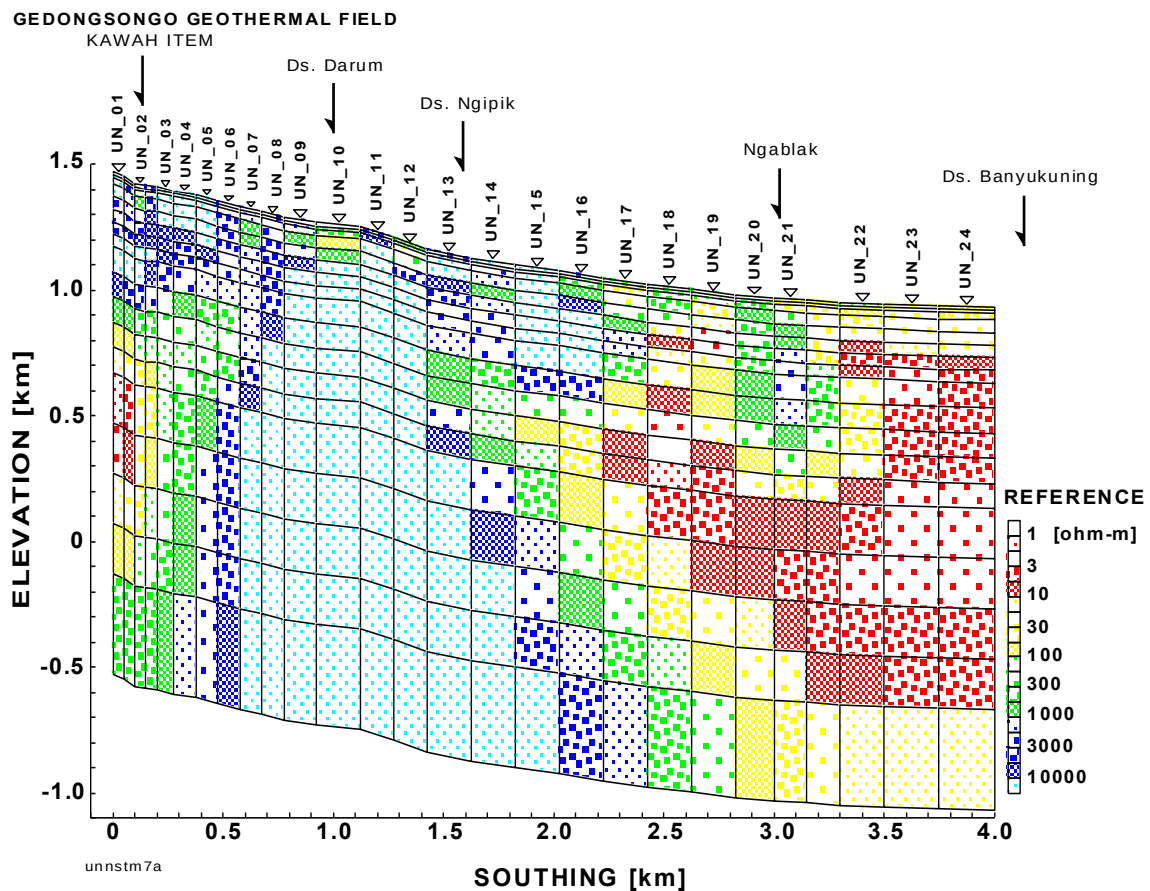
5. KESIMPULAN

Studi terpadu geofisika (gayaberat, geomagnet, geolistrik, self potential dan magnetotelurik), di lapangan panas bumi Gedongsongo, Komplek Depresi-Vulkanik Ungaran menghasilkan beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

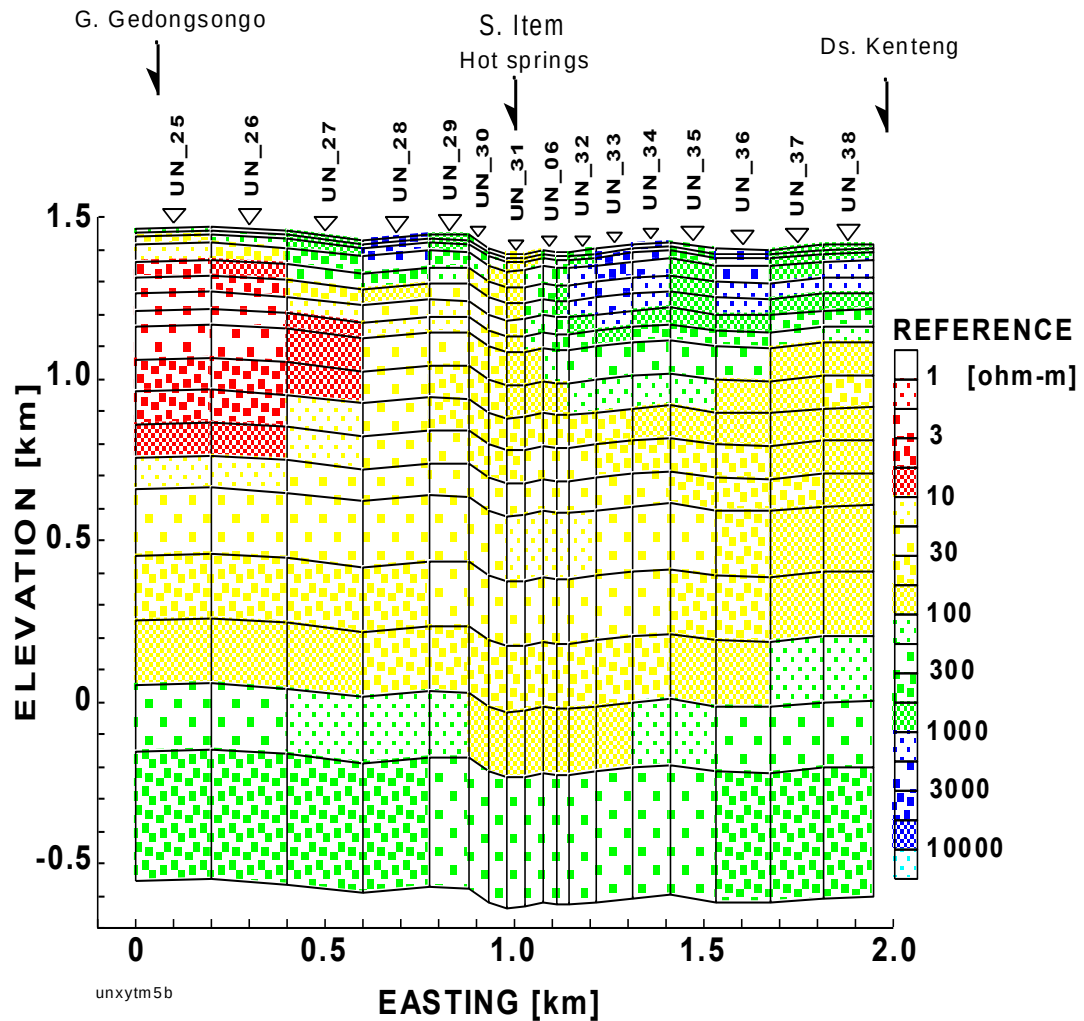
1. Model tahanan-jenis menunjukkan fenomena geologi berupa kerucut intrusi yang boleh jadi merupakan salah satu kerucut parasitik di Ungaran. Kerucut ini dicirikan oleh nilai tahanan-jenis sangat tinggi, yakni lebih besar dari 10000 ohm-m dan diduga merupakan intrusi andesit yang masih menyimpan panas dan

dalam tahap proses mendingin. Lapisan permukaan berketebalan sekitar 400 m di bawah Kawah Item dicirikan oleh nilai tahanan-jenis >1000 ohm-m dan boleh jadi merupakan batuan penudung (*cap rocks*). Batuan penudung terutama dibentuk oleh lava dan breksi lahar andesitik yang terkompakkan. Zona sangat konduktif <10 ohm-m ditemukan

di bawah lapisan penudung dan diduga sebagai puncak reservoir. Lapisan di bawahnya dicirikan oleh tahanan-jenis sedang antara 30 sampai 300 ohm-m dan terletak pada kedalaman antara 600 sampai 1600 m dari permukaan, boleh jadi merupakan reservoir sistem panasbumi yang terbentuk di lapangan Gedongsongo.



Gambar 11 Model tahanan-jenis hasil inversi 2-D data magnetotelurik untuk lintasan utara-selatan. Tampak kehadiran kerucut intrusi parasitik terkubur di bawah Desa Darum.



Gambar 12 Model tahanan-jenis hasil inversi 2-D data magnetotelurik untuk lintasan barat-timur.

2. Anomali geomagnet menunjukkan bahwa bagian paling utara daerah studi dicirikan oleh anomali negatif yang sangat rendah, lebih kecil dari -600 nT. Anomali sangat rendah ini berkaitan erat dengan zona konduktif yang ada di bawah Kawah Item, yang diduga merupakan. Fluida panas yang ada pada reservoir menyebabkan terjadinya demagnetisasi batuan sekitarnya sehingga menghasilkan kontras kemagnetan yang demikian

tinggi. Setelah melewati suatu tinggian anomali magnet yang sempit, anomali sangat rendah <-600 nT dijumpai kembali dengan lebar hamper 400-meteran. Anomali rendah ini tepat berada antara Desa Darum dan Desa Ngipik dan berimpit dengan zona sangat resistif berbentuk kerucut pada penampang tahanan-jenis lintasan utara-selatan. Anomali magnet sangat rendah ini boleh jadi merupakan representasi dari

kerucut parasitik bawah permukaan yang masih dalam proses mendingin.

3. Sistem panas bumi hadir dalam bentuk batuan penudung (*cap rocks*) yang dicirikan oleh nilai tahanan-jenis $> 1000\sim 3000$ ohm-m dengan tebal relatif 400 m dan tersusun atas lava dan breksi lahar andesitik yang terkompakkan. Lapisan tipis dengan tahanan-jenis ~ 10 ohm-m di bawahnya diduga merupakan mineral lempung hasil ubahan. Reservoir dicirikan oleh tahanan-jenis yang berkisar antara $30\sim 300$ ohm-m pada kedalaman $600\sim 1600$ m berupa fractured-volcanic breccia. Ini dicirikan pula oleh anomali geomagnet rendah yang menunjukkan adanya zona demagnetisasi. Sementara itu, sumber panas (*heat-source*) dicirikan oleh nilai tahanan-jenis $> 10,000$ ohm-m, menyerupai bentuk kerucut (*parasitic cone*) dan diduga berasosiasi dengan intrusi andesitik, bersifat partial melting atau dalam proses mendingin.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadisantono, R.D., dan Sumpena, A.D., 1993, *Laporan Pemetaan Daerah Bahaya G. Ungaran dan Sekitarnya, Jawa Tengah*, Proyek Pengamatan/Pengawasan dan Pemetaan Gunungapi, Dep. Pertambangan dan Energi, Dir. Jend. Geol. Sumberdaya Min., Dit. Vulkanologi, Bandung, 26 hal.
- Hayashi, M., 1991, *Geological Exploration of Geothermal Resources*, Geothermal Research, Kyushu University.
- Hochstein, M.P., 1982, *Introduction to Geothermal Prospecting*, Geothermal Institute, University of Auckland.
- Kartokusumo, W., 1973, *Laporan penyelidikan kimia panas bumi di daerah Cisolok-Cisukarame*, Arsip Dit. Geologi, Bandung.
- Loke, M.H., 1997, *RES2DINV: Rapid 2-D resistivity inversion using the least-squares method*, A Manual Book.
- Loke, M.H. and Barker, R.D., 1995, *Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections*, *Geophysics*, **60**, 1682-1690.
- Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996, *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method*, *Geophys. Prosp.*, **44**, 131-152.
- Muffler, L.J.P. and Cataldi, R., 1978, *Methods for regional assesment of geothermal resources*, *Geothermics*, **7**, 53-90.
- Talwani, M., Worzel, J., Landisman, M., 1959, *Rapid gravity computational for two-dimensional bodies with application to Mendocino submarine fracture zone*, *J. Geophysics*, v. 1,
- Thanden, R.E., Sumadirdja, H., Richards, P.W., Sutisna, K., Amin, T.C., 1996, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- van Bemmelen, R.W., 1941, *Bulletin of the East Indian Volcanological Survey for the Year 1941*, Bull. nrs.95-98.
- van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol. I-A General Geology, Government Print. Office, The Hague Netherland.

van Padang, N., 1951, *Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields*, Part I Indonesia.

Vozoff, K., 1972, *The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins*, *Geophysics*, **37**, 98-141.