

CIRI KHAS STRUKTUR TAHANAN JENIS DI DAERAH PANAS BUMI TEMPERATUR TINGGI: STUDI KASUS DAERAH PANAS BUMI JABOI-PULAU WEH

Oleh:

Edi Suhanto, Sriwidodo dan Kasbani

Kelompok Program Penelitian Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Geologi

SARI

Anomali tahanan jenis rendah yang teramati pada sistem panas bumi di lingkungan vulkanik sangat penting untuk menentukan target-target eksplorasi. Anomali-anomali tahanan jenis secara umum memperlihatkan anomali rendah di suatu zona di atas reservoir panas bumi. Suatu model khas tentang struktur tahanan jenis dari daerah panas bumi di lingkungan vulkanik telah dikaji oleh beberapa ahli geofisika untuk mengerti faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan jenis di daerah panas bumi, dimana memperlihatkan bahwa produk-produk lempung konduktif dari hasil alterasi hidrotermal adalah yang paling umum sebagai penyebab keberadaan tahanan jenis rendah di atas reservoir.

Penyelidikan tahanan jenis listrik dc Schlumberger telah dilakukan di daerah panas bumi Jaboi, Pulau Weh, Nangroe Aceh Darussalam pada tahun 2005. Hasilnya memperlihatkan suatu delineasi zona tahanan jenis rendah yang berkaitan dengan zona prospek panas bumi Jaboi. Pola sebaran lateral tahanan jenis memperlihatkan zona-zona outflow ke arah mata air panas Jaboi dan Keuneukai. Struktur tahanan jenis memperlihatkan suatu lapisan konduktif kaya mineral lempung berbentuk cendawan dimana puncaknya mendekati ke permukaan di bawah daerah fumarola Jaboi dan ke sisi-sisinya semakin mendalam, dengan ketebalan yang bervariasi antara 200 m di daerah fumarola sampai 1100 m jauh di luar fumarola. Hasil perbandingan memperlihatkan bahwa delineasi zona rendah dan kecenderungan bentuk anomali tahanan jenis daerah Jaboi ini mempunyai kemiripan dengan tipikal struktur tahanan jenis di daerah vulkanik bertemperatur tinggi.

- ABSTRACT

Low resistivity anomaly observatin in geothermal system of volcanic area becomes very important to define targets of exploration. In general, resistivity anomalies indicated low anomaly on geothermal reservoir zone. A model of resistivity has been assessed by geophysicists to find out factors influencing resistivity in geothermal zone. It is believed that products of conductive clay resulted from hydrothermal alteration causing the existing lower resistivity on the said reservoir.

Electric resistivity conducted by Schlumberger in Jaboi geothermal field Aceh Darussalam in 2005 showed delineation of low resistivity. Lateral distribution of resistivity indicated outflow zones occurred to the geothermal springs of Jaboi and Keuneuka. Resistivity structure showed the existence of abundant clay on conductive layers in the form of parasiticon which its peak closer down below the fumarola of Jaboi and deeper to its rim with the thickness of 200 m in fumarola zones and about 1100 m farther out of fumarola. From the comparative study results showed the lower delineation zone and resistivity zone of Jaboi geothermal field tends to have similarity structural resistivity in high temperature volcanic area.

PENDAHULUAN

Tahanan jenis adalah salah satu sifat fisis batuan yang paling bervariasi dan telah terbukti sebagai parameter geofisika yang paling ampuh dalam eksplorasi panas bumi.

Pengukuran geolistrik tahanan jenis telah lama digunakan sebagai sebuah teknik eksplorasi geofisika dalam pencarian sumber daya panas bumi. Metode tahanan jenis semu arus searah (DC) telah banyak digunakan dalam prospek panas bumi di Indonesia dengan tingkat keberhasilan yang baik terutama pada daerah-daerah panas bumi yang berasosiasi dengan vulkanisme. Anomali-anomali tahanan jenis semu pada daerah-daerah ini secara umum mampu mendelineasi reservoir panas bumi bertemperatur

tinggi. Oleh karenanya, anomali tahanan jenis semu secara umum diterima sebagai indikator terbaik bagi suatu target panas bumi.

Berikut adalah cuplikan-cuplikan tentang bagaimana sifat fisis tahanan jenis batuan dimengerti dalam eksplorasi panas bumi.

Struktur Umum Tahanan Jenis Panas Bumi Temperatur Tinggi

Johnston dkk. (1992) telah membuat studi untuk mengevaluasi berbagai metode tahanan jenis untuk eksplorasi panas bumi di daerah berlingkungan vulkanik. Mereka menyimpulkan bahwa kontras-kontras tahanan jenis dapat mendelineasi reservoir panas bumi dengan resolusi dan level

galat pengukuran yang baik. Mereka membuat struktur tipikal sebuah sistem panas bumi seperti ditampilkan secara skematik dalam Gambar 2. Zona-zona bagian atas yang lebih dingin dicirikan oleh alterasi ke smektit, suatu zona lempung konduktif (secara kelistrikan) yang terbentuk pada temperatur di atas 70°C. Di bawahnya adalah zona-zona bertemperatur lebih tinggi dimana ilit yang sedikit kurang konduktif saling menjemari dengan smektit. Kedua zona alterasi ini umumnya membentuk suatu penudung (clay cap) bagi suatu sistem panas bumi. Proporsi ilit naik terhadap temperatur, membentuk sekitar 70% dari campuran lempung tadi pada temperatur 180°C. Pada temperatur di atas 180°C ini kandungan smektit terus menurun, dan ilit murni muncul secara umum pada temperatur lebih tinggi daripada 220°C bersamaan mineral-mineral alterasi bertemperatur tinggi lainnya (klorit, epidot, dsb.) dalam kelompok alterasi propilitik.

Tahanan jenis dari zona smektit secara umum antara 1 dan 10 Ohm-m, bergantung utamanya pada tipe dan intensitas alterasi dan dapat berubah terhadap derajat saturasi dan temperatur aktual. Pada temperatur yang lebih tinggi, tahanan jenis meninggi. Pada saat transisi proporsi smektit turun 30% yang berkorespondensi dengan temperatur sekitar 180°C, tahanan jenis tipikal berada diantara 20 dan 100 Ohm-m. Sedangkan tahanan jenis di luar sistem panas bumi sangat bervariasi. Nilai 200 sampai 500 Ohm-m umum ditemukan di batuan vulkanik permukaan baik kering maupun tersaturasi parsial. Namun demikian, kehati-hatian harus dilakukan terhadap keberadaan sedimen, terutama sedimen laut, yang dapat memiliki nilai tahanan jenis kurang dari 5 ohm-m.

Daerah panas bumi Jaboi terletak di Pulau Weh yang secara administratif merupakan wilayah kota Sabang, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam (Gambar 1). Pada tahun 2005 telah dilakukan pengukuran tahanan jenis dc dengan konfigurasi Schlumberger.

Pada tulisan ini anomali tahanan jenis rendah di daerah panas bumi Jaboi dianalisis untuk melihat batas-batas zona prospek. Struktur-struktur tahanan jenisnya dianalisis untuk melihat kemungkinan keberadaan parameter-parameter reservoir seperti zona alterasi lempung dan puncak reservoir. Hasil ini akan diperbandingkan dengan suatu model tipikal tahanan jenis dari sistem panas bumi bertemperatur tinggi seperti dikutip di atas. Model struktur tahanan jenis Jaboi adalah tipikal dari sistem panas bumi bertemperatur tinggi di lingkungan vulkanik?

TATANAN GEOLOGI DAN MANIFESTASI PANAS BUMI

Pulau Weh merupakan sebuah pulau gunungapi muda yang terdiri dari deretan kerucut muda berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan (lihat Gambar 1). Pulau

ini masih terletak pada bagian ujung baratlaut dari struktur depresi besar Sumatera atau "graben Semangko". Karenanya, deretan kubah dan struktur-struktur sesar utama di pulau tersebut dominan berarah baratlaut-tenggara. Sebaran batuan dapat dibagi dalam tiga satuan batuan: batuan vulkanik tua Weh berumur Tersier-Kuarter, batuan vulkanik muda Kuarter, dan batugamping Kuarter berada di bagian timur laut pulau.

Manifestasi panas permukaan pada empat kelompok lokasi: di Jaboi berupa lapangan fumarola/solfatar/tanah panas dengan luas sekitar 12 ha dengan temperatur mencapai 99,5°C dan beberapa mata air panas dengan pH netral dan temperatur antara 67 dan 71°C. Lapangan fumarola/solfatar ini terletak di lereng tenggara gunungapi termuda G. Leumo Matee dan di lereng utara G. Semeureguh yang berumur Kuarter; di Keunekai berupa sebuah mata air panas pH netral dengan temperatur 38°C; di Lhok Pria Laot berupa tanah teralterasi, kolam lumpur panas dan mata air panas dengan temperatur mencapai 100°C; dan di Iboih berupa mata air panas bertemperatur sekitar 41°C.

SEBARAN TAHANAN JENIS SEMU

Anomali Tahanan Jenis Semu Rendah

Gambar 3 memperlihatkan sebaran tahanan jenis semu untuk bentangan setengah arus (AB/2) 250 m. Peta ini memperlihatkan secara menonjol suatu anomali tahanan jenis semu rendah dengan bentuk menutup dan konsentrik ke arah area fumarola/solfatar Jaboi dan pada sisi timur melidah ke arah mata air panas pantai Jaboi. Kecenderungan melidah juga terlihat pada sisi baratlautnya yang cenderung melidah ke arah selatan dimana mata air panas Keunekai berada, namun kurang tegas. Pola kontur pada sekitar anomali rendah ini memperlihatkan gradien yang tegak kecuali di sisi timur yang difusif ke arah timur timur tenggara atau ke pantai timur Jaboi dimana beberapa mata air panas Jaboi berada. Untuk mempermudah analisis, garis kontur 10 Ohm-m dipertegas dan diberi warna biru (Gambar 3), digunakan untuk memperlihatkan pola anomali menutup < 10 Ohm-m dan membatasi zona prospek bagian dalam dilihat dari peta AB/2 250 m. Untuk selanjutnya kontur 10 Ohm-m ini akan diperbandingkan dengan garis kontur 10 Ohm-m untuk AB/2 yang lebih besar lainnya. Pada gambar tersebut juga diperlihatkan suatu daerah arsiran (selanjutnya disebut ring) yang mengelilingi sisi luar garis kontur 10 Ohm-m. Ring ini memiliki daerah arsiran yang sempit dan lebar tergantung dari gradien kontur dekat garis kontur 10 Ohm-m, dimana sempit berarti gradiennya relatif tinggi yang juga berarti menandai batas anomali yang tegas sedangkan lebar berarti sebaliknya, gradiennya relatif lebih rendah yang juga berarti menandai batas anomali yang tidak tegas atau malah difusif jika lebih lebar lagi. Ring ini memperlihatkan

batas anomali yang tegas kecuali pada sisi timurnya yang cenderung difusif melidih ke arah timur-tenggara atau ke arah pantai Jaboi tempat dimana mata air-mata air panas Jaboi berada.

Sebaran tahanan jenis semu AB/2 500 m, seperti sebaran sebelumnya, juga memperlihatkan secara menonjol suatu anomali tahanan jenis semu rendah dengan bentuk menutup dan konsentrik ke arah lapangan fumarola/solfatara Jaboi (Gambar 4). Garis kontur 10 Ohm-m pada sebaran ini (warna hijau) memiliki bentuk yang mirip dengan garis kontur 10 Ohm-m pada AB/2 250m, namun sisi barat dan timurlautnya sedikit lebih meluas. Ring pada peta ini selain mempunyai sisi timurnya yang difusif ke pantai Jaboi, juga sisi baratlautnya yang difusif melidih ke selatan ke arah pantai Keuneukai dimana mata air panas Keuneukai berada. Secara umum, nilai tahanan jenis semu pada peta ini tertinggi sekitar 300 Ohm-m, atau lebih rendah daripada pada peta AB/2 250m yang nilai tertingginya mencapai sekitar 800 Ohm-m.

Pada sebaran tahanan jenis semu AB/2 750 m juga masih diperlihatkan suatu anomali rendah menonjol (Gambar 5) dengan bentuk yang sama seperti pada peta-peta sebelumnya. Garis kontur 10 Ohm-m pada sebaran ini (warna merah) memiliki bentuk yang mirip dengan garis kontur 10 Ohm-m pada AB/2 500m, namun pada sisi baratlautnya jauh meluas dengan bentuk melidih ke selatan ke mata air panas Keuneukai, selain sisi timurlautnya yang juga sedikit meluas. Ring pada peta ini secara umum jauh lebih lebar atau kurang tegas daripada ring pada peta-peta sebelumnya; dan sisi timurnya masih difusif ke pantai Jaboi.

Pada sebaran tahanan jenis semu AB/2 1000 m (Gambar 6) pola anomali rendahnya mirip dengan anomali rendah pada peta AB/2 750m, dimana pada sisi baratlautnya garis kontur 10 Ohm-m (warna ungu) juga melidih ke selatan, yakni ke mata air panas Keuneukai namun dengan ujung lidahnya yang cenderung meluas ke tenggara, dan juga dengan sisi timurnya yang lebih meluas ke tenggara. Ring pada peta ini juga mirip dengan ring pada AB/2 750m, dimana secara umum jauh lebih lebar atau kurang tegas daripada ring pada peta-peta AB/2 500m dan 250m. Pada sisi timurnya ring ini masih cenderung difusif ke pantai Jaboi.

Delineasi Zona Prospek dan Struktur Outflow

Gambar 7 memperlihatkan kompilasi garis kontur 10 Ohm-m hasil analisis dari masing-masing AB/2 250m, 500m, 750m, dan 1000m di atas. Secara umum semakin besar AB/2 semakin lebar garis konturnya. Dapat dilihat bahwa garis-garis ini saling berimpit relatif rapat di bagian baratlaut dan selatan. Ini mengindikasikan bahwa batas tepi zona rendah relatif tegas pada bagian-bagian tersebut. Pada bagian-bagian lain seperti di bagian utara dan timur garis-

garis ini berimpit secara renggang atau mengindikasikan batas tepi zona rendah yang relatif kurang tegas. Pada bagian baratlaut, garis-garis AB/2 250m dan 500m saling berdekatan dan jauh dari garis-garis AB/2 750m dan 1000m yang keduanya berdekatan dan melidih ke mata air panas Keuneukai.

Dari keempat garis kontur ini dibentuk sebuah ring (diperlihatkan oleh daerah bersir pada Gambar 7) dengan lebar yang bergantung pada kerapatan keempat garis kontur tersebut. Ring ini dapat dijadikan sebagai alat untuk mendelineasi zona prospek; zona prospek berada dalam bagian dalam ring dan dalam ring tersebut. Sempit dan lebarnya ring mengindikasikan tegas atau kurang tegasnya batas tepi dari zona prospek atau mengindikasikan tingkat ketidakpastian batas tepi. Ring ini relatif sempit di sisi baratlaut dan selatan yang mengindikasikan bahwa batas tepi zona rendah relatif tegas pada bagian-bagian tersebut. Pada sisi utara dan timur ring relatif lebar yang mengindikasikan batas tepi zona rendah yang relatif kurang tegas. Pada sisi ini ring cenderung melidih ke arah pantai Jaboi tempat dimana mata air mata air Jaboi berada. Pada sisi baratlaut ring juga melebar dengan bentuk melidih ke selatan ke mata air Keuneukai di pantai Keuneukai.

Bentuk melidih dari ring merupakan tipikal suatu struktur 'outflow' dari sistem panas bumi, dimana fluida panas bumi dalam bentuk air panas keluar dari sistem ke dekat permukaan dengan arah yang dikontrol oleh arah radian hidrologi. Sebagian dari air panas ini keluar ke permukaan sebagai mata air panas. Untuk kasus prospek Jaboi ini, mataair panas di pantai Jaboi dan Keuneukai merupakan manifestasi panas yang berada pada struktur outflow dari sistem panas bumi Jaboi.

STRUKTUR TAHANAN JENIS

Struktur Perlapisan

Struktur perlapisan tahanan jenis diperoleh dari hasil pemodelan sounding satu dimensi. Struktur tahanan jenis daerah panas bumi Jaboi secara umum memperlihatkan suatu pola H (tinggi-rendah-tinggi) seperti kebanyakan daerah panas bumi lainnya. Pola ini terdiri dari lapisan pertama berupa overburden resistif dengan nilai antara 40 Ohm-m sampai 1500 Ohm-m, lapisan kedua berupa lapisan tahanan jenis rendah/konduktif dengan nilai antara 2 Ohm-m sampai 10 Ohm-m, dan lapisan ketiga berupa lapisan dasar elektrik dengan nilai antara 15 Ohm-m sampai 25 Ohm-m. Ketebalan lapisan pertama bervariasi antara 0 m di daerah fumarola sampai 500 m jauh di luar fumarola. Ketebalan kedua atau lapisan konduktif bervariasi antara 200 m di daerah fumarola sampai 1100 m jauh di luar fumarola.

Gambar 8 memperlihatkan sebuah penampang struktur tahanan jenis yang memotong Keuneukai ke utara

pai di kompleks fumarola Jaboi, kemudian membelok ke r ke kompleks mata air panas Jaboi. Struktur tahanan ini membentuk pola payung cendawan dengan aknya pada daerah manifestasi fumarola dan menyentuh mukaannya. Semakin menjauh dari daerah fumarola, an konduktif semakin dalam dan menebal. Pada daerah low atau kompleks mata air panas Jaboi puncak, lapisan uktif berada pada kedalaman sekitar 500 m dengan balan sekitar 1000 m. Pada daerah outflow Keuneukai lapisan konduktif memiliki pola dengan kecenderungan g sama.

Permukaan Lapisan Resistif

Lapisan di bawah lapisan konduktif, berupa lapisan gan nilai sekitar antara 15 Ohm-m dan 25 Ohm-m, enali sebagai lapisan resistif, dan bertindak sebagai isan dasar elektrik. Lapisan resistif ini kemungkinan asosiasi dengan zona reservoir bagian atas dari sistem as bumi Jaboi. Permukaan lapisan konduktif, seperti isan konduktifnya, memiliki bentuk permukaan dawan dengan puncaknya berada pada kedalaman sekitar 0-300 m di bawah daerah fumarola dan mendalam ke arah r serta curam pada daerah outflow, terutama di outflow oi kedalamannya sekitar 1500-2000 m dari permukaan.

Gambar 9 memuat suatu permukaan dasar lapisan onduktif atau permukaan atas lapisan resistif, dioverlaykan gan anomali-anomali tahanan jenis semu dan batas zona ospek. Kedalaman permukaan tersebut relatif terhadap rmukaan tanah dengan nilai yang positif ke bawah. Kontur rmukaan ini memiliki bentuk yang cenderung konsentrik ngan pusat yang berada pada daerah tengah zona anomali ndah dan dengan pola yang melidah ke baratlaut, mengikui ntuk melidah dari zona anomali rendahnya. Ke arah timur- ggara, bentuk kontur tidak melidah mengikuti bentuk elidahya anomali rendah namun berlineasi utara-baratlaut an menurun secara tajam mulai dari sekitar 500 m di barat

AFTAR PUSTAKA

- Anderson E., Crosby D., and Ussher G (2000). Bull-eye Simple resistivity imaging to reliably locate the geothermal reservoir. ProCeeding World Geothermal Congress 2000.
- anwell, C. J. and Macdonald, W.J.P, 1965. Resistivity surveying in New Zealand thermal areas. Commonwealth Mining and Metallurgical Congress, Australia and New Zealand, New Zealand Section pp 1-7.
- ohnston, J.M., Pellerin, L. and Hohmann, G.W. (1992). Evaluation of electromagnetic methods for geothermal reservoir detection. Geothermal Resources Council Transaction, Vol. 16 pp 241-245.
- isk, 1986. Reconnaissance and follow-up resistivity surveying of New Zealand geothermal fields. ProC. 8th New Zealand Geothermal Workshop 1986, pp 75-80.
- uhanto, E. and Soemantri, M., 2003. Geophysical study of Mangolo geothermal field, Kolaka Southeast Sulawesi. ProC. 6th Annual Convergence of INAGA 2003.
- Ussher G., Harvey C., Johnstone R., and Anderson E. (2000). Understanding the resistivities observed in geothermal systems. ProCeeding World Geothermal Congress 2000.

mata air panas Jaboi ke arah pantai Jaboi. Ini memperlihatkan bahwa permukaan resistif di daerah tersebut curam dan semakin mendalam ke arah timur. Gambar 10 memperlihatkan gambaran 3-dimensi dari permukaan atas lapisan resistif.

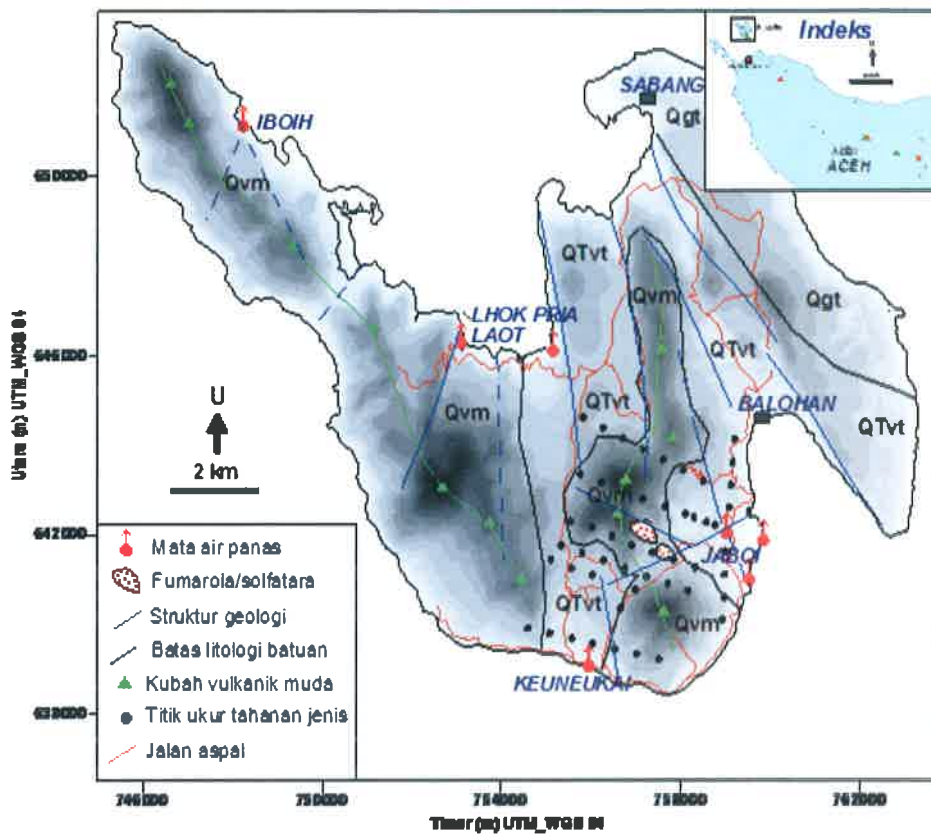
Perbandingan Struktur Tahanan Jenis

Perbandingan struktur tahanan jenis Jaboi (Gambar 8) dengan tipikal struktur tahanan jenis Johnston, dkk. (1992) memperlihatkan kemiripan bentuk, terutama diperlihatkan oleh lapisan tahanan jenis rendahnya yang berbentuk cendawan yang memiliki ketebalan bervariasi antara 200 m di daerah fumarola sampai 1100 m jauh di luar fumarola. Lapisan rendah yang memiliki tahanan jenis bervariasi antara 2 s.d. 8 Ohm-m ini berkaitan dengan lapisan clay capnya Johnston, dkk. (1992) yang kaya mineral smektit dan campuran smetit-ilit yang merupakan mineral-mineral alterasi hidrotermal. Pada batas permukaan bawah lapisan konduktif ini atau batas atas lapisan resistif (Gambar 9 dan 10) dapat diharapkan untuk mempunyai temperatur lebih besar daripada 180 °C, dan di dalam lapisan resistif yang memiliki tahanan jenis bervariasi antara 10 s.d. 25 Ohm-m ini dapat diharapkan untuk mempunyai temperatur lebih besar daripada 220°C.

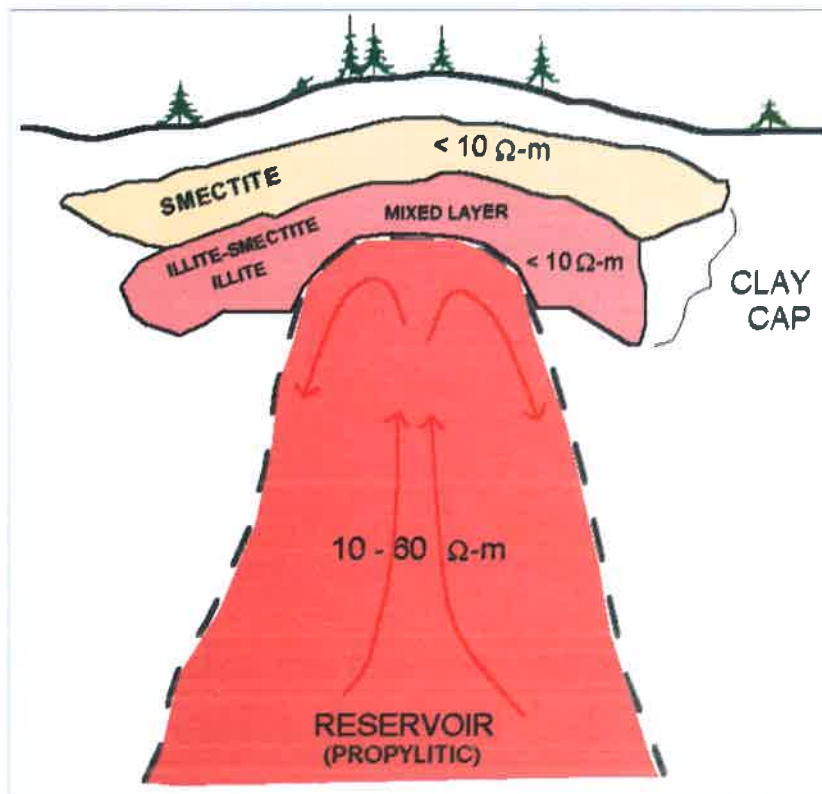
KESIMPULAN

Sebaran lateral tahanan jenis mendelineasi suatu batas prospek panas bumi Jaboi dengan bentuk yang menutup dengan pusatnya di sekitar fumarola dan pola-pola lidahnya yang menggambarkan dua zona outflow ke arah pantai Jaboi dan pantai Keuneukai.

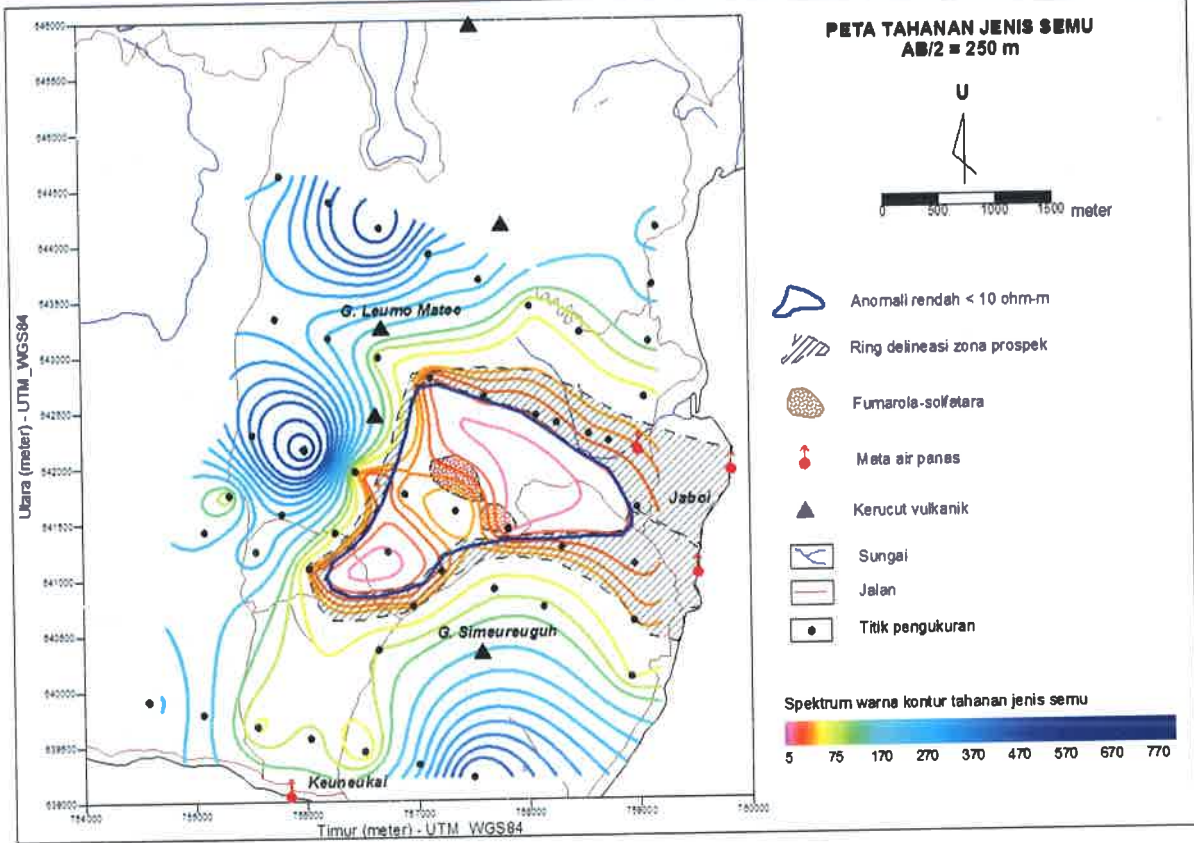
Struktur tahanan jenis memperlihatkan suatu struktur cendawan yang memiliki kemiripan dengan ciri khas struktur tahanan jenis di daerah panas bumi suhu tinggi berlingkungan vulkanik. Diperkirakan reservoir utama dari sistem Jaboi ini akan lebih dekat permukaan di daerah sekitar fumarola Jaboi dan semakin mendalam menjauhinya.



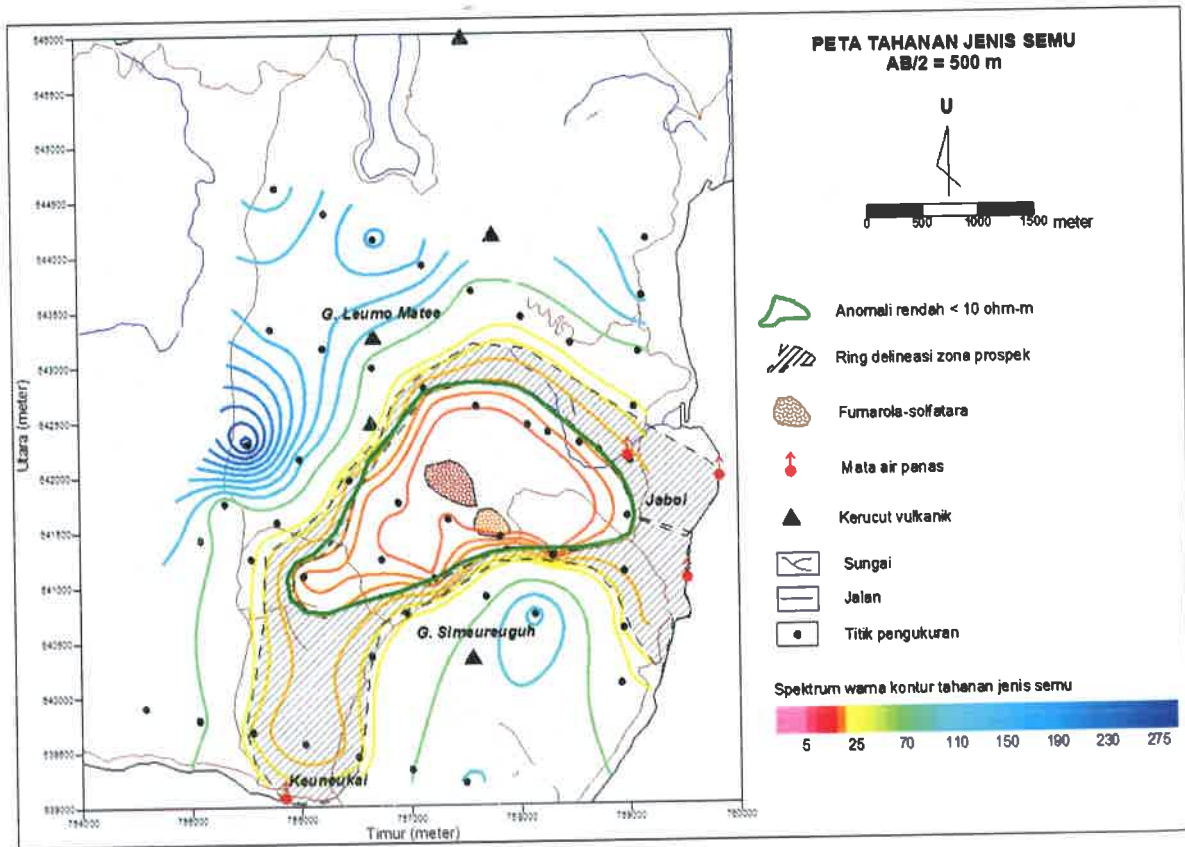
Gambar 1. Sebaran manifestasi panas bumi, sebaran batuan, batas daerah penyelidikan Jaboi, dan indeks lokasi penyelidikan tahanan jenis di Pulau Weh, Kota Sabang, Nangroe Aceh Darussalam.



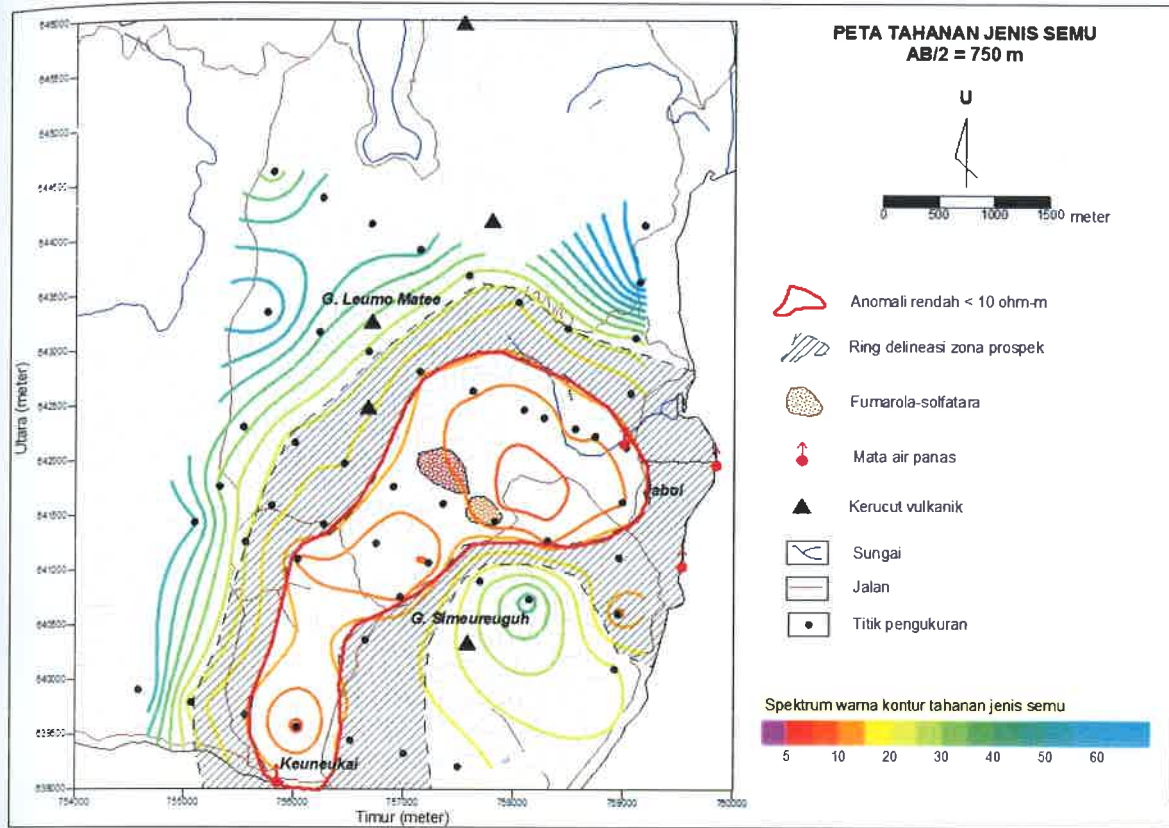
Gambar 2. Model tipikal/khas struktur tahanan jenis pada lapangan panas bumi temperatur tinggi di daerah vulkanik dan hubungannya dengan jenis mineral alterasi (diambil dari Johnston, dkk. 1992).



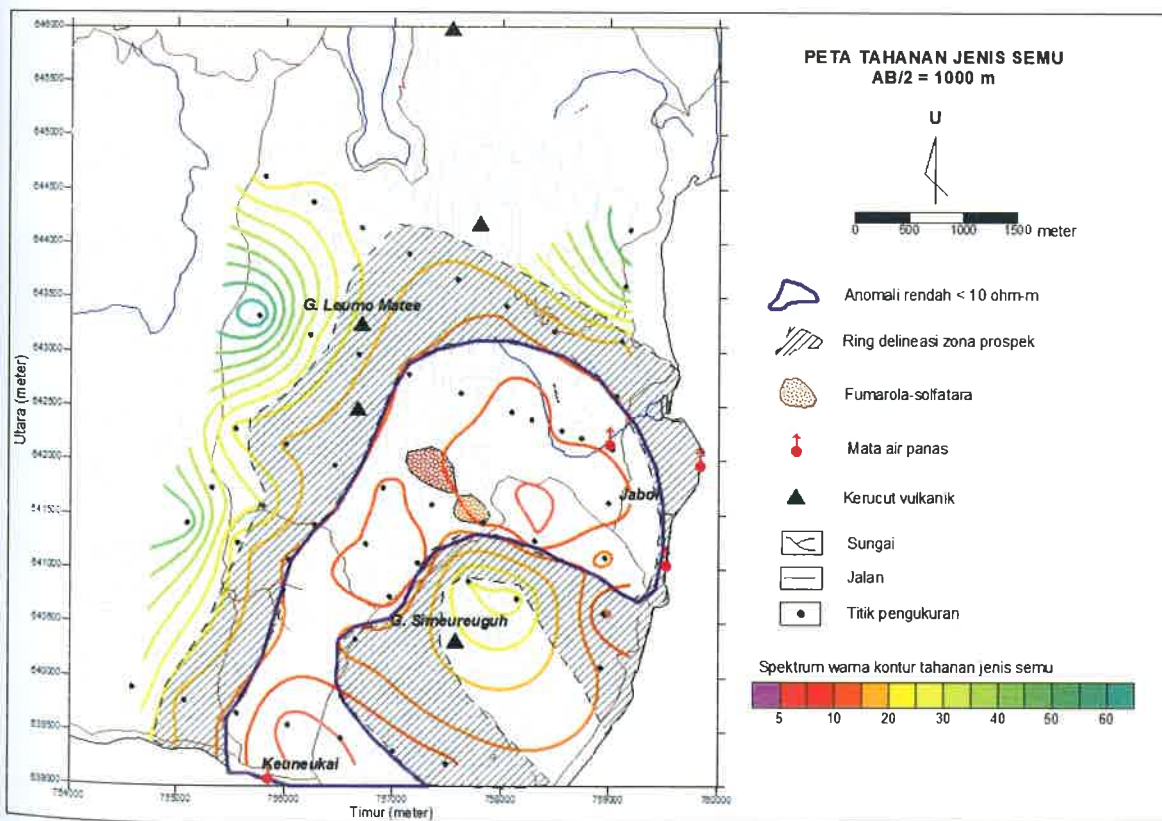
Gambar 3. Sebaran tahanan jenis semu untuk bentangan setengah arus AB/2 250 meter di daerah panas bumi Jaboi



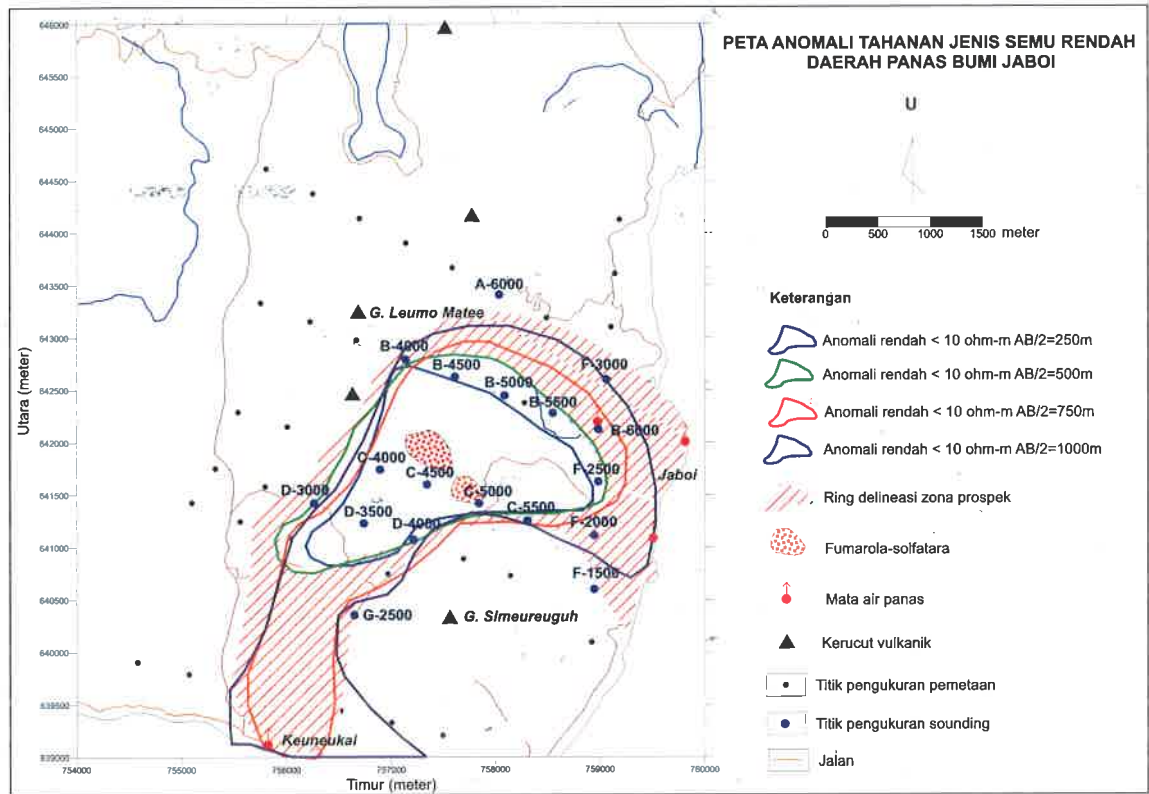
Gambar 4. Sebaran tahanan jenis semu untuk bentangan setengah arus AB/2 500 meter di daerah panas bumi Jaboi



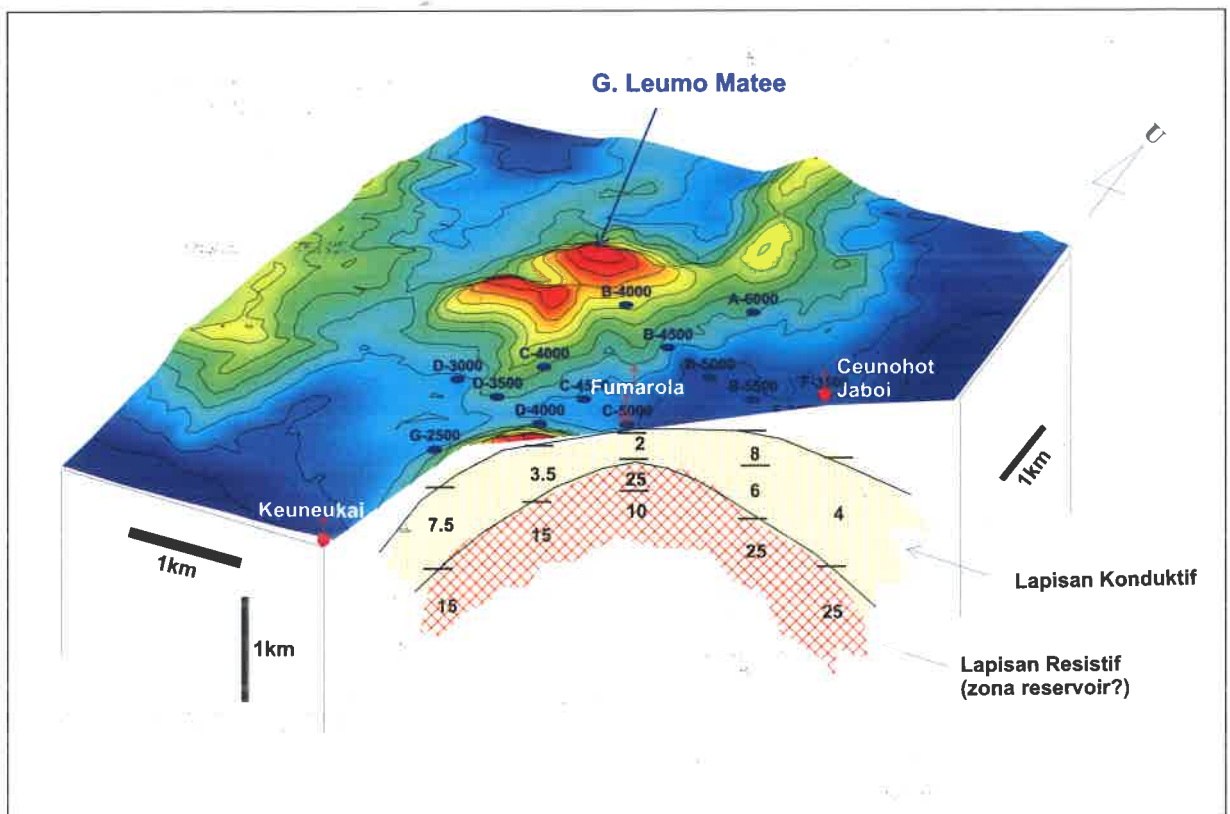
Gambar 5. Sebaran tahanan jenis semu untuk bentangan setengah arus AB/2 750 meter di daerah panas bumi Jaboi



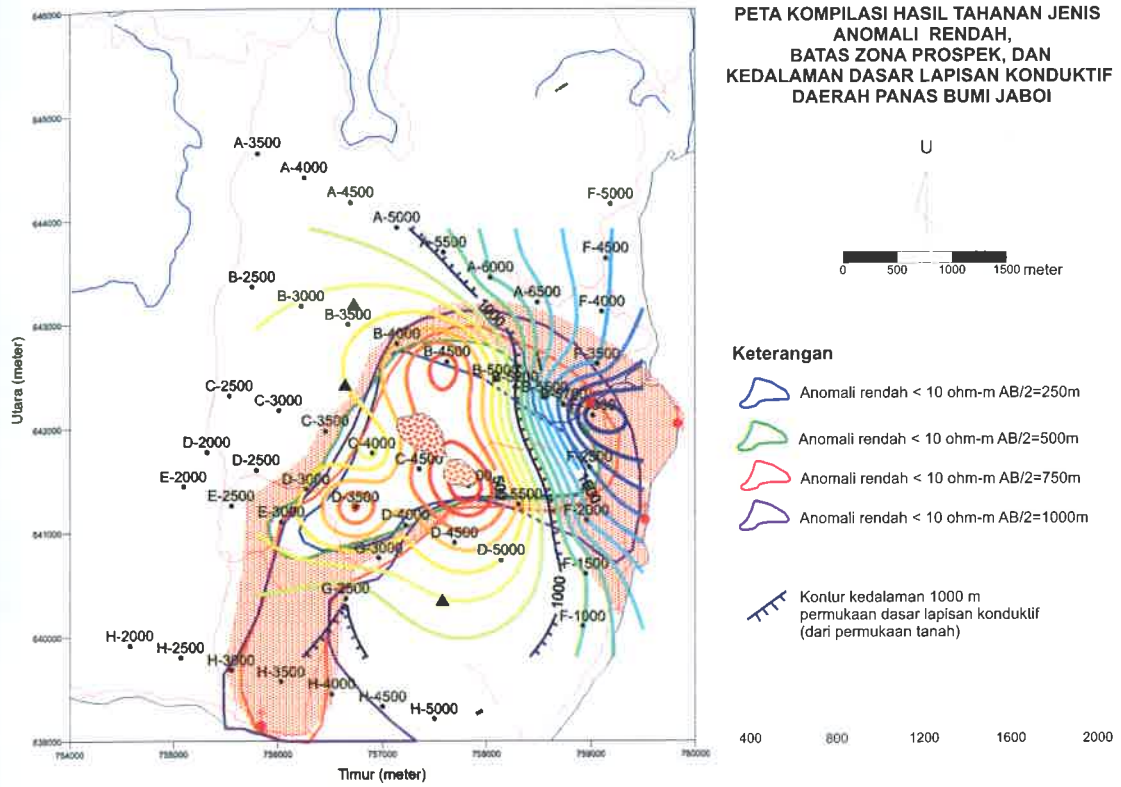
Gambar 6. Sebaran tahanan jenis semu untuk bentangan setengah arus AB/2 1000 meter di daerah panas bumi Jaboi



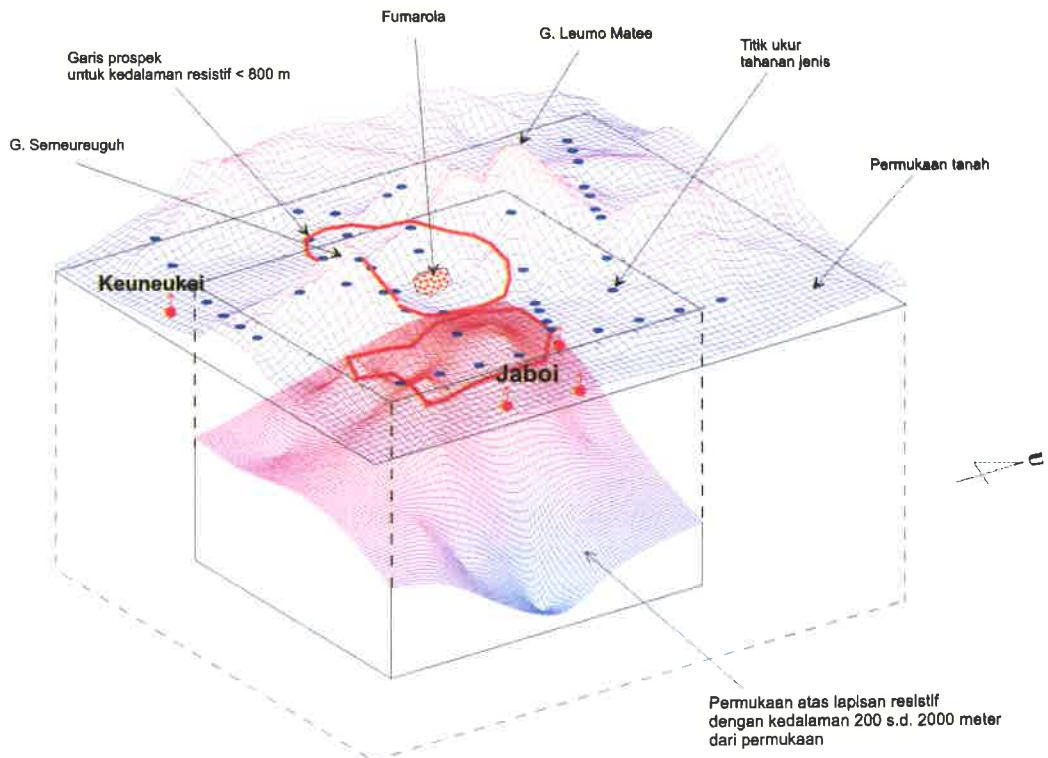
Gambar 7. Peta kompilasi anomali tahanan jenis semu rendah dan ring delineasi batas prospek Jaboi



Gambar 8. Penampang model tahanan jenis (dalam Ohm-m) daerah Jaboi, diperoleh dari hasil-hasil pemodelan satu dimensi data sounding. Hasil ini memperlihatkan struktur tahanan jenis bentuk kubah, suatu bentuk yang umum ditemukan di lapangan panas bumi temperatur tinggi dalam lingkungan vulkanik.



Gambar 9. Peta kompilasi hasil tahanan jenis daerah panas bumi Jaboi, memperlihatkan batas-batas anomali rendah, batas zona prospek, dan permukaan dasar lapisan konduktif.



Gambar 10. Gambaran 3-dimensi dari permukaan dasar lapisan konduktif atau permukaan atas lapisan resistif daerah panas bumi Jaboi.