

## GEOLOGI DAERAH PANAS BUMI ULUBELU TANGGAMUS, LAMPUNG UTARA BERDASARKAN ANALISIS METODE MAGNETOTELLURIK (MT)

S. Panjaitan

Pusat Survei Geologi  
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung, 40122

### Sari

Tahanan jenis rendah antara 0 – 15 m ditafsirkan sebagai lapisan kedap air yang dapat berfungsi sebagai batuan penudung (*impermeable*), dan merupakan alterasi hidrotermal yang diduga terdiri atas batulempung (*clay*). Tahanan jenis sedang antara 15 – 70 m diduga berkelelusan tinggi (*permeable*) merupakan reservoir utama yang terbentuk pada kedalaman 1250 – 2000 m. Tahanan jenis > 1000 m adalah batuan karbonat meta. Blok I di selatan Gunung Rendingan dan Blok II di sekitar mata air panas Pagaralam, membentuk zona *up flow* fluida reservoir yang mempunyai temperatur lebih dari 260°C, dan mengandung 80 % fraksi uap.

Kata kunci: panas bumi, metode magnetotellurik, batuan penudung, reservoir, alterasi hidrotermal

### Abstract

*Low resistivities of 0 – 15 m are interpreted as impermeable zones, functioning as cap rocks with hydrothermal alteration estimated to consist of clay. The middle resistivity 15 – 70 m is interpreted as permeable reservoir rocks located at 1250 – 2000 metres depth. The resistivity > 1000 m are metamorphic carbonate rocks. Block I in south of Mt. Rendingan and Block II at around Pagaralam hot spring formed up flow zone fluid reservoir having temperature of more than 260°C, and contained 80 % vapour fraction.*

*Keywords: Geothermal, resistivity, impermeable, cap rock, hydrothermal alteration*

### Pendahuluan

Di daerah Kotaagung dan sekitarnya, Lampung terdapat lebih dari dua penampakan lapangan panas bumi, yaitu *fumarol* dan mata air panas (*hot spring*). Penampakan tersebut dapat dipakai sebagai petunjuk adanya panas bumi yang terbentuk di bawah permukaan. Terkait dengan petunjuk tersebut maka penelitian Geofisika menggunakan metode magnetotellurik (MT) telah dilaksanakan di daerah Ulubelu kaki Gunung Rendingan, Kotaagung (Gambar 3). Survei pendahuluan oleh Divisi Geothermal Pertamina di daerah ini dimulai tahun 1998. Beberapa penelitian telah dilakukan di daerah ini, di antaranya Sunaryo dr., (1993), Daud dr. (1995). Hasil penelitian menyatakan cadangan potensial reservoir uap panas diperkirakan 100 Mwe dan dapat beroperasi selama 25 tahun untuk pembangkit tenaga listrik.

### Tujuan Penelitian

Maksud penelitian adalah sebagai studi banding tentang terbentuknya uap panas bumi di daerah ini, sehingga perlu dilakukan penelitian-penelitian secara detail untuk pemutakhiran dan penambahan data dengan membandingkan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Sampai sekarang Pertamina Divisi Geothermal terus melakukan penelitian menggunakan metode Magnetotellurik ke arah utara di bagian selatan Gunung Rendingan dan di daerah Gunung Kukusan. Tujuan penelitian ini adalah melokalisasi batuan reservoir. Dengan penambahan data ini diharapkan akan mendapatkan hasil yang lebih baik.

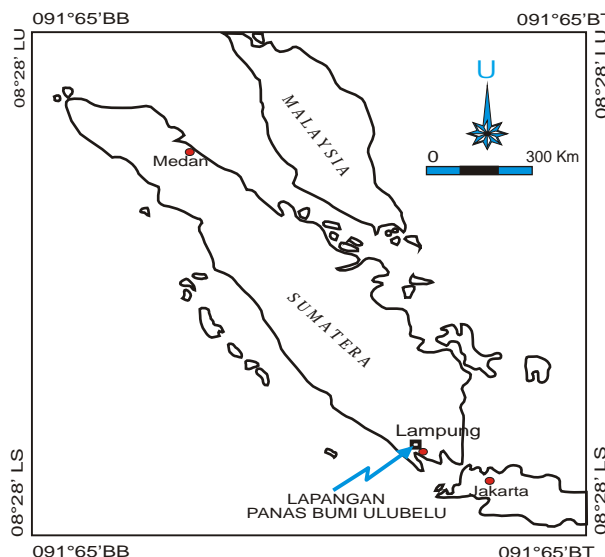
Metode MT akan diaplikasikan untuk eksplorasi pendahuluan dengan mengkaji dan membandingkannya dengan hasil-hasil sebelumnya. Nilai resistivitas batuan rendah (*low resistivity*) mencerminkan lapisan konduktif (*high conductive*), yang secara tidak langsung akan mendapatkan struktur geologi bawah permukaan berupa sebaran dan ketebalan lapisan batuan. Kurva *sounding* pemodelan 1D dan 2D-Inversi menghasilkan peta tahanan jenis semu ke arah horizontal dan vertikal.

## Obyek penelitian

Penelitian ditekankan pada daerah konduktif di sekitar uap panas bumi di selatan Gunung Rendingan dan mata air panas Pagaralam Ulubelu yang dilaporkan terbentuk sebagai *up flow* di daerah *graben*. Luas zonasi uap panas sebagai obyek penelitian di daerah *graben* Ulubelu diperkirakan 3 x 4 km kedalaman antara 1250 – 2000 m, temperatur reservoir sekitar 260°C yang terindikasi dari gas geotermometer data pemboran (Sunaryo dr., 1993). Dari penelitian sementara oleh Pertamina diperoleh gambaran bahwa belum sepenuhnya cadangan reservoir uap panas bumi terlokalisasi dengan baik di daerah ini. Pengembangan-pengembangan obyek penelitian ke arah utara-timur dan ke selatan Gunung Rendingan sedang dilakukan oleh Pertamina untuk menemukan cadangan uap panas yang lebih luas atau memukan daerah baru dalam jumlah yang signifikan. Pengambilan data dilakukan secara acak menyerupai lintasan-lintasan, jarak titik pengamatan bervariasi antara 1 - 2 km.

## Parameter Panas Bumi

Daerah panas bumi berhubungan erat dengan aktivitas magma, baik yang bersifat plutonik maupun vulkanik. Mekanisme panas bumi didasarkan atas adanya arus konveksi gas, uap, dan air panas yang terbentuk dari pemanasan air tanah oleh gas vulkanik ataupun oleh massa yang panas. Gejala panas bumi (Gambar 1, 2) dapat dilihat sebagai tanda terdapatnya sumber panas bumi seperti dijumpainya fumarola, mata air panas, geyser, dan erupsi freatik beserta batuan alterasi yang diakibatkan oleh adanya manifestasi panas bumi dipermukaan (Macdonal, 1972). Dengan adanya lapisan penudung berupa batulempung atau serpih, kandungan air, dan uap pada batuan yang sarang akan menyebabkan nilai tahanan jenis batuan akan kecil karena bersifat konduktif. Sistem panas bumi ada dua macam yaitu, sistem panas bumi air panas dan sistem panas bumi yang didominasi oleh uap. Syarat-syarat yang harus dipenuhi bagi suatu lapangan panas bumi sebagai penghasil uap lewat panas ialah curah hujan yang cukup, patahan/rekahan bagi jalannya air tanah masuk mendekati sumber panas berupa tubuh magma batuan berkelulusan kecil sebagai penerima panas, batuan sarang (*porosity*), dan batuan kedap air (*impermeable*). Kondisi lapangan panas bumi Ulubelu memenuhi persyaratan yang demikian karena merupakan jalur gunung api dengan curah hujan yang besar antara 3000 – 4000 mm per tahun.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian daerah panas bumi Ulubelu Tanggamus, Lampung Utara.



### Keterangan:

- 1-4. Kelompok D. Panas, D. Minyak, Ratu dan Srejejo
- 5. Kelompok Ngarip
- 6. Kelompok Waibelu
- 7. Kelompok Kalianda Waimuli
- 8. Kelompok Air Panas Natar
- 9. Kelompok Ulubelu

Gambar 2. Kelompok sumber air panas (Akbar, 1972) daerah Ulubelu, Tanggamus, Lampung utara.

## Metode Penelitian

Penelitian geofisika yang digunakan adalah metode Magnetotellurik (MT), yaitu salah satu dari metode geolistrik, yang digunakan untuk mengukur tahanan jenis batuan bawah permukaan. Dalam metode ini parameter yang digunakan untuk mengamati uap panas ditandai oleh nilai resistivitas rendah yang menunjukkan konduktif sebagai fungsi frekuensi, dan kedalaman mencapai 10 km. Metode ini menggunakan sumber energi elektromagnetik (EM) yang berasal dari alam. Frekuensi lebih kecil dari 1 Hz biasanya ditimbulkan oleh interaksi antara partikel yang dipancarkan oleh matahari dengan

atmosfir bumi. Sementara frekuensi lebih tinggi dari 1 Hz kontribusinya berasal dari sistem pemancar yang dibuat oleh manusia, dan yang paling penting adalah energi dari aktivitas meteorologi, terutama kilat yang berasosiasi dengan guntur atau badai (Parkinson, 1983). Perbandingan antara intensitas medan listrik dengan intensitas medan magnet menunjukkan sifat impedansi listrik yang saling tegak lurus. Menentukan impedansi pada sederetan frekuensi dapat menghilangkan informasi tentang konduktivitas atau tahanan jenis batuan sebagai fungsi kedalaman di bawah titik pengamatan. Makin rendah frekuensinya makin dalam daya penetrasinya. Oleh karena itu metode MT dengan mengukur intensitas medan magnet dan medan listrik pada frekuensi di bawah 1 Hz banyak digunakan dalam *pure geophysics*, sedangkan frekuensi di atas 1 Hz banyak digunakan dalam *applied geophysics*. Pada setiap pengukuran, selain resistivitas semu ( $a$ ) sebagai fungsi frekuensi, *output* lainnya adalah beda fase ( $\phi$ ) dan kohesi ( $\rho$ ) sebagai fungsi frekuensi ( $Hz$ ) serta *true resistivity* ( $\rho$ ) terhadap kedalaman ( $m$ ).

#### Geologi Regional

Lajur Barisan di Pulau Sumatra yang memanjang barat laut-tenggara merupakan bagian dari subduksi antara lempeng tektonik India-Australia dengan lempeng tektonik Eurasia. Pergerakan kedua lempeng tersebut menghasilkan pembentukan *volcanic arc* dan *strike slip fault* di sepanjang lajur tersebut. Kedua hal ini memungkinkan pendangkalan magma dan terbentuknya zona permeabilitas, sehingga dijumpai daerah-daerah tertentu yang mempunyai prospek panas bumi. Batuan tertua adalah Kompleks Gunungkasih yang tersingkap di sebelah timur berjarak  $\pm 15$  km, dan termasuk daerah penelitian, yang terdiri atas sekis kuarsa, sekis gampingan, marmer, dan kuarsit serisitan, serta terdapat singkapan kecil batuan terobosan magmatit dan genes (Gafoer dr., 1986). Batuan yang menyerupai *flysch* terdiri atas arsenit kuarsa, batulumpur, dan batulanau, kadang-kadang mengandung batugamping yang diterobos oleh granit. Adanya cermin sesar yang menggambarkan sesar terbalik, terretakkan kuat, dan bersentuhan dengan batuan alas sebagai sesar naik, bahkan

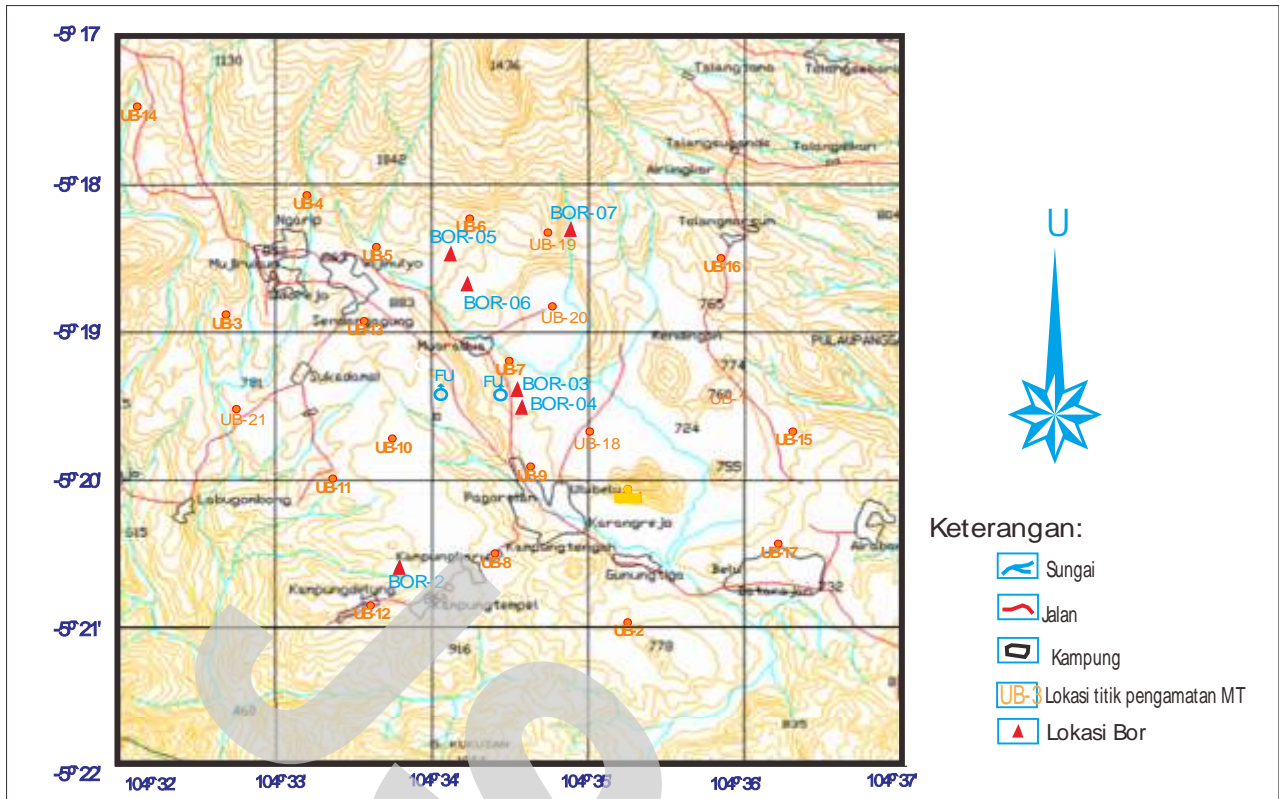
sebagai sesar terbalik. Hal tersebut tercermin pada penampang MT daerah Ulubelu.

Runtunan batuan Tersier terdiri atas batuan sedimen laut yang terdapat di cekungan busur muka, batuan gunung api, dan batuan sedimen yang diendapkan bersamaan secara luas di Lajur Barisan; dan batuan sedimen yang terdapat di dalam busur belakang. Satuan gunung api leleran tersebar luas dan Orogenesis Plio-Plistosen menyebabkan pensesaran renggut dan menimbulkan regangan tarik yang mungkin bertindak sebagai saluran gunung api.

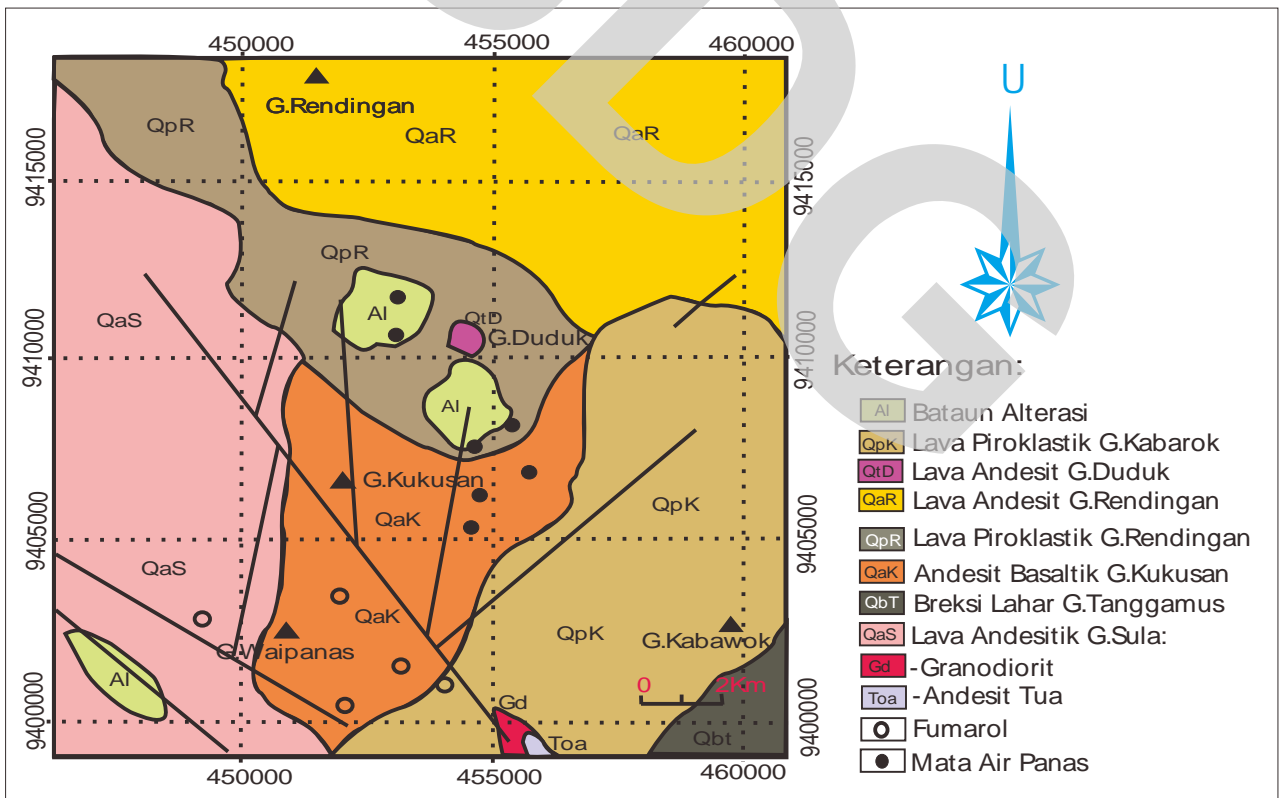
Sejarah tektonik Lembar Kotaagung berlangsung sejak Paleozoikum sampai Resen. Namun, struktur utama (sesar dan lipatan) terbentuk pada fase tektonik Tersier Akhir sampai Kuartar Awal. Batuan malihan menunjukkan struktur perdaunan lipatan pertama mempunyai sumbu kira-kira berarah timur-barat, dan lipatan kedua menghasilkan lipatan tegak berarah barat laut-tenggara.

Batuan sedimen Kapur menunjukkan kemiringan lapisan berarah timur laut, lipatan barat laut-tenggara terdapat pada runtunan Pratersier dan Tersier-Kuartar. Arah sesar pada batuan Pratersier dan batuan Praholosen adalah barat laut-tenggara, timur laut-barat daya, utara-selatan. Kegiatan gunung api dan pengangkatan yang terkait dengan terbentuknya panas bumi di daerah ini berlangsung dari Pliosen Tengah hingga Kuartar.

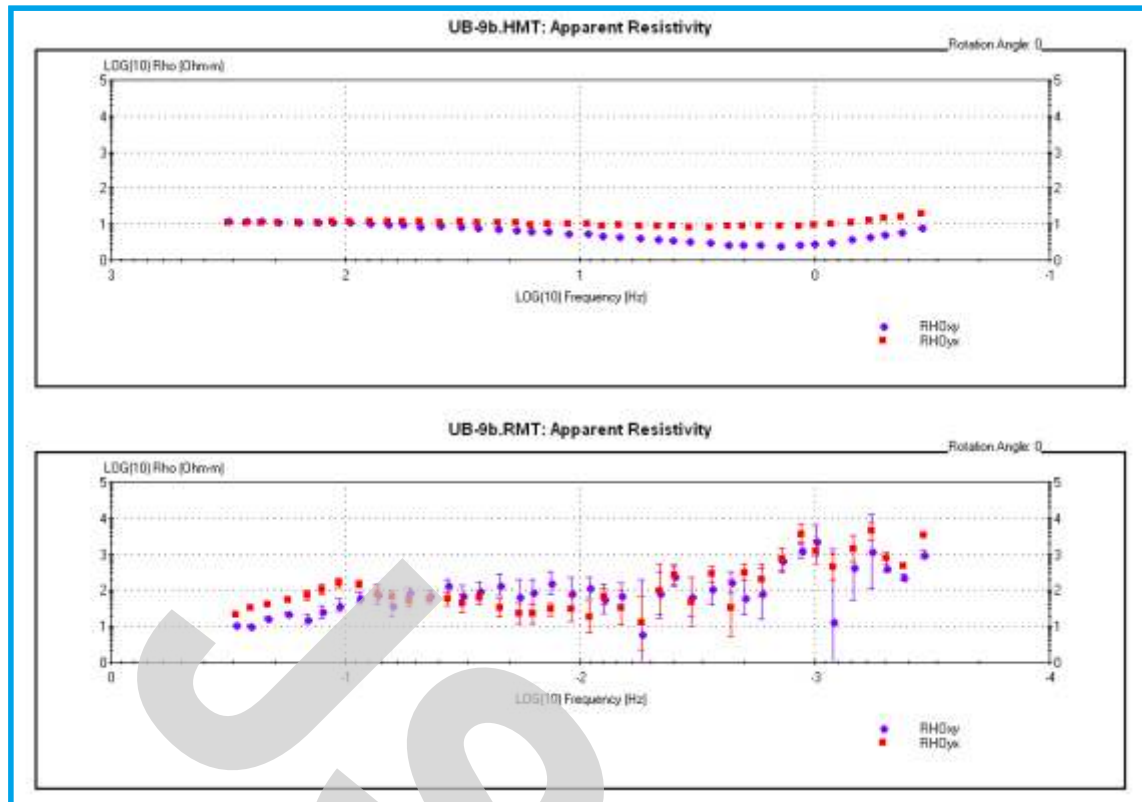
Stratigrafi lokal (Gambar 4) terdiri atas Formasi Gunung Rendingan sebagai produk termuda *high standing* (andesit), yang dijumpai manifestasi aktif pada bagian puncak gunung, tetapi mata air panas dan alterasi lempung dijumpai di lereng selatan. Formasi Gunung Kukusan *low standing* (basaltik) dengan beberapa penampakan melingkar menunjukkan adanya manifestasi permukaan aktif, yang terdiri atas fumarol, *boiling spring* dan alterasi lempung secara intensif di sepanjang garis sesar dan rekahan di daerah uap panas. Formasi Gunung Duduk terletak di antara *old dacit plug* dan *hot spring* serta alterasi. Formasi Gunung Sula adalah batuan tertua di lapangan geothermal Ulubelu dan dilaporkan merupakan batuan reservoir.



Gambar 3. Lokasi titik pengamatan MT Daerah Ulubelu Tanggamus, Lampung Utara.



Gambar 4. Peta geologi lokal (Masdjuk dan Mucsim., 1989) daerah Ulubelu Tanggamus, Lampung Utara.



Gambar 5. Contoh kurva titik *sounding* UB-09b rekaman alas memperlihatkan amplitudo nilai 10 Ohm-meter terkait dengan batuan tuding dan gambar bawah >20 Ohm-meter merupakan batuan reservoir pada frekuensi -1 Hz hingga -3 Hz daerah panas bumi Ulubelu Tanggamus, Lampung Utara.

#### Hasil Penelitian

Hasil pemodelan (*mapping*) ditampilkan dalam irisan (penampang) yang menggambarkan sebaran tahanan jenis mendatar dan vertikal. Hasil pemodelan tahanan jenis semu menggambarkan sebaran nilai tahanan jenis rendah, dan tahanan jenis tinggi ke arah lateral dan vertikal yang merupakan fungsi kedalaman. Distribusi tahanan jenis rendah ditampilkan dengan skala warna. Biru menunjukkan resistivitas rendah (konduktif) dan merah menggambarkan resistivitas tinggi (*resistif*). Peta tahanan jenis dibuat pada kedalaman 0 m, 500 m, 1000 m, 1250 m, 1500 m, 1750 m, 2000 m, dan 2500 m.

Tahanan jenis permukaan (Gambar 6) di permukaan (0 m) mempunyai nilai resistivitas < 10 m, yang terdapat di sekitar mata air panas Pagaralam. Zona ini merupakan hasil alterasi hidrotermal batuan vulkanik Gunung Rendingan, yang sangat intensif dan dapat berfungsi sebagai lapisan penuding (*cap rock*), sedangkan tahanan jenis > 1000 m ditunjukkan oleh singkapan breksi vulkanik Gunung Rendingan.

Tahanan jenis di kedalaman 500m (Gambar 7) masih memperlihatkan resistivitas rendah < 10 m, yang merupakan hasil alterasi hidrotermal, dan dapat berfungsi sebagai lapisan penuding (*cap rock*). Hampir di semua titik *sounding*, batuan alterasi pada kurva lengkung duga baku menampilkan amplitudo rata-rata 10 m pada frekuensi 1 Hz. Anomali tersebut memanjang dengan arah barat laut-tenggara, yang terletak di sepanjang garis patahan pada zona *graben* Ulubelu, dan di bagian timur. Anomali > 1000 m terdapat di bagian timur, yang memanjang ke arah Gunung Rendingan dengan arah barat laut-tenggara, dan di bagian barat yang diduga sebagai breksi vulkanik Gunung Rendingan atau metasedimen yang tidak terkait dengan batuan reservoir.

Peta tahanan jenis kedalaman 1000 m (Gambar 8) memperlihatkan nilai resistivitas rendah antara 0 – 15 m yang terdapat di daerah selatan sampai mata air panas Pagaralam, dan dari Muaradua sampai ke Talangdikum dengan arah barat daya-timur laut. Tahanan jenis rendah ini diduga batuan alterasi (batulempung) dan dapat berfungsi sebagai batuan penuding. Batuan reservoir dengan tahanan

jenis 15-40 Ohm-m, membentuk kontur anomali terbuka ke arah utara. Daerah tahanan jenis tinggi >1000 m pada kedalaman ini terbentuk di sebelah selatan dan barat yang diduga merupakan batuan vulkanik atau metasedimen.

Peta tahanan jenis kedalaman 1500 m (Gambar 9) memperlihatkan nilai tahanan jenis 15 -40 m yang dapat berfungsi sebagai batuan reservoir. Batuan reservoir pada kedalaman 1500 m posisinya telah berubah dan terdapat di dua lokasi yaitu di daerah mata air panas *graben* Ulubelu hingga ke arah utara Gunung Rendingan. Anomali resistivitas tersebut masih terbuka yang diduga masih menerus ke arah utara. Di daerah ini masih dilakukan pengembangan dan perluasan pengukuran MT oleh Pertamina. Tahanan jenis rendah di daerah Talangdikum dan Datarajam diduga masih terkait dengan uap panas batuan reservoir. Anomali resistivitas panas bumi secara keseluruhan berada di kedalaman 500 m hingga 2500 m, yang hampir sama dengan Peta Konduktan Tinggi. Tahanan jenis tinggi >1000 m terbentuk di sisi barat dan timur mata air panas *graben* Ulubelu, yang diduga sebagai batuan sedimen meta (Sunaryo, Komunikasi lisan, 2009). Menurut Data BOR-05 di kedalaman 1500 m dijumpai patahan dan batuan sedimen meta. Lapisan batuan tersebut sampai kedalaman 2500 m mempunyai anomali tinggi.

Peta tahanan jenis kedalaman 1750 m (Gambar 10) memperlihatkan nilai resistivitas reservoir 28-60 Ohm-m, yang terdapat di daerah *graben*. Tahanan jenis tinggi dijumpai di sebelah barat dan timur *graben*, dengan nilai > 1000 Ohm-m.

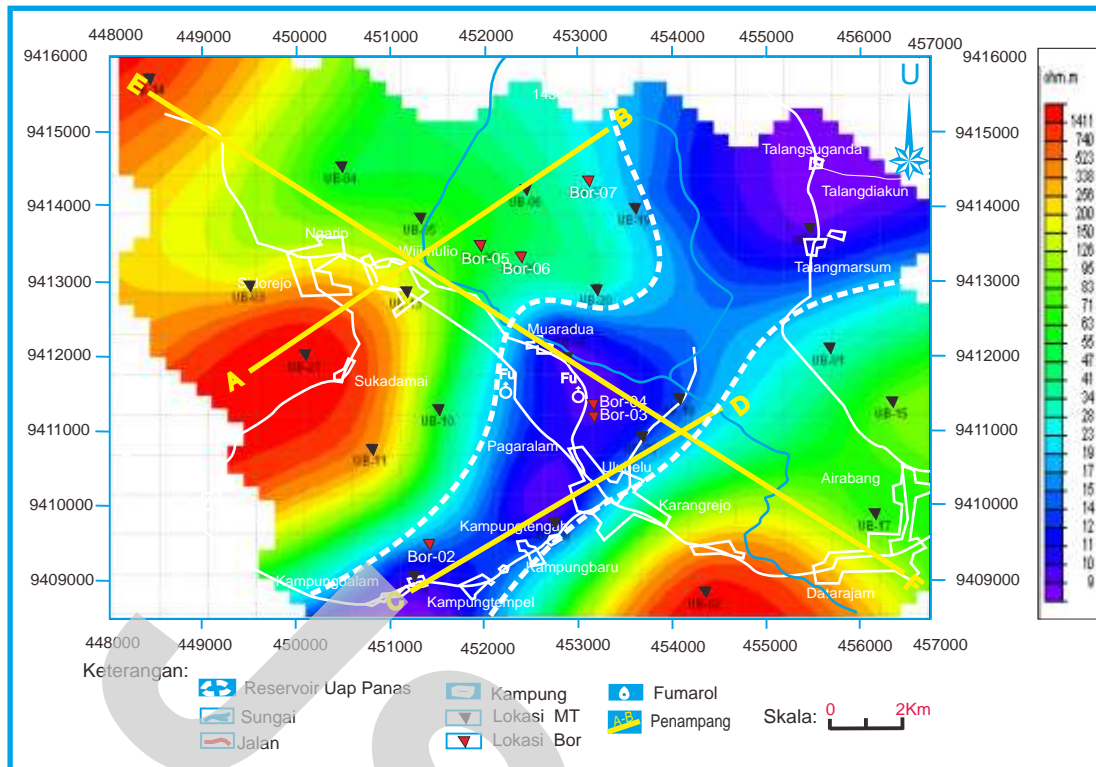
Peta tahanan jenis kedalaman 2000 m (Gambar 11) memperlihatkan resistivitas agak menaik antara 39-70 m. Penampakan ini diduga masih merupakan batuan reservoir. Anomali tahanan jenis batuan reservoir tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian (Mulyadi dr., 2000) yang bernilai 75 m (Gambar 21). Reservoir uap panas pada kedalaman ini terbentuk menjadi tiga kelompok, yaitu di sekitar mata air panas Pagaralam di selatan Gunung Rendingan, Talangdikum, dan Datarajam. Sementara di bagian barat dan timur *graben* masih dibentuk tahanan jenis >1000 m. Peta tahanan jenis hingga kedalaman 2500 m (Gambar 12) menampilkan daerah resistivitas rendah dan tinggi yang diduga terkait dengan batuan reservoir dan metasedimen.

### Peta Konduktan

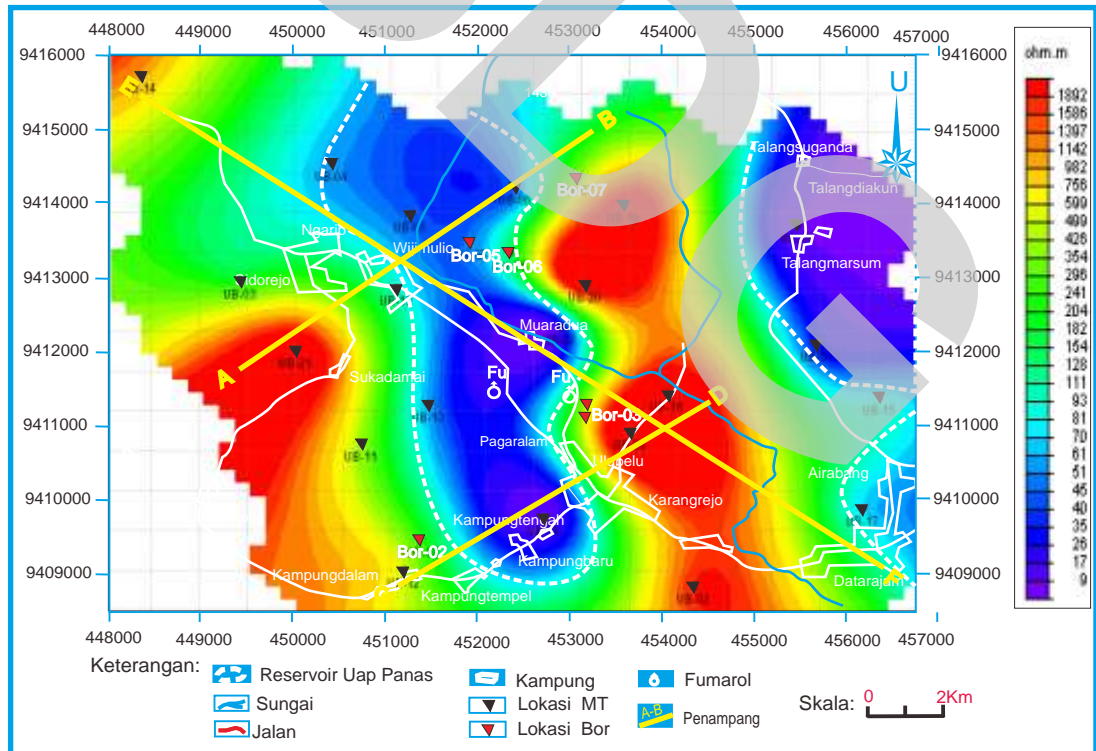
Peta konduktan dapat dipakai sebagai pembanding peta tahanan jenis. Tahanan jenis rendah umumnya ditandai dengan konduktan tinggi, dan sebaliknya tahanan jenis tinggi ditandai dengan konduktan rendah. Peta konduktan dibuat pada kedalaman 500m, 1000m, 1500m, 2000m, dan 2500m. Peta konduktan kedalaman 500 m (Gambar 13) memperlihatkan daerah konduktif rendah dengan nilai antara 0-50 siemens, yang terbentuk di dua tempat, yaitu di sekitar daerah mata air panas Pagaralam dan di mata air panas Datarajam di selatan. Lapisan konduktan rendah tersebut menggambarkan lempung laterit hasil alterasi hidrotermal yang jenuh air, dan dapat berfungsi sebagai lapisan penudung (*cap rock*).

Peta konduktan kedalaman 1000 m hingga kedalaman 2500 m (Gambar 14, 15) memperlihatkan perubahan konduktif, dari tinggi ke rendah. Daerah konduktan tinggi antara 50-250 siemens terdapat di tiga tempat, yaitu di sekitar mata air panas Pagaralam, Datarajam, dan daerah Talangdikum yang lokasi daerah reservoirnya sama dengan penampakan pada peta tahanan jenis. Korelasi antara peta tahanan jenis dan peta konduktan hingga kedalaman 2500 m menunjukkan daerah reservoir. Akan tetapi di daerah selatan Gunung Rendingan pada peta tahanan jenis kedalaman 1500 m hingga 2500 m diduga terkait dengan uap panas bumi. Peta konduktan di daerah tersebut memperlihatkan konduktan rendah. Adanya perbedaan ini diakibatkan oleh titik *sounding* ke arah Gunung Rendingan masih kurang, dan kemungkinan lain terdapat perbedaan tingkat kejenuhan lapisan pembawa uap. Secara umum, daerah konduktan tinggi dan tahanan jenis rendah pada kedalaman 1250 m hingga 2500 m mengindikasikan daerah reservoir uap panas bumi.

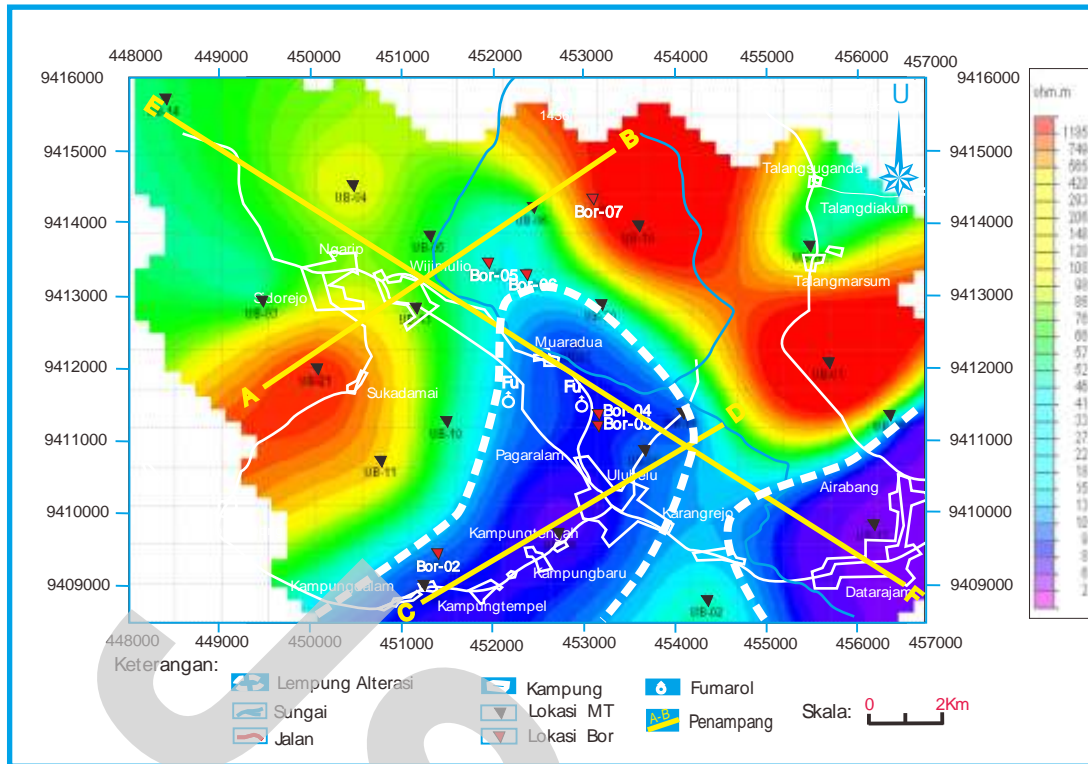
Urutan batuan reservoir berdasarkan pengukuran MT ini, dari kedalaman 0 – 2500 m (Gambar 16) dengan tahanan jenis rendah dengan nilai 0-15 Ohm-m berfungsi sebagai batuan tudung. Batuan reservoir yang mempunyai nilai antara 15-40 Ohm-m, terdapat pada kedalaman 1250-2500 m. Nilai konduktan 0-50 siemens pada kedalaman 500 m (Gambar 17) terdiri atas batulempung teralterasi, dan nilai konduktan 50-250 siemens diduga merupakan batuan reservoir, sesuai dengan peta tahanan jenis.



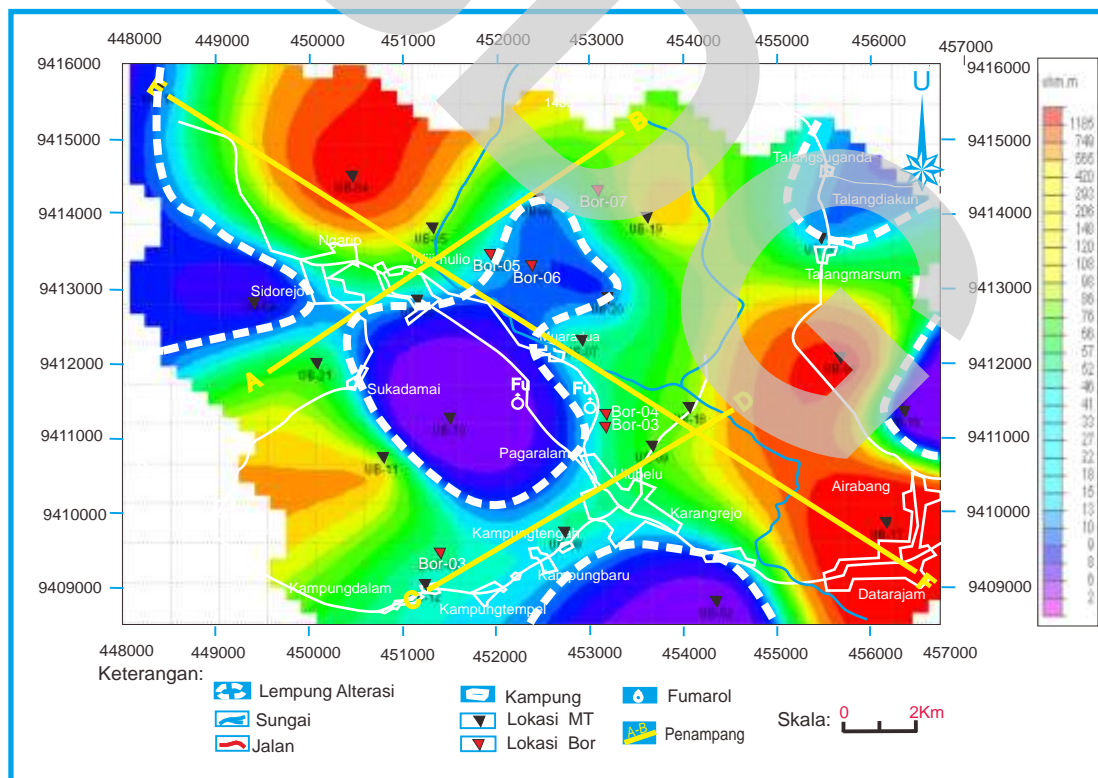
Gambar 8. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 1000 m memperlihatkan daerah tahanan jenis rendah < 15 Ohm-meter masih terbentuk di daerah mata air panas Pagaralam Baratdaya-Timur laut sebagai lapisan penutupi menutupi lapisan reservoir di bawahnya dan tahanan jenis tinggi > 1000 Ohm-meter diduga masih breksi vulkanik atau metasedimen.



Gambar 9. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 1500 m memperlihatkan daerah reservoir uap panas antara 15-40 Ohm-meter membentuk dua kelompok sekitar mata air panas Pagaralam di daerah *graben* membentuk reservoir yang sesungguhnya karena daerahnya sudah sama dan tidak berubah hingga kedalaman 2500 m tersebut dan batuan resistif > 1000 Ohm-meter terdapat sebelah barat dan timur *graben*. kedalaman 0 meter oleh breksi vulkanik.

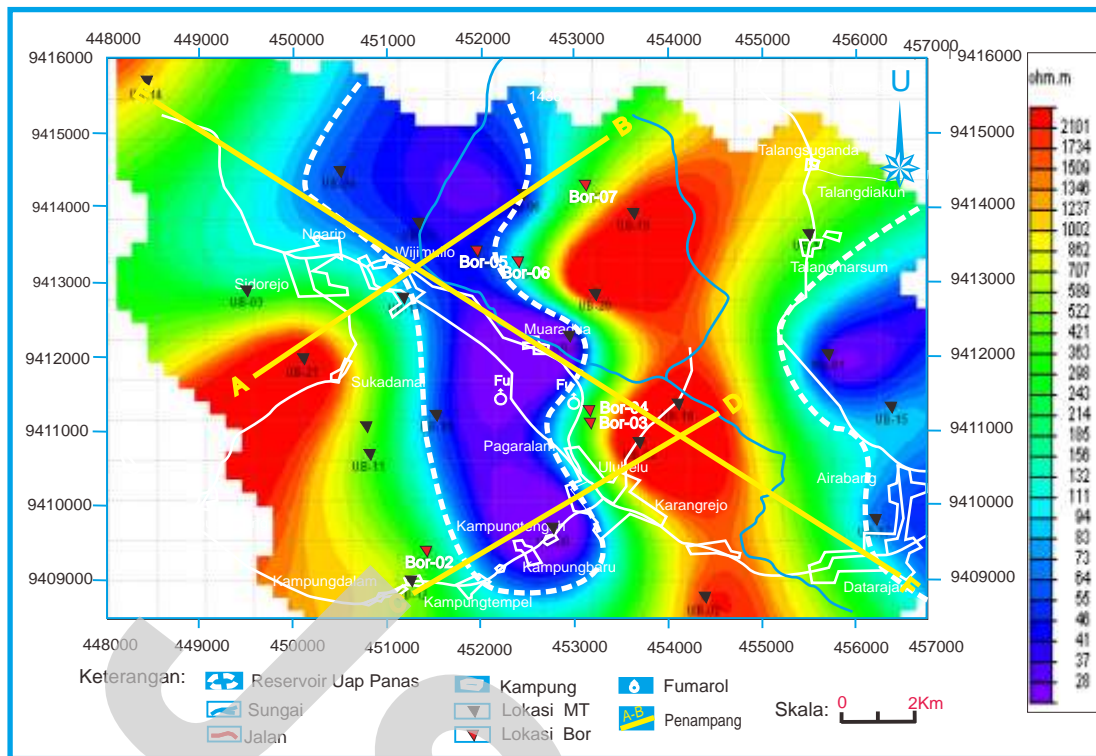


Gambar 6. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 0 m memperlihatkan nilai tahanan jenis rendah yang konduktif < 10 Ohm meter terdapat di daerah mata air panas hingga BOR-03 dan BOR-04 yang jenuh air dari lempung alterasi, daerah resistif warna merah terdiri atas material breksi vulkanik Gunung Rendingan.

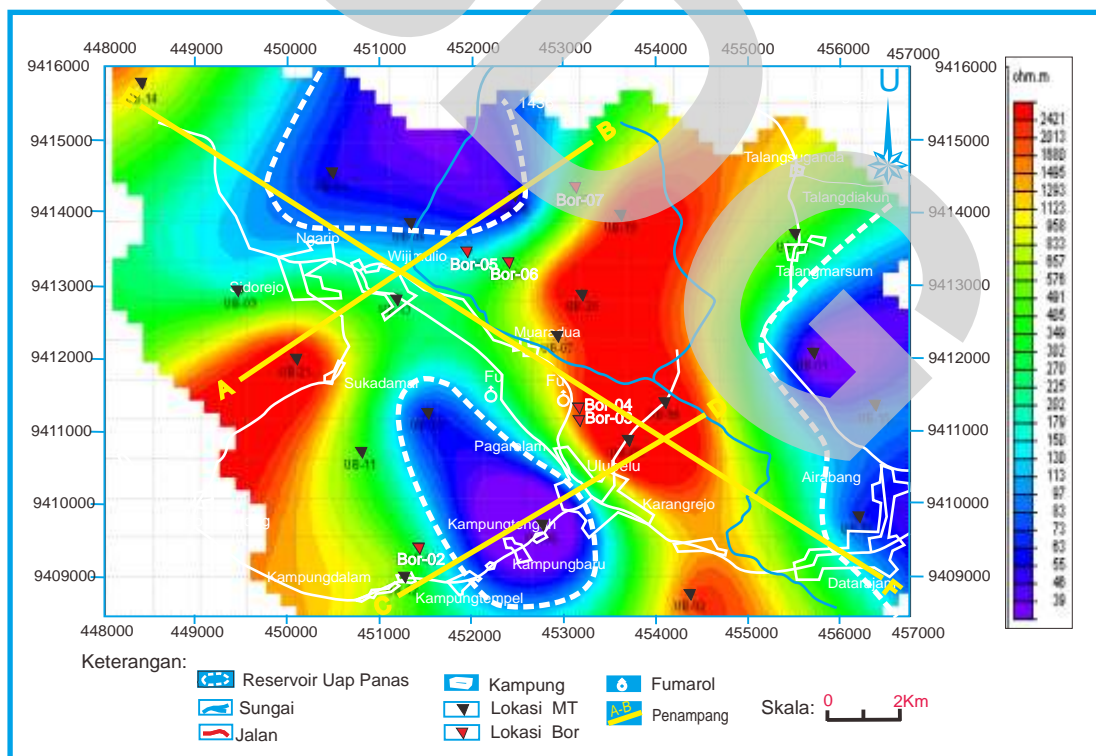


Gambar 7. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 500m memperlihatkan sebaran batuan bertahanan jenis rendah dari < 10 Ohm meter masih terdapat di daerah mata air panas Barat laut - Tenggara di daerah graben, dari lempung alterasi, daerah resistif masih sama dengan kedalaman 0 meter oleh breksi vulkanik.

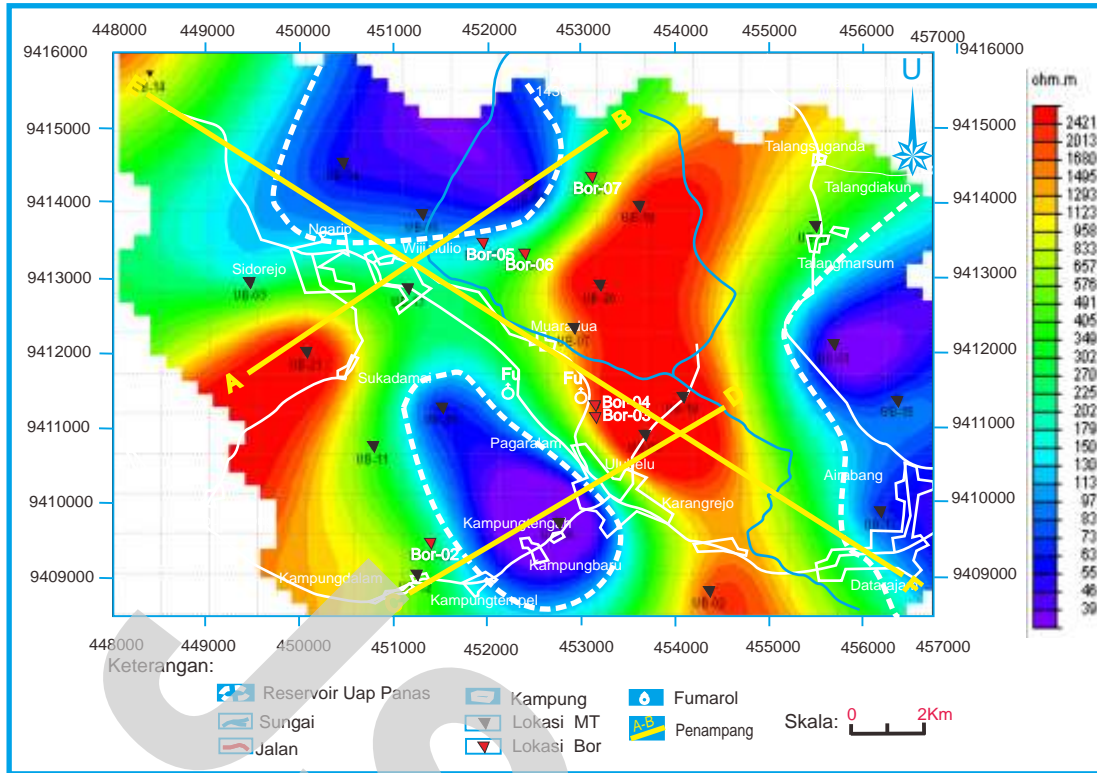




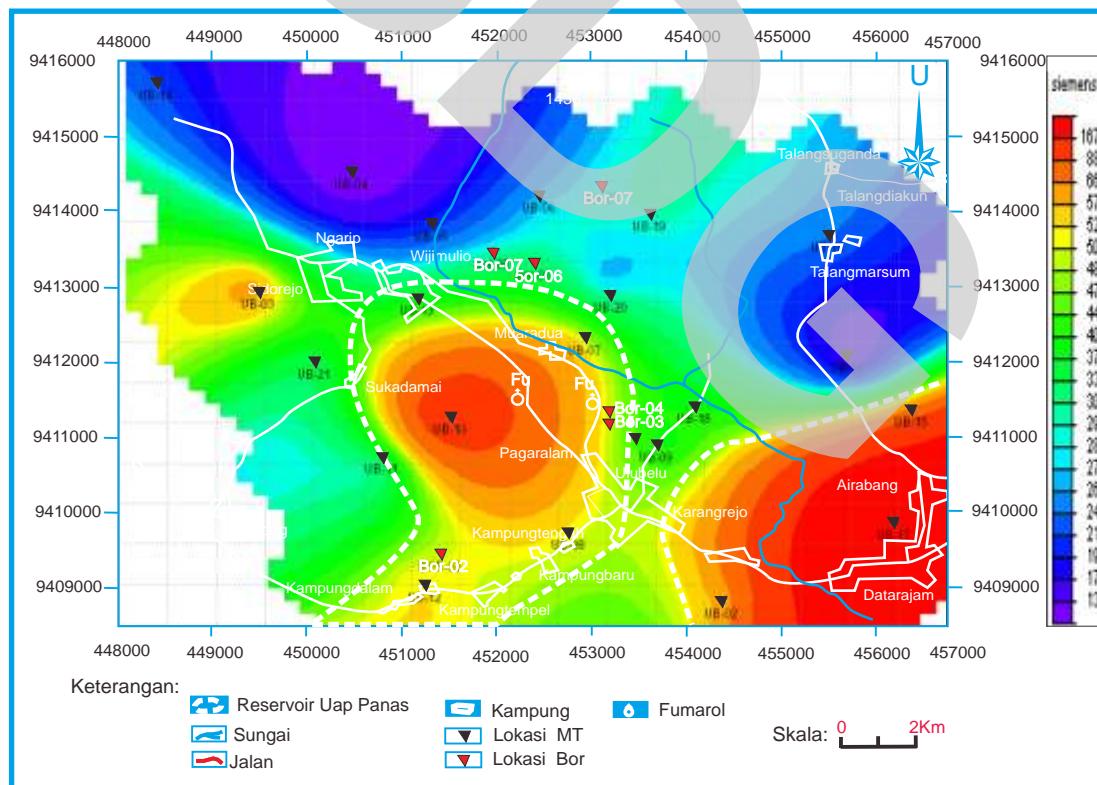
Gambar 10. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 1750 m memperlihatkan lapisan daerah reservoir 28-60 Ohm-meter di daerah *graben* hingga kedalaman 2500 m batuan reservoir terbentuk di daerah yang sama daerah resistif >1000 Ohm-meter tetap berada sebelah barat dan timur *graben*.



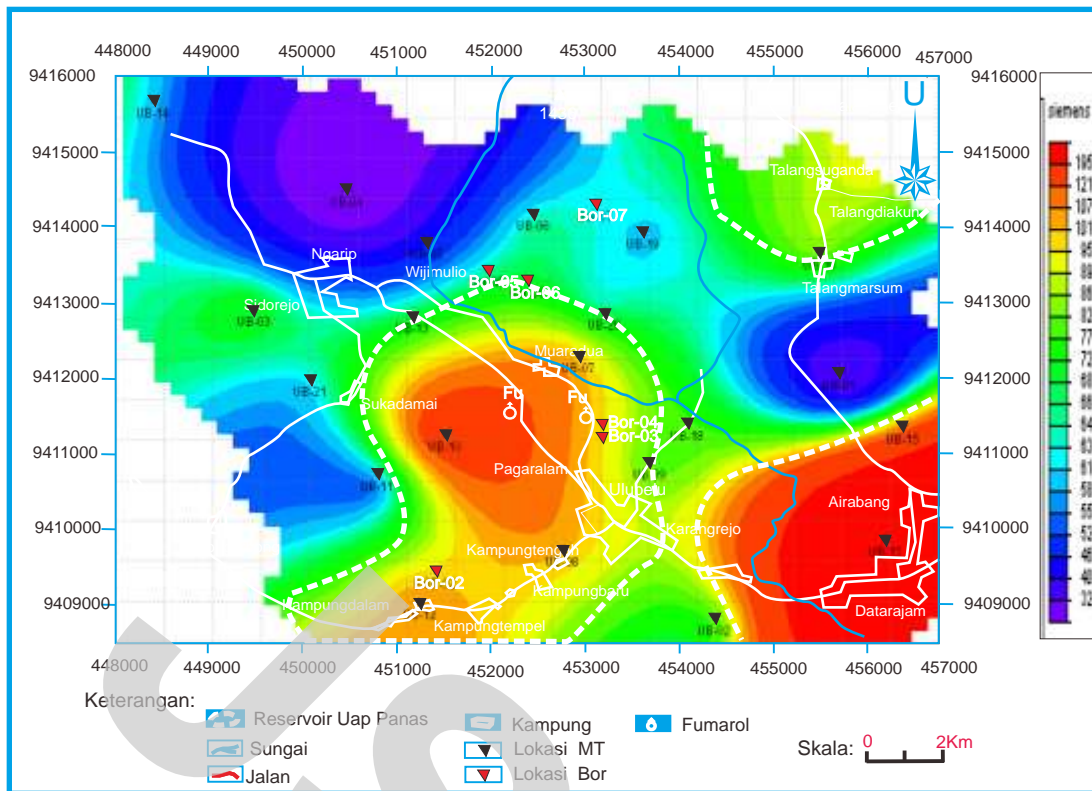
Gambar 11. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 2000 m memperlihatkan daerah tahanan jenis 39-70 Ohm-meter sebagai batuan reservoir membentuk tiga kelompok, yaitu sekitar mata air panas Pagaralam, selatan Gunung Rendingan di daerah *graben* dan Talangdikum. Daerah resistif >1000 Ohm-m masih dibentuk oleh karbonat meta di daerah yang sama sebelah barat dan timur *graben*.



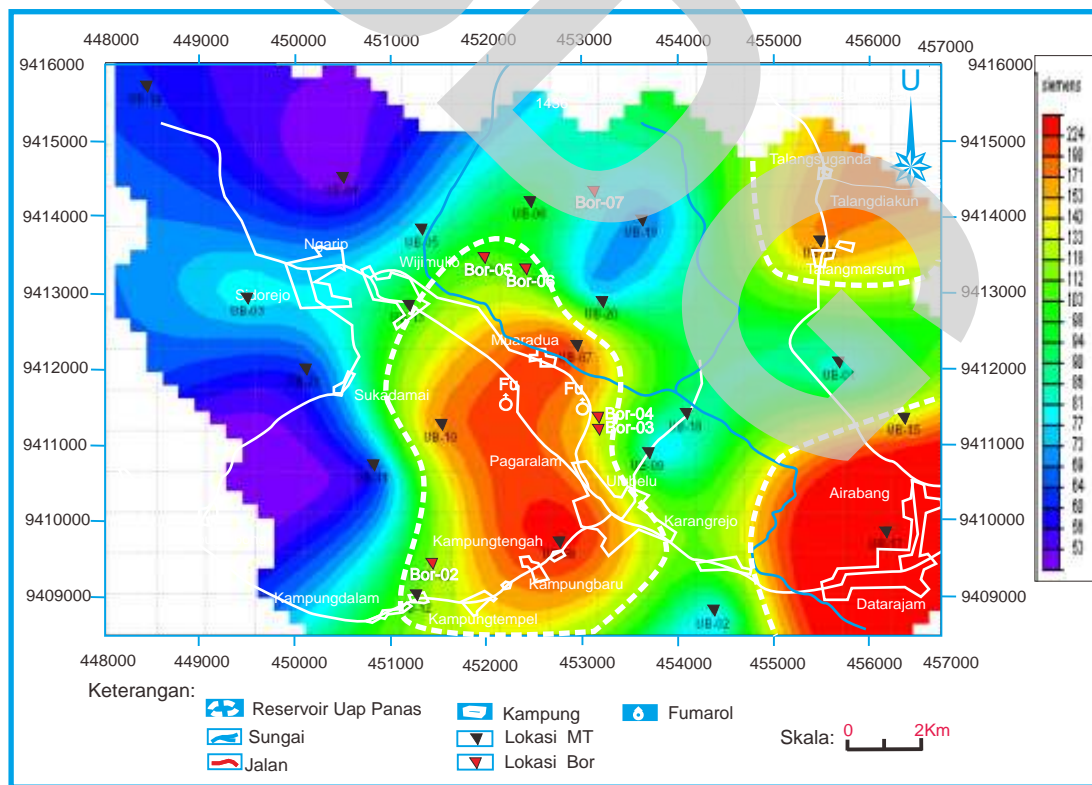
Gambar 12. Peta tahanan jenis 2D-Inversi kedalaman 2500 m memperlihatkan daerah reservoir uap panas masih terbentuk sama antara 39-70 Ohm-m juga daerah resistif > 1000 Ohm-m masih terdapat di daerah yang sama hingga kedalaman 3000 m.



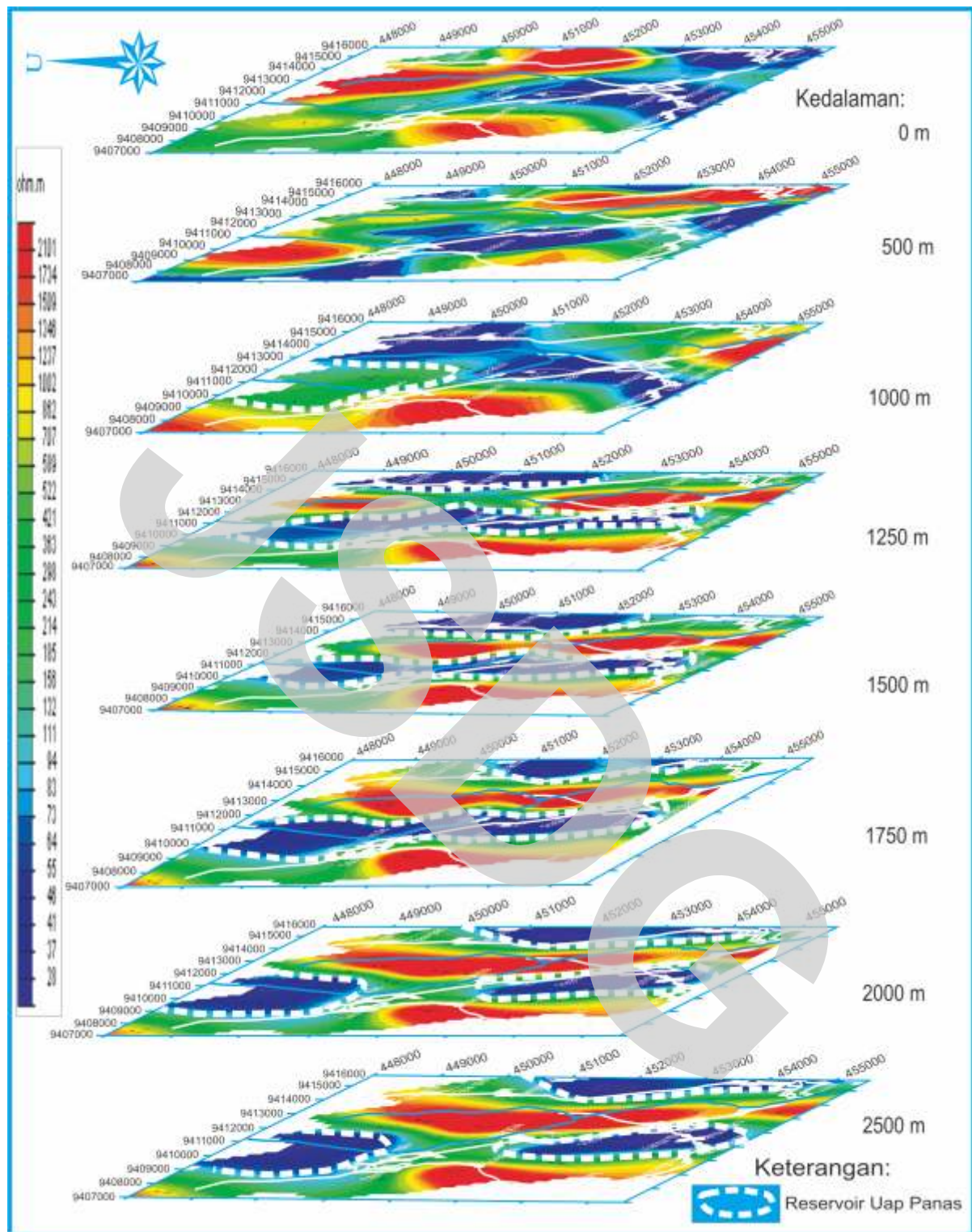
Gambar 13. Peta konduktan 2D-Inversi kedalaman 500 m memperlihatkan daerah konduktan 50-200 siemens terdapat di daerah mata air panas Pagaram dan mata air panas selatan Datarajam yang terkait dengan alterasi dan manifestasi uap panas. Konduktan rendah 0-50 siemens terdapat di utara dan timur.



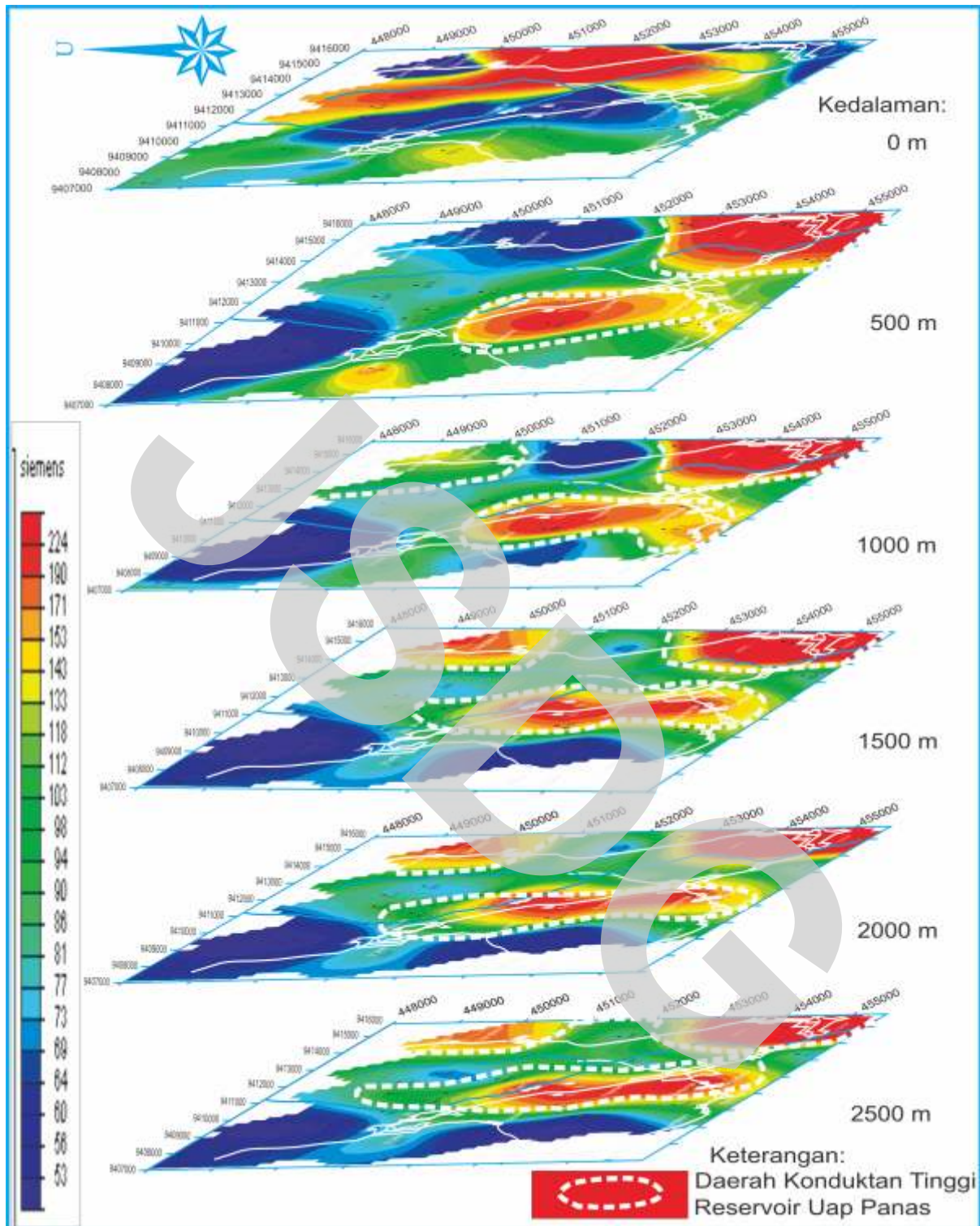
Gambar 14. Peta konduktan 2D-Inversi kedalaman 1000m memperlihatkan lapisan bertahanan jenis rendah antara 20-70 Ohm-meter sebagai batuan reservoir daerahnya sama dengan yang konduktif 50-200 siemens di sekitar mata air panas di selatan Datarajam dan Talangmarsum membentuk tiga kelompok.



Gambar 15. Peta konduktan 2D-Inversi kedalaman 2500 m memperlihatkan daerah yang masih sama dengan peta konduktan kedalaman 1000 m terbentuk 50-250 siemens merupakan daerah reservoir uap panas dengan indikator sama dengan peta tahanan jenis. Ternyata daerah reservoir uap panas ditandai tahanan jenis 15-70 Ohm-meter dengan nilai konduktan di atas.



Gambar 16. Peta reservoir tahanan jenis 2D-Inversi ketebalan lapisan dari 0 - 1250 m ditandai dengan nilai tahanan jenis yang bervariasi dari 0-15 Ohm-meter merupakan lapisan penuding *soil* alterasi. Kedalaman 1250-2500 m merupakan reservoir uap panas yang terbentuk di daerah *graben* pada tahanan jenis antara 15-40 Ohm-meter terbentuk daerah *graben* dan Datarajam. Daerah resistif >1000 Ohm-meter terdapat sebelah barat dan timur *graben* yang tidak terkait dengan uap panas bumi.



Gambar 17. Peta konduktan 2D-Inversi yang memperlihatkan daerah konduktif tinggi berhubungan langsung dengan reservoir panas bumi antara 50-250 siemens. Daerah reservoir sama dengan tampilan pada peta tananan jenis sehingga ke dua model peta ini sama-sama melokalisasi uap panas bumi di daerah *graben* dan Talangdikum dan Datarajam. Daerah yang tidak konduktif terbentuk di daerah sebelah barat dan timur *graben* antara 0-50 siemens.

## Penampang Tahanan Jenis A – B

Penampang 2D-Inversi adalah harga resistivitas sebenarnya (*2D true resistivity*) yang merupakan hasil akhir pemodelan. Panjang penampang A-B (Gambar 18) berkisar 6 km, berarah barat daya-timur laut yang dibuat tegak lurus terhadap struktur *graben* yang berarah barat laut-tenggara. Antara peta tahanan jenis dan penampang tahanan jenis terdapat perbedaan kecil. Nilai tahanan jenis diakibatkan oleh ketebalan lapisan, sedangkan tahanan jenis yang sebenarnya (lihat peta tahanan jenis) dipisahkan menjadi beberapa lapisan dan kedalaman yang dikorelasikan dengan geologi setempat maupun geologi regional.

Lapisan tahanan jenis penutup terdiri atas dua nilai resistivitas, yaitu antara 0-15 Ohm-m sebagai lempung teralterasi dan nilai tinggi 1000 – 2500 m terdiri atas breksi vulkanik di daerah robohan *graben* di sebelah barat penampang. Di lokasi BOR-06 atau UB-06 dengan tahanan jenis tinggi, di permukaan dicerminkan oleh material vulkanik piroklastik Gunung Rendingan.

Lapisan nilai tahanan jenis rendah < 28 m, dengan ketebalan ± 0-1200 m tersebar di sebelah barat-timur penampang, menipis di daerah *graben*. Penyebab resistivitas rendah tersebut adalah alterasi lempung (*clay alteration*) dari batuan piroklastik Gunung Rendingan di sepanjang bidang sesar atau rekahan-rekahan yang terbentuk di lembah *graben* Ulubelu. Lapisan ini ditafsirkan sebagai lapisan penutup (*cap rock*) yang mempunyai kelulusan kecil (*impermeable*).

Lapisan ke dua tahanan jenis 28 -70 m sebagai resistivitas sedang yang dipercaya sebagai batuan reservoir utama. Mulyadi (2000) menafsirkan batuan reservoir bernilai 75 m (Gambar 21), mempunyai kelulusan tinggi (*permeable*) atau porositas tinggi yang tersusun oleh batuan sedimen Tersier, terletak hingga kedalaman 2500 m. Ketebalan lapisan batuan reservoir pada penampang bagian tengah di daerah *graben* sekitar 800 m dan ke arah barat dan ke timur penampang menipis (± 200 m).

Lapisan ke tiga mempunyai tahanan jenis 70 – 600 m, ketebalan lapisan antara 1000 – 2000 m, terbentuk pada bagian tengah *graben*, terdapat hingga kedalaman ± 3000 m, dan lapisan ini tidak terkait lagi dengan batuan reservoir. Lapisan tersebut diduga sebagai batuan sedimen Tersier,

yang tersusun oleh selang-seling batulanau, batulempung, dan batupasir cukup tebal, membentuk lipatan landai membaji ke arah barat dan timur yang tidak terkait lagi dengan batuan reservoir.

Lapisan ke empat mempunyai tahanan jenis 600-1000 m (warna hijau) yang terkonsentrasi di bagian tengah *graben*, membentuk perlapisan tegak yang mencirikan sesar naik. Batuan ini dapat dikorelasikan dengan batuan metasedimen *flysch* yang terdiri atas batulumpur, dan batulanau selang-seling dengan batupasir yang telah mengalami metamorfosis dan dipisahkan oleh bidang ketidakselarasan, yaitu lapisan mendatar dengan lapisan tegak.

Kelompok batuan yang mempunyai tahanan jenis >1000, dan m pada umumnya terdapat di sebelah barat dan timur *graben* (warna kuning kemerahan) dan ditafsirkan sebagai batuan alas yang terdiri atas batuan karbonat meta seperti yang tersingkap di daerah mata air panas Pagaralam (Sunaryo dan Edy, Komunikasi lisan, 2009) m. BOR-4 pada kedalaman 1500 menembus batuan sedimen meta, dan akhirnya pemboran dihentikan. Tahanan jenis tinggi pada sisi barat-timur *graben* cukup dangkal, dan bentuk anomali tersebut membentuk lapisan-lapisan tahanan jenis tegak yang mencirikan perlapisan batuan sedimen meta sesuai dengan geologi regional.

## Penampang Tahanan Jenis C – D

Penampang ini mempunyai panjang ± 7 km, dengan arah barat daya-timur laut (Gambar 19), dan memotong struktur *graben* di bagian selatan. Penampang di daerah ini hampir sama dengan penampang A-B.

Lapisan tahanan jenis antara 0 – 15 m dengan kedalaman dari 0 – 1000 m, di sepanjang penampang membentuk lapisan penutup (*cap rock*) yang terdiri atas alterasi lempung, sehingga uap panas tidak dapat merembes ke atas.

Lapisan tahanan jenis antara 15 – 70 m diduga sebagai batuan reservoir yang cukup tebal, dan terkonsentrasi di daerah *graben* dengan ketebalan sekitar 800 m, dan menipis ke arah barat dan timur penampang. Perlapisan batuan bertahanan jenis antara 70-600 m dan tahanan jenis 600-1000 m warna biru terlihat hingga kedalaman 14000 m, membentuk satu lapisan tebal dan tegak yang diduga

sebagai batuan sedimen meta *flysch* dengan perlapisan tegak dan berulang. Perlapisan tahanan jenis >1000 m diduga masih sama dengan penampang di atas, yaitu batuan karbonat meta.

#### *Penampang Tahanan Jenis E – F*

Penampang ini mempunyai panjang sekitar 9500 m, dengan arah barat laut-tenggara (Gambar 20) sejajar *graben* Ulubelu. Lapisan penudung bertahanan jenis rendah, mempunyai tahanan jenis kecil antara 0-8 m yang terdiri atas lempung alterasi. Batuan reservoir bertahanan jenis sedang dengan nilai 8-32 m, dan terbentuk di daerah *graben* yang tampilannya relatif sama dengan penampang C-D. Lapisan bertahanan jenis 32-600 m, membentuk lapisan vertikal hingga kedalaman 14000 m, dan bila ditelusuri pada penampang pseudo-section kedalaman anomali ini tidak terhingga. Tahanan jenis ini seolah-olah menggambarkan *graben*, menerus hingga kedalaman lebih dari 14000 m yang kemungkinan berhubungan dengan lubang kepundan, yang memanjang ke arah Gunung Rendingan, sedangkan daerah resistif masih terdapat di sebelah barat dan timur penampang yang tersusun oleh batuan sedimen meta.

#### *Korelasi MT dengan Bor*

Penelitian dengan metode MT yang melokalisasi lapisan reservoir dan struktur perangkap dicoba dikorelasikan dengan hasil pemboran sebagai pembanding terbentuknya uap panas di daerah ini. Data kedalaman pemboran dan deskripsi batuan dapat dipakai sebagai data pembanding karena dapat melihat langsung sejauh mana kebenaran aplikasi metode ini. Berdasarkan hal tersebut, metode ini dapat berfungsi sebagai suatu metode eksplorasi awal dalam menentukan letak titik pemboran. Maka pendekatan pemodelan-pemodelan yang menggunakan perangkat lunak ini dapat dipakai untuk menganalisis data dalam eksplorasi panas bumi secara lebih akurat.

BOR-02: Terletak di utara UB-12 Kampungdalam (Gambar 19, penampang C-D). Daerah ini termasuk blok Kukusan (Mulyadi, 2000). Peta tahanan jenis kedalaman 1000 m menunjukkan batuan reservoir bertahanan jenis 15 – 70 m. Letak titik pemboran UB-2 pada penampang terletak di daerah selatan, di luar zona *graben* Ulubelu. Fraksi uap panas di daerah ini masih ada, tetapi gradien temperatur reservoir menurun hingga 210°C pada kedalaman 1200 m

(Sunaryo, dr., 1993). Diduga lokasinya sudah jauh dari *graben* uap panas Ulubelu, dan reservoir tersebut diduga berasosiasi dengan pembawa panas Gunung Kukusan. Peta konduktan pada kedalaman yang sama menunjukkan lapisan konduktif sedang. Uap panas di daerah ini terbentuk pada kedalaman di bawah 1000 m. Korelasi data BOR-UB-01 dengan data MT (Gambar 21), menunjukkan batuan reservoir bertahanan jenis 70 m terbentuk mulai kedalaman 800 m.

BOR-03 dan BOR-04: Terletak di sekitar mata air panas Pagaralam (Gambar 20, penampang E-F), lokasinya berdekatan dan termasuk ke blok I Gunung Rendingan. Pemboran dangkal BOR-03 dengan kedalaman 600 m (Mulyadi, 2000) memperlihatkan data uap panas dengan suhu mencapai 260 °C, ditutupi oleh lempung alterasi sebagai lapisan penudung bertahanan jenis rendah antara 0-10 m. BOR-04 menembus bidang sesar di sebelah timur yang tersusun oleh batuan karbonat meta, kedalaman 1500 m ditandai dengan tahanan jenis tinggi dan sudah tidak konduktif (Bambang dan Edy, Komunikasi lisan, 2009).

BOR-05: Terletak di timur laut Wijimulio (Gambar 20, penampang E-F). Pada peta tahanan jenis terletak di sebelah barat *graben*, bertahanan jenis tinggi >1000 m. Di permukaan tersingkap breksi vulkanik, ketebalan lapisan pada penampang berkisar 1200 m. Pada peta tahanan jenis kedalaman 1500 m sesuai dengan penampang membentuk batuan reservoir 8 – 32 m. Pemboran uap panas di daerah ini dapat dilakukan dengan baik, dan untuk menambah daya sebaiknya pemboran miring dikembangkan ke arah barat *graben*. Ke arah timur dengan jarak  $\pm$  400 m terdapat bongkah-bongkah besar breksi vulkanik Gunung Rendingan yang kemungkinan bisa menyebabkan mata bor terjepit seperti pada BOR-06.

BOR-06: Terletak di tenggara BOR-05 dan berjarak  $\pm$  200 m. Posisi titik bor pada peta tahanan jenis terletak pada kedalaman 1500 (Gambar 20 penampang E-F dan A-B), dan sudah mendekati daerah bertahanan jenis tinggi. BOR-06 dihentikan karena terjepit yang diduga disebabkan oleh breksi vulkanik yang banyak mengandung bongkah-bongkah besar dan sangat labil, serta terbentuk di daerah alterasi lempung. Reservoir di bawah titik bor tersebut sebenarnya cukup potensial, pada kedalaman 1500 m dan bertahanan jenis 8-32 m.

BOR-07: Pada saat penelitian ini, pembuatan pondasi bor sedang dilakukan dan terletak di sebelah timur UB-06 atau di tenggara kaki Gunung Rendingan. Pada peta tahanan jenis kedalaman 1750 m, posisi bor berada di luar *graben* di sebelah timur, dan terletak antara lapisan tahanan jenis rendah dan tinggi. Pada penampang A-B rencana lokasi titik pemboran ini akan menerobos breksi vulkanik yang stabil, sehingga tidak menyebabkan bor terjepit. Batuan reservoir pada BOR-06 mempunyai tahanan jenis 28-70 m, dan terbentuk pada kedalaman  $\pm$  1500 m.

#### *Model Reservoir Uap Panas*

Adanya perangkat uap panas (Gambar 22) dicirikan oleh manifestasi air panas dan fumarol di dua lokasi, yaitu di Pagaralam dan selatan Datarajam. Penampakan peta tahanan jenis lapisan penudung (*cap rock*) yang kedap air (*impermeable*) bernilai 0 - 15 m. Lapisan tersebut terhampar luas di zona *graben* Ulubelu dengan arah barat laut – tenggara yang terdiri atas alterasi lempung. Korelasi batuan reservoir uap panas pada peta tahanan jenis dengan penampang mempunyai nilai yang bervariasi antara 15 - 70 m, dan terkonsentrasi di daerah *graben*, pada kedalaman 1250 – 2000 m (Gambar 22 a, b, c, d). Reservoir uap panas di daerah ini dapat dibagi dua kelompok, yaitu Blok I di selatan Gunung Rendingan. Di daerah Wijomulio dengan klosur terbuka ke arah utara *graben* Ulubelu di sekitar mata air panas Pagaralam, Kampung Tengah, dan Blok II terletak di sebelah timur daerah Talangmarsum hingga ke selatan Airabang dan Datarajam. Kedua blok tersebut di atas dikenal sebagai daerah pembawa uap panas bumi di daerah ini dan berhubungan langsung dengan struktur robohan (*collapse structure*) yang mengontrol terbentuknya perangkat reservoir. Batuan reservoir yang terbentuk di luar *graben* umumnya tipis. Blok I membentuk fluida reservoir sebagai *zona up flow* (Mulyadi, 2000) dengan temperatur reservoir 260°C dan mengandung 80% fraksi uap (Masdjuk dan Muchsin drr., 1989). Penampakan tersebut pada peta anomali sisa gaya berat menunjukkan nilai – 8 mgal. Hal ini mengindikasikan bahwa batuan reservoir terbentuk di daerah *graben*. Batuan reservoir tersebut sebagai Formasi Sula yang merupakan batuan tertua di daerah Ulubelu (Mulyadi, 2000). Lapisan penudung *clay cap* (*cap rock*) berasal dari alterasi lempung dari Formasi Rendingan, yang menutupi lapisan uap panas. Pada peta konduktan,

daerah reservoir uap panas tersebut mempunyai nilai 50-250 siemens dan lokasinya sama dengan peta tahanan jenis. Daerah reservoir di selatan Gunung Rendingan tidak tampak pada peta konduktan. Hal ini mungkin karena tidak ada titik *sounding* ke arah utara, dan daerahnya tidak sebasah di mata air panas. Batuan bertahanan jenis > 1000 m diduga sebagai hasil pensesaran batuan Pratersier yang terlipat kuat, dan membentuk sesar naik. Peneliti sebelumnya mengatakan bahwa sumber panas biasanya berasosiasi dengan pluton, tapi di daerah ini tidak ditemukan. Tahanan jenis tinggi tersebut sesuai dengan geologi regional yang terdiri atas batuan sedimen meta atau pendangkalan magma, yang berfungsi sebagai sumber panas (Gambar 24) dari kerucut-kerucut Gunung Api parasiter Gunung Rendingan.

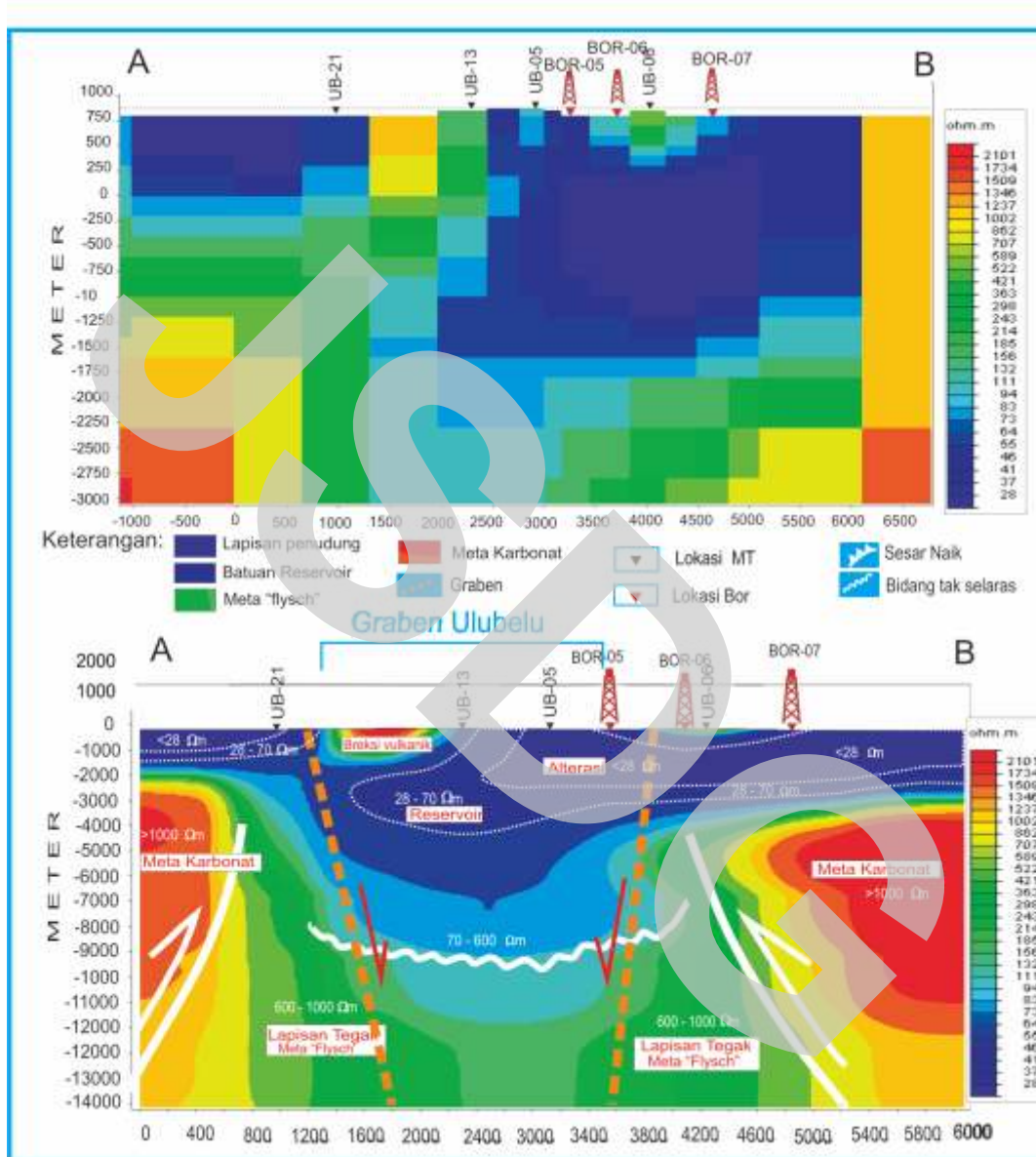
#### *Pemodelan Geologi Sederhana Uap Panas*

Orogenesis utama Plio-Plistosen membentuk lipatan tegak regional dengan sumbu lipatan barat laut-tenggara di seluruh lajur busur belakang. Struktur tersebut diduga terbentuk pada batuan sedimen meta *flysch* bertahanan jenis dari 200 -600 m. Runtunan batuan sedimen meta terdiri atas selang seling batulumpur dan batulanau. Struktur yang terbentuk ke arah mendatar dapat dilihat pada peta tahanan jenis kedalaman 1500 m, dan dikorelasikan dengan potret udara (Gambar 23). Lapangan uap panas yang terbentuk dikontrol oleh struktur robohan (*collapse structure*) berupa *graben* dengan arah barat laut-tenggara, yang dipotong oleh sesar mendatar barat daya – timur laut. Struktur lain yang terbentuk di daerah ini adalah perlipatan tegak, bidang ketidakselarasan antara lapisan tegak dan lapisan landai, sesar normal berbentuk *graben*, sesar mendatar dan sesar naik. Indikasi tersebut dapat diamati pada peta tahanan jenis, penampang tahanan jenis bawah permukaan, peta anomali sisa gaya berat, dan adanya mata air panas. Lineasi sesar dari potret udara (Sunaryo drr., 1993) dibentuk oleh morfologi depresi yang berupa *graben*. Pendugaan sesar ini hampir sama dengan hasil interpretasi penelitian MT. Batuan dasar reservoir hingga kedalaman 14 km dibentuk oleh lapisan batuan karbonat meta bertahanan jenis tinggi >1000 m. Korelasi dengan geologi, tahanan jenis tersebut dikenal sebagai runtunan batuan Pratersier yang terdiri atas batuan malihan dan membentuk lipatan berulang, tersesarkan, dan membentuk sesar terbalik yang pada semua penampang perlapisan mencirikan

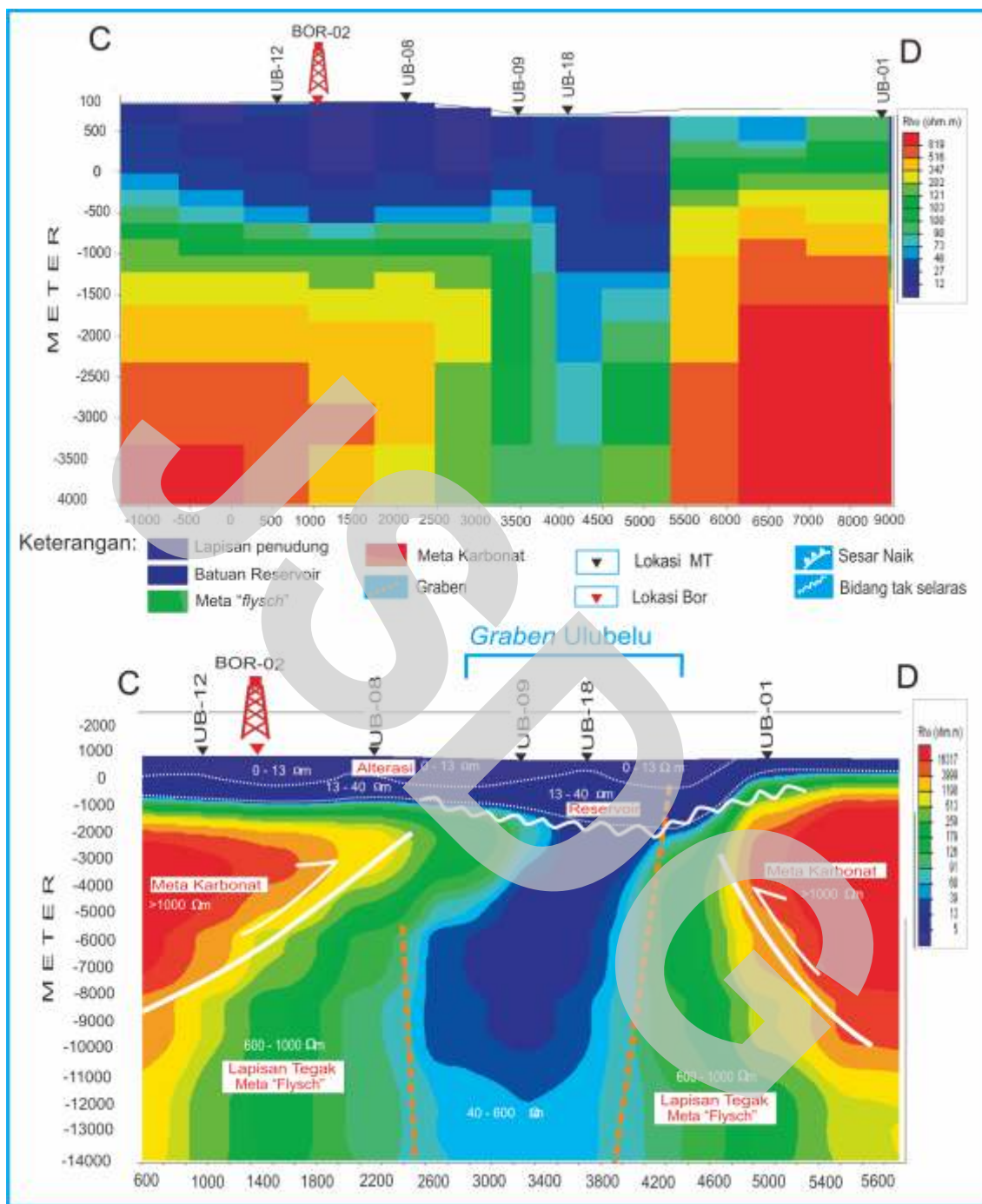


sesar naik. Kemungkinan di beberapa tempat tersingkap hingga di permukaan akibat sesar tersebut atau diakibatkan oleh sesar bongkah sampai pada batuan dasar. Batuan karbonat meta dapat ditemukan di daerah aliran sungai mata air panas di sebelah barat Pagaralam. Batugamping dan napal berubah ditafsirkan bertahanan jenis tinggi >

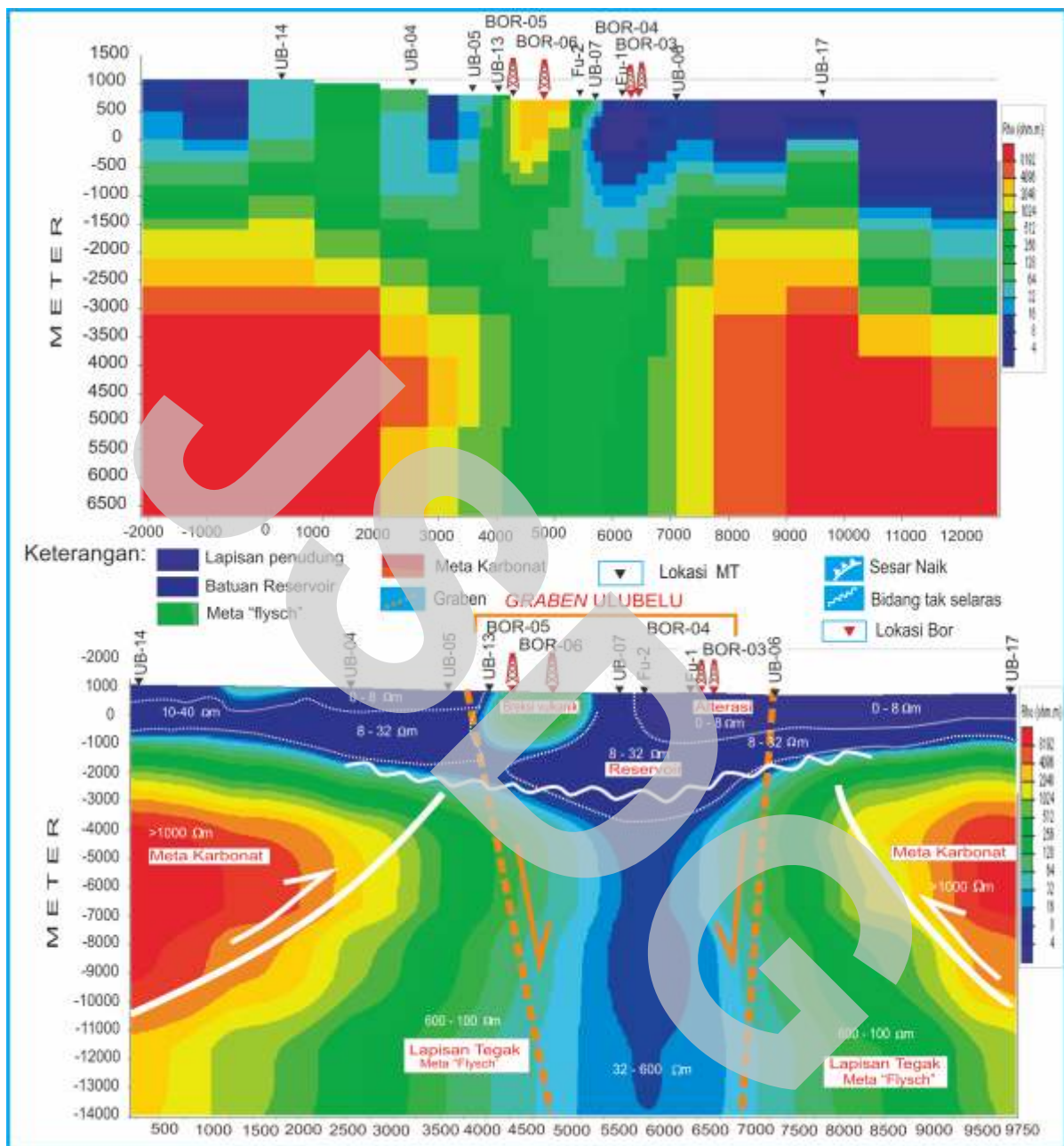
1000 m. Bidang ketidak selarasan terbentuk antara lapisan reservoir uap panas berumur Tersier dan lapisan tegak batuan sedimen *flysch* Pratersier atau batuan karbonat meta dengan batuan alas. Periode pengangkatan di daerah ini ditandai dengan bidang ketidakselarasan antara lapisan tegak dan lapisan mendarat yang terlihat pada penampang.



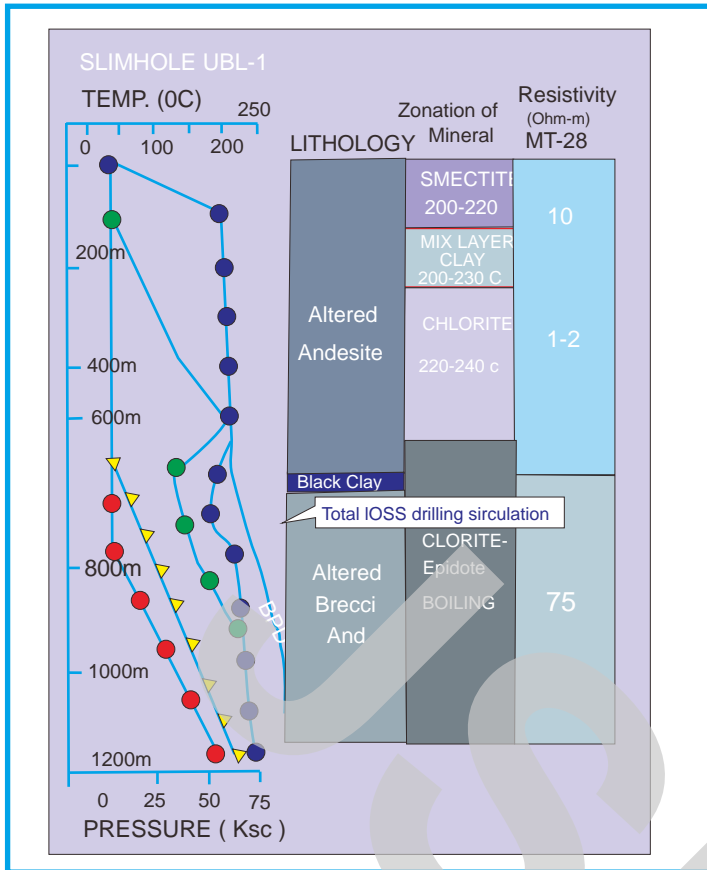
Gambar 18. Gambar atas adalah penampang Pseudo-Section belum di smooting dan gambar bawah penampang A-B 2Dim-Inversi memperlihatkan *graben* Ulubelu bertindak sebagai struktur perangkap uap panas diduga menerus hingga ke G.Rendingan di utara. Penampang di bawah adalah tegak lurus *graben* diperlihatkan oleh batuan reservoir pada tahanan jenis 28 - 70 Ohm-meter terbentuk hingga kedalaman 2000 m dikontrol oleh sesar normal dan sesar naik disebelah barat dan timur. Tahanan jenis 70-600 Ohm-meter diduga sedimen Tersier dan 600 -1000 Ohm meter adalah sedimen meta berbentuk "plysch" lapisan tegak dan >1000 Ohm-meter adalah metakarbonat. Posisi BOR-05 di daerah *graben*, BOR-06 yang terjepit mengenai breksi vulkanik dan bongkah andesitis rencana lokasi BOR-07 di luar berada *graben*, pada gambar atas terindikasi mengenai breksi vulkanik Gunung Rendingan daerah.



Gambar 19. Penampang C - D 2Dim-Inversi gambar atas adalah penampang *Pseudo-Section* memperlihatkan batuan penuding terbentuk di lapisan atas antara 0-13 Ohm-m dan batuan reservoir cukup tebal dari 13-40 Ohm-meter kedalaman 1250 m di daerah *graben* dikontrol oleh sesar normal membentuk perlapisan tegak. Tahanan jenis > 1000 Ohm-meter sebelah barat dan timur terindikasi membentuk sesar naik ari metasedimen, posisi BOR-02 sudah diluar *graben*, kemungkinan temperatur dan tekanan reservoir telah menurun.

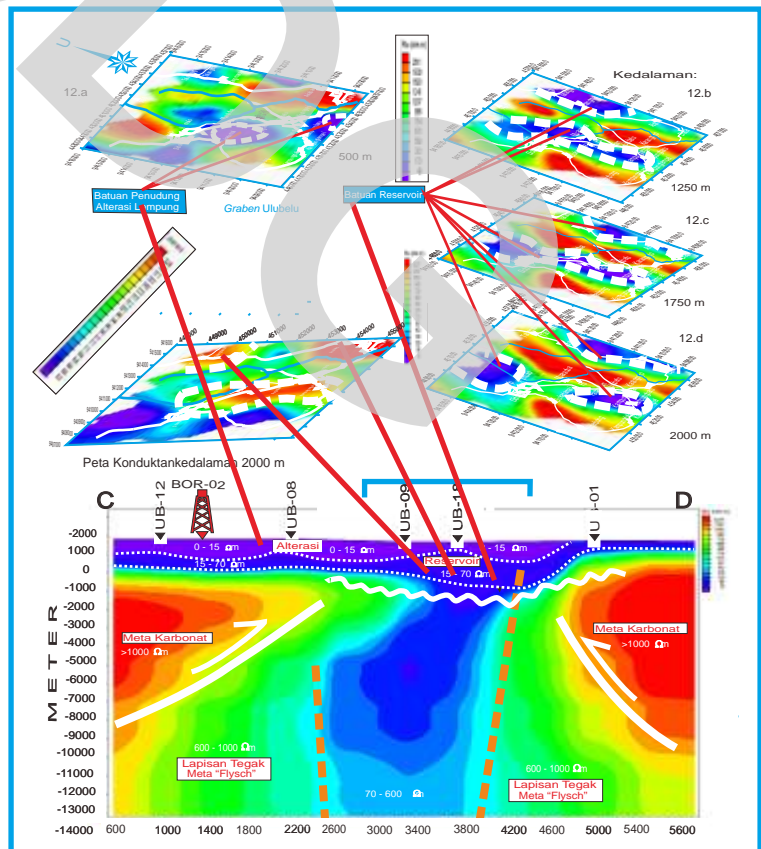


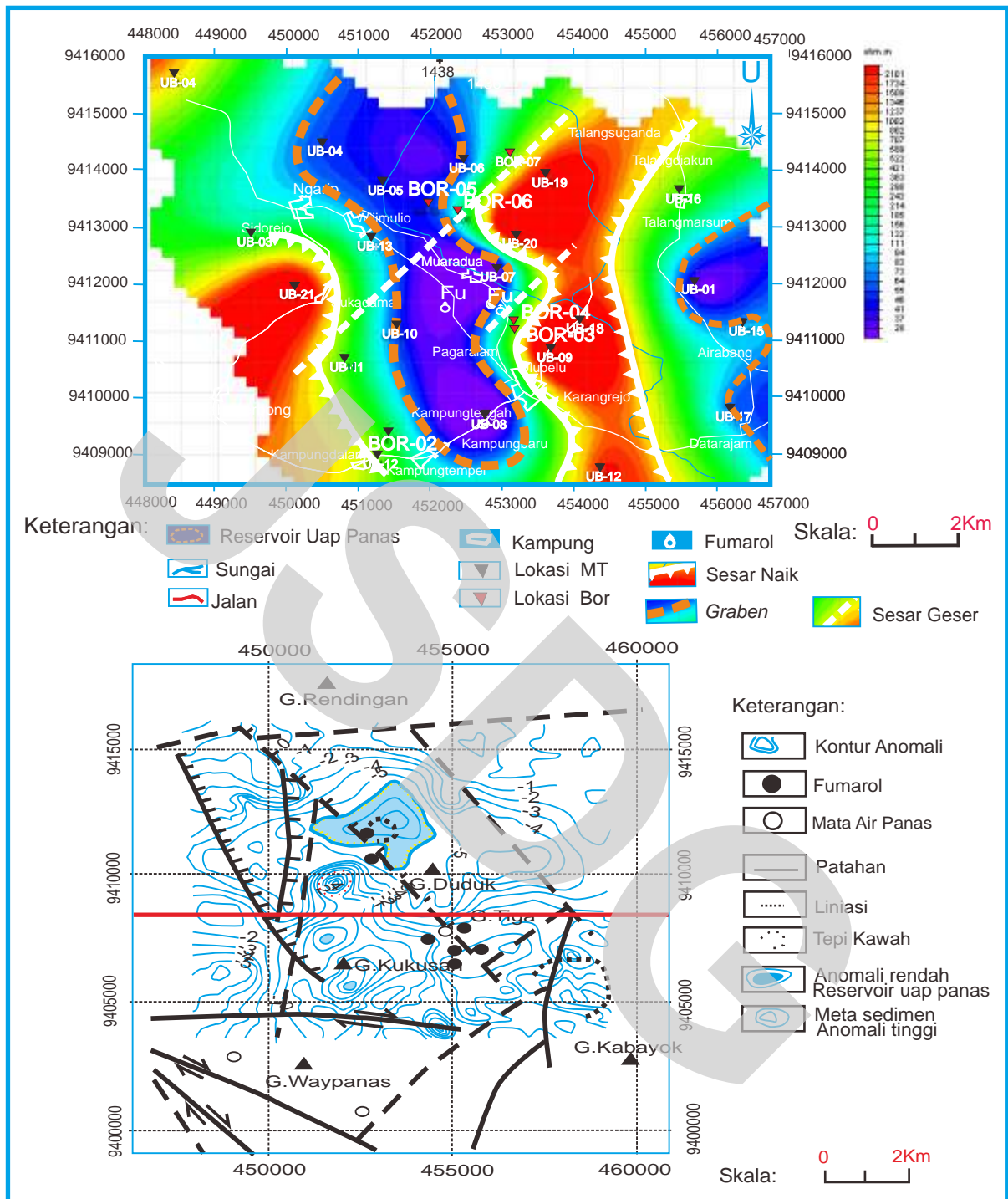
Gambar 20. Penampang tahanan jenis E - F 2Dim-Inversi dan *Pseudo-Section* (gambar atas) sejajar *graben* memperlihatkan batuan tudung 0-8 Ohm-m batuan reservoir memanjang kedaerah selatan hingga ke khaki Gunung Rendingan membentuk *graben* dari sesar normal. Pada sisi barat-timur terbentuk sesar naik batuan metasedimen >1000 Ohm-m. Antara lapisan mendatar dan tegak dibatasi oleh bidang takselaras, posisi BOR- 06 terjepit kemungkinan oleh breksi vulkanik dan bongkahan andesitik. Posisi BOR-04 menembus patahan mengenai metasedimen pada gambar atas (*Pseudo-Section*).



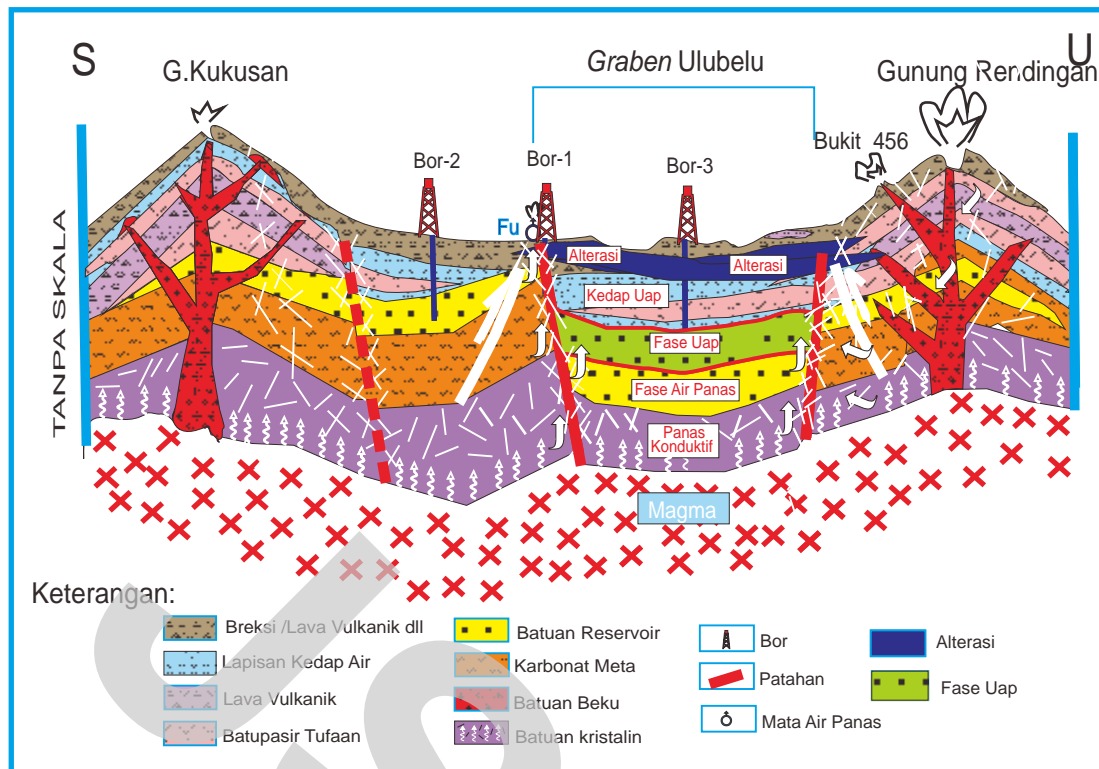
Gambar 21. Korelasi pemboran UBL-3 dengan MT memperlihatkan batuan tuding 0-10 Ohm-m dan reservoir 75 Ohm-meter pada kedalaman di atas 1200 m (Mulyadi, 2000).

Gambar 22. Model reservoir uap panas 2D- Inversi tegak lurus *graben*, penampang C-D dikorelasikan dengan peta tahanan jenis, hubungan batuan tuding dan reservoir arah mendatar dan vertikal terlihat dengan jelas. Tahanan jenis batuan pada lapisan atas 0-15 Ohm m diduga sebagai lapisan kedap air atau batuan penudung alterasi lempung terbentuk di atas reservoir. Lapisan antara 15-70 Ohm m sebagai batuan reservoir mulai dari kedalaman 1250-1750 m. Kedalaman 2000m daerah reservoir terbagi tiga kelompok.





Gambar 23. Korelasi MT kedalaman 1750 m dengan Indra Jauh dan peta anomali sisa (Daud dr., 2000) mencerminkan struktur patahan hampir berimpit dengan MT. Daerah prospek uap panas tercermin dari anomali sisa - 8 mgal yang lokasinya sama dengan tahanan jenis rendah di daerah graben. Metasedimen pada sisi barat-timur ditandai dengan anomali +5 mgal dengan kelurusan-kelurusan pada foto udara.



Gambar 24. Model geologi sederhana lapangan uap panas memperlihatkan struktur graben dan sesar naik terbentuk antara Gunung Rendingan dengan Gunung Kukusan daerah Ulubelu Tanggamus, Lampung Utara.

Kesimpulan

- Tahanan jenis rendah sebagai batuan tudung (*impermeable*) dengan nilai antara 0 – 15 m terdiri atas lempung teralterasi hidrotermal. Tahanan jenis sedang sebagai batuan reservoir (*permeable*) dengan nilai antara 15 – 70 m terdapat di kedalaman 1250 hingga 2500 m. Tahanan jenis tinggi >1000 m terbentuk pada sisi barat dan timur graben yang diduga sebagai karbonat meta.
- Peta tahanan jenis 15-70 m dapat dikorelasikan dengan peta konduktan >180 siemens yang menunjukkan batuan reservoir.
- Daerah reservoir panas bumi dibagi ke dalam dua blok, yaitu Blok-I di daerah zona graben Ulubelu, dan Blok-II sebelah timur di luar graben, di daerah Talangmarsum hingga ke selatan Airabang.
- Perangkat reservoir terkait dengan struktur robohan (*collapse structure*) yang mengontrol terbentuknya fluida reservoir sebagai *up flow* di zona graben Ulubelu arah barat laut-tenggara.

Temperatur reservoir dilaporkan 260°C dengan fraksi uap mengandung 80 %.

- Batuan reservoir bertahanan jenis 15 – 70 m pada peta anomali sisa mempunyai nilai -8 mgal. Batuan bertahanan jenis tinggi >1000 m di sebelah barat dan timur graben terdiri atas batuan sedimen meta dan dicirikan oleh anomali sisa -4 mgal.
- Sumber panas biasanya berasosiasi dengan pluton, namun pluton tersebut tidak ditemukan di daerah ini. Adanya pendangkalan magma gunung api parasiter Gunung Rendingan diduga sebagai sumber panas (Gambar 24).
- 7. Struktur yang terbentuk di daerah ini adalah lipatan landai, lipatan tegak, bidang tidak keselarasan, sesar normal (*graben*), sesar mendatar dan sesar naik (sesar sungkup). Struktur tersebut terindikasi pada peta tahanan jenis, penampang tahanan jenis bawah permukaan, peta anomali sisa, interpretasi foto udara yang membentuk morfologi depresi (*graben*).

- Amin, T.C., Sidarto, S., Santosa dan Gunawan, W., 1993. *Peta Geologi Lembar Kota Agung, Sumatera. Skala 1 : 250.000* Puslitbang Geologi Bandung
- Akbar, N., 1972. Penyelidikan Lanjutan Terhadap Gejala Panas Bumi Daerah Lapung, Sumatera Selatan. Dinas vulkanologi Bagian Proyek Survey Energi Geothermal.
- Daud, Y., 1995. Resistivity and Gravity Study of the Ulubelu Geothermal Area, South Lampung, Indonesia. Unpublished Geothermal Project Report No.95.07, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand.
- Daud, Y., Sudarman S., Ushijima K., 2000. Integrated Geophysical Studies Of The Ulubelu Geothermal Field, South Sumatera, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 June 10, 2000.*
- Gafoer, S., Cobrie, T., Purnomo, J. 1996 . The Geology of The Lahat Quadrangle, Sumatera. *Report Geological Research and Development Centre, Bandung.*
- Masdjuk dan Muchsim., 1989. Geologi of the Ulubelu Geothermal Area, South Lampung, Indonesia, Unpublished Internal Report, Geothermal Division, Pertamina.
- Mulyadi., 2000. Ulubelu The Most Developed Geothermal Area in South Sumatera. *Proceedings World Geothermal Congress Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 June 10, 2000.*
- Macdonal, 1972. Sketsa Pembentukan Air Panas dan Uap Serta Hubungan Antara Suhu Air panas Dengan Kedalaman.
- Parkinson, W.D., 1983. *Intruduction to Geomagnetism: Scottish Academic Press, 220-346.*
- Sunaryo, Hantono, D., Ganda, S., and Nugroho., 1993. Exploration Result of the Ulubelu Geothermal Prospects, South Sumatera, Indonesia. *Proceedings 15<sup>th</sup> New Zealand Geothermal Workshop 1993, University of Auckland, pp. 103-106.*