

**SURVEI MAGNETOTELLURIK DAN TIME DOMAIN ELEKTROMAGNETIK
DAERAH PANAS BUMI WAPSALIT, KABUPATEN BURU, PROVINSI MALUKU**

Iqbal Takodama, Ahmad Zarkasyi, dan Rina Wahyuningsih

Bidang Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

SARI

Hasil penyelidikan terdahulu menunjukkan luas prospek di daerah Wapsalit sekitar 4 km² yang masih membuka ke arah utara dan barat laut. Survei *magnetotellurik* (MT) - *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) ini dilakukan untuk menambah data di area bukaan prospek utara dan barat laut dan infiltrasi di antara data MT sebelumnya. Data MT yang terukur dari 48 titik pengukuran dan total 76 titik dengan data sebelumnya. Alur pengolahan data MT dimulai dari verifikasi *time series*, transformasi ke ranah frekuensi, proses robust, *editing-smoothing*, koreksi statik dan 3D *inverse modelling*.

Zona reservoir dari sistem panas bumi Wapsalit dicirikan dengan nilai tahanan jenis sedang 50 Ohm s.d. 100 Ohm mulai dari kedalaman 1000 m s.d. 1250 m di sekitar manifestasi. Batuan plutonik sebagai batuan pembawa panas diperkirakan berada di bawahnya dengan nilai tahanan jenis tinggi >100 Ohm.m. Total luas area prospek panas bumi sekitar 5 km² dengan perkiraan potensi energi sebesar 25 MWe pada kelas cadangan terduga.

Kata kunci: Wapsalit, magnetotellurik, 3D *inversi*, sistem panas bumi

PENDAHULUAN

Daerah panas bumi Wapsalit berada di Kecamatan Lolong Kuba, Kabupaten Buru Provinsi Maluku (Gambar 1). Daerah ini memiliki informasi geosains yang cukup lengkap yang berkaitan dengan keprospekan panas bumi. Tahun 2007 telah dilakukan survei terpadu geologi, geokimia dan geofisika oleh Pusat Sumber Daya Geologi kemudian dilanjutkan survei *magnetotellurik* pada tahun 2013. Dari

ompilasi dari survei tersebut diperoleh informasi hasil berupa luas prospek 4 km² di sekitar mata air panas Wapsalit yang masih membuka ke arah utara dan barat laut.

Survei ini dimaksudkan untuk melengkapi data *magnetotelluric* terutama di bagian utara dan barat laut daerah prospek. Survei ini diharapkan dapat mempertegas data-data keprospekan panas bumi berupa letak, dan luasan deliniasi area prospek, serta

perkiraan potensi energi dari sistem panas bumi Wapsalit.

REVIEW GEOSAINS

Kenampakan gejala panas bumi di daerah ini berupa mata air panas, fumarol, dan tanah panas dengan hembusan uap di Sungai Pemali. Temperatur manifestasi mencapai 100°C dengan pH yang cukup basa (>8,0). Selain itu juga dijumpai mata air panas di pinggir Sungai Waemetar dengan temperatur 60°C. Mineral-mineral alterasi juga dijumpai terutama di sekitar manifestasi berupa alunit, kaolinit, diksit, haloisit dan ilit (anonim, 2007).

Litologi batuan penyusun dari yang paling tua hingga yang paling muda terdiri dari batuan metamorf, satuan batulempung, satuan undak sungai dan alluvium (Gambar 2). Struktur sesar yang berkembang di daerah ini berarah baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara. Sesar Waekedang yang berarah baratlaut-tenggara berperan sebagai pengontrol munculnya manifestasi Wapsalit. Sedangkan manifestasi Wetar dikontrol oleh sesar Waemetar yang berarah baratlaut-tenggara (anonim, 2007).

Air panas dari manifestasi Wapsalit dan Wetar bertipe bikarbonat-klorida, yang diduga berasal dari reservoir dominan air panas (*hot water dominated*). Temperatur reservoir diperkirakan lebih dari 247°C (anonim, 2007).

Anomali tinggi pada sebaran anomali sisa dari data gaya berat berada di sekitar mata air panas Wapsalit dan Wetar dengan pola kontur tertutup. Kedua anomali ini diasosiasikan dengan batuan terobosan yang tidak muncul ke permukaan. Dari data geomagnet menunjukkan anomali rendah (zona demagnetisasi) berada di sekitar manifestasi Wapsalit. Nilai tahanan jenis rendah <60 Ohm.m dari data survei tahanan jenis DC berada di sekitar mata air panas Wapsalit dan Wetar (anonim, 2007). Anomali tahanan jenis rendah <30 Ohm.m dari data MT berada di sekitar mata air panas Wapsalit yang masih membuka ke arah utara dan baratlaut (anonim, 2013).

METODE DAN TEORI

Metode survei ini meliputi studi pustaka, kalibrasi peralatan, desain titik pengukuran, pengukuran, pengolahan data, pemodelan, analisis dan interpretasi.

Pengukuran data MT di lapangan menggunakan dua buah unit MTU-5A dari sistem Phoenix. Satu unit peralatan MT terdiri dari *receiver* MTU-5A dengan antena GPS, 3 buah koil magnet, 4 buah porouspot dengan 1 buah *porouspot ground*, kabel koil dan kabel elektrik.

Metode MT didasarkan pada konsep elektromagnetik yang mengukur respon bumi dalam besaran medan listrik (E) dan medan magnet (M). Sumber

medan EM alam yang terekam bersumber dari kilat atau petir yang memiliki frekuensi tinggi, aktivitas ionosfer yang memiliki frekuensi sedang dan aktivitas sun-spot (bintik hitam matahari) yang memiliki frekuensi rendah (Telford, 1990).

Tahanan jenis semu dihitung berdasarkan perbandingan besarnya medan listrik dan medan magnet yang dikenal dengan persamaan Cagniard (Cagniard, 1952). Persamaan ini dihasilkan dari persamaan Maxwell dengan asumsi gelombang bidang.

$$\rho_a = \frac{1}{5} f x \left| \frac{E}{H} \right|^2$$

Dimana,

- ρ_a : Tahanan jenis semu (Ohm-m)
- f : Frekuensi (Hz)
- E : Besarnya medan listrik (mV/km)
- H : Besarnya medan magnet (nT)

Persamaan ini hanya berlaku dalam konfigurasi gelombang bidang untuk medan elektromagnetik, ketika jarak antara sumber dan penerima cukup jauh.

Tahanan jenis semu ini terdiri dari dua buah kurva ρ_{xy} dan ρ_{yx} . Jika dirotasi terhadap sumbu utama *strike* akan menjadi mode TE (medan listrik sejajar *strike*) atau mode TM (medan magnet sejajar *strike*). Penetrasi kedalaman efektif bergantung kepada tahanan jenis batuan serta frekuensi yang digunakan. Besarnya

dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan;

$$\delta = 503 x \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

dimana,

- δ : penetrasi kedalaman efektif (m)
- ρ : tahanan jenis semu (Ohm-m)
- f : frekuensi (Hz)

Ketika tahanan jenis berubah terhadap kedalaman, maka tahanan jenis semu akan berubah terhadap frekuensi. Frekuensi rendah memiliki penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan frekuensi tinggi. Struktur tahanan jenis dari zona dangkal sampai ke zona dalam dapat dianalisis dari tinggi rendahnya frekuensi yang diterima.

Metode TDEM atau kadang disebut juga TEM (*Transient Electro Magnetic*) merupakan metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan. Metode ini menggunakan sumber buatan dengan mengukur peluruhan tegangan transient sebagai fungsi waktu.

$$V(t, r) = I_0 \frac{C(\mu_0 \sigma r^2)^{3/2}}{10 \pi^{1/2} t^{5/2}}$$

Dengan $C = A_r N_r A_s N_s \frac{\mu_0}{2\pi r^3}$, dan

A_r = Luas area *receiver coil* (m^2)

N_r = Jumlah perputaran didalam *receiver coil*

A_s = Luas area dari *transmitting loop* (m^2)

N_s = Jumlah perputaran didalam *transmitter loop*

t_r = Waktu yang berjalan setelah arus pada *transmitter* dimatikan

μ_0 = Permeabilitas magnetik ($\frac{\text{henry}}{\text{m}}$)

$V(t, r)$ = Tegangan transien

r = Jari-jari dari *transmitter loop*(m)

I_0 = Arus pada *transmitting loop*(A).

Dengan mensubstitusikan $\sigma = \frac{1}{\rho}$, pada persamaan di atas, sehingga menghasilkan nilai tahanan jenis sebagai berikut:

$$\rho_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{2 I_0 A_r N_r A_s N_s}{5 t^{5/2} V(t, r)} \right]^{3/2}$$

Hubungan ini mendefinisikan bahwa nilai tahanan jenis semu terhadap lamanya waktu yang berjalan setelah arus dimatikan.

Data TDEM ini digunakan sebagai pengkoreksi efek statik data MT di dekat permukaan. Data MT sangat mudah mengalami efek statik yang diakibatkan adanya heterogenitas lokal dekat permukaan dan faktor topografi. Efek statik ini menyebabkan kurva MT bergeser (*shift*) ke atas atau ke bawah sehingga paralel terhadap kurva yang seharusnya (Arnason, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data MT-TDEM yang diukur di daerah Wapsalit ini berjumlah 48 titik, data terdahulu 28 titik sehingga total data yang

diolah berjumlah 76 titik. Sebaran titik pengukuran MT tahun 2013 dan 2016 disajikan pada Gambar 3.

Alur pengolahan data MT dimulai dengan melakukan verifikasi data *time series* dan merubahnya ke ranah frekuensi dengan transformasi Fourier. Selanjutnya dilakukan proses Robust untuk menghilangkan data-data *outliers*. Kemudian dilakukan proses seleksi *crosspower* untuk mendapatkan *trend* kurva yang lebih baik. Data yang telah terseleksi ini kemudian di ubah dalam bentuk format file EDI.

Pemodelan tahanan jenis pada data MT menggunakan teknik inversi tiga dimensi (WS3D) dari Weerachai (Siripunvaraporn, 1988). Hasilnya dicuplik dalam bentuk penampang tahanan jenis dan peta sebaran tahanan jenis pada kedalaman tertentu.

Data TDEM yang diperoleh di lapangan memiliki kualitas yang kurang baik. Oleh karena itu diperlukan koreksi statik yang dikombinasikan dengan geostatistik. Dari kombinasi ini diperoleh nilai pengkoreksi dan selanjutnya kurva MT yang belum terkoreksi statik digeser ke nilai pengkoreksi tersebut.

Sebaran tahanan jenis semu pada berbagai frekuensi dapat dijadikan sebagai kontrol dan informasi dalam proses pemodelan. Tahanan jenis semu bernilai rendah <25 Ohm.m konsisten berada di sekitar manifestasi Wapsalit mulai dari frekuensi 300 Hz hingga

tersebar luas sampai frekuensi 1 Hz. Meluasnya zona tahanan jenis semu rendah ini mencirikan adanya aktivitas fluida panas sistem panas bumi. Zona anomali ini selaras dengan arah sesar (baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut). Pada frekuensi dibawah 1 Hz, anomali rendah ini mulai meninggi dengan nilai lebih dari 50 Ohm.m (Gambar 4).

Hasil pemodelan 3D pada berbagai kedalaman (Gambar 5) menunjukkan kuatnya kontrol sesar geologi terhadap sebaran tahanan jenis. Lapisan batuan yang diduga berkaitan dengan batuan ubahan di cirikan oleh nilai tahanan jenis rendah <25 Ohm.m yang menempati area sekitar manifestasi. Zona ini termodelkan dari dekat permukaan hingga kedalaman 750 m. Zona ini semakin menerus di bagian barat dan timur manifestasi hingga kedalaman 1500 m dengan pola memanjang selaras dengan sesar berarah baratlaut-tenggara.

Di area manifestasi, nilai tahanan jenis mulai meninggi >50 Ohm.m yang terdeteksi mulai dari kedalaman 1000 m. Pola ini semakin tegas seiring dengan kedalaman baik secara nilai maupun pola liniasi. Lapisan batuan bertahanan jenis rendah diperkirakan sebagai batuan teralterasi. Lapisan ini berperan sebagai lapisan penudung yang terbentuk di zona-zona sesar. Pada kedalaman 250 m, lineasi kontur lapisan ini mengikuti arah sesar baratdaya-timurlaut. Liniasi kontur ini kemudian mengikuti struktur sesar

berarah baratlaut-tenggara mulai kedalaman 500 m.

Zona pertemuan sesar berarah baratlaut-tenggara dengan baratdaya-timurlaut menjadi zona perekahan yang efektif. Zona ini dicirikan oleh nilai tahanan jenis yang lebih tinggi dibandingkan di atasnya. Zona ini kemungkinan besar menjadi wadah tempat fluida panas terkumpul.

Penampang model pada Gambar 6 menunjukkan lapisan batuan bertahanan jenis rendah diduga sebagai lapisan penudung. Lapisan ini tersebar sepanjang arah baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara. Lapisan ini mempunyai ketebalan sekitar 750 m s.d. 1000 m. Lapisan di bawahnya memiliki tahanan jenis yang lebih tinggi yaitu >50 Ohm.m. Lapisan ini diperkirakan sebagai batuan reservoir tempat akumulasi fluida panas. Zona transisi (25 Ohm.m s.d. 50 Ohm.m) antara lapisan penudung dan reservoir diperkirakan berada pada kedalaman 1000 m s.d. 1250 m.

DISKUSI

Sistem panas bumi Wapsalit berada pada lingkungan batuan metamorfik yang berumur sangat tua. Berdasarkan data sebelumnya, diindikasikan adanya batuan yang lebih muda dengan densitas tinggi berada di antara Sungai Pemali dan Sungai Waemetar (Anonim, 2007) atau di sekitar zona pertemuan sesar berarah baratlaut-

tenggara dan baratdaya-timurlaut. Batuan dengan densitas ini diinterpretasikan sebagai batuan plutonik yang berperan sebagai pembawa panas.

Hasil MT semakin mempertegas keberadaan dari tubuh batuan ini yang bertahan jenis tinggi di sekitar manifestasi. Zona anomali tinggi ini termodelkan secara jelas di zona sesar berarah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut. Anomali menutup ini berada sesuai dengan dugaan lokasi sumber panas sistem panas bumi.

Zona reservoir sebagai wadah terakumulasinya fluida panas terbentuk di zona rekahan-rekahan. Zona ini dicirikan dengan nilai tahanan jenis sekitar 50 Ohm.m s.d. 100 Ohm.m mulai dari kedalaman 1000 m s.d. 1250 m. Lapisan penudung yang identik dengan jenis batuan alterasi dicirikan dengan nilai tahanan jenis rendah <25 Ohm.m. Lapisan ini tersebar di sekitar manifestasi dengan tebal 500 m di bawah manifestasi dan 750 m s.d. 1000 m di sisi manifestasi.

Delineasi prospek area didasarkan pada hasil MT dan kompilasi geosains penyelidikan terdahulu. Berdasarkan data struktur geologi, tahanan jenis sedang bernilai 50 Ohm.m s.d. 100 Ohm.m sebagai indikasi reservoir, kontras liniasi tahanan jenis sebagai indikasi batas, anomali gaya berat tinggi, zona demagnetisasi dan anomali Hg, didapat luas keprospekan area panas bumi Wapsalit sekitar 5 km² (Gambar 8).

Perhitungan potensi energi menggunakan metode volumetrik (*Lump Parameter*) berdasarkan SNI 13-6171-1999. Perhitungan menggunakan luas area 5 km², tebal reservoir 1 km, recovery factor 25%, faktor konversi 10%, temperatur reservoir 230°C dan temperatur cut-off 180°C. Berdasarkan asumsi tersebut, diperoleh potensi energi di daerah panas bumi Wapsalit sebesar 25 MWe pada kelas cadangan terduga.

KESIMPULAN

Daerah prospek panas bumi berada di sekitar manifestasi panas bumi dan zona pertemuan dua sesar yang memotong manifestasi tersebut. Luas area prospek ini berdasarkan kompilasi data MT dan geosains lainnya sekitar 5 km² dengan potensi sebesar 25 MWe pada kelas cadangan terduga. Lokasi rekomendasi pengeboran berada di area prospek dengan target kedalaman 750 m s.d. 1250 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim penulis hantarkan kepada para staf Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi bidang panas bumi dan semua pihak yang telah berperan serta dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2007, Laporan Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi

Wapsalit Kabupaten Buru Maluku Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, tidak dipublikasikan.

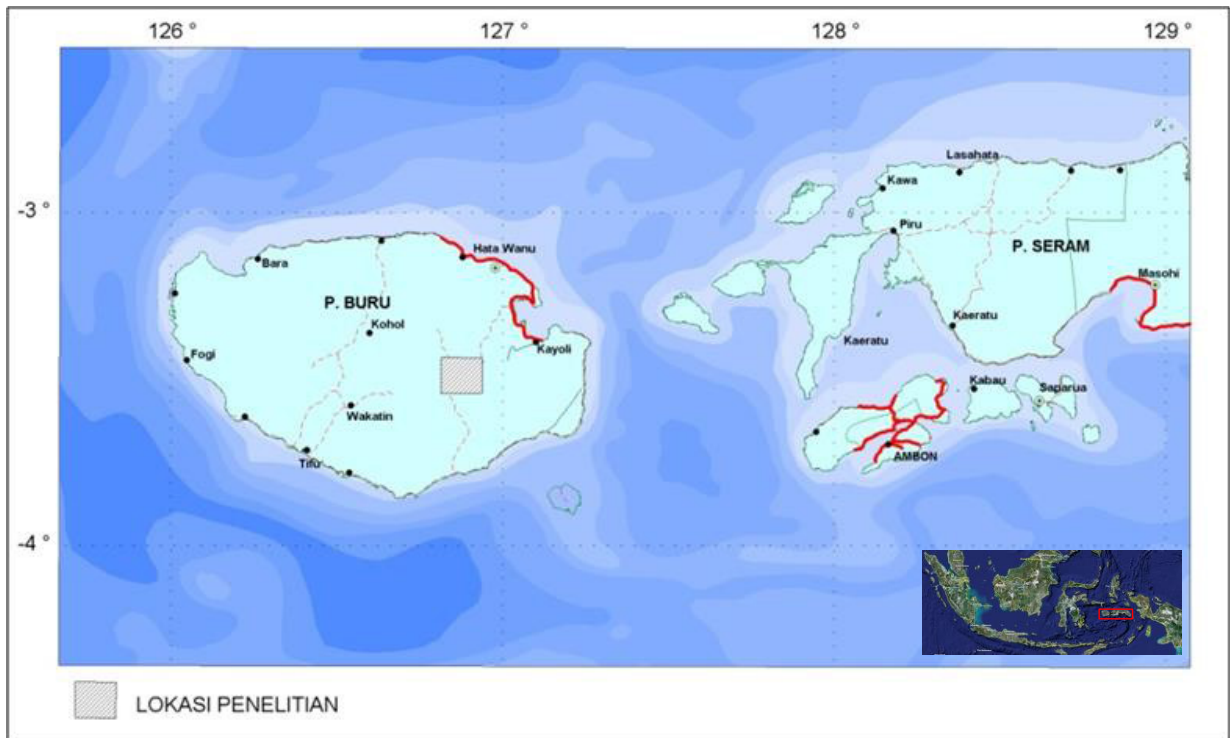
Anonim, 2013, Laporan Survei Magnetotelurik Daerah Panas Bumi Wapsalit, Kabupaten Buru, Provinsi Maluku, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, tidak dipublikasikan.

Arnason, K., 2015, *The Static Shift Problem in MT Soundings*, Proceeding Geothermal Congress 2015, Melbourne

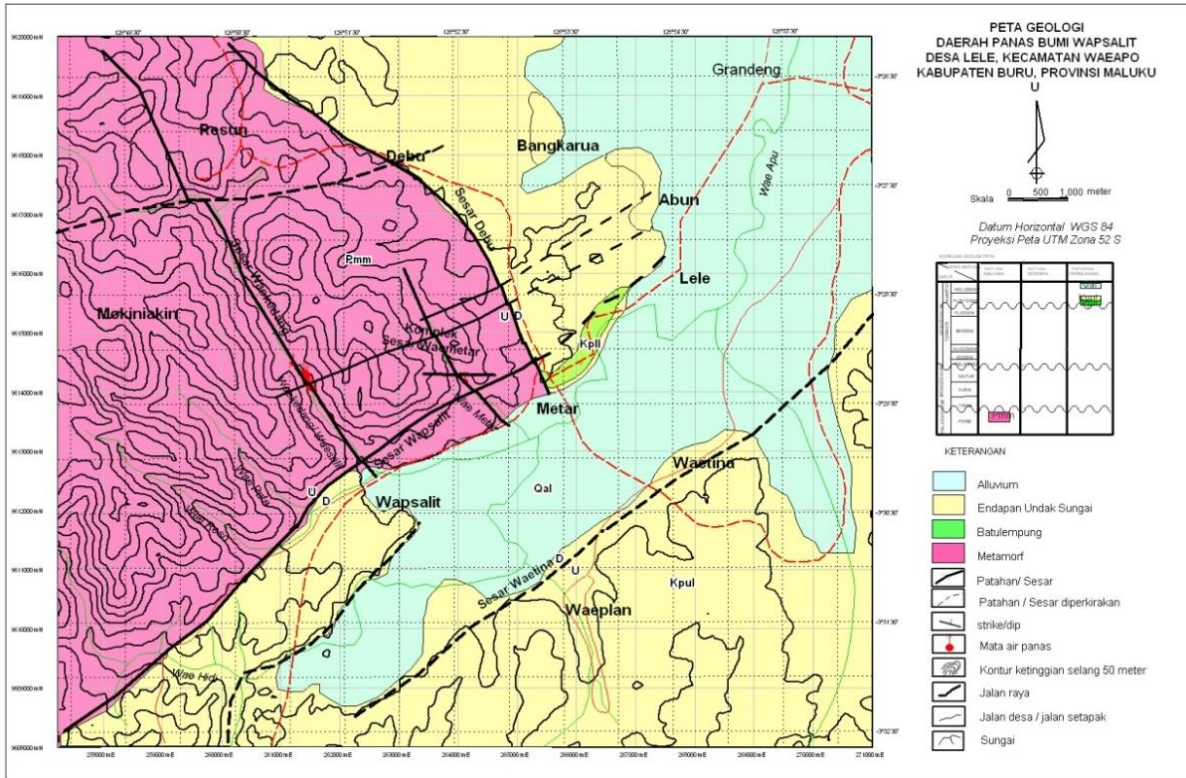
Cagniard, L., 1952, *Basic Theory of The Magneto-Telluric Method of Geophysical Prospecting*, Magnolia Petroleum Company, Paris.

Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenbury, Y. dan Uyeshima, M., 2005, *Three Dimensional Magnetotelluric Inversion: Data-Space Method*, Physics of the Earth and Planetary Interiors 150:3-14.

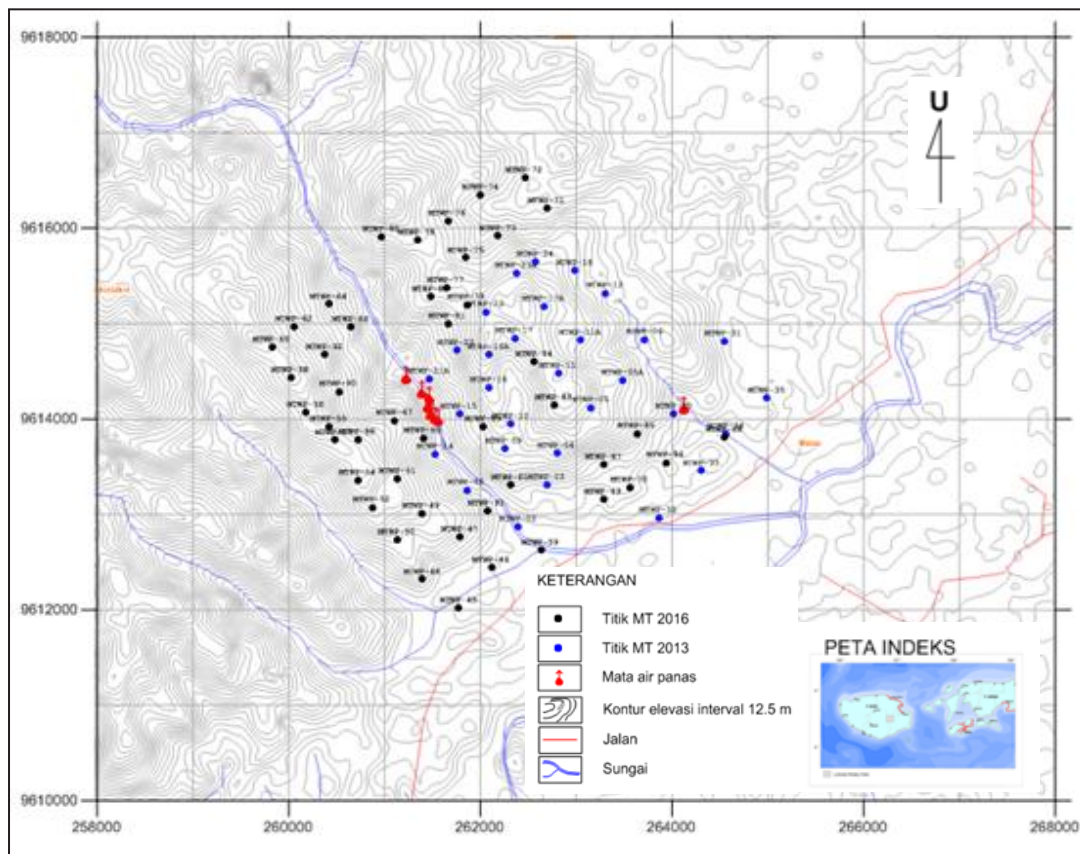
Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.



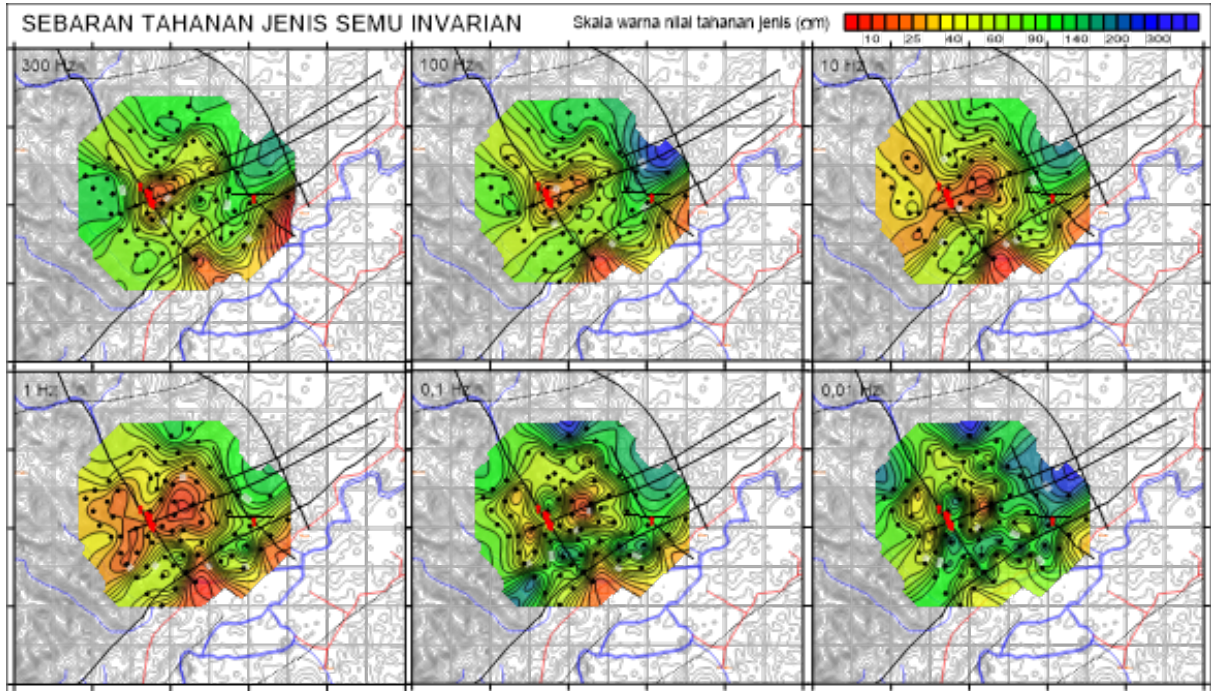
Gambar 1. Peta lokasi daerah Wapsalit, Maluku



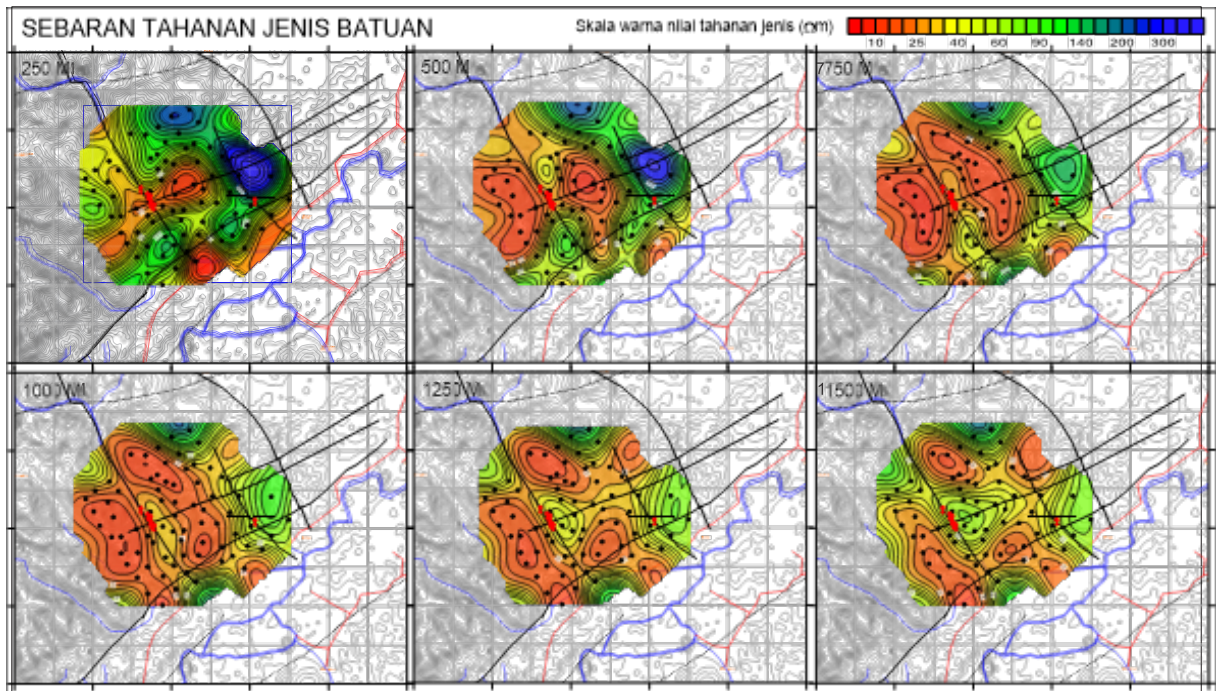
Gambar 2. Peta geologi daerah Panas Bumi Wapsalit



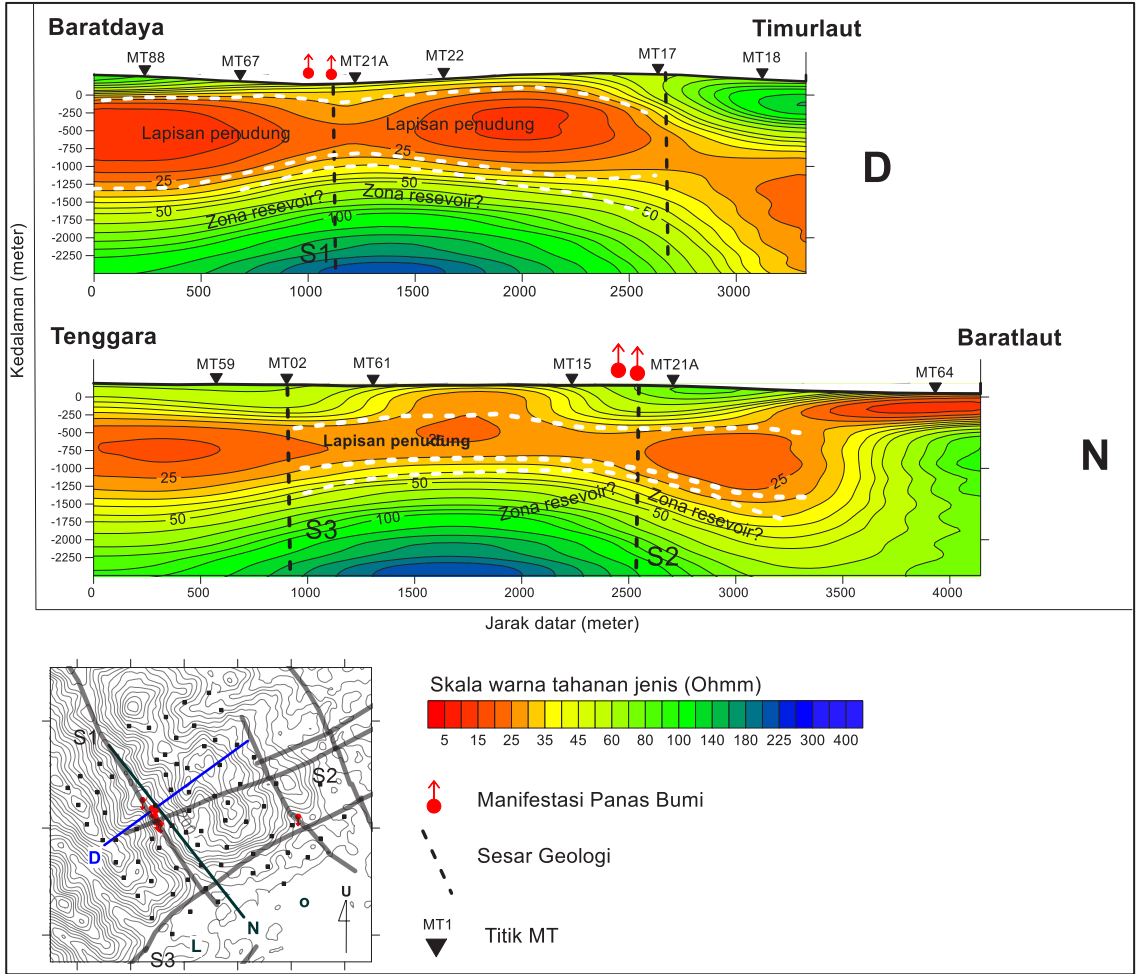
Gambar 3. Peta distribusi titik pengukuran MT daerah Panas Bumi Wapsalit



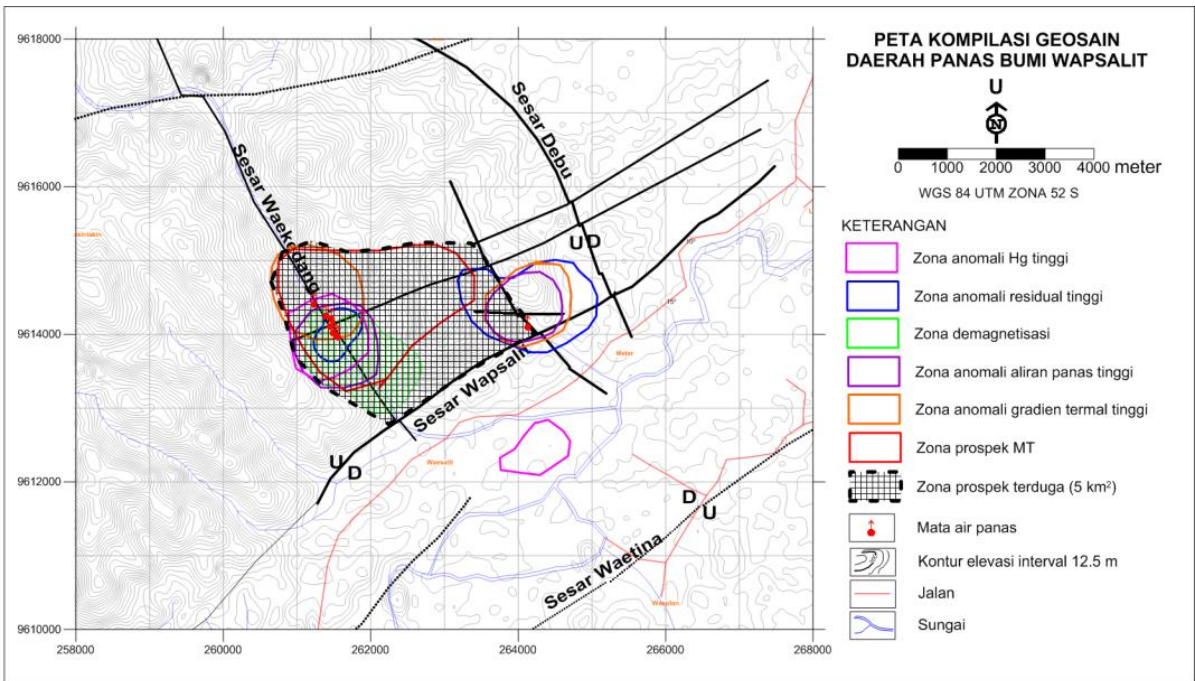
Gambar 4. Kompilasi sebaran tahanan jenis semu



Gambar 5. Kompilasi sebaran tahanan jenis batuan berbagai kedalaman



Gambar 6. Penampang model tahanan jenis



Gambar 7. Kompilasi geosains daerah Panas Bumi Wapsalit