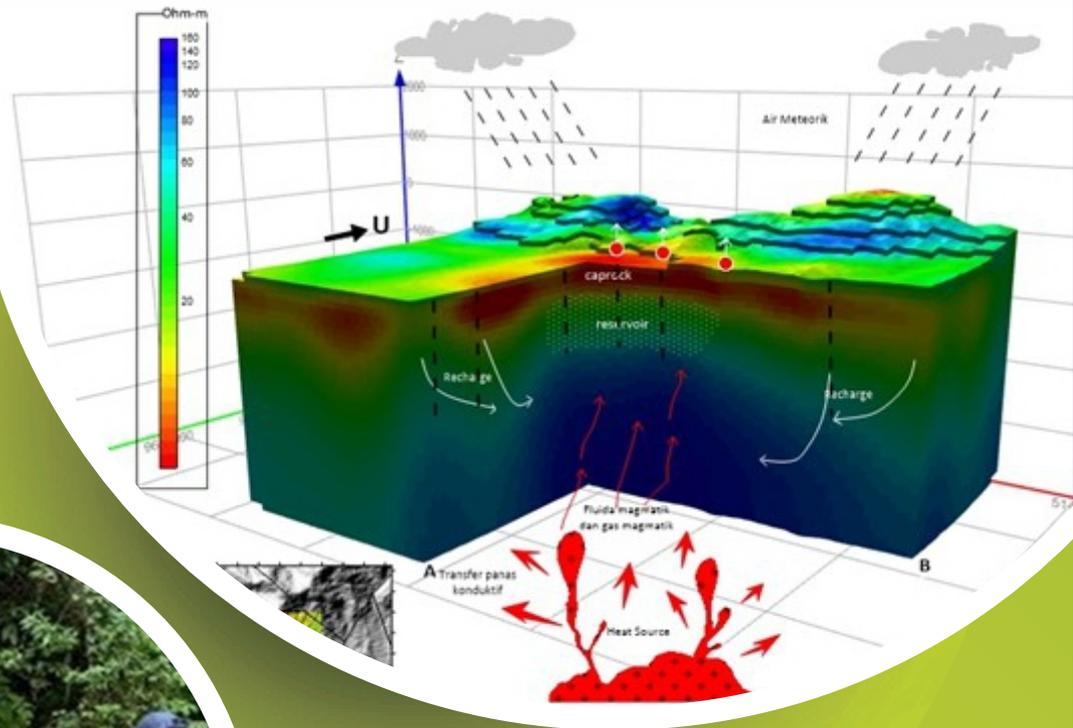


NO : 14
ISSN : 0261-0811



Buku 3 : Kelompok Kerja Panas Bumi

PROSIDING

Hasil Kegiatan

PUSAT SUMBER DAYA MINERAL
BATUBARA DAN PANAS BUMI

Tahun Anggaran 2022

Nomor: 14

ISSN : 0261-0811

**PROSIDING HASIL KEGIATAN
PUSAT SUMBER DAYA MINERAL BATUBARA DAN PANAS BUMI
TAHUN ANGGARAN 2022**

BUKU 3

KELOMPOK KERJA PANAS BUMI



**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
PUSAT SUMBER DAYA MINERAL BATUBARA DAN PANAS BUMI**

Editor : Ir. Arif Munandar, Dikdik Risdianto, S.T., M.T., Dudi Hermawan, S.T.,
Ir. Sri Widodo, dan Ir. Rina Wahyuningsih

Layout & Desain : Eko Suryanto, S.Kom

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas terbitnya prosiding hasil kegiatan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Tahun Anggaran 2022. Makalah-makalah yang diterbitkan pada prosiding ini merupakan hasil kegiatan lapangan dan non lapangan pada tahun 2022.

Prosiding ini terdiri dari tiga buku. Buku 1 berisi tentang hasil kegiatan Kelompok Kerja Mineral, Buku 2 berupa hasil kegiatan Kelompok Kerja Batubara dan Buku 3 hasil kegiatan Kelompok Kerja Panas Bumi. Pada buku ketiga ini berisi sebanyak 15 (lima belas) makalah yang merupakan hasil penyelidikan lapangan dan non lapangan. Makalah-makalah ini berisi tentang hasil survey pendahuluan, survei rinci menggunakan metode geologi, geokimia dan geofisika yang dilakukan pada beberapa wilayah yang memiliki potensi panas bumi di Indonesia. Makalah hasil kegiatan non lapangan berupa pemutakhiran data neraca panas bumi, kajian pemanfaatan langsung panas bumi low temperature dan persiapan pengeboran landaian suhu. Kegiatan tersebut dilaksanakan dalam rangka mendukung kegiatan eksplorasi panas bumi oleh pemerintah yang bertujuan meningkatkan kualitas data dan informasi geosains panas bumi dan/atau meningkatkan status sumber daya dan cadangannya sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan panas bumi selanjutnya.

Adanya prosiding ini sebagai upaya penyebaran informasi hasil kegiatan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi selama Tahun 2022 kepada masyarakat. Diharapkan dapat dijadikan salah satu rujukan untuk penentuan kebijakan dan kajian sumber daya mineral dan energi selanjutnya.

Semoga prosiding ini bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, Desember 2022

Kepala Pusat Sumber Daya Mineral
Batubara dan Panas Bumi

DAFTAR ISI

1. Pengeboran <i>Slimhole</i> NGE-01A dan NGE-02 di Wilayah Panas Bumi Nage Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur.....	1
2. Survei Pendahuluan Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat	25
3. Survei Rinci Geologi, Geokimia, Gaya Berat dan AMT Daerah Panas Bumi Tanggeung-Cibungur, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat.....	49
4. Survei Geologi Rinci Daerah Panas Bumi Guci, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah	63
5. Survei Rinci Geokimia Daerah Panas Bumi Guci, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah	79
6. Survei Rinci Gaya Berat Daerah Panas Bumi Guci, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah	93
7. Survei Rinci MT dan TDEM Daerah Panas Bumi Guci, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah	103
8. Survei Geologi Daerah Panas Bumi Banda Baru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku	117
9. Survei Rinci Geokimia Daerah Panas Bumi Banda Baru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku	135
10. Survei Rinci Gaya Berat Daerah Panas Bumi Banda Baru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku	153
11. Survei Rinci MT dan TDEM Daerah Panas Bumi Banda Baru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku	163
12. Evaluasi Data Geosains Panas Bumi untuk Pengusulan Wilayah Kerja Panas Bumi Daerah Pariangan dan Lompio	177
13. Evaluasi Potensi Panas Bumi <i>Low Temperature</i> Untuk Pemanfaatan Langsung di Wilayah Pulau Kalimantan Bagian Timur.....	197
14. Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Panas Bumi Tahun 2022	211
15. Persiapan Pengeboran Landaian Suhu Tahun 2023 di Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.....	223

**PENGEBORAN SLIMHOLE NGE-01A dan NGE-02 DI WILAYAH PANAS BUMI NAGE
KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**

Erawan Melisano, Robertus L Simarmata, dan Lano Aditya

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

SARI

Salah satu upaya pemerintah dalam percepatan pengembangan panas bumi di Indonesia adalah dengan kegiatan eksplorasi panas bumi oleh pemerintah melalui Badan Geologi. Kegiatan ini salah satunya adalah pengeboran slim hole di daerah prospek panas bumi Nage yang dilakukan pada 2 (dua) sumur, yaitu sumur NGE-01A dan NGE-02.

Secara administratif daerah panas bumi Nage terletak di Pulau Flores, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Keberadaan prospek panas bumi Nage dicirikan oleh kehadiran manifestasi berupa mata air panas bertemperatur 68°C s.d. 79°C dan fumarol yang memiliki temperatur sekitar 97°C.

Sumur NGE-01A memiliki kedalaman akhir mencapai 1500 mMD GL yang berada di lingkungan batuan vulkanik dan sebagian telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan lemah sampai kuat. Batuan ubahan yang terbentuk menunjukkan tipe ubahan argilik dan propilitik. Hasil uji perampungan sumur menunjukkan bahwa sumur NGE-01A memiliki temperatur sebesar 284°C (masih *heating up*) dan tekanan sekitar 1487 psi, sedangkan perkiraan *boiling point* mencapai 300°C.

Daerah panas bumi Nage memiliki sistem panas bumi yang berasosiasi dengan aktivitas vulkanik Kuartar dengan temperatur reservoir antara 210°C s.d. 300°C dan top reservoir berada pada kedalaman sekitar 800 m. Zona prospek berada di sekitar mata air panas Nage hingga mata air panas Keli dengan luas minimum (P 90) 4 km², most likely (P 50) 8 km², dan maksimum (P 10) 14 km². Daerah prospek Nage memiliki sumber daya panas bumi sekitar 46 MWe (P 50) yang termasuk pada kelas cadangan terduga (probable reserves).

Berdasarkan kelengkapan data geosains, hasil pengeboran slim hole, dan hasil evaluasi teknis, daerah panas bumi Nage sudah layak untuk ditawarkan ke pengembang/badan usaha panas bumi.

Kata kunci: Pengeboran, Slimhole, Nage, PT Logging, Tekanan, Temperatur

PENDAHULUAN

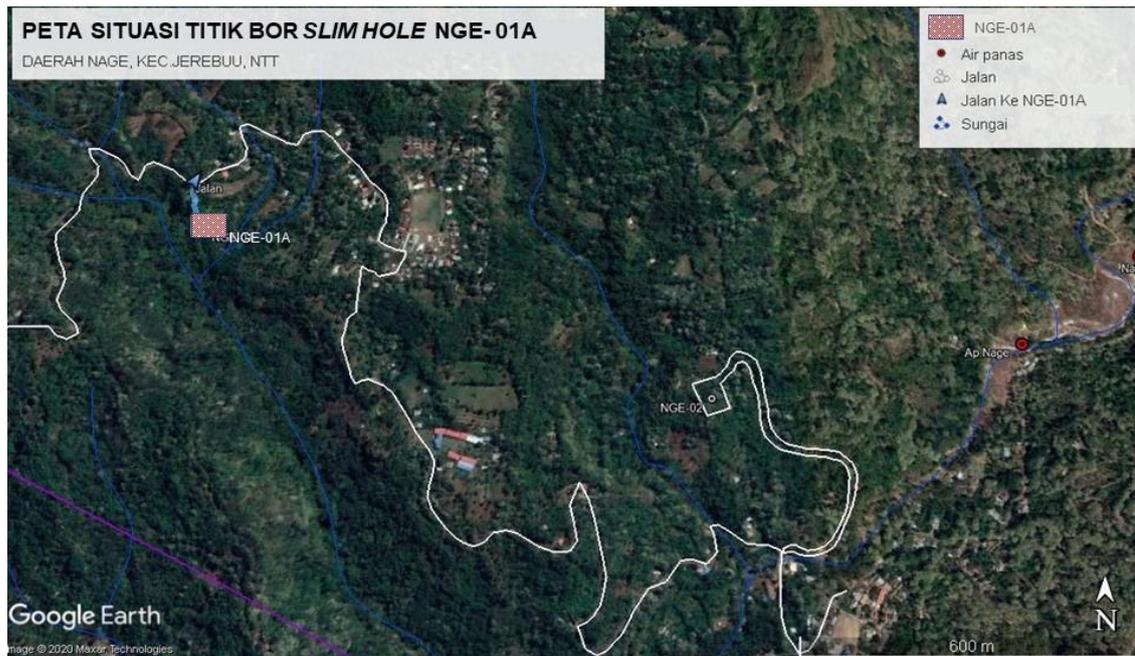
Berdasarkan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 Pasal 6 Ayat (1) huruf h bahwa salah satu kewenangan Pemerintah dalam penyelenggaraan Panas Bumi adalah pelaksanaan Eksplorasi, Eksploitasi, dan/atau pemanfaatan Panas Bumi. Peraturan Pemerintah Nomor 7 Tahun 2017 tentang Panas Bumi untuk Pemanfaatan tidak langsung yaitu bahwa Menteri ESDM dapat melakukan survei pendahuluan atau survei pendahuluan dan eksplorasi untuk menetapkan WKP serta melaksanakan penambahan data pada WKP melalui kegiatan pengeboran eksplorasi. Keputusan Menteri ESDM RI Nomor 12.K/HK.02/MEM.E/2021 Tentang Pelaksanaan Eksplorasi Panas Bumi Oleh Pemerintah menugaskan Badan Geologi sebagai pelaksana kegiatan eksplorasi panas bumi oleh Pemerintah.

Kegiatan pengeboran Slim Hole di wilayah panas bumi Nage yang dilakukan oleh pemerintah dilatarbelakangi dorongan dari dunia industri panas bumi untuk meningkatkan *bankability* dan *reliability* data hasil survei di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) sebelum ditawarkan kepada Badan Usaha. Hal ini salah satunya disebabkan oleh tingginya tingkat risiko eksplorasi panas bumi sebagai akibat adanya *upstream uncertainty* yang cukup signifikan. Risiko tersebut saat ini belum dapat dijumpai oleh kepastian harga

listrik panas bumi yang atraktif yang dapat menarik para investor untuk berinvestasi di bidang panas bumi. Tingginya biaya eksplorasi juga berimbas kepada meningkatnya harga keekonomian proyek panas bumi. Hal ini kemudian mengakibatkan kegiatan penawaran WKP oleh Pemerintah kurang diminati oleh Badan Usaha.

Wilayah panas bumi Nage merupakan salah satu wilayah yang mendapatkan nilai tertinggi dalam penilaian melalui *Analisis Hierarchy Process (AHP)* dengan pertimbangan kebutuhan (demand) yang tinggi di Pulau Flores dan pertimbangan *geoscience* yang lengkap sehingga memiliki prospek yang besar untuk pemanfaatan panas bumi secara tidak langsung (listrik).

Secara administratif sumur NGE-01A termasuk dalam wilayah Desa Tiworiwu-1 Kecamatan Jerebuu, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan koordinat 120° 59' 35,69" BT dan 8° 52' 38,33" LS atau 279313 mT dan 9018115 mS pada zona 51 S UTM dengan elevasi 648 m di atas permukaan laut sedangkan NGE-02 termasuk dalam wilayah Desa Dariwali Kecamatan Jerebuu, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan koordinat 121° 00' 10.19" BT dan 8° 52' 49.97" LS atau 280360 mE dan 9017763 mS pada zona dengan elevasi 530 m di atas permukaan laut



Gambar 1. Peta Lokasi Bor Nage

Geologi

Geomorfologi daerah Nage terdiri dari Satuan Geomorfologi Vulkanik Lereng Bawah dan Satuan Geomorfologi Kerucut Sinder yang tersusun oleh lava dan aliran piroklastik, terdapat Satuan Geomorfologi Kaldera yang terbentuk oleh adanya amblasan dan struktur-struktur sesar normal berarah timurlaut-baratdaya dan sesar geser berarah baratlaut-tenggara serta Satuan Geomorfologi Aliran Lava yang bersifat basaltis – andesitis.

Secara umum, litologi yang terdapat di daerah survey tersusun oleh batuan vulkanik dan endapan permukaan yang berumur Tersier hingga Kuartar yang hadir di daerah survei berasal dari produk erupsi 7 kerucut gunung api diantaranya yaitu Wolo Kenowe, Wolo Deru, Wolo Batulaba, Wolo Piu, Bena, Kerucut Sinder dan Gunung Inirie. Pengelompokan batuan di

daerah survei berdasarkan sumber erupsi, jenis batuan atau endapan dan urutan kejadian.

Struktur geologi di daerah penelitian teramati pada citra LIDAR dan DEMNAS yang terindikasi berupa fitur melingkar sebagai kaldera dan kawah, adanya kelurusan kerucut sinder yang relatif berarah utara-selatan serta hasil observasi lapangan yang menunjukkan adanya struktur penyerta dan zona hancuran yang mengindikasikan adanya struktur sesar. Hasil pengamatan indikasi gejala struktur geologi terhadap 441 data struktur di 87 stasiun, menunjukkan bahwa setidaknya terdapat enam sesar yang teramati dan telah dilakukan analisis kinematika.

Zonasi alterasi batuan yang hadir di daerah survei didominasi oleh mineral lempung hasil ubahan yang berada pada

lingkungan yang dipengaruhi fluida (pH) asam dengan temperatur rendah sampai tinggi. Berdasarkan asosiasi dan ketersediaan mineral ubahan, maka di daerah Nage terbagi menjadi tiga zonasi alterasi, yaitu zona alterasi argilik lanjut, zona alterasi argilik dan zona alterasi sub-propilitik. Hasil analisis pentarikhan umur batuan dengan menggunakan metode thermoluminescence, menunjukkan bahwa lava andesitik pada satuan lava Wolo Piu memiliki umur absolut sekitar $104,2 \pm 3$ ribu tahun yang lalu. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa ketersediaan sisa panas dari Wolo Piu dapat berperan sebagai sumber panas pada sistem panas bumi daerah Nage.

Geokimia

Hasil analisis kimia air terhadap manifestasi panas bumi di daerah Nage memperlihatkan bahwa berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ Air Panas Nage 1, Nage 2, Nage 3, Nage 4, dan air panas Keli 2, bertipe sulfat-klorida, sedangkan Air Panas Keli 1, Borani, Bena, dan Boba bertipe sulfat. Sedangkan pada diagram Na-K-Mg, memperlihatkan bahwa semua mata air panas terletak pada zona *immature water* yang mengindikasikan adanya tercampurnya fluida panas oleh air permukaan. Sementara itu pada diagram segitiga Cl, Li, B, posisi mata air panas berada pada zona tengah diagram segitiga yang menunjukkan ketersediaan pemunculan mata air panas Nage dan

sekitarnya berada di lingkungan vulkanik yang diimbangi oleh pencampuran dengan sedimen.

Hasil *plotting* Isotop Oksigen-18 dan Deuterium, memperlihatkan bahwa semua posisi mata air panas dan dingin terletak pada *Meteoric Water Line*. Hal ini mengindikasikan bahwa mata air panas di daerah Nage didominasi oleh air meteorik atau air permukaan. Hasil *plotting* gas fumarol Woloputi pada diagram N₂-He-Ar, diagram N₂-CO₂-Ar dan grafik log-log CO₂/CH₄-N₂/Ar serta grafik log-log Ar/He-N₂/Ar (Gambar 1.17), menunjukkan bahwa keberadaan gas pada daerah magmatik. Hasil survei Pertagastech di daerah Nage memperlihatkan bahwa nilai anomali untuk Hg adalah >2 ng yang terletak di bagian timur daerah survei, sedangkan nilai anomali untuk H₂S yaitu > 12,6 µg berada di bagian utara daerah survei. Sementara itu, untuk nilai anomali As yaitu > 24 ng terletak di sebelah baratdaya dan selatan. Zona *upflow* pada sistem panas bumi Nage diduga berada di sekitar mata air panas Keli dan mata air panas Nage dengan estimasi temperatur reservoirnya diperkirakan sebesar 200 sd 255 °C.

Geofisika

Survei geofisika yang telah dilakukan di daerah panas bumi Nage yaitu berupa survei gaya berat dan magnetotelurik. Anomali Bouguer memperlihatkan anomali tinggi (>120 mGal) di bagian tengah hingga selatan

area Nage, anomali sedang di bagian utara dan anomali rendah (< 40 mGal) di bagian barat. Anomali rendah ini berasosiasi dengan produk dari Gunung Inerie. Anomali tinggi yang berada di bagian tengah ke selatan berasosiasi dengan produk-produk vulkanik yang lebih tua dari pada Gunung Inerie, seperti vulkanik Wolo Piu, Wolo Deru, Wolo Bena, dan Wolo Batulaba. Pada bagian utara yang beranomali sedang berasosiasi dengan batuan produk dari Kerucut Sinder.

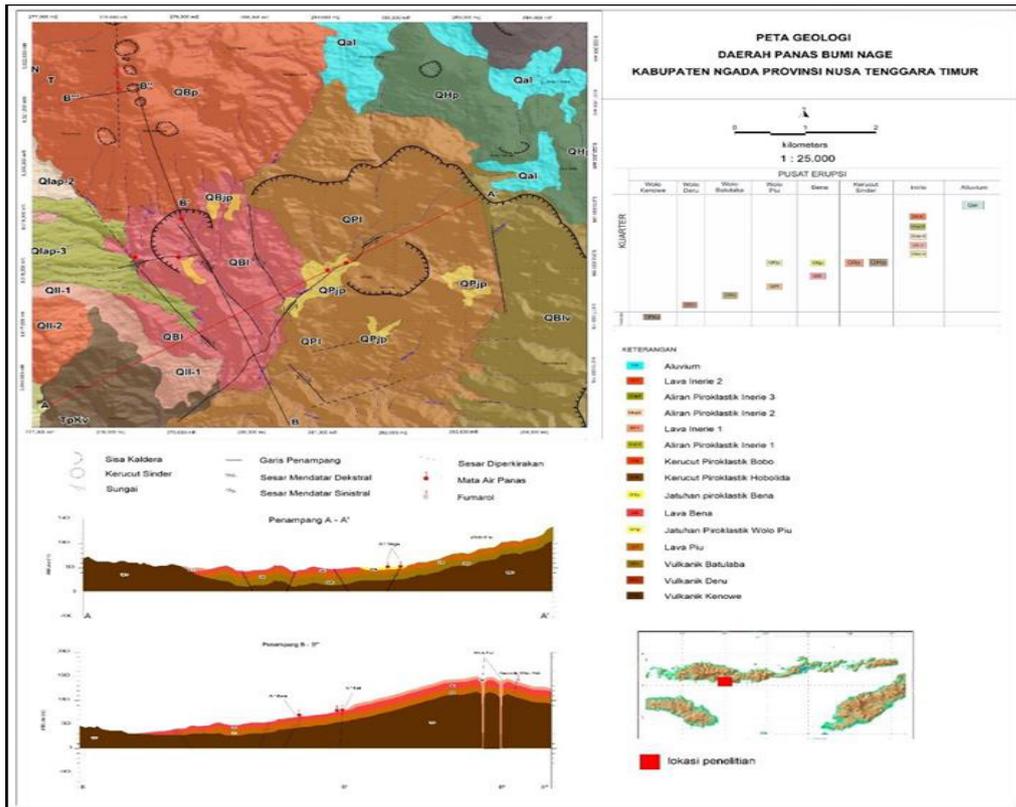
Secara regional, anomali di daerah Nage memperlihatkan nilai anomali rendah (< 80 mGal) di bagian utara dan semakin meninggi ke bagian selatan. Kontras anomali tinggi dan sedang/rendah membentuk kelurusan yang relatif berarah baratlaut - tenggara. Kontras anomali juga diperlihatkan pada peta anomali residual. Di bagian timur terdapat kontras yang kelurusannya berarah baratlaut - tenggara. Begitu pula di bagian barat yang memiliki kontras dengan kelurusan yang berarah sama. Kelurusan ini membatasi batuan produk vulkanik dari Gunung Inerie dengan batuan dari produk-produk vulkanik yang lebih tua di sebelah timurnya.

Anomali tinggi (> 10 mGal) berada di sekitar kaldera Nage yang membentuk pola serupa dengan pola anomali tinggi pada peta anomali Bouguer.

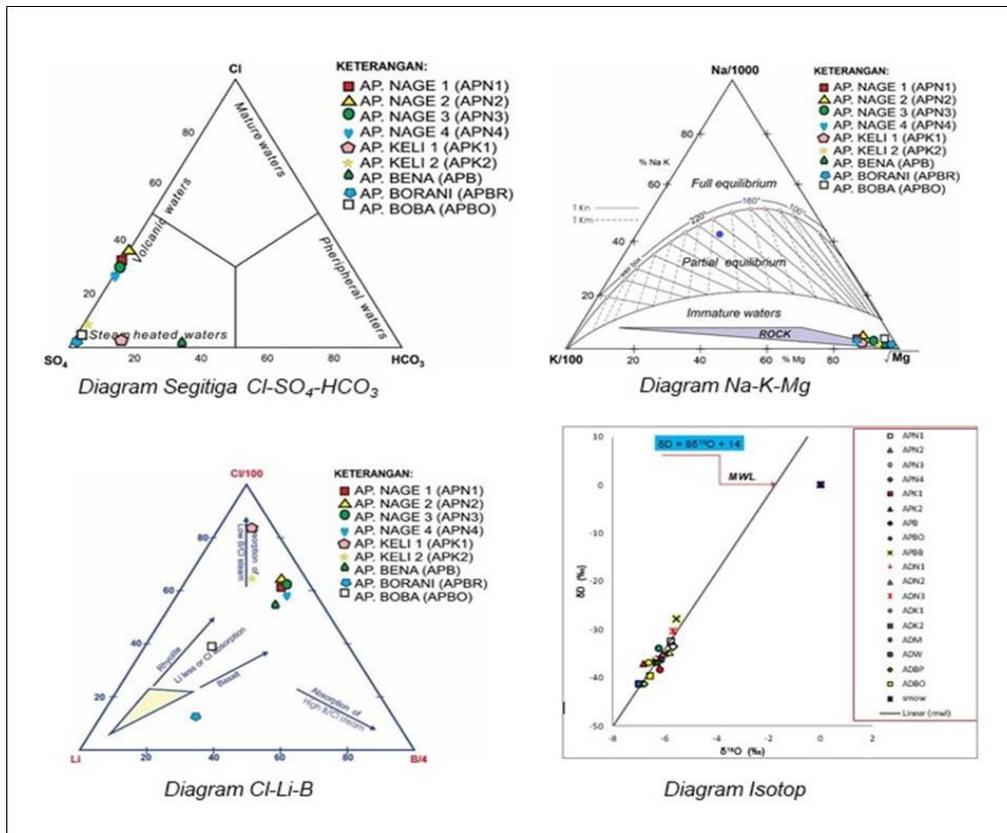
Berdasarkan data MT, sebaran tahanan jenis pada beberapa kedalaman

tertentu (100 m, 250 m, 500 m, 600 m, 800 m, 1000 m, 1500 m dan 2000 m) bisa memberikan gambaran mengenai struktur tahanan jenis yang berada di daerah Nage. Pada kedalaman dangkal (100 m), zona konduktif (< 10 Ohm.m) muncul seragam di area tersebut. Pada kedalaman 250 m, zona konduktif ini masih muncul di bagian timur, barat, dan utara daerah Nage. Bagian tengah dan selatan daerah Nage mulai mengalami kenaikan nilai tahanan jenis yang membuka ke arah selatan. Zona konduktif ini diperkirakan berasosiasi dengan batuan yang teralterasi dengan tipe Argilik Lanjut. Zona konduktif tersebut diduga berperan sebagai *caprock* dari sistem panas bumi Nage.

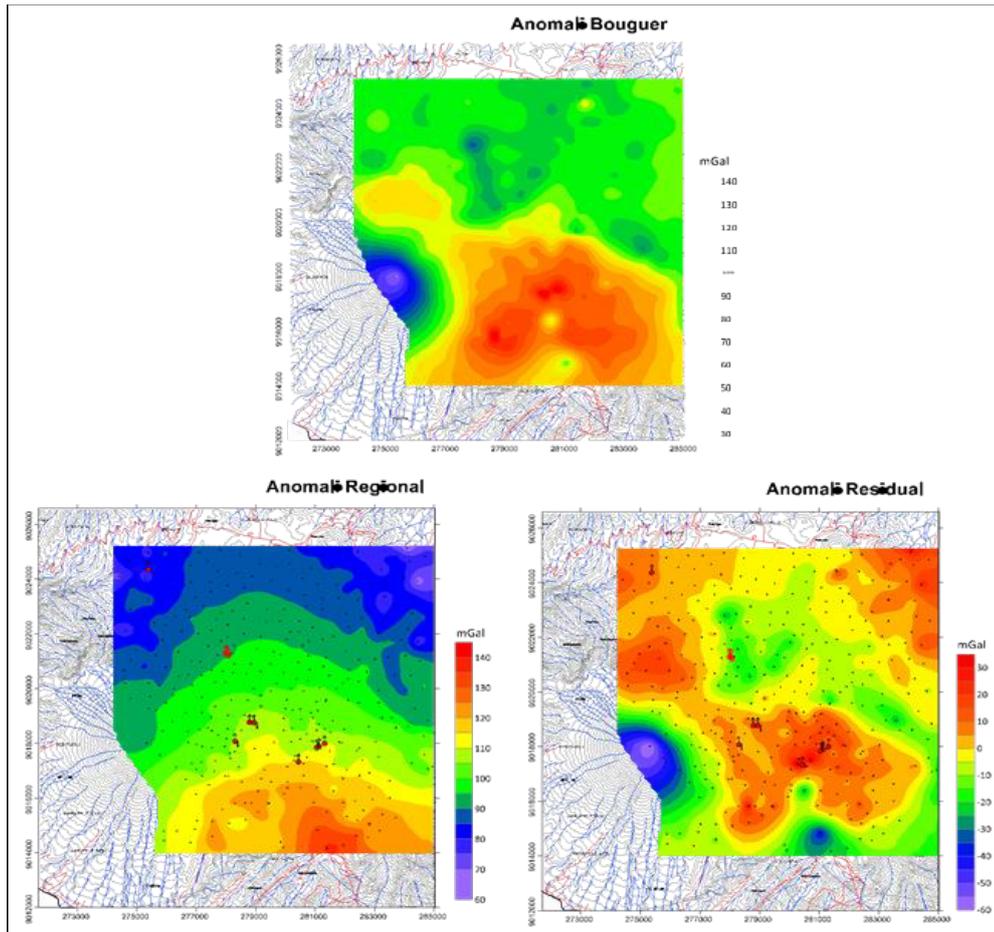
Sistem panas bumi Nage diperkirakan terbentuk dari sumber panas yang berasal dari sisa panas aktivitas vulkanik Wolo Puti dan Wolo Bena. Kemungkinan sumber panas ini dicirikan oleh *body* resistif (> 100 Ohm.m) yang berada di bawah kaldera Nage. *Caprock* dari sistem ini dicirikan oleh zona konduktif (< 20 Ohm) yang terletak antara mata air panas Keli hingga sebelah timur dari mata air panas Nage. Lapisan *reservoir* berada di bawahnya yang memiliki nilai tahanan jenis 30–80 Ohm.m dengan *top reservoir* diperkirakan berada di kedalaman sekitar 800 meter.



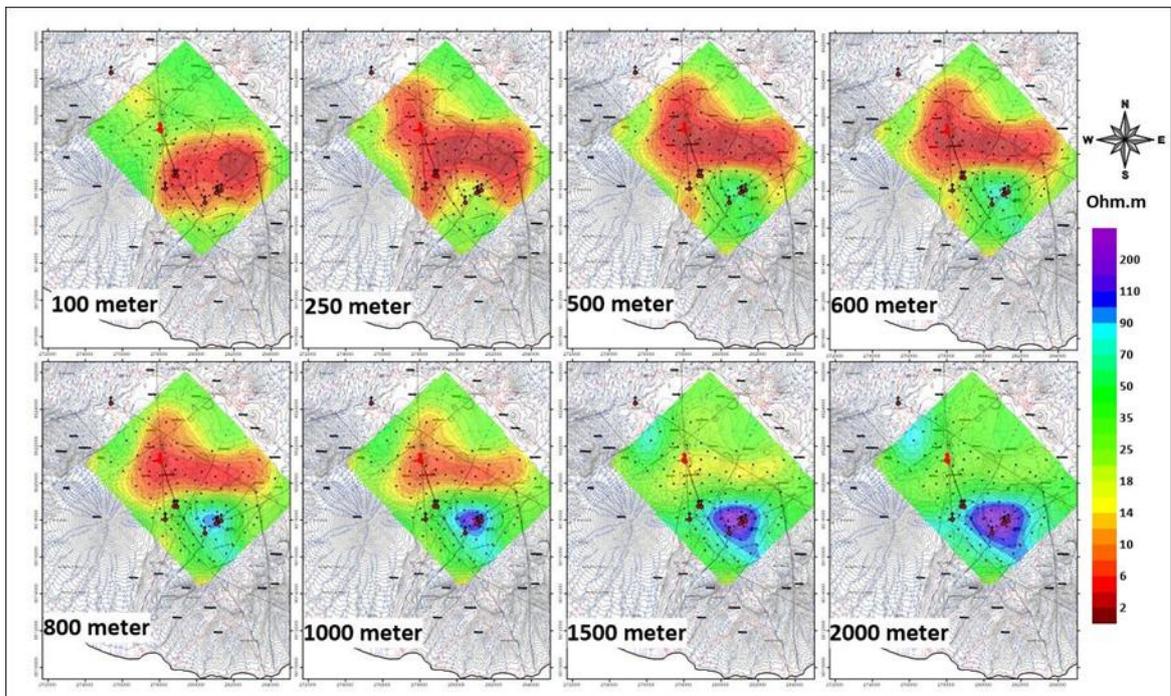
Gambar 2. Peta Geologi Daerah Nage



Gambar 3. Plotting pada diagram Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, Cl-Li-B dan Isotop



Gambar 4. Peta Anomaly Bouguer, Regional, dan Residual Daerah Nage



Gambar 5. Peta Tahanan Jenis MT Pada Kedalaman Tertentu

METODOLOGI

Penyiapan Infrastruktur Pengeboran

Penyiapan infrastruktur pengeboran di NGE-01A dan NGE-02 dimulai dengan pengerasan lahan dilakukan dengan metoda *layering* (lapisan per lapisan) untuk mendapatkan hasil pengerasan lahan yang sempurna sehingga mencapai CBR (*California Bearing Ratio*) minimal 80 %. Setelah dilakukan perkerasan dengan system *layering* (maksimal per layer 10 - 20 cm) dibagian atasnya akan di sebar material *base coarse* C dan A. Material *Base C* dan A adalah material timbunan berupa material pasir sampai ukuran kerikil dengan dimensi 2 x 3 cm. Ketebalan Material *Base C* dan A sekitar 10 cm dan dipadatkan. Untuk mendukung kebutuhan operasi pengeboran dibuat *layout wellsite* dan tapak sumur beserta infrastruktur pendukungnya dengan rincian sebagai berikut:

- Luasan Area *wellpad* dengan lebar 40 m x panjang 70 m
- Area tapak rig pengeboran lebar 20 ft x panjang 40 ft dengan tapak – *concrete Slab* (besi beton 12 mm) dengan dimensi lebar 4 m x Panjang 10 m
- *Cellar* dengan lebar 20 ft x panjang 10 ft
- *Water pond* dengan lebar 33 ft x panjang 50 ft, dilapisi dengan HDPE 1,5 mm

- *Water treatment* – limbah dan lumpur pengeboran dengan lebar 13 ft x panjang 33 ft.

Penyiapan Operasi Pengeboran

Penyiapan operasi pengeboran terdiri dari:

- 1) Memobilisasi rig ke lokasi, memposisikan rig di lokasi dan melakukan *rig up*.
- 2) Memastikan rig berada tepat dan di tengah koordinat sumur yang telah ditentukan.
- 3) *Rig up* semua peralatan tambahan dan peralatan *services company*.
- 4) Tajak sumur
- 5) Perwakilan Kementerian ESDM di lapangan akan melakukan *safety meeting* sebelum tajak.

Program Pengeboran

Program pengeboran *slim hole* secara garis besar dapat dijabarkan sebagai berikut:

- *Auger 12-1/4" conductor* sampai kedalaman 22 mMD GL.
- Turunkan dan semen selubung 9-5/8".
- Bor trayek lubang 8-1/2" sampai dengan *casing point* pada kedalaman 100 mMD DGL.
- Turunkan dan semen selubung 7".
- *Full continuous coring* dengan ukuran HQ 3-7/8" sampai dengan kedalaman 600 mMD GL.

- Perbesar lubang HQ dengan mata bor 6 1/8" sampai dengan kedalaman 600 mMD GL.
- Set dan semen selubung HWT (4 1/2") di kedalaman 600 mMD GL
- *Full continuous coring* dengan ukuran HQ 3-7/8" sampai dengan kedalaman 850 mMD GL.
- Set selubung NWT (3 1/2") di kedalaman 850 mMD GL – tidak disemen.
- *Full continuous coring* dengan ukuran NQ (2-7/8") sampai dengan kedalaman akhir sumur di 1.500 mMD GL.
- Turunkan BWT (2 1/2") *perforated liner* dan digantung di selubung NWT.
- Lakukan uji perampungan sumur (*completion test*).
- *Secure well*.
- *Rig down*.

Program Lumpur dan Penyemenan

Tipe lumpur menggunakan *bentonite* sebagai *viscosifier* dan untuk menaikkan pH dengan menggunakan KOH, lumpur ini hanya akan digunakan pada saat konduktor 9-5/8" sudah terpasang, dimana hal ini diperlukan untuk sirkulasi lubang sebelum penyemenan. Selama proses pengeboran / *auger* dengan diameter 12-1/4" tidak digunakan lumpur sama sekali. Selain itu digunakan lumpur *KCL Polymer Mud* dengan kadar KCL 2-3% untuk mempercepat proses pengeboran

dan meminimalkan permasalahan yang dapat terjadi karena formasi dan serbuk bor yang terkontaminasi ataupun mengendap dan susah untuk terangkat (mengendap) sampai permukaan. Untuk membersihkan lubang dengan optimal dibuat lumpur kekentalan tinggi (*hi-vis*) di tangki cadangan. Lumpur *hi-vis* di trayek ini menggunakan *bentonite* untuk *viscosifier*-nya.

Penyemenan dilakukan pada selubung 9 5/8 inci, selubung 7 inci, selubung 4,5 inci dan sebagian selubung 3,5 inci, kemudian dilakukan *top job* semen pada selubung yang diindikasikan tidak tersemen sampai permukaan.

Geologi Sumur

Metode yang dipakai dalam geologi sumur antara lain berikut ini:

- Memeriksa, mendeskripsi dan menganalisis conto batuan berupa serbuk bor (*cutting*) dan inti bor (*core*)
- Kekerasan dari *core* mengacu pada *International Society for Rock Mechanics* (ISRM)
- RQD adalah modifikasi dari recovery pengeboran untuk menggambarkan kualitas batuan dalam kaitannya dengan *fracture* alamiah
- Membuat *composite log*

Mudlogging

Selama proses pengeboran berlangsung kehadiran *Mud Logging Unit* berperan sebagai *Early Warning System*

apabila akan terjadi kondisi – kondisi yang berpotensi mendatangkan masalah pengeboran. Dengan demikian, seluruh peralatan (sensor) yang dipakai oleh Penyedia *Mud Logging Services* harus layak untuk digunakan sehingga dapat mengoptimalkan kegiatan operasi pengeboran.

Pekerjaan-pekerjaan tersebut meliputi:

1. Memonitor sirkulasi, hilang sebagian atau seluruhnya, ketinggian, temperatur serta tipe lumpur pemboran;
2. Memonitor seluruh kegiatan pelaksanaan pengeboran;
3. Mendata peralatan yang dipakai selama pengeboran;
4. Memonitor laju dan parameter pengeboran;
5. Mengumpulkan dan mempersiapkan conto batuan yang dipersyaratkan;
6. Memastikan semua peralatan sensor berfungsi baik dan terkalibrasi
7. Menyediakan *log* geologi dan *log* pengeboran
8. Membuat laporan harian.

PTS Logging

Peralatan yang dipergunakan pada pengukuran *logging* berupa alat *Pressure*, *Temperatur* dan *Spinner* (PTS) lengkap dengan asesorisnya. Alat *PTS Logging Geothermal PPS (Pioneer Petrotech*

Services) 71 didesain untuk kondisi *subsurface* yang ekstrim.

HASIL PENGEBORAN

Litologi Sumur NGE-01A

Litologi sumur NGE-01A berdasarkan analisis megakospis dari conto batuan inti bor merupakan hasil dari aktifitas vulkanik yang tersusun dalam beberapa satuan batuan, antara lain:

- 1) *Soil*, dijumpai dari permukaan hingga kedalaman 0 - 5 m, berwarna merah kecoklatan hingga coklat kehitaman, dengan karakteristik lengket dan sebagian merupakan material lepas, terdiri dari lempung dan lanau, merupakan hasil pelapukan lanjut dari material rombakan produk letusan aktifitas gunungapi muda.
- 2) Koluvium, terdapat di bawah *soil* hingga kedalaman 19 m, diinterpretasikan berupa material lepas fragmen-fragmen batuan yang merupakan material rombakan produk letusan gunungapi muda yang dicirikan dengan mudah tercuci (*wash-out*) sehingga tidak didapati batuan inti saat pengeboran *coring* berlangsung.
- 3) Lahar, dijumpai mulai dari kedalaman 34 hingga 50 m
- 4) Andesit, sangat umum dijumpai hingga total kedalaman (1500 m), sangat bervariasi dan berdasarkan persentase komposisi keberadaan fenokrisnya (*Modal Composition*) ada 2 jenis

Andesit yaitu ; 1) 20-30% dan 2) 30-40%.

Jenis Ubahan sumur NGE-01A

- 1) Mineral Lempung, Keberadaan mineral lempung sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur dalam pembentukannya sebagai mineral ubahan. Smektit dijumpai pada zona alterasi argilik dari lemah hingga menengah di bagian atas dari sumur eksplorasi NGE-01A.
- 2) Oksida Besi, Mineral oksida besi teramati mulai permukaan hingga mencapai kedalaman 58,70 m, muncul dalam jumlah relatif kecil sebagai produk dari interaksi air tanah yang masuk ke dalam batuan melalui rekahan-rekahan sehingga terjadi pelapukan dan membentuk jejak-jejak mineral oksida besi seperti limonit dan hematit. Tidak dijumpai adanya lapisan paleosol dalam sumur eksplorasi ini.
- 3) Kuarsa Sekunder, hampir ditemukan di sepanjang lubang, terutama pada zona ubahan silisifikasi melimpah
- 4) Klorit, dijumpai hampir di sepanjang sumur dengan berbagai variasi warna dan bentuk. Berwarna hijau pucat, terang hingga hijau gelap dan terbentuk dalam kebiasaan sifat fisik kristal yang umum dijumpai. Kehadiran mineral klorit ini juga didukung oleh hasil analisis petrografi pada kedalaman 216,3 m , 384,1 m, 603,9 m, 815,0 m, 1267,0 m, 1418,8 m, 1498,5 m .
- 5) Kalsit adalah jenis mineral karbonat yang paling umum hadir hampir di semua kedalaman.
- 6) Zeolit, Dijumpai mulai di kedalaman 311,08 m terutama hadir pada zona-zona lemah dan intensitas rekahan yang menengah hingga sedang.
- 7) Anhidrit, mineral ini umum dijumpai pada ubahan propilitik sebagai pengisi rekahan yang sering bersama-sama (*intergrowth*) dengan kuarsa sekunder, pirit, kalsit, dan zeolit. Sangat jarang dijumpai sebagai mono mineral namun ada ditemukan seperti di kedalaman 511 m dan 957 m.
- 8) Epidot, Hadir sebagai penciri zona *reservoir* dimana temperatur pembentukannya paling tidak berada pada 220 hingga 250° C baik sebagai mineral pengganti (*replacement*) ataupun sebagai pengisi rekahan berupa urat maupun ura-urat halus. Epidot muncul pertama kali dikedalaman 518 m sebagai urat tipis pada batuan basal berubah propilitik menengah. Epidot yang sama juga dijumpai pada kedalaman 644 m dan 814 m. Epidot yang dijumpai pada kedalaman 1062 m, 1065 m, 1069 m, kenampakan mineral lebih hijau, fresh yang juga tumbuh bersama-sama dengan kuarsa dan klorit berupa urat/vein yang belum mengalami gangguan atau ubahan dari larutan sisa magma.

9) Pirit, Mineral ubahan pirit sangat umum dijumpai hampir di seluruh kedalaman sumur NGE-01A.

Litologi Sumur NGE-02

Litologi sumur NGE-02 berdasarkan analisis megakospis dari conto batuan inti bor merupakan hasil dari aktifitas vulkanik yang tersusun dalam beberapa satuan batuan, antara lain:

- 1) Lahar, dijumpai di kedalaman hingga 21 m
- 2) Andesit, dijumpai pada kedalaman 34 m, 128-133 m, 141-204 m, 241-264 m, 271-292 m, 355-415 m dan 482-489 m, abu-abu gelap sampai abu-abu terang, kadang kehijauan, porfiritik, terdiri dari fenokris-fenokris plagioklas, piroksen dan mafik mineral lain dengan massa dasar afanitik yang telah mengalami devitrifikasi oleh kuarsa, kadang secara setempat hanya ada sedikit fenokris.
- 3) Breksi Tuf, dijumpai pada kedalaman 115-128 m, 292-355 m.
- 4) Kristal Tuf, lapisan ini dijumpai pada kedalaman 28-51 m, 95-115 m, 133-141 m.
- 5) Litik Tuf, dijumpai pada pada kedalaman 51-95 m, 204-241 m dan 264-271 m.
- 6) Andesit Basaltik, dijumpai pada kedalaman 489-523 m,
- 7) Andesit Hornblende, dijumpai pada kedalaman 561-581 m,

8) Andesit Porfiri, dijumpai pada kedalaman 581-601 m,

9) Basalt, dijumpai pada kedalaman 523-561 m

Jenis Ubahan sumur NGE-02

- 1) Mineral lempung, Kaolinit-smektit dijumpai pada alterasi argilik dari lemah hingga menengah pada bagian atas dari sumur eksplorasi NGE-02
- 2) Oksida Besi, mineral oksida besi intens teramati mulai permukaan hingga mencapai kedalaman 30 m kemudian semakin berkurang dimana muncul dalam jumlah relatif kecil berupa staining pada mineral lempung hingga kedalaman 69,32 m.
- 3) Kuarsa Sekunder hampir ditemukan di sepanjang lubang, terutama pada zona ubahan silisifikasi melimpah, setempat-setempat pada rekahan yang intensif, ubahan silisifikasi berkembang menjadi ubahan filik, terjadi baik pada masa dasar maupun pada pita (band), urat-urat ataupun urat-urat halus dari kuarsa sekunder, terutama pada proses overprinted propilitik.
- 4) Klorit dijumpai hampir disepanjang sumur dengan berbagai variasi warna dan bentuk.
- 5) Kalsit adalah jenis karbonat yang paling umum hadir hampir di semua kedalaman pada alterasi propilitik, minor siderite juga hadir sebagai ubahan (*rimming*).

- 6) Epidot Hadir sebagai penciri reservoir dimana temperatur pembentukannya paling tidak berada pada 220 hingga 250 °C baik sebagai mineral pengganti (replacement) ataupun sebagai pengisi rekahan berupa urat maupun urat-urat halus. Epidot muncul pertama kali kedalaman 363 m sebagai urat tipis pada batuan andesit berubah propilitik menengah.
- 7) Anhidrit, Mineral ini umum dijumpai pada ubahan propilitik sebagai pengisi rekahan yang sering dijumpai bersama-sama (*intergrowth*) dengan kuarsa sekunder, kalsit, pirit dan zeolit.

Logging P dan T NGE-01A dan NGE-02

Pada sumur NGE-01A Logging P dan T dilakukan beberapa kali di kedalaman 250 m, 500 m, 600 m, 850 m, 1200 m dan 1500 m. Sedangkan untuk logging sumur NGE-02 dilakukan pada kedalaman 584 meter. Hasil logging sebagaimana gambar 9 s.d 12

Completion Test NGE-01A

Completion test dilakukan setelah pengeboran dan pemasangan liner selesai, Tujuan dari completion test adalah untuk mengetahui dimana lokasi zona permeable dan mengetahui kemampuan injeksi fluida dari sumur. Test ini dilakukan cara menginjeksikan air kedalam lubang sumur dengan debit tertentu sambil melakukan pengukuran tekanan, spinner dan

temperatur. Hasil completion test seperti pada Gambar

PEMBAHASAN

NGE-01A

Kegiatan pengeboran slim hole sumur NGE-01A berhasil mencapai kedalaman target 1500 mMD (*total depth*) sedangkan di NGE-02 hanya sampai 600 meter.

Dari permukaan hingga kedalaman 1500 mMD, litologi sumur NGE-01A tersusun oleh perselingan antara batuan lava, breksi, dan tuf. Mineral ubahan yang dijumpai berupa mineral silika, mineral lempung (Cl), pirit (Py), kalsit (Ca), klorit (Ch), dan magnetit (Mt), kuarsa sekunder (SQ), anhidrit (An), epidot (Ep), Pyrrhotit (Prt), dan zeolit (Zeo) dengan intensitas ubahan lemah hingga kuat. Mineral epidot sebagai mineral penunjuk temperatur tinggi mulai dijumpai dari kedalaman 428 m dan menerus kehadirannya sampai kedalaman akhir. Data hilang sirkulasi PLC (*Partial Loss Circulation*) dan TLC (*Total Loss Circulation*) sumur selain di kedalaman dangkal (<100 m) hanya ditemukan pada kedalaman 706 m (TLC) dan PLC di interval kedalaman 863 m sampai 946 m dengan debit sebesar 0,1 hingga 0,4 BPM.

Pada pengukuran *logging* temperatur dilakukan perhitungan dengan metode *Horner Plot* untuk mendapatkan nilai *Initial Temperatur* (temperatur formasi). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai temperatur formasi

di kedalaman 600 m sebesar 138,04°C, di kedalaman 850 m sebesar 177,36°C, di kedalaman 1190 m sebesar 227,49°C dan di kedalaman 1497 m sebesar 268,88°C. Sedangkan untuk pengukuran *logging* tekanan formasi untuk di kedalaman 600 m sebesar 900,09 psi, kedalaman 850 m sebesar 1275 psi, kedalaman 1190 m sebesar 1380 psi dan kedalaman 1497 m sebesar 1793 psi.

Hasil uji perampungan sumur (*completion test*) sumur NGE-01A sebanyak tiga kali pengukuran pada tanggal 7, 8, dan 13 Juni 2022 memperlihatkan tekanan sumur stabil pada tekanan sebesar 1487 psi. Sedangkan temperatur sumur menunjukkan temperatur yang masih berubah (meningkat) secara bertahap mendekati titik didih (*Boiling Point*) mulai dari temperatur sebesar 278°C ketika pertama kali pengukuran meningkat hingga temperatur sebesar 284°C ketika pengukuran yang ketiga kalinya setelah 8 (delapan) hari *heating up* sumur (Gambar 4.6). Kenaikan temperatur ini berpotensi untuk mengubah fase fluida, dari fase air menjadi fase uap. Selain itu hasil *completion test* menunjukkan *liquid level* berada pada interval kedalaman 300 sampai 370 m.

NGE-02

Dari permukaan hingga kedalaman 600,3 mMD, litologi sumur NGE-02 tersusun oleh batuan kolovium dan

perselingan antara batuan lava andesit-basalt, breksi dan tuf. Mineral ubahan yang dijumpai berupa mineral silika, lempung, pirit, klorit, karbonat, magnetit, anhidrit, zeolit, dan epidot, dengan intensitas ubahan lemah hingga kuat. Mineral epidot mulai dijumpai dari kedalaman 363,55 mMD hingga kedalaman akhir.

Hasil pengukuran tekanan dan temperatur (PT Logging) pada kedalaman 584 m menunjukkan tekanan sumur maksimum sebesar 758 psi, dan temperatur sumur maksimum sebesar 144,38°C dengan gradien temperatur sebesar 19°C/100 m atau sekitar 6 x gradien temperatur normal.

Hasil pengukuran PT Logging sumur NGE-02 pada kedalaman 584 m menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur sumur NGE-01A pada kedalaman yang hampir sama yaitu di kedalaman 600 m sebesar 135,74°C.

Pada pengukuran logging temperatur dilakukan perhitungan dengan metode *Horner Plot* untuk mendapatkan nilai *Initial Temperature* (temperatur formasi). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai temperatur formasi di kedalaman 584 m sebesar 151,75°C, sedangkan untuk pengukuran logging tekanan formasi untuk di kedalaman 587 m sebesar 836,13 psi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sumur NGE-01A memiliki kedalaman akhir mencapai 1500 mMD GL yang berada di lingkungan batuan vulkanik dan sebagian telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan lemah sampai kuat. Batuan Ubahan yang terbentuk menunjukkan tipe ubahan argilik dan propilitik. Hasil uji perampungan sumur menunjukkan bahwa sumur NGE-01A memiliki temperatur sebesar 284°C (masih *heating up*) dan tekanan sekitar 1487 psi, sedangkan perkiraan *boiling point* mencapai 300°C.

Daerah panas bumi Nage memiliki temperatur reservoir antara 210°C s.d. 300°C dan *top reservoir* berada pada

kedalaman sekitar 800 m. Zona prospek berada di sekitar mata air panas Nage hingga mata air panas Keli dengan luas minimum (P 90) 4 km², *most likely* (P 50) 8 km², dan maksimum (P 10) 14 km². Daerah prospek Nage memiliki sumber daya panas bumi sekitar 46 MWe (P 50) yang termasuk pada kelas cadangan terduga (*probable reserves*).

Berdasarkan kelengkapan data geosains, hasil pengeboran *slim hole*, dan hasil evaluasi teknis, daerah panas bumi Nage sudah layak untuk ditawarkan ke pengembang/badan usaha panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Brosur *Pioneer Petrotech Services* (PPS71 PTS Geothermal Tools)
- Deere, D. U. dan Deere, D. W. (1988). *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, Kirkaldie, L. (Ed.). American Society for Testing and Material: Philadelphia.
- Kusnadi, D., dkk (2021). Laporan Survei Geokimia Daerah Panas Bumi Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Masami Otake, Hiroshi Takahashi, Takehiro Koseki and Hirao Yoshiyama (2002). *Geology, geochemistry and geochronology of the Bajawa area, central Flores, Indonesia: Geologic structure and evolution of the Bajawa depression. Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 53 (2/3).*
- Melisano, E. (2021). Laporan Survei Gaya Berat Daerah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.

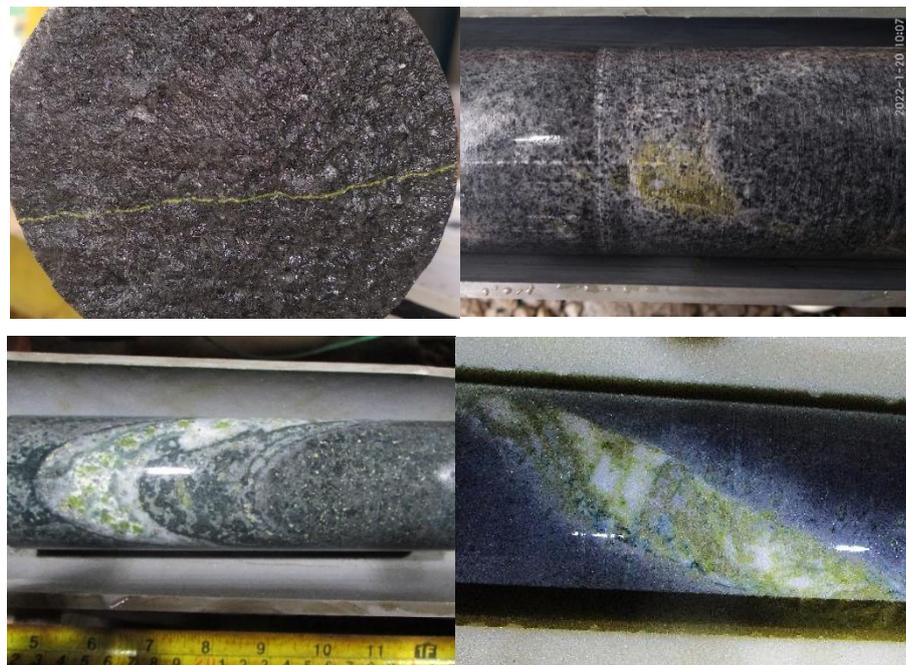
- Muraoka, H., Nasution, A., Simanjuntak, J., Dwipa, S., Takahashi, M., Takahashi, H., Matsuda, K., Sueyoshi, Y., (2005). *Geology and Geothermal System in the Bajawa Volcanic Rift Zone, Flores, Eastern, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress.*
- Permana, L.A., Sukaesih, Robertus S.L.S dan Komara (2021). Laporan Survei Geologi Daerah Panas Nage, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Sugianto, A., (2017) Survei Magnetotellurik (MT) dan *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) Daerah Panas Nage, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Sukaesih, Kushadi, D., Sugianto, A., dan Hermawan, D., (2017). Laporan Survei Terpadu Daerah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Taqodama. I., (2021). Laporan Survei Magnetotellurik dan TDEM Daerah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Tim Integrasi Data Geosains, (2021), Laporan Integrasi Data Geosains. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.



Gambar 6. Foto zona ubahan Argilik kuat dijumpai pada kedalaman 703 – 707 m (NGE-01A)



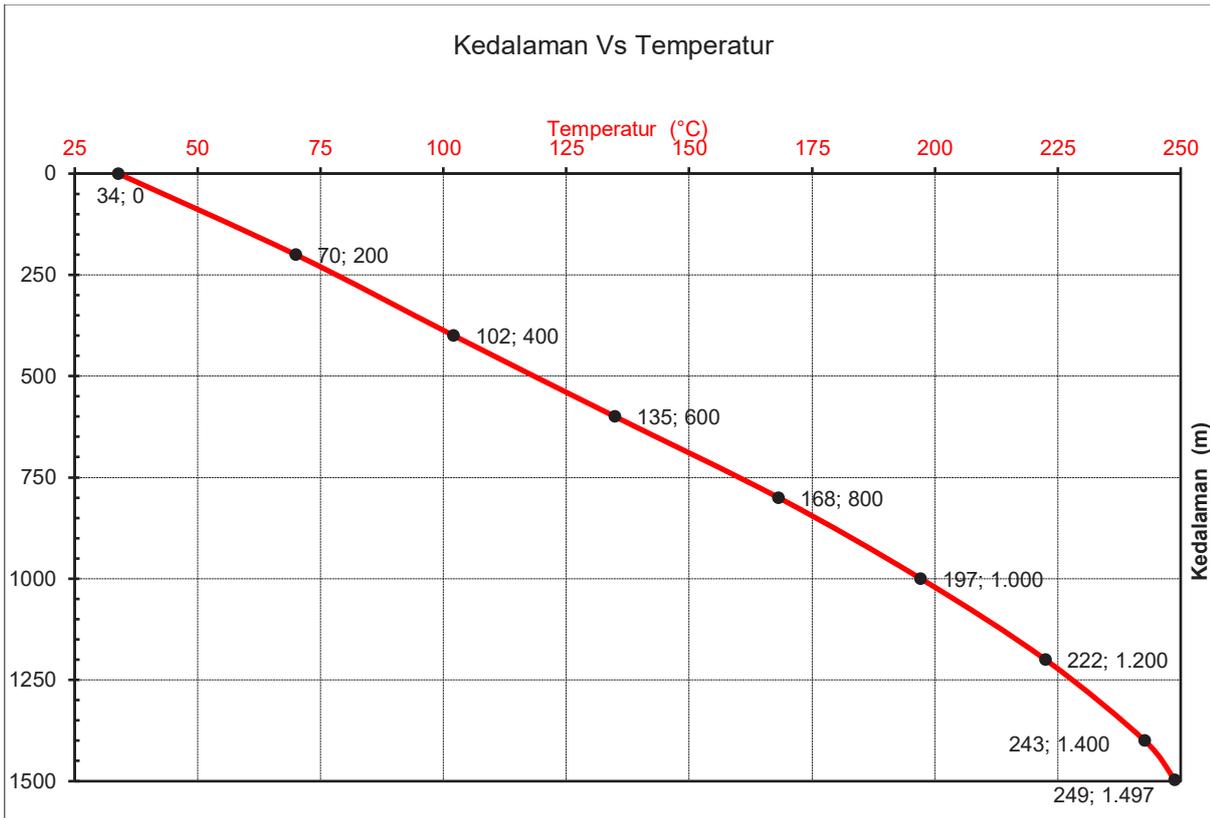
Gambar 7. Foto mineral sekunder kalsit yang mengisi sistim rekahan (NGE-01A)



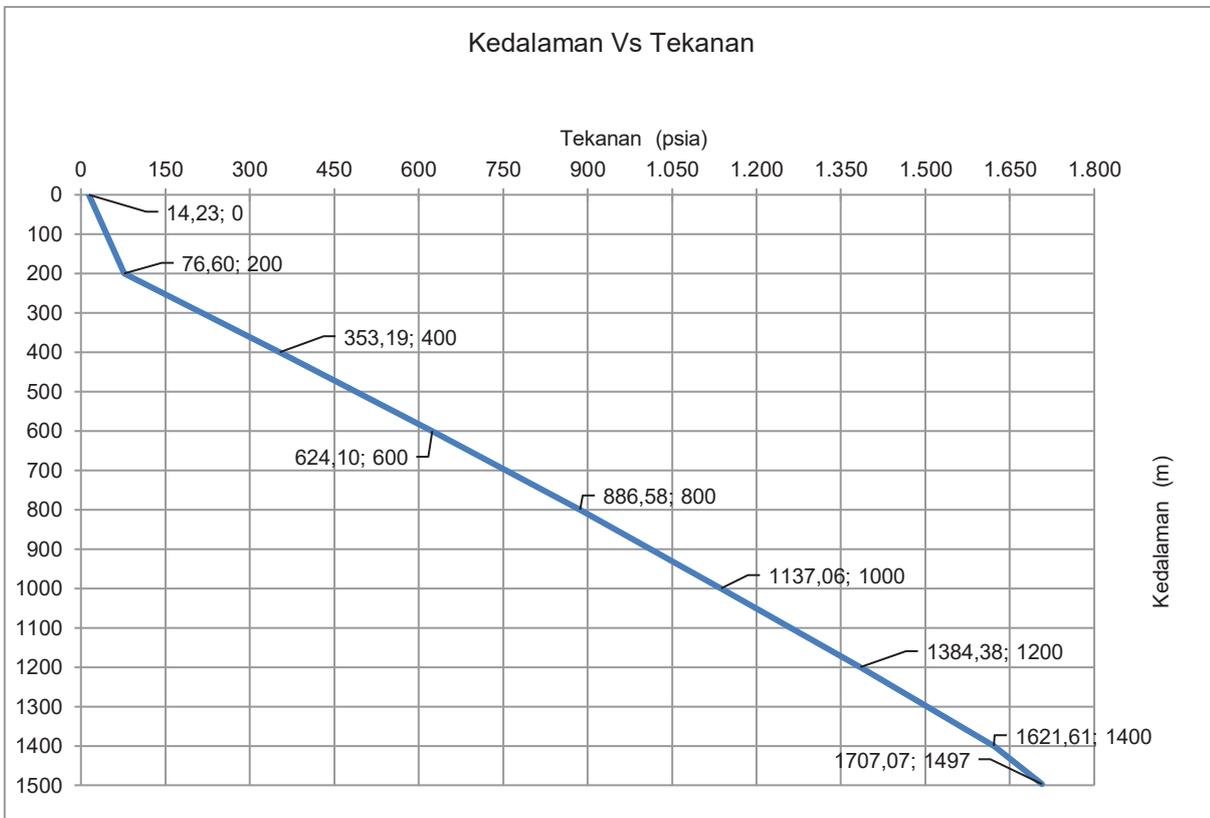
Gambar 8. Foto Kemunculan Epidot (NGE-01A)

Tabel 2. Litologi, Jenis Intensitas dan Tipe Ubahan Sumur NGE-02

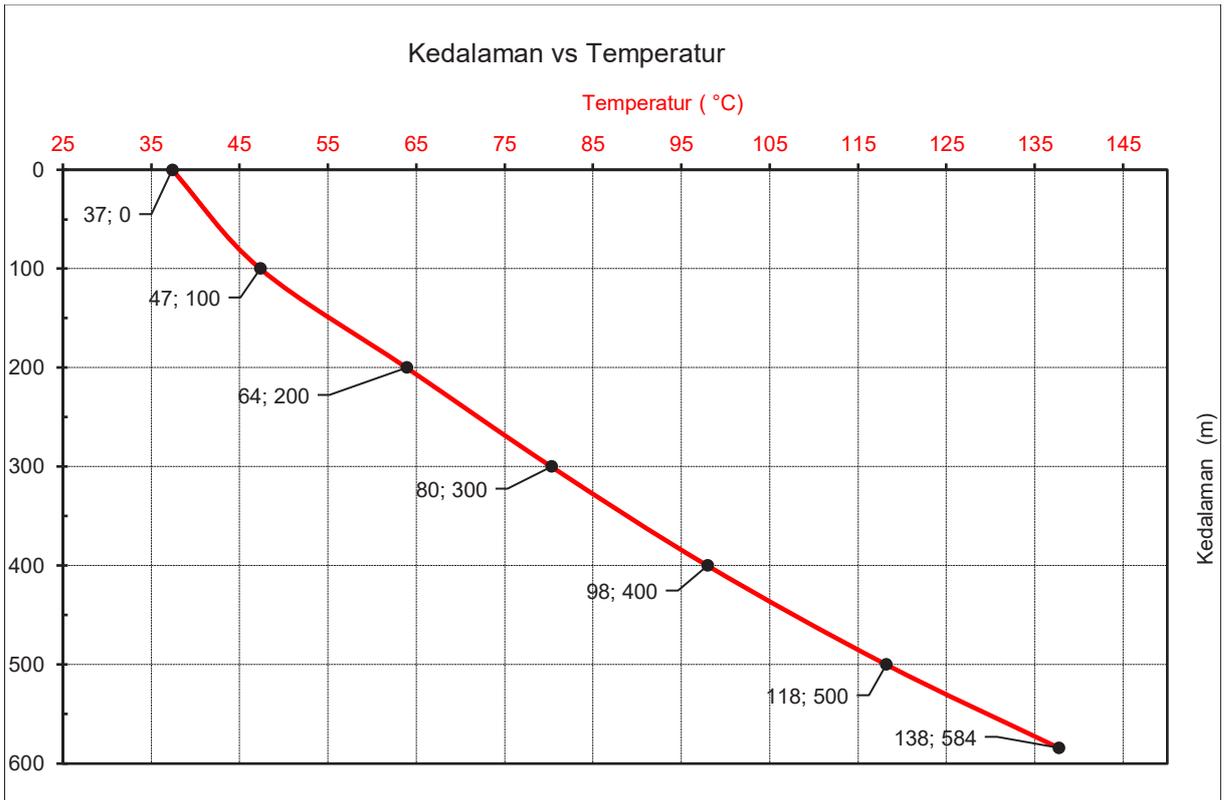
KEDALAMAN (mMD GL)		LITOLOGI	SM/TM	Tipe Alterasi	ALTERASI HIDROTHERMAL											Volcano Stratigrafi	
Dari	Sampai				Intensitas Alterasi: 1 - Jarang 2 - Lemah 3 - Menengah 4 - Kuat < 2% = Jarang 2 -10% = Lemah 10 -20% = Menengah >20 = Kuat												
Hm/ Lim	Py				Ch	Qz	Sm	Int Clay	I	Cal	Sid	Ep	Ah	Mag			
0	16.70	Soil		CW													Recent
16.70	21.20	Coluvium		CW													
21.20	28.00	Lahar		CW													
28.00	34.31	Kristal Tuf	30	Argilik	10	3		35		45	7						Produk Inerie
34.31	34.82	Lava Andesit	30					50		40	10						
34.82	51.98	Kristal Tuf	50			10		40		40	10						
51.98	95.18	Lithic Tuf	50			8		70	2	20							
95.18	115.65	Kristal Tuf	50			8		75		17							
115.65	117.21	Breksi Tuf	40			10		70		15	5						
117.21	128.17	Breksi Tuf	40			20		60		15	5						
128.17	133.90	Lava Andesit	20			7		75		10	5					3	
133.90	141.18	Kristal Tuf	50			10	5	60		20	5						
141.18	174.57	Lava Andesit	30		Filik	15	10	60		10	5						
174.57	203.10	Lava Andesit	45			5	10	70		10	5						
203.10	204.14	Lava Andesit	30	Silisifikasi / Filik	15	5	67		5	5					3		
204.14	239.60	Lithic Tuf	45			10	15	58		10	5	2					
239.60	241.40	Lithic Tuf	45			10	10	60		10	5	5					
241.40	264.18	Lava Andesit	30			10	10	57		5	5	10				3	
264.18	271.41	Lithic Tuf	50			10	12	60		10	5	3					
271.41	292.81	Lava Andesit	25			5	10	65		8	5	5				2	
292.81	315.52	Breksi Tuf	50			5	5	68		10	5	5			2		
315.52	355.51	Breksi Tuf	50			5	5	68		10	5	5			2		
355.51	394.81	Lava Andesit	30		Propilitik / Silisifikasi	5	10	70		5	5		2		2	3	
394.81	415.00	Lava Andesit	40				5	15	67		5	5	2		1		
415.00	437.41	Andesit Basaltik	30			3	15	70		3	5			1		3	
437.41	482.35	Lava Andesit	50			3	15	68		5	2			2	5		
482.35	489.95	Lava Andesit	40			10	15	65		2	3				3	2	
489.95	504.21	Andesit Basaltik	50			8	22	60		2	3				3	2	
504.21	523.78	Andesit Basaltik	50			5	20	55		5	5			2	3	5	
523.78	544.95	Basalt	60			7	15	50			10			3	5	10	
544.95	552.86	Basalt	50			5	15	50		5	10				5	10	
552.86	561.95	Basalt	40			5	15	60		5	5			2	3	5	
561.95	565.15	Andesit Hornblende	70	Argili	3	7	65		20		5					Bajawa Vulkanik Fase Kaldera	
565.15	571.10	Andesit Hornblende	35			7	15	70		5		3					
571.10	581.40	Andesit Hornblende	35	Propilitik	5	15	58		5		7		8		2		
581.40	593.85	Andesit Porfiri	40			10	25	53				2		3			7
593.85	601.27	Andesit Porfiri	30			7	25	55				3					10



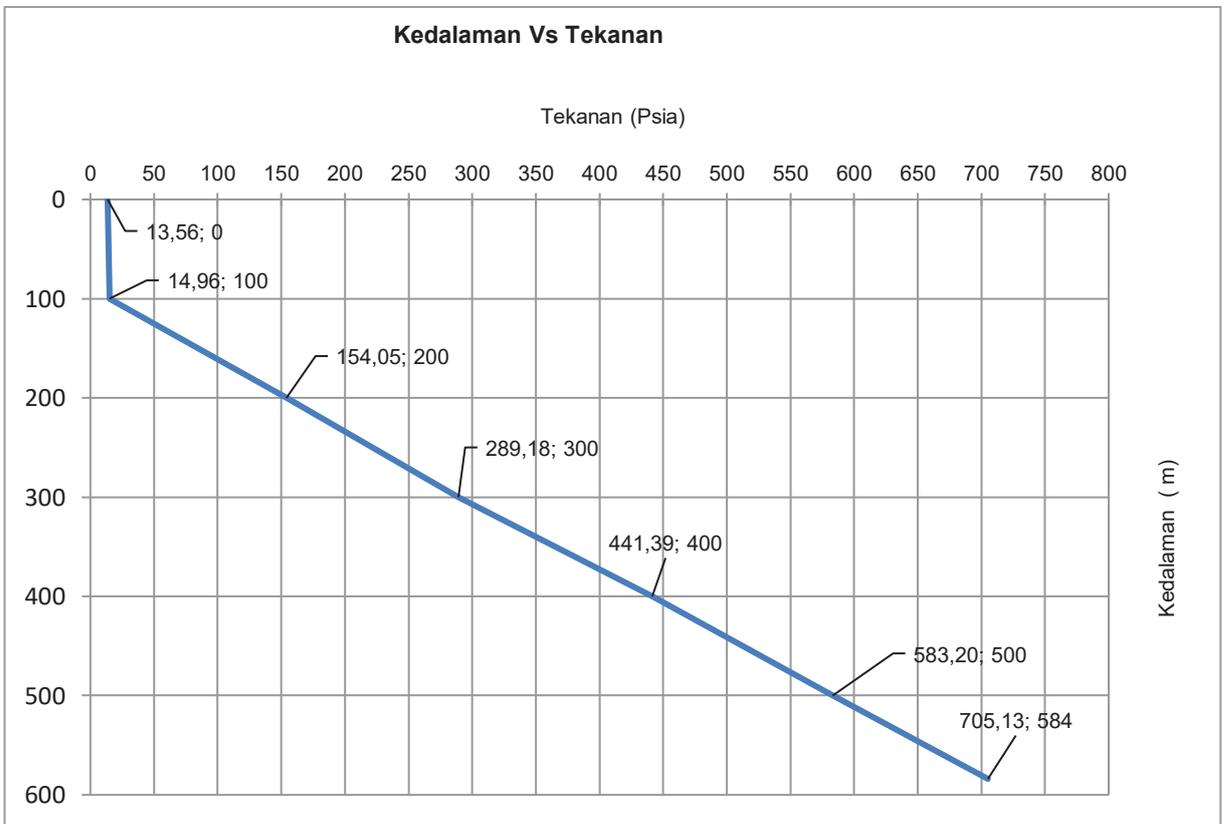
Gambar 9. Grafik Kedalaman vs Temperatur NGE-01A



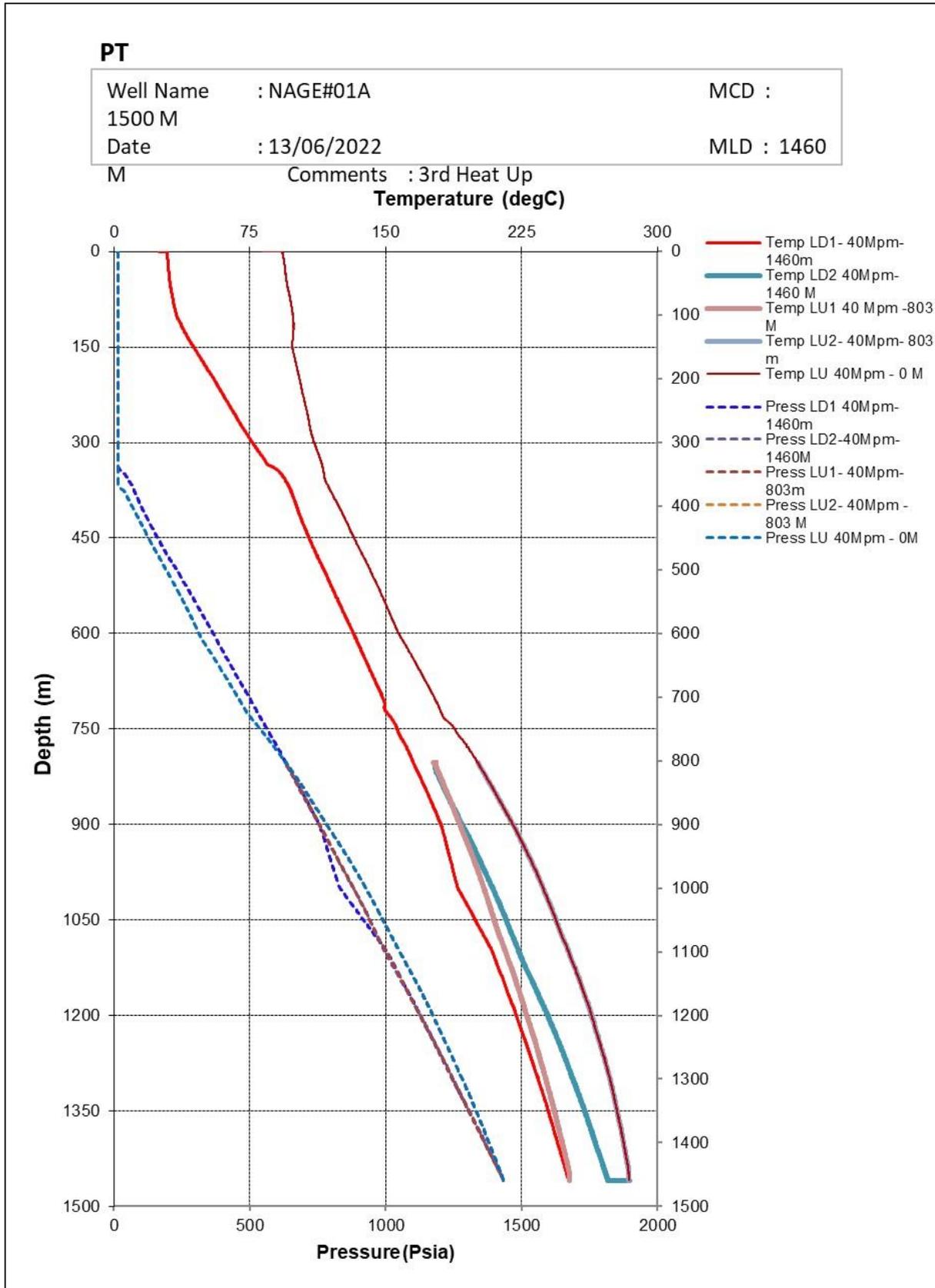
Gambar 10. Grafik Kedalaman vs Tekanan NGE-01A



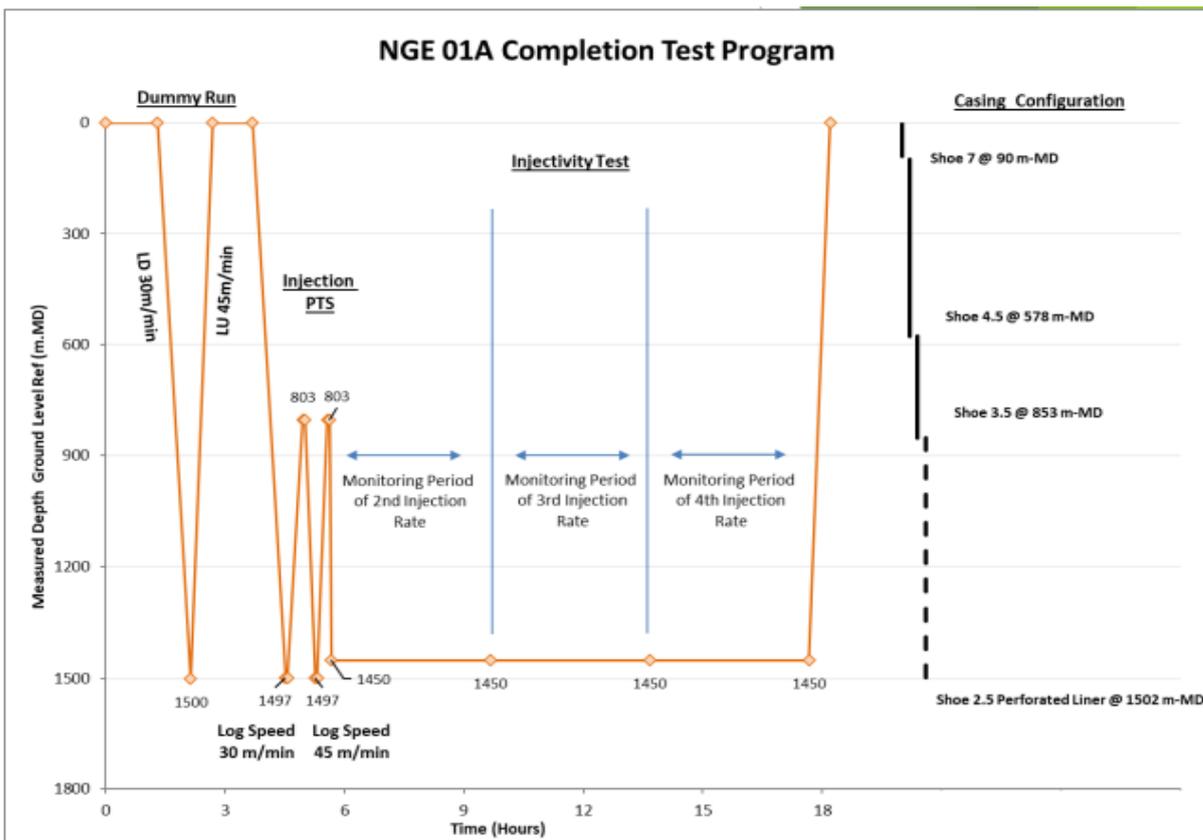
Gambar 11. Grafik Kedalaman Vs Temperatur sumur NGE-02



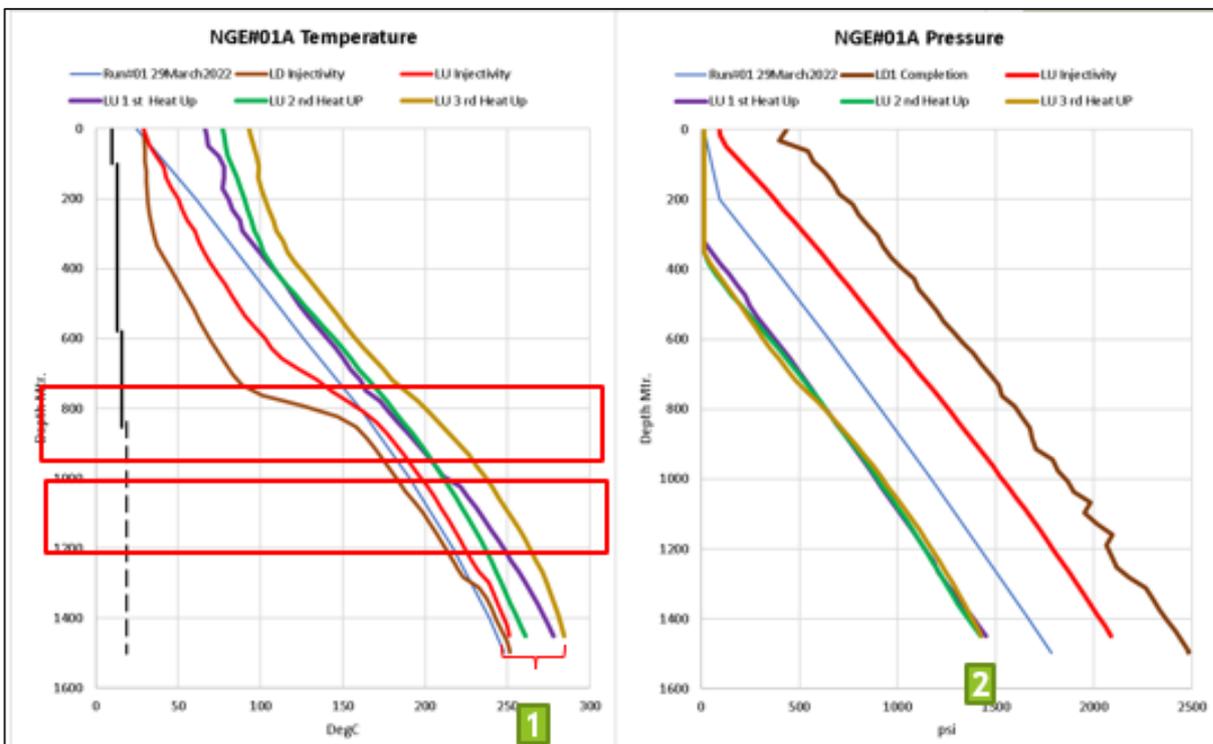
Gambar 12. Kedalaman Vs Tekanan sumur NGE-02



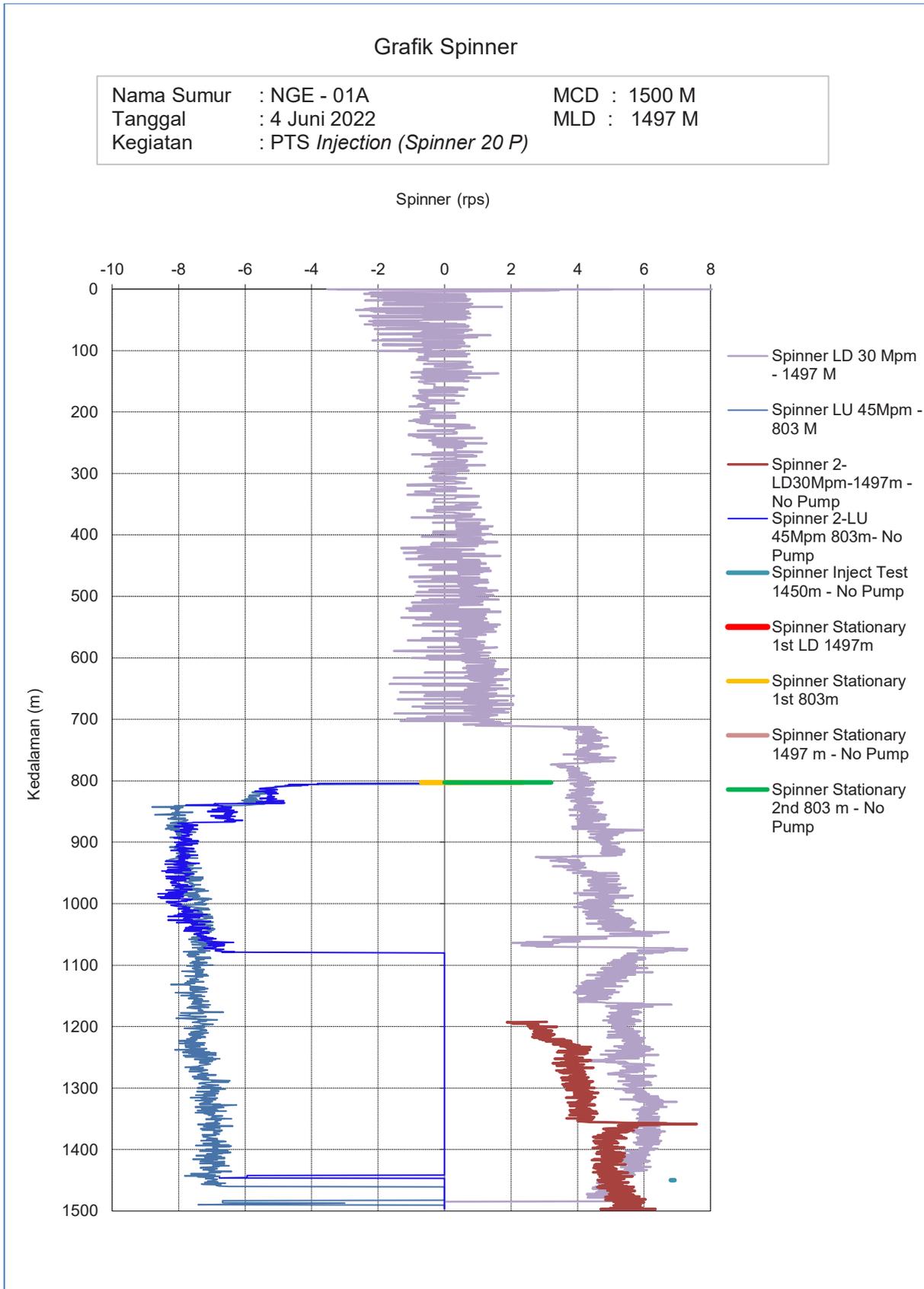
Gambar 13. Hasil Pengukuran PT Logging Kondisi Heating Up Sumur NGE-1A Pada Kedalaman Akhir



Gambar 14. Completion Test NGE-01A Program



Gambar 15. Hasil Completion Test NGE-01A



Gambar 16. Hasil Spiner

SURVEI PENDAHULUAN GEOLOGI DAN GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI KABUPATEN LIMA PULUH KOTA, PROVINSI SUMATERA BARAT

Sukaesih, Dede Iim Setiawan, dan Arif Munandar

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah panas bumi Kabupaten Lima Puluh Kota berada pada lingkungan non vulkanik, terletak pada bagian barat cekungan Sumatera Utara. Terdapat 3 daerah panas bumi, yaitu Daerah Panas Bumi Batubalang, Muaro Paiti dan Tanjung balik. Temperatur manifestasi terukur $35,0^{\circ}\text{C}$ – $61,9^{\circ}\text{C}$ pada temperatur udara $23,0^{\circ}\text{C}$ – $29,8^{\circ}\text{C}$, kehilangan panas secara alamiah sebesar $176,1 \text{ kW}_{\text{th}}$. Pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ *fluida* panas di Kabupaten Lima Puluh Kota bertipe bikarbonat, pada diagram Cl-Li-B menunjukkan sistem panas buminya memiliki umur yang relative tua, pada diagram Na-K-Mg menunjukkan *fluida* panas berada pada zona *immature water*. Berdasarkan nilai isotop menunjukkan bahwa semua *fluida* panas terdapat sekitar *meteoric water line*.

Batuan penyusunnya merupakan batuan sedimen terdiri dari konglomerat (Tok), batupasir (Tmbp), dan alluvium (Qal). Struktur geologi yang mengontrol daerah panas bumi Lima Puluh Kota berupa perlipatan dan pensesaran berarah baratlaut-tenggara dan utara - selatan.

Potensi panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota, yaitu daerah panas bumi Batubalang temperatur reservoir menunjukkan 120°C sumber daya spekulatif sebesar 5 MWe ; daerah panas bumi Muaro Paiti temperatur reservoir menunjukkan 180°C , sumber daya spekulatif 10,5 MWe ; dan daerah panas bumi Tanjung Balik temperatur reservoir menunjukkan 90°C sumber daya spekulatif sebesar 5 MWe.

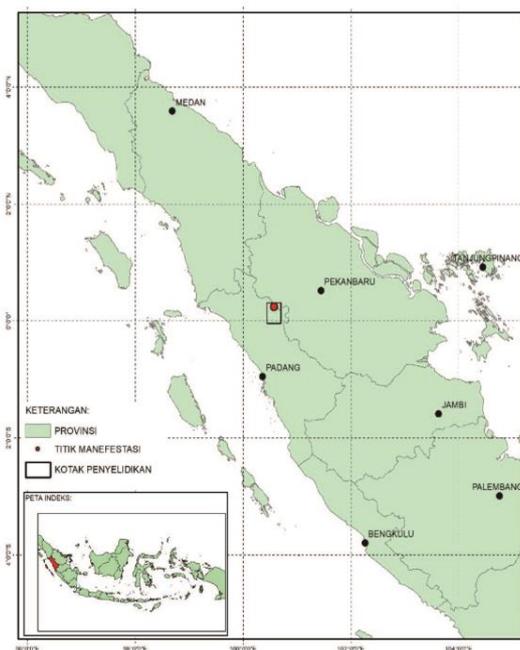
Kata kunci: panas bumi, Lima Puluh Kota, Sumatera Barat

PENDAHULUAN.

Indonesia secara geologi pada posisi yang strategis, berada pada pertemuan lempeng aktif Eurasia, pasifik dan Australia sehingga memiliki potensi

sumberdaya geologi yang berlimpah. Potensi panas bumi yang dimiliki Indonesia sangat berlimpah dengan berbagai kategori, yaitu high Entalphy, Medium Enthalpy dan Low Enthalphy. Energi yang berasal dari panas

bumi merupakan energi yang terbarukan, ramah lingkungan dan memiliki potensi yang besar walaupun pemanfaatannya di Indonesia masih sangat kecil. Untuk menjaga kelangsungan dan ketahanan energi nasional serta efisiensi dan efektivitas, kewenangan dan penyelenggaraannya dilaksanakan oleh pemerintah. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi pada tahun anggaran 2022 telah melaksanakan penyelidikan geologi dan geokimia pendahuluan daerah panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat, Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penyelidikan

Metodologi

Metoda yang digunakan pada

survei geologi ada tiga tahapan, yaitu mulai dari studi literatur/pengumpulan data sekunder, dan analisis struktur dari citra satelit. Tahapan dilanjutkan akuisisi data lapangan, yaitu pengamatan/observasi manifestasi panas bumi, pemetaan geomorfologi, pemetaan batuan, gejala-gejala struktur geologi dan pengambilan sampel batuan terpilih untuk dilakukan analisis di Laboratorium PSDMBP. Tahapan ketiga dilakukan pengolahan data, dilakukan integrasi data sekunder dan data primer dan interpretasi.

Survei geokimia metoda yang digunakan terdapat beberapa tahapan, yaitu studi pustaka, akuisisi data lapangan meliputi pengukuran sifat fisik manifestasi panas bumi berupa mata air panas, pengambilan sampel air panas, sampel air dingin, sampel gas dari bualan atau gelembung mata air panas. Selain itu dilakukan pengukuran temperatur udara tanah di dalam lobang kedalaman 1 meter, pengambilan sampel Hg tanah, pH tanah, dan sampel CO₂ dalam udara tanah, analisis laboratorium serta pengolahan data dan interpretasi.

Geologi Regional

Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat berada pada lembar peta Pekanbaru (M. Bagdja, dkk, 1982), terdapat 7 (tujuh) formasi batuan, terdiri dari :

1. Formasi Kuantan (Puku) berumur Permo-Karbon merupakan batuan tertua di

daerah penyelidikan, menempati bagian kecil pada peta bagian baratdaya. Batuan pada formasi ini tersusun oleh fillit, serpih, sekis muskovit, batugamping tipis.

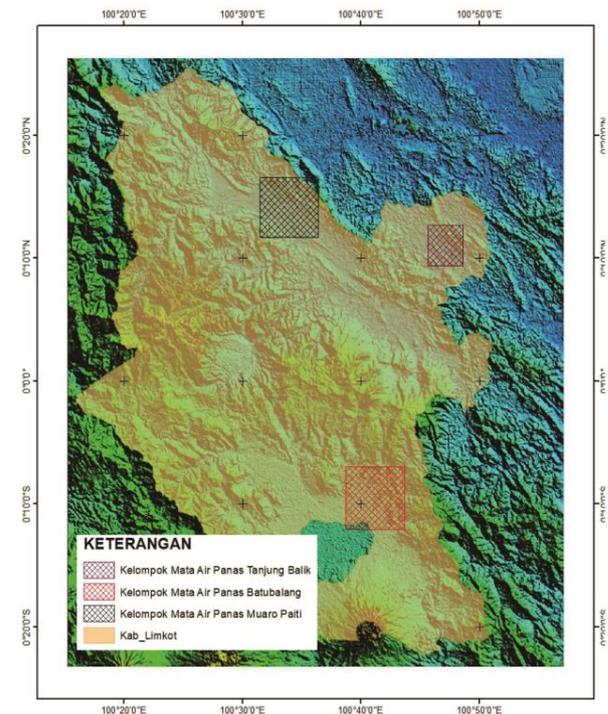
2. Formasi Bohorok (Pub), berumur Permo-Karbon tersusun oleh wake, wake konglomerat dan turbidit
3. Formasi Ombilin berumur Miosen Awal (Tmol) tersusun oleh batupasir kuarsa mengandung mika, pejal dan setempat mengalami malihan (kuarsit). Sisipan arkose, serpih abu-biru, konglomerat, kuarsa dan lapisan batubara.
4. Formasi Pematang berumur Oligo-Miosen (Tlpe) tersusun oleh batulumpur merah, breksio-konglomerat dan batu pasir konglomeratik.
5. Formasi Brani berumur Oligosen (Tob), tersusun oleh konglomerat kasar beraneka ragam dengan beberapa sisipan barupasir.
6. Formasi Sihapas (Tms), terdiri dari batupasir konglomeratik, batulanau, batupasir kuarsa bersih, serpih berkarbon, lignitbatulanau, konglomerat, lapisan batubara.
7. Formasi Telisa (Tmt), terdiri dari batulumpur gampingan abu-abu, lapisan tipis batugamping, batulanau dan sedikit batupasir glaukonitik,

Endapan Aluvium (Qh), terdiri dari pasir dan kerikil; lanau pasiran dan sedikit partikel kasar. Endapan Aluvium Muda (Qh), terdiri dari kerikil, pasir, lempung.

HASIL PENYELIDIKAN DAN ANALISIS

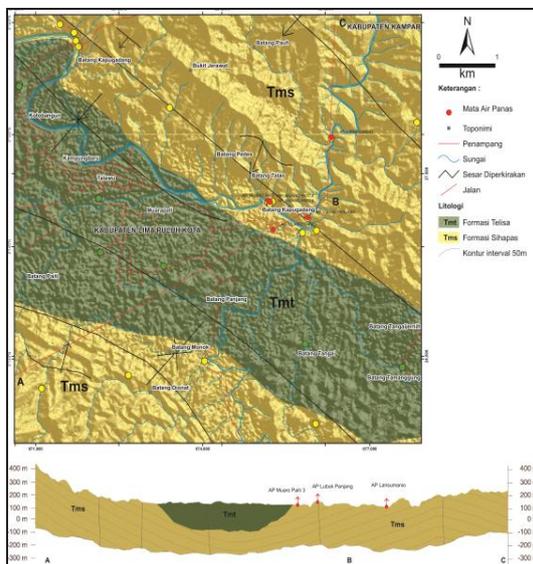
Kabupaten Limapuluh Kota terdapat 3 (tiga) lokasi daerah potensi panas bumi, Gambar 2, yaitu:

- 1) Daerah panas bumi Batubalang, Kecamatan Harau,
- 2) Daerah panas bumi Muaro Paiti, Kecamatan Kapur IX,
- 3) Daerah panas bumi Tanjung Balik, Kecamatan Pangkalan Koto Baru



Gambar 2. Peta Sebaran Kelompok Manifestasi Panas Bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota, Prov. Sumatera Barat

Struktur geologi yang mengontrol daerah panas bumi Muaro Paiti berdasarkan hasil analisis *Fractured Fault density* kelurusan yang tergambarkan pada *rose diagram* menunjukkan arah tegasan menunjukkan arah baratdaya-timurlaut, pola kelurusan berarah baratlaut-tenggara berupa perlipatan dan pensesaran. Kondisi geologi Daerah Panas Bumi Muara Paiti tergambarkan pada Gambar 4.



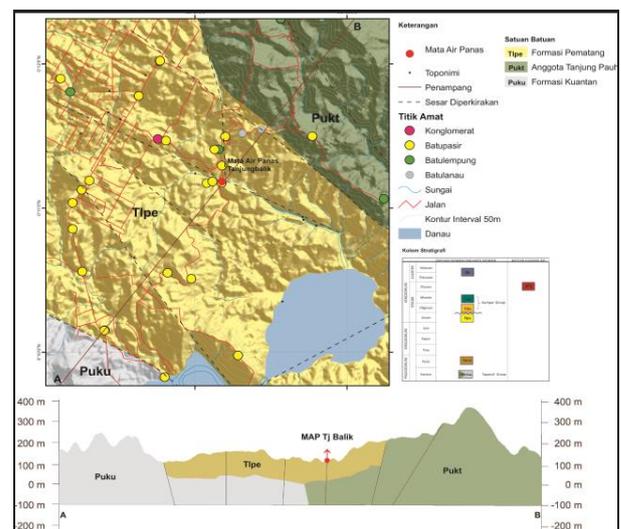
Gambar 4. Peta Geologi Daerah Panas Bumi Muara Paiti

Daerah Panas Bumi Tanjung Balik, Kecamatan Pangkalan Koto Baru

Daerah Panas Bumi Tanjung Balik berjarak 50 km dari Daerah Panas Bumi Muaro Paiti ke arah timur. Geomorfologi daerah panas bumi Tanjung Balik dikelompokkan menjadi 3

satuan, yaitu Satuan geomorfologi danau, satuan geomorfologi perbukitan bergelombang dan satuan geomorfologi perbukitan curam. Litologi tersusun oleh batulumpur merah, breksio-konglomerat dan batu pasir konglomeratik, menempati bagian tengah dengan penyebaran baratlaut-tenggara, berdasarkan kesebandingan dengan regional (Bagja, dkk 1982), litologi tersebut termasuk dalam Formasi Pematang. Hasil analisis petrografi batuan dari Kabupaten Lima Puluh Kota, tercantum dalam Tabel 1.

Struktur geologi yang mengontrol daerah panas bumi, berdasarkan hasil analisis *Fractured Fault density* kelurusan menunjukkan adanya 2 pola, yaitu berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan. Hasil observasi dan pengukuran di lapangan kondisi geologi daerah panas bumi Tanjung Balik tergambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Geologi Daerah Panas Bumi Tanjung Balik

Geokimia Daerah Panas Bumi Kabupaten Lima Puluh Kota

Kabupaten Lima Puluh Kota memiliki 3 kelompok manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas. Ketiga kelompok mata air panas tersebut adalah Air Panas Batu Balang di Desa (Nagari) Batu Balang - Kecamatan Harau, Air Panas Muaro Paiti di Desa Muaro Paiti - Kecamatan Kapur Sembilan, dan Air Panas Tanjung Balik di Desa Tanjung Balik - Kecamatan Pangkalan

Data manifestasi panas bumi berupa mata air panas di Kabupaten Lima Puluh Kota tercantum dalam Tabel 2.

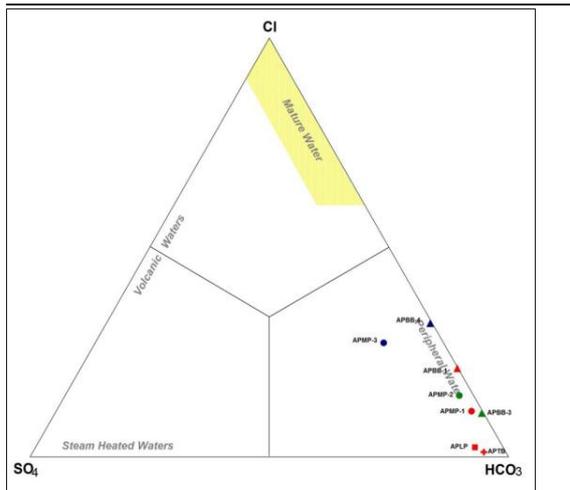
Penghitungan kehilangan energi panas alamiah (*natural heat loss*) dimaksudkan untuk memperhitungkan besarnya energi panas yang dilepas oleh suatu sistem panas bumi. Total kehilangan panas di daerah panas bumi Kabupaten Lima Puluh Kota, daerah panas bumi Batubalang sebesar 68, 89 kW_t, daerah panas bumi Muaro Paiti sebesar 97,11 kW_t dan daerah panas bumi Tanjung Balik sebesar 10,06 kW_t.

Sampel manifestasi panas bumi yang dilakukan analisis di laboratorium terhadap 3 sampel air panas dan 1 sampel air dingin dari Daerah Batubalang, 4 sampel air panas dan 1

sampel air dingin dari daerah Muaro Paiti. dan 1 sampel air panas dari Tanjung Balik. Data kimia hasil analisis sampel di laboratorium berupa data anion, kation dan unsur netral (mg/L), diantaranya SiO₂, B, Al³⁺, Fe³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Li⁺, As⁺, NH₄⁺, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ dan CO₃⁻. Adapun hasil analisis tersebut, tercantum dalam Tabel 3.

Nilai daya hantar listriknya (DHL) pada semua sampel air panas cenderung hampir sama, berkisar antara 464 µS/cm hingga 715 µS/cm. µS/cm untuk air panas Batubalang, 58 µS/cm hingga 469 µS/cm untuk Muaro Paiti, dan 418 µS/cm untuk air panas Tanjung Balik. Konsentrasi silika (SiO₂) pada air panas Batubalang yang relatif tinggi konsentrasinya mencapai 139 mg/L, sebagai semakin intensifnya interaksi antara fluida panas dengan batuan kaya silika dalam hal ini batupasir. konsentrasi anion dan kation yang terkandung di dalam fluida memiliki nilai konsentrasi yang rendah, juga memiliki nilai daya hantar listrik serta TDS yang rendah, hal ini disebabkan temperatur yang rendah juga.

Klasifikasi tipe fluida digunakan Diagram segi tiga Cl-SO₄-HCO₃. Perbandingan konsentrasi Cl-SO₄-HCO₃ sampel air panas yang diperoleh dari manifestasi panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota menempatkan kedelapan sampel air panasnya ke dalam 1 kelompok tipe air, yaitu kelompok air bertipe bikarbonat (HCO₃) di dalam diagram segi tiganya (Gambar 6).

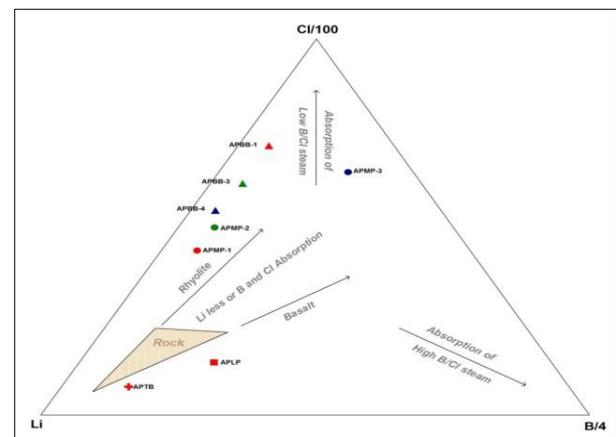


Gambar 6. Air panas Daerah Lima Puluh Kota dalam diagram segi tiga CI-SO₄-HCO₃

Diagram Schoeller memperlihatkan perbandingan konsentrasi anion dan kation sampel air panas Batubalang, Muaro Paiti, dan sampel air panas Tanjung Balik, disertai dengan sampel air dingin Batubalang-1 dan air dingin Muaro Paiti-1. Pada diagram tersebut, terlihat hampir semua air panas di Daerah Lima Puluh Kota seperti umumnya fluida panas bumi, yaitu memiliki konsentrasi Na, K, F, Cl, dan B yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi pada air dinginnya. Diagram tersebut memperlihatkan perbandingan konsentrasi anion dan kation sampel air panas Batubalang, Muaro Paiti, dan sampel air panas Tanjung Balik, disertai dengan sampel air dingin Batubalang-1 dan air dingin Muaro Paiti-1. Hampir semua air panas di Daerah Lima Puluh Kota memiliki konsentrasi Na, K, F, Cl,

dan B yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi pada air dinginnya.

Untuk mengetahui kemungkinan proses fisika-kimia yang terjadi pada air panas, termasuk gambaran kondisi reservoir dan pola aliran fluida, maka dapat dilakukan dengan pendekatan analisis geoindikator berdasarkan zat terlarut dalam fluida, digunakan diagram segi tiga CI-Li-B. Diagram segi tiga CI-Li-B untuk sampel air panas Batubalang, Muaro Paiti, dan air panas Tanjung Balik memperlihatkan bahwa semua air panasnya berada di zona proses absorpsi B/Cl yang lebih rendah dan mendekati zona *Li loss*. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa sistem panas buminya memiliki umur yang relatif lebih tua dan sedikit terjadi absorpsi B dan Cl oleh batuan. Mata air panas di Kabupaten Lima Puluh Kota dalam Diagram CI-Li-B, Gambar 7.

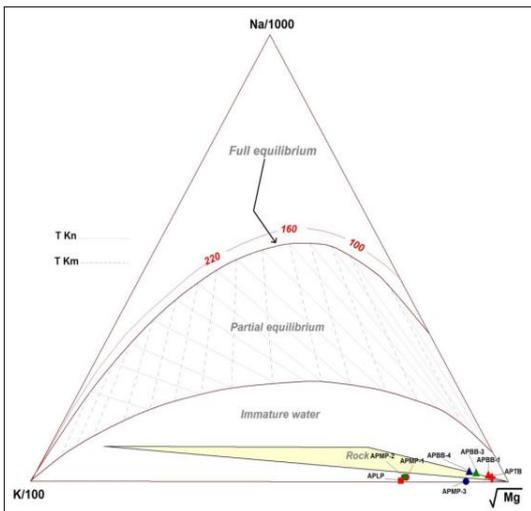


Gambar 7. Air panas Daerah Lima Puluh Kota dalam diagram segi tiga CI-Li-B

Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach) secara prinsip digunakan untuk

menevaluasi kondisi air panas sebagai hasil akhir dari dua proses selama perjalanan fluida tersebut, yaitu proses pelarutan dan proses kesetimbangan.

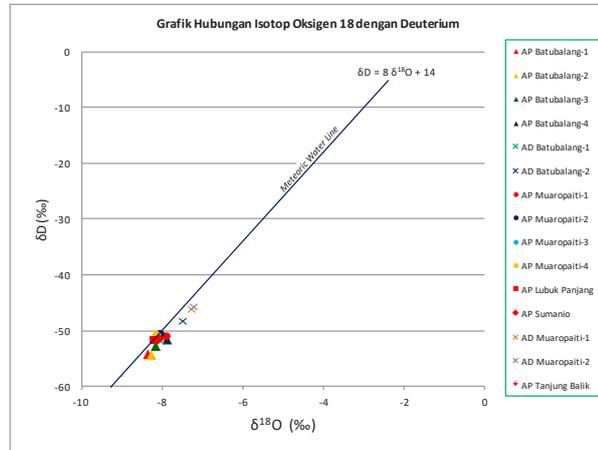
Dalam diagram segi tiga Na-K-Mg terlihat air panas Muaro Paiti relatif mendekat ke arah pojok K, perbedaan rasio konsentrasi K terhadap Mg pada air panas Muaro Paiti lebih tinggi dari air panas Batubalang dan Tanjung Balik, Gambar 8. Hal ini sebanding kondisi temperatur air panas Muaro Paiti di permukaan yang lebih tinggi sekitar 60°C, sementara air panas Batubalang dan Tanjung Balik hanya sekitar 40°C.



Gambar 8. Air panas Daerah Lima Puluh Kota dalam diagram segi tiga Na-K-Mg

Grafik hubungan antara isotop oksigen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) dan deuterium ($\delta^2\text{H}$) dengan persamaan air Analisis Isotop ^{18}O dan ^2H meteorik lokal (*meteoric water line*) $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$, memperlihatkan

bahwa sampel air panas dari Daerah Lima Puluh Kota secara umum berada dalam satu kluster atau kelompok (Gambar 9).

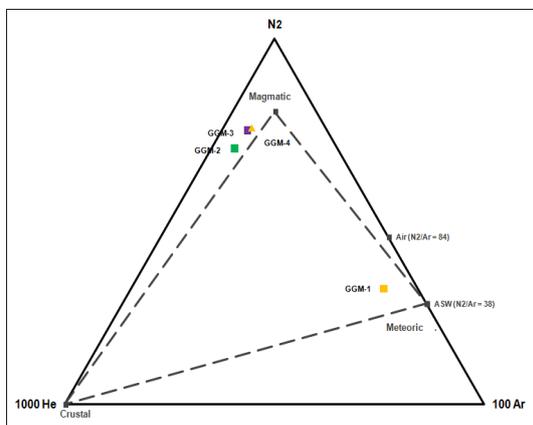


Gambar 9. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap $\delta^2\text{H}$ sampel air Daerah Lima Puluh Kota

Analisis kimia gas dilakukan terhadap 4 sampel gas pada mata air panas Muaro Paiti-4. Berdasarkan hasil analisis kimia terdapat konsentrasi gas H_2 , He , O_2 , Ar , N_2 , CH_4 , dan gas CO_2 yang terdeteksi. Gas H_2S dan NH_3 terdeteksi namun di bawah nilai baca alat, sedangkan gas CO tidak terdeteksi. Gas CO_2 yang terkandung dalam sampel gas tersebut paling dominan, yaitu mencapai 79,195%mmol, diikuti oleh gas-gas minor berupa N_2 38,802%mmol, H_2 0,0325%mmol, dan CH_4 0,737%mmol.

Diagram rasio N_2 - He - Ar (Gambar 10) menunjukkan bahwa sampel gas GGM-2, GGM-3, dan GGM-4 berada di sekitar pojok N_2 (magmatik), sedangkan GGM-1 mendekat ke arah pojok meteorik.

Hasil plot sampel GGM-2, GGM-3, dan GGM-4 kemungkinan dipengaruhi oleh proses degradasi material organik dalam kerak ketika mengalami kontak dengan sumber panas, didukung oleh nilai rasio N_2/Ar yang lebih tinggi dari 84. Sampel GGM-1 yang terplot di dekat pojok meteorik mengindikasikan bahwa kemungkinan gas yang terkandung dalam sampel tersebut berkaitan dengan meteoric.



Gambar 10. Diagram segi tiga yang memuat rasio konsentrasi gas N_2 -He-Ar

Berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K-Ca dengan koreksi Mg, temperatur fluida di bawah permukaan berkisar antara $100^{\circ}C$ sampai $120^{\circ}C$ untuk sistem panas bumi Batubalang, sebesar $180^{\circ}C$ untuk sistem panas bumi Muaro Paiti. Perkiraan temperatur bawah permukaan untuk sistem panas bumi Tanjung Balik,

mengingat hasil perhitungan temperatur reservoirnya di bawah $120^{\circ}C$.

Analisis tanah dan udara tanah telah dilakukan terhadap 69 titik, interval 250 m sampai 1000 meter dengan kedalaman 1 meter yang tersebar pada 3 lokasi dipusatkan di sekitar manifestasi Batu Balang 28 titik, 33 titik di daerah Muaro Paiti, 8 titik di Daerah Tanjung Balik.

Hasil pengukuran temperatur terendah yang terukur sebesar $25,0^{\circ}C$ dan tertinggi $30,5^{\circ}C$. Variasi nilai temperatur tersebut memberikan nilai rata-rata $27,6^{\circ}C$, nilai latar (*background*) sebesar $26,3^{\circ}C$, dan nilai ambang (*threshold*) sebesar $30,1^{\circ}C$. nilai konsentrasi Hg mulai 20,4 ppb sampai dengan konsentrasi 328,8 ppb. Variasi Hg tanah memberikan nilai *background* 33,7 ppb, nilai *threshold* 248,3 ppb, dan nilai rata-rata 105,3 ppb. Konsentrasi CO_2 dalam udara tanah tidak banyak bervariasi dan konsentrasinya sangat rendah, yaitu dari terendah 0,0% sampai dengan konsentrasi tertinggi 21,4%.

Hasil analisis tanah dan udara tanah di Muaro Paiti, Kapur IX. Temperatur udara tanah terendah yang terukur sebesar $25,3^{\circ}C$ dan tertinggi $29,10^{\circ}C$. Temperatur udara tanah tidak memperlihatkan variasi yang signifikan, hanya memberikan nilai rata-rata sebesar $27,1^{\circ}C$. Nilai latar (*background*) temperaturnya sebesar $26,1^{\circ}C$, dan nilai ambang (*threshold*) sebesar $29,0^{\circ}C$. Hasil analisis menunjukkan nilai pH tanah yang relatif asam hingga sedikit

asam dengan nilai pH antara 3,9 hingga 6,4. Variasi nilai pH tanahnya memiliki nilai background 4,5 dan nilai threshold 3,8, serta nilai rata-rata sebesar 5,2. Konsentrasi Hg tanah di Daerah Muaro Paiti umumnya rendah hingga cukup tinggi setelah dikoreksi oleh nilai konsentrasi H_2O^- . Variasi nilai konsentrasi Hg mulai 2,5 ppb sampai dengan 94,6 ppb. Variasi Hg tanah memberikan nilai background 4,5 ppb, nilai threshold 78,9 ppb, dan nilai rata-rata 29,3 ppb. Konsentrasi CO_2 dalam tanah umumnya sangat rendah, konsentrasi rata-ratanya sebesar 1,9% dengan konsentrasi tertinggi sebesar 10% dan terendah 0,4%. Variasi CO_2 udara tanah memberikan nilai background 0,08% dan nilai threshold 5,8 %, anomali tinggi konsentrasi CO_2 yang lebih besar dari 5,8% hanya pada titik MP-10 sebesar 10% dan titik MP-22 sebesar 5,9%.

Analisis Temperatur Udara daerah Tanjung Balik, Kecamatan Koto Baru, hasil pengukuran temperatur udara tanah terendah yang terukur sebesar 26,3°C dan tertinggi 29,6°C. Nilai rata-rata untuk variasi temperaturnya sebesar 28,0°C, nilai latar (*background*) sebesar 26,9°C, dan nilai ambang (*threshold*) sebesar 30,3°C, tidak ada anomali. Analisis pH tanah menunjukkan nilai pH

terendah sebesar 5,5 dan pH tertinggi sebesar 7,5. Variasi nilai pH tersebut memiliki nilai rata-rata sebesar 6,2, nilai *background* 5,4 dan nilai *threshold* 4,6, tidak menunjukkan adanya anomali.

Konsentrasi Hg di Daerah Tanjung Balik setelah dikoreksi konsentrasi H_2O^- , memiliki nilai Hg terendah sebesar 12 ppb dan konsentrasi Hg tertinggi sebesar 52 ppb. Variasi konsentrasi Hg tanah memberikan nilai *background* 14,9 ppb, nilai *threshold* 55,0 ppb, dan nilai rata-rata 28,2 ppb, tidak menunjukkan adanya anomali. Konsentrasi CO_2 pada sampel yang diperoleh dari lapangan, konsentrasi semua sampelnya 0 (nol).

PEMBAHASAN

Geologi Daerah Panas Bumi

Geologi Panas Bumi Secara fisiografi regionalnya daerah Lima Puluh Kota berada pada Cekungan Sumatera Tengah, sebagai cekungan busur belakang yang terbentuk akibat subduksi Lempeng Samudera Hindia yang menunjani ke bawah Lempeng Benua Eurasia pada awal Tersier (Eosen-Oligosen) dan merupakan seri dari struktur half-graben yang terpisah oleh blok horst. Pada beberapa bagian half graben ini diisi oleh sedimen klastik non-marine dan sedimen danau (Eubank dan Makki, 1981). Subduksi telah menghasilkan gerak pengangkatan terakhir dari Pengunungan Barisan serta juga telah menyebabkan adanya sesar-sesar mendatar

menganan sepanjang pengunungan tersebut. Gejala struktur yang paling menonjol di cekungan sedimen Tersier tersebut di atas adalah lipatan lipatan dan sesar-sesar yang berarah Baratlaut-Tenggara yang berkaitan dengan gejala kompresi. Struktur geologi di Cekungan Sumatera Tengah terbentuk dari beberapa fase yang berbeda, mulai dari Mesozoikum sampai akhir Zaman Tersier. Kondisi ini menjadikan Daerah Lima Puluh Kota yang berada di dalamnya, secara stratigrafi tersusun oleh dominasi batuan sedimen klastik seperti yang terlihat pada beberapa formasi batuan penyusunnya yang terdiri dari batupasir, batulanau, serta konglomerat hingga batupasir konglomeratik dan breksi-konglomerat.

Semua sedimen Tersier tersebut berada pada suatu cekungan besar (graben) dengan batuan dasar berupa batuan metamorfik Pre-Tersier hingga Tersier Awal. Pada kondisi litologi sedimen yang demikian, merupakan kondisi ideal untuk terbentuknya porositas maupun permeabilitas sebagai media tersimpannya ataupun media aliran fluida di bawah permukaan. Dengan sedikitnya terdapat 3 fase tektonik utama sejak Orogenesa Mesozoikum Tengah, Tektonik Kapur Akhir-Tersier Awal, hingga Orogenesa

Plio Plistosen (De Coster, 1974), maka beberapa proses deformasi batuan yang berulang tersebut memberikan peluang terbentuknya sistem rekahan sebagai komponen penting bagi porositas atau permeabilitas sekunder batuan yang lebih intensif. Aktivitas tektonik juga mempengaruhi terbentuknya struktur lebih besar dan luas berupa patahan atau sesar. Keterdapatn struktur sesar dalam mengontrol suatu sistem panas bumi sangat penting, yaitu sebagai media pengontrol sistem sirkulasi fluida panas bumi. Terdapat 2 set sesar yang berarah utara - selatan dan barat laut - tenggara yang bekerja pada Cekungan Sumatera Tengah. Sesar-sesar yang berarah utara - selatan diperkirakan berumur Paleogen, sedangkan yang berarah barat laut-tenggara diperkirakan berumur Neogen Akhir. Kedua set sesar tersebut berulang kali diaktifkan kembali sepanjang Tersier oleh gaya-gaya yang bekerja (Eubank & Makki, 1981).

Diduga pada bagian struktur sesar-sesar yang lebih muda dan pada pertemuan atau perpotongan beberapa sesar tersebut fluida panas bumi berhasil hadir di permukaan sebagai manifestasi panas bumi. Sistem panas bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan geologi, hidrologi, dan karakteristik transfer panasnya (Rybach dan Muffler, 1981). Salah satu bagian sistem panas bumi tersebut adalah sistem panas bumi non-vulkanik yang umumnya terdapat pada suatu daerah dengan

kondisi struktur geologi yang kompleks dan di daerah cekungan sedimen. Pada kondisi geologi yang bersamaan dengan kondisi hidrologi (hidrogeologi) yang memenuhi syarat terbentuknya suatu sistem panas bumi, maka sedikitnya di Wilayah Lima Puluh Kota memiliki indikasi keterdapatannya 3 prospek atau sistem panas bumi.

Geokimia Panas Bumi

Konsentrasi unsur Na, K, Li, Cl, SO_4 , F, B, dan SiO_2 umumnya relatif lebih tinggi pada fluida panas bumi yang berasosiasi dengan fluida magmatik atau sistem panas bumi bertemperatur tinggi. Konsentrasi tinggi anion dan kation fluida panas bumi secara sederhananya terlihat dari nilai daya hantar listriknya yang tinggi. Tingginya nilai daya hantar listrik pada air panas bumi umumnya berhubungan erat dengan tingginya konsentrasi unsur atau senyawa dalam air tersebut, bahkan dapat juga berasosiasi dengan air yang mengandung garam (NaCl) seperti halnya air laut. Konsentrasi anion dan kation pada air panasnya berhubungan erat dengan kondisi temperatur fluida serta batuan yang berinteraksinya. Nilai daya hantar listriknya (DHL) pada semua sampel air panasnya tidak termasuk kategori tinggi untuk suatu fluida panas

bumi, namun memperlihatkan kecenderungan nilai relatif sama untuk sampel air dalam satu kelompok lokasi yang sama. Daya hantar listrik yang lebih tinggi pada air panas kelompok Batubalang diduga berhubungan erat dengan kondisi airnya yang memiliki konsentrasi unsur atau senyawa yang lebih tinggi. Konsentrasi SiO_2 , Na, Cl, Mg, dan HCO_3 pada air panas Batubalang terlihat lebih tinggi. Mata air panas Muaro Paiti yang umumnya memiliki temperatur air lebih tinggi dari Batubalang dan Tanjung Balik, ternyata Muaro Paiti-3 yang temperaturnya mirip dengan air panas Batubalang memiliki nilai daya hantar listrik yang rendah. Hal ini kemungkinan sebagai akibat adanya proses lain seperti pencampuran oleh air permukaan.

Konsentrasi silika (SiO_2) pada air panas Batubalang yang relatif tinggi merupakan hal cukup menarik, karena konsentrasi silika tinggi pada air panas bumi umumnya berhubungan dengan hasil interaksi fluida panas dengan batuan yang kaya akan unsur silika, seperti halnya batuan magmatik atau vulkanik. Oleh karena itu, lebih tingginya konsentrasi silika pada air panas Batubalang, dapat diduga sebagai semakin intensifnya interaksi antara fluida panas dengan batuan kaya silika di bawah permukaannya. Jika memperhatikan lingkungan geologinya yang berada pada cekungan sedimen dan kondisi batuan penyusunnya yang tersusun oleh batuan sedimen, maka kemungkinan adanya batuan

sedimen yang kaya akan kuarsa di daerah tersebut menjadi hal yang dapat dipertimbangkan. Memperhatikan litologi penyusun cekungan yang didominasi oleh batuan sedimen klastik bersusunan konglomerat dengan komponen batuan beku kaya mineral silika, maka interaksi antara fluida panas dengan batuan samping kaya silika tersebut mengakibatkan fluida panasnya mengalami pengkayaan silika. Fluida panasnya diperkirakan berinteraksi dengan batuan samping berupa batupasir kuarsa, bahkan kuarsit atau konglomerat yang memiliki komponen-komponen mineral silikat ferromagnesian. Karena terlihat pada air panasnya selain memiliki konsentrasi silika cukup tinggi, juga diikuti oleh konsentrasi Fe dan Mg yang signifikan. Kondisi fisik manifestasi di lapangan sangat terlihat jelas melimpahnya kehadiran endapan oksida besi berwarna coklat-merah yang kemungkinan diakibatkan oleh proses ubahan in-situ oksida besi yang terhidrasi, berasal dari mineral-mineral silikat ferromagnesian dan magnetit yang merupakan komponen-komponen sedimen lakustrin di Cekungan Sumatra Tengah.

Jika memperhatikan kondisi fisik manifestasi panas bumi secara umum di Lima Puluh Kota yang memiliki

temperatur relatif rendah, ternyata konsentrasi anion dan kation yang terkandung di dalamnya memiliki nilai konsentrasi yang rendah, juga memiliki nilai daya hantar listrik serta TDS yang rendah. Oleh karena itu, diperkirakan terdapat hubungan antara temperatur manifestasi panas bumi dengan konsentrasi anion kationnya. Dengan temperatur fluida yang rendah maka proses interaksi antara fluida dengan batuan pun tidak intens, sehingga tidak terjadi pengkayaan unsur atau senyawa pada fluida yang berasal dari batuan.

Konsentrasi bikarbonat pada semua sampel air panasnya terlihat paling dominan dan relatif jauh lebih tinggi daripada konsentrasi pada air dinginnya. Air bertipe bikarbonat umumnya adalah air yang berhubungan dengan air permukaan atau air meteorik. Selain konsentrasi HCO_3 , air meteorik umumnya disertai oleh tingginya konsentrasi Ca dan Mg. Air panas Batubalang, Muaro Paiti, dan Tanjung Balik yang bertipe bikarbonat, ternyata memiliki konsentrasi Mg dan Ca yang relatif tinggi. Bahkan air panasnya juga diikuti oleh konsentrasi SiO_2 , Fe, K, dan NH_4 yang relatif lebih tinggi. Air panas bumi bertipe bikarbonat dengan konsentrasi Ca, Mg, SiO_2 , Fe, K, dan NH_4 yang signifikan tersebut mungkin berhubungan erat dengan komposisi mineral pembentuk batuan samping yang berinteraksi dengan fluida panas sebelum akhirnya muncul di permukaan sebagai air panas. Jika memperhatikan lingkungan

geologinya yang berada pada cekungan busur belakang Sumatera Tengah, diperkirakan fluida panasnya berinteraksi dengan batuan sedimen yang memiliki komponen-komponen mineral silikat ferromagnesian. Air panas bikarbonat di Daerah Lima Puluh Kota kemungkinan berhubungan dengan kondisi geologinya pada lingkungan sedimen, tidak terlihat adanya pengaruh panas dari magmatisme. Relatif tingginya Mg yang diikuti oleh signifikannya konsentrasi Fe, Ca, dan HCO_3 , serta SiO_2 sebagai indikasi terjadi sedikit pengkayaan anion dan kation tersebut yang berasal dari batuan sedimen sebagai batuan induknya (reservoir). Konsentrasi Na dan K relatif rendah dibandingkan Mg, sehingga tidak terjadi proses kesetimbangan antara Na dan K pada reaksi pertukaran ion alkali feldspar yang mengakibatkan temperatur fluidanya pun tidak tinggi.

Tidak terlihat adanya pengkayaan oksigen-18 maupun deuteriumnya jika dibandingkan dengan nilai oksigen-18 dan deuterium air dinginnya. Hal ini mungkin memperkuat dugaan bahwa air panas Lima Puluh Kota yang bertipe bikarbonat tersebut memiliki keterkaitan dengan air formasi. Dengan temperatur air panasnya yang relatif

rendah pada manifestasi panas buminya, diduga mengakibatkan tingkat interaksi batuan dan fluida panasnya serta tingkat evaporasi air panasnya pun rendah. Proses interaksi fluida panas dan batuan yang tidak intensif tersebut mengakibatkan hampir tidak terjadi pengkayaan oksigen-18 dan deuterium. Perubahan isotop deuterium tidak akan terjadi akibat interaksi dengan batuan, karena batuan pada umumnya memiliki konsentrasi hidrogen yang rendah. Penambahan isotop deuterium biasanya berhubungan dengan tingkat evaporasi tinggi yang hanya terjadi intensif pada manifestasi panas bumi bertemperatur tinggi (Nicholson, 1993).

Konsentrasi cukup signifikan dari gas N_2 mengindikasikan bahwa gas kemungkinan berasal dari aktivitas magmatik. Namun dengan tidak hadirnya gas utama H_2S , maka hal tersebut dianggap tidak sesuai. Hal tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh proses degradasi material organik dalam kerak ketika mengalami kontak dengan sumber panas, didukung oleh nilai rasio N_2/Ar yang lebih tinggi dari 84. Sampel gasnya juga memiliki konsentrasi gas Ar yang lebih dominan dibandingkan gas CO_2 . Berdasarkan hal tersebut, kemungkinan pengaruh batuan sedimen di bawah permukaan menjadi lebih besar dibandingkan adanya pengaruh magmatik.

Sistem Panas Bumi

Berdasarkan hasil penelitian, sistem panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota terbagi ke dalam tiga prospek panas bumi yang berbeda, yaitu prospek panas bumi Batubalang, Muaro Paiti, dan prospek panas bumi Tanjung Balik. Ketiga prospek panas bumi tersebut diduga berasosiasi dengan sistem panas bumi non-vulkanik, yaitu berasosiasi dengan lingkungan sedimen. Ketiga sistem panas buminya dikontrol oleh kondisi geologi dan hidrologi pada Cekungan Sumatera Tengah.

Cekungan Sumatera Tengah yang terbentuk karena adanya proses penunjaman secara miring (oblique subduction) Lempeng Samudera Hindia ke bawah Lempeng Benua Asia mengakibatkan terjadinya gaya tarikan pada Cekungan Sumatera Tengah yang merupakan cekungan belakang busur (Heidrick dan Aulia, 1993). Gaya tarikan tersebut menghasilkan beberapa struktur graben berarah relatif utara-selatan (De Coster, 1974). Selain itu, cekungan ini mengalami gaya tektonik kompresi yang dihasilkan oleh suatu sistem sesar mendatar mengangan akibat dari proses penunjaman secara miring di bagian barat dan barat daya Sumatera. Batuan Pre-Tersier yang menjadi batuan dasar

pada cekungan ini merupakan lempeng-lempeng benua dan samudera berbentuk mozaik yang telah beberapa kali mengalami deformasi dan mengalami reaktifisasi sejak Perm hingga Tersier. Kondisi ini mengakibatkan terbentuknya zona porositas dan atau permeabilitas sekunder pada batuan, yang memungkinkan sebagai tempat terakumulasinya fluida. Kelanjutan aktivitas tektonik hingga menghasilkan serangkaian horst dan graben di Cekungan Sumatera Tengah pada Eosen-Oligosen. Host – graben yang sangat dalam ini kemudian menjadi danau tempat diendapkannya sedimen. Proses pengendapan sedimen (sedimentasi) yang sangat cepat dan dalam jumlah atau volume yang sangat besar pada cekungan ini memungkinkan fluida yang terdapat di bagian bawah atau dasar cekungan terperangkap oleh lapisan sedimen yang beberapa diantaranya bersifat kedap air (impermeable) yang berada di atasnya.

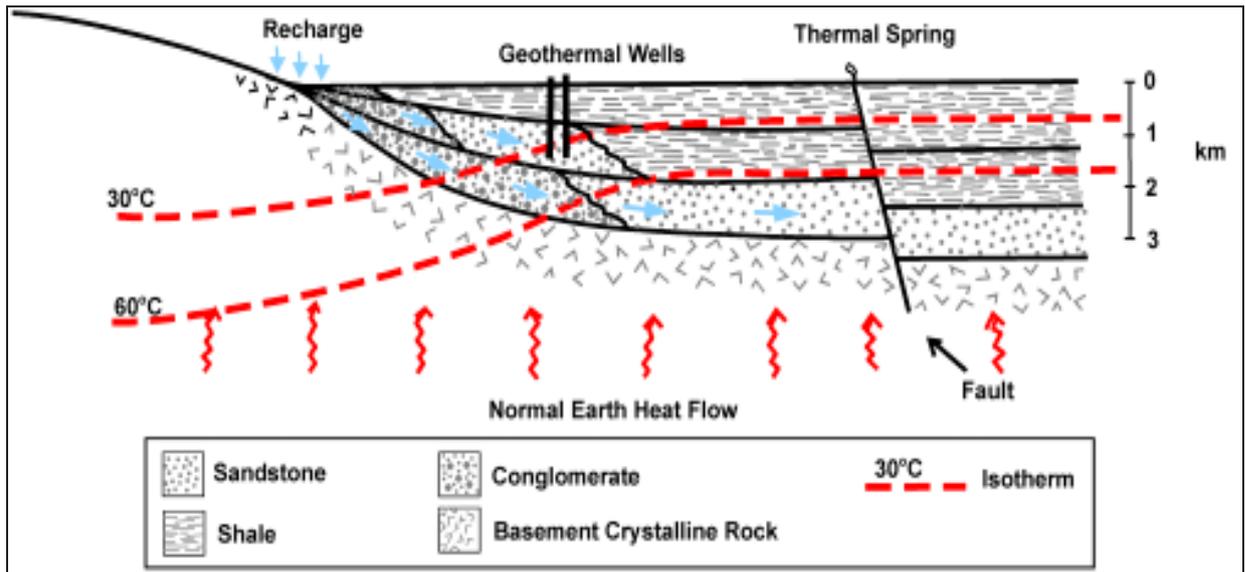
Aktivitas tektonik yang berlanjut Kala Miosen Awal hingga Miosen Tengah pada Cekungan Sumatera Tengah memasuki fase amblasan yang diikuti oleh beberapa struktur patahan secara regional serta aktivasi struktur patahan tua berarah utara-selatan. Bahkan dilanjutkan lagi tektonik pada Kala Miosen Tengah hingga Resen yang menghasilkan pembalikan struktur akibat gaya kompresi sehingga terlihat struktur lipatan dan patahan muda. Akibat proses tektonik-deformasi batuan

berulang hingga Resen tersebut menghasilkan suatu Cekungan Sumatera Tengah sebagai zona porositas dan atau permeabilitas cukup baik bagi berlangsungnya sirkulasi fluida meteorik dari permukaan maupun fluida dari bawah permukaan menuju ke permukaan. Keberadaan struktur sesar yang dalam pada cekungan ini berperan sebagai media sirkulasi air meteorik. Selama proses sirkulasi fluida sepanjang zona sesar atau patahan yang sangat dalam tersebut akhirnya menghasilkan fluida panas dengan sumber panas yang berasal dari aliran panas (heat flow) yang tinggi dari gradien panas bumi yang nilainya bertambah sebanding dengan penambahan kedalaman.

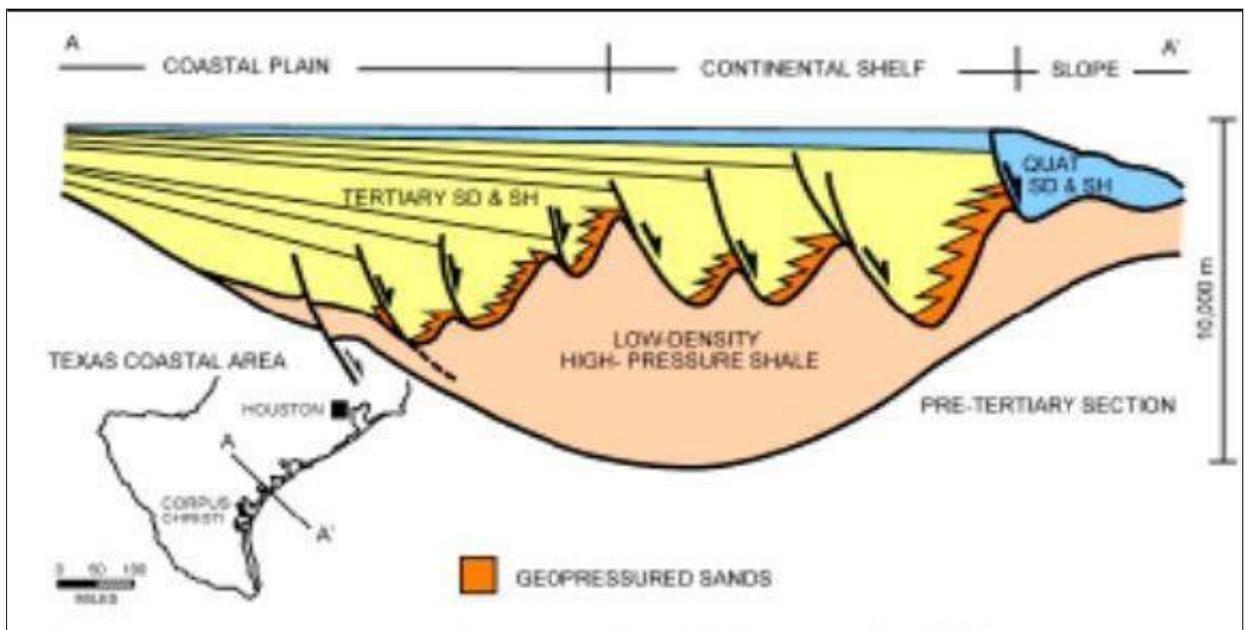
Sistem panas bumi yang terbentuk di Daerah Lima Puluh Kota (Cekungan Sumatera Tengah) diperkirakan berkaitan dengan sistem panas bumi pada cekungan sedimen. Sistem panas bumi di cekungan sedimen dapat berkaitan dengan sistem sirkulasi dalam (extension-driven), yaitu merupakan hasil dari sirkulasi dalam air meteorik di sepanjang zona sesar atau zona rekahan pada daerah yang memiliki aliran panas (heat flow) yang tinggi (Anderson dan Lund, 1979). Pembentukan sistem panas

buminya berasosiasi dengan panas yang berasal dari peningkatan gradien panas yang sebanding dengan penambahan kedalaman. Keberadaan sesar yang dalam pada sistem ini berperan sebagai media sirkulasi air meteorik (Gambar 4.1).

Sistem panas bumi pada cekungan sedimen juga dapat berupa sistem geopressure. Sistem panas bumi ini terbentuk sebagai akibat dari terperangkapnya fluida di bawah lapisan sedimen yang bersifat kedap air atau impermeable. Sistem panas bumi geopressure terdapat pada bagian dalam dari sebuah cekungan sedimen. Proses sedimentasi yang cepat memungkinkan fluida yang ada di bagian bawah cekungan ikut terperangkap oleh lapisan sedimen yang bersifat impermeable yang ada di atasnya. Proses sedimentasi yang cepat tersebut dapat terjadi pada batuan sedimen yang telah mengalami beberapa kali deformasi tektonik atau pensesaran, sehingga dapat menyebabkan terbentuknya porositas atau permeabilitas sekunder pada batuan sedimen sekaligus memberikan peluang terbentuknya permeabilitas reservoir panas bumi yang besar (Gambar 12).



Gambar 11. Model sistem panas bumi pada cekungan sedimen (Anderson and Lund,1979)



Gambar 12. Sistem panas bumi Geopressure (Bebout,dkk.,1978 dalam Lund, 2007)

Fluida panas bumi pada ketiga sistem panas bumi yang terdapat di Kabupaten Lima Puluh Kota memiliki kemiripan secara konsentrasi dan komposisi anion dan kationnya. Namun

jika dibandingkan dengan konsentrasi dan komposisi anion dan kation pada air dingin atau air meteoriknya, jauh berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa fluida panas buminya banyak berasosiasi dengan fluida formasi

batuan sedimen. Meskipun demikian, masih terlihat bahwa kemungkinan fluida panasnya sebagai hasil dari proses sirkulasi air meteorik. Proses pengkayaan anion-kation pada fluida panas bumi diperkirakan lebih banyak terjadi pada saat fluida panas berinteraksi dengan batuan sampling pengisi cekungan sedimen. Sistem panas bumi yang berhubungan dengan lingkungan sedimentasi (geopressure) umumnya memiliki depresi yang sangat tebal dengan kedalaman mencapai 4 km dan temperautr berkisar 90°C hingga 120°C.

Potensi Panas Bumi

Perhitungan potensi panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota pada tahapan survei pendahuluan awal ini didasarkan pada luas prospek dan temperatur fluida bawah permukaan dengan metode rapat daya sesuai dengan SNI 6482-2018. Penentuan luas prospek masing-masing daerah dihitung berdasarkan penyebaran manifestasi permukaan, kontrol struktur geologi, anomali temperatur, anomali pH, anomali CO₂, dan anomali Hg dalam tanah. Sedangkan asumsi nilai rapat daya (MWe/km²) menggunakan ketentuan besaran rapat daya sesuai dengan SNI

6482-2018, yaitu berdasarkan klasifikasi temperaturnya.

Dari hasil perhitungan, daerah panas bumi Batubalang mempunyai geotermometer sebesar 120°C yang termasuk dalam temperatur rendah dengan rapat daya sebesar 5 MWe/km², dan luas daerah prospek sebesar 1 km², maka didapatkan nilai sumber daya pada kelas sumber daya spekulatif daerah Batubalang sebesar 5 MWe. Daerah panas bumi Muaro Paiti mempunyai geotermometer sebesar 180 °C yang termasuk dalam temperatur sedang dengan rapat daya sebesar 7 MWe/km², dan luas daerah prospek sebesar 1,5 km². maka didapatkan nilai sumber daya pada kelas sumber daya spekulatif daerah Muaro Paiti sebesar 10,5 MWe.

Potensi panas bumi Tanjung Balik adalah sebesar 5 MWe, yaitu dengan temperatur reservoir 90°C (temperatur rendah) yang memiliki nilai rapat daya sebesar 5 MWe/km² dan luas area prospek seluas 1 km²

KESIMPULAN.

1. Terdapat 3 area prospek panas bumi di Kabupaten Lima Puluh Kota, yaitu Batubalang, Muaro Paiti, dan Tanjung Balik.
2. Sistem panas buminya ditandai dengan kehadiran manifestasi panas bumi berupa mata air panas bertemperatur 35°C s.d. 62°C dengan pH netral hingga sedikit asam.

3. Sistem panas buminya berasosiasi dengan sistem cekungan sedimen dan *geopressure* pada lingkungan sedimen (Cekungan Sumatera Tengah) dengan temperatur bawah permukaan antara 90°C hingga 180°C.
4. Potensi panas bumi Batubalang sebesar 5 MWe, Muaro Paiti 10,5 Mwe, dan Tanjung Balik sebesar 5 Mwe, pada kelas sumber daya spekulatif.

Saran

Temperatur bawah permukaan tidak lebih dari 180°C (temperatur

menengah-rendah), potensi panas buminya lebih baik dimanfaatkan secara langsung untuk wisata

1. Pemandian air panas atau pengolahan gambir.
2. Potensi panas bumi yang ada di Batubalang, Kecamatan Harau dan potensi panas bumi yang ada di Tanjung Balik, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, untuk dilanjutkan dengan penyelidikan menggunakan metode geolistrik
3. Potensi panas bumi yang ada di Muaro Paiti, Kecamatan Kapur IX dilanjutkan dengan penyelidikan terpadu, menggunakan metode geologi, geokimia dan geofisika.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Lund, 1979. Direct Utilization of Geothermal Energy; A. Layman's Guide Geothermal Resources Council Special Report.
- Anonim, PSDMBP, 2018 Potensi Panas Bumi Temperatur Rendah dan Sedang, 2018, Evaluasi Potensi Panas Bumi Temperatur Sedang-Rendah di Wilayah Indonesia, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lima Puluh Kota, Kabupaten Lima Puluh Kota Dalam Angka 2021.
- Clarke, Kartawa, Bagdja.M, 1982, Peta Geologi Lembar Pekanbaru, Sumatera Barat, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Giggenbach, W.F., 1988, *Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg – Ca Geo-Indicators*, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2015). *Peta Tata Guna Lahan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry & Exploration Technique*, Springer Verlag, In. Berlin.

Van Zuidam, R.A, 1985. *Areal Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping* Smith Publisher, The Hague, ITC.

Tabel 1. Hasil Analisis Petrografi Kabupaten Lima Puluh Kota

Berlaku Sejak : Oktober 2020

F-FM-7.8.01-Rev1



KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
PUSAT SUMBER DAYA MINERAL BATUBARA DAN PANAS BUMI
LABORATORIUM PUSAT SUMBER DAYA MINERAL
BATUBARA DAN PANAS BUMI

Jl. Soekarno Hatta no. 444 BANDUNG 40254
Tlp. (022) 5202698 pswt 1215/1217 - Fax. (022)5226263
Email : psdmbp2@esdm.go.id



LABORATORIUM PENGUJIAN FISIKA MINERAL

ANALISIS PETROGRAFI

Telah dilakukan analisa petrografi sebanyak 9 sampel sayatan tipis batuan dari daerah Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat, dengan hasil sebagai berikut:

No.	Kode Conto	Nama Batuan	Komposisi Mineral (%)
1.	LPK BB 20	<i>Mudstone</i>	Mineral Lempung (75), Kuarsa (24), Opak (1).
2.	LPK BB 23	<i>Quartz Wacke</i>	Mineral Kriptokristalin (67), Kuarsa(30), Plagioklas (1), Opak (1), Klorit (1).
3.	LPK BB 24	<i>Quartz Wacke</i>	Mineral Kuarsa (64), Kriptokristalin (25), Opak (8), Plagioklas (1), Oksida Besi (1), dan Klorit (1).
4.	LPK MP 01	<i>Quartz Wacke</i>	Mineral Kuarsa (70), Kriptokristalin (22), Klorit (5), Opak (3).
5.	LPK MP 11	<i>Quartz Arenit teroksidasi</i>	Mineral Kuarsa (56), Kriptokristalin (10), Klorit (5), Plagioklas (1), Muskovit (1), Oksida Besi (25), Opak (2).
6.	LPK TB 01	Batulanau tersilisifikasi	Mineral Kuarsa (58), Kriptokristalin (35), Klorit (5), Muskovit (1), Opak (1)
7.	LPK TB 02	<i>Lithic Wacke</i>	Fragmen Batuan (15), Mineral Kriptokristalin (42), Kuarsa (37), Plagioklas (2), Klorit (3), dan Opak (1).
8.	LPK TB 27	Batulempung Lanauan	Mineral Kriptokristalin/ <i>Illite</i> (78), Kuarsa (20), Feldspar (1), Opak (1).
9.	LPK TB 31	Batulanau Teroksidasi	Mineral Kuarsa (15), Feldspar (3), Kriptokristalin (<i>Illite</i>) (20), Oksida Besi (61), Opak (1).

Tabel 2. Data Manifestasi Panas Bumi Mata air Panas di Kabupaten Lima Puluh Kota

NO	NAMA MANIFESTASI	LOKASI	KOORDINAT (UTM)		ELEVASI (mdpl)	TEMPERATUR		pH	DEBIT		KETERANGAN
			X (m)	Y (m)		AIR (°C)	UDARA (°C)		(L/det)		
1	Air Panas Batubalang	Jorong Bancah,	687292	9980277	500	35,0	23,0	6,4	0,7		Mata air panas muncul dari endapan aluvium, sesekali mengeluarkan buaian
2	Air Panas Batubalang	Jorong Bancah,	687230	9979791	519	35,7	31,6	5,9	0,3		Mata air panas muncul dari aluvium, sesekali mengeluarkan buaian gas. Airnya
3	Air Panas Batubalang	Jorong Koto	686608	9979148	499	42,3	26,9	6,5	0,2		Air panas keluar dari sumur bor milik penduduk dengan kedalaman 132 meter.
4	Air Panas Batubalang	Jorong Balai,	687185	9979021	521	41,1	28,4	6,2	0,3		Air panas keluar dari sumur bor milik penduduk dengan kedalaman 126 meter.
5	Air Panas Muaro	Nagari Muaro	675183	26538	114	56,2	25,1	5,4	0,1		Mata air panas muncul dari rekahan batupasir di pinggir Sungai Kapur, sesekali
6	Air Panas Muaro	Nagari Muaro	675203	26532	112	61,9	25,6	5,5	0,2		Mata air panas muncul dari aluvium di pinggir Sungai Kapur yang sesekali
7	Air Panas Muaro	Nagari Muaro	675824	26065	142	41,5	25,5	5,8	0,1		Mata air panas muncul dari aluvium di pinggir Sungai Kapur, sesekali
8	Air Panas Muaro	Nagari Muaro	675206	26523	112	62,5	28,3	5,5	0,2		Mata air panas muncul dari aluvium di pinggir Sungai Kapur, terlihat mengeluarkan
9	Air Panas Lubuk	Nagari Muaro	675884	26266	100	50,0	26,5	5,9	0,2		Mata air panas muncul dari rekahan batupasir di pinggir Sungai Kapur, sedikit
10	Air Panas Sumanio	Nagari Muaro	676310	27584	103	41,7	25,9	6,1	0,1		Mata air panas muncul dari rekahan batupasir di pinggir Sungai Kapur, di sekitar
11	Air Panas Tanjung	Nagari Tanjung	698766	20619	98	54,1	29,8	6,7	0,1		Mata air panas muncul dari rekahan batupasir di Sungai Balik, sesekali

Tabel 3. Hasil analisis kimia anion dan kation sampel air panas dan air dingin di Daerah Lima Puluh Kota

NAMA SAMPEL (KODE)	Air Panas Batubalang-1 (APBB-1)	Air Panas Batubalang-3 (APBB-3)	Air Panas Batubalang-4 (APBB-4)	Air Panas Muaropaiti-1 (APMP-1)	Air Panas Muaropaiti-2 (APMP-2)	Air Panas Muaropaiti-3 (APMP-3)	Air Panas Panjang (APLP)	Air Panas Tanjung Balik (APTJB)	Air Dingin Batubalang-1 (ADBB-1)	Air Dingin Muaropaiti-1 (ADMP-1)
pH	8,34	7,90	7,95	6,82	7,36	7,11	7,20	8,44	5,01	6,41
DHL ($\mu\text{s/cm}$)	464	715	649	469	405	58	192	418	11	45
TDS (mg/L)	272	464	380	296	308	100	180	204	20	40
SiO ₂ (mg/L)	32,49	139,95	93,84	38,89	40,08	24,60	38,03	42,01	8,06	4,30
B (mg/L)	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,12	0,12
Al ³⁺ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Fe ³⁺ (mg/L)	3,51	2,94	5,12	2,58	2,87	4,93	2,26	0,00	0,00	0,40
Ca ²⁺ (mg/L)	18,80	21,34	15,80	10,67	9,84	3,07	4,42	50,03	1,66	2,64
Mg ²⁺ (mg/L)	7,76	12,89	9,27	6,20	5,13	1,12	2,26	4,86	0,00	0,37
Na ⁺ (mg/L)	48,46	83,13	81,46	34,77	31,18	2,06	5,39	24,08	1,25	6,08
K ⁺ (mg/L)	10,42	22,90	24,28	66,99	62,57	10,44	43,84	7,17	0,57	1,20
Li ⁺ (mg/L)	0,08	0,11	0,36	0,15	0,13	0,01	0,05	0,13	0,00	0,00
As ³⁺ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺ (mg/L)	6,89	16,60	3,07	0,61	0,47	0,30	0,19	0,07	0,00	0,45
F ⁻ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,10	0,16	6,03	0,00	0,00
Cl ⁻ (mg/L)	50,62	41,78	95,64	26,55	30,00	11,00	2,28	2,45	3,50	9,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,00	1,00	1,06	5,18	5,88	5,00	5,98	10,80	2,00	4,50
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	189,75	360,72	203,98	212,30	170,00	24,42	96,35	229,75	0,00	7,24
CO ₃ ⁼ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ion Balance (%)	-1,0	2,1	1,2	1,4	3,0	-1,4	2,2	-3,0	5,0	4,0

**SURVEI RINCI GEOLOGI, GEOKIMIA, GAYA BERAT DAN AMT
DAERAH PANAS BUMI TANGGEUNG-CIBUNGUR,
KABUPATEN CIANJUR, PROVINSI JAWA BARAT**

Widya Asoka, Andri Eko, dan Iqbal Takodama

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur terletak di Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat memiliki sistem panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan vulkanik tua dengan hadirnya batuan intrusi dan lava tersier. Tipe air pada daerah penyelidikan masuk ke dalam tipe klorida dan klorida sulfat yang berada di zona partial equilibrium mengindikasikan air panas mengalir dari bawah permukaan dan sedikit pengaruh dari air meteorik. Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah Tanggeung sebesar 110-130 °C, Cibungur-Cihaur-Parigi sebesar 120-150 °C, dan daerah Leles diperoleh nilai sebesar 110-120 °C

Nilai anomali densitas tinggi berada relatif di tengah daerah penyelidikan atau di sekitar mata air panas Leuwilutung, dan juga berada di bagian baratdaya daerah penyelidikan atau di sekitar mata air panas Cibungur, Cihaur, dan Parigi. Hasil pemodelan 3 menunjukkan, terdapat 3 sistem panas bumi yang tidak saling berkaitan, yaitu sistem panas bumi Tanggeung, Cibungur, dan Leles. Sistem panas bumi Tanggeung berkaitan dengan adanya batuan intrusi diorit yang diterobos oleh lava andesit di sekitar mata air panas Leuwilutung. Hasil perhitungan potensi sumber daya panas bumi dengan luas 2 km nilai geotermometer 140°C (medium) adalah 1 MWe pada kelas sumber daya hipotetis. Sistem panas bumi Cibungur – Cibuni – Parigi berasosiasi dengan lingkungan sedimen. Batuan penudung dari lapisan lempung pada satuan batupasir dan reservoir diduga pada kedalaman 400 m. Hasil perhitungan potensi sumber daya panas bumi dengan luas 3 km² nilai geotermometer 150 °C (medium) adalah 4 MWe pada kelas sumber daya hipotetis. Sistem panas bumi Leles berasosiasi dengan batuan sedimen. Nilai geotermometer 120 °C (temperatur rendah) sehingga asumsi perhitungan menggunakan metoda perbandingan adalah sekitar 5 MWe pada kelas spekulatif.

Kata kunci: panas bumi, geologi, geokimia, gaya berat, AMT

PENDAHULUAN

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi bertugas melakukan kegiatan inventarisasi, penyelidikan umum, dan eksplorasi panas bumi. Dalam rangka inventarisasi sumber daya geologi khususnya energi panas bumi, pada tahun anggaran 2022 Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi melaksanakan survei rinci geologi, geokimia, gaya berat dan audiomagnetotellurik (AMT) di daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur. Penyelidikan ini diharapkan akan bermanfaat bagi pengembangan pembangunan di daerah tersebut, sehingga mampu mempercepat peningkatan ekonomi Kabupaten Cianjur. Secara geografis terletak pada koordinat 7013'56.8" S - 7018'20.3" S dan 106056'51" T - 10708'14.2" T atau 715000 mT - 736000 mT dan 9192000 mU - 9200000 mU pada sistem Universal Transverse Mercator zona 48 bagian selatan.

METODE PENYELIDIKAN

Metode survei terpadu menggunakan metode geologi, geokimia dan geofisika. Metode geologi terdapat beberapa tahapan kegiatan yaitu studi literatur, penyelidikan lapangan (penyebaran manifestasi panas bumi,

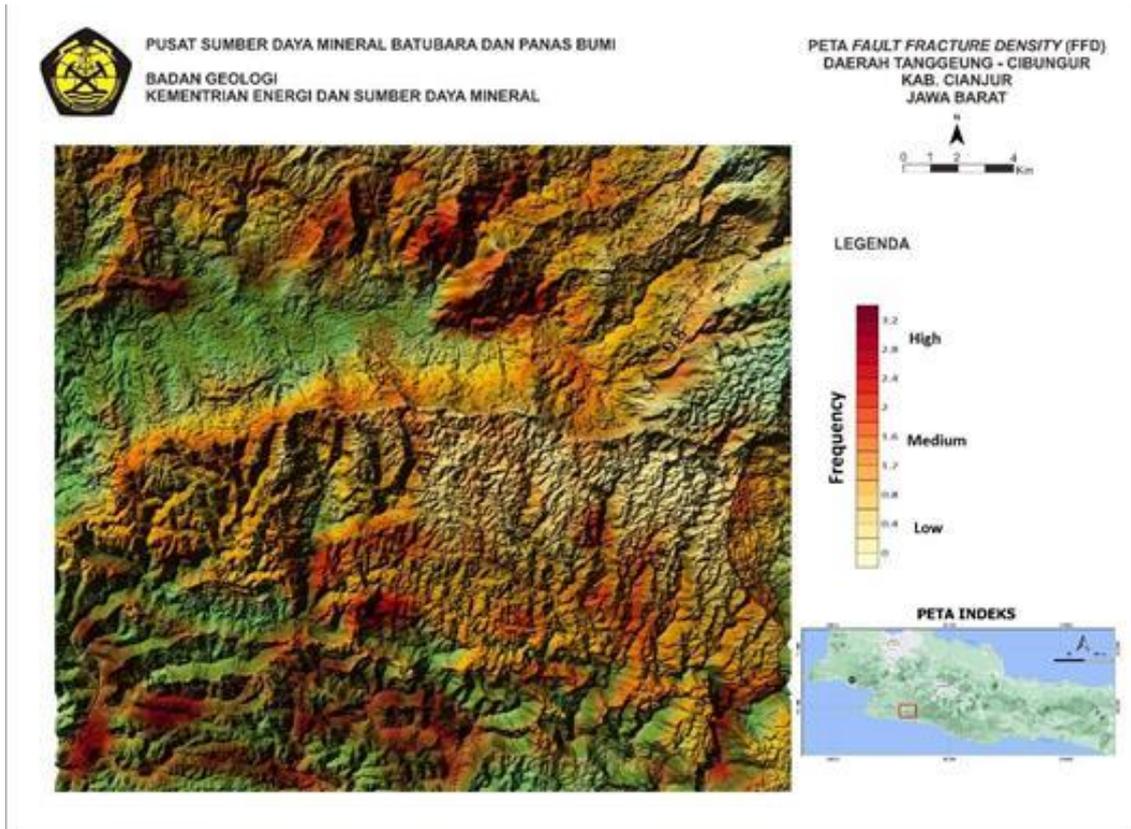
morfologi, satuan batuan, struktur geologi dan pengukuran *heat loss*), pengolahan data dan analisis laboratorium.

Metode geokimia meliputi penyelidikan terhadap karakteristik kimia dari jenis manifestasi panas bumi, konsentrasi senyawa kimia terlarut dan terabsorpsi dalam fluida panas yang terkandung dalam conto air, dan sebaran anomali horisontal merkuri (Hg) pada tanah dan udara tanah (CO²) pada kedalaman satu meter.

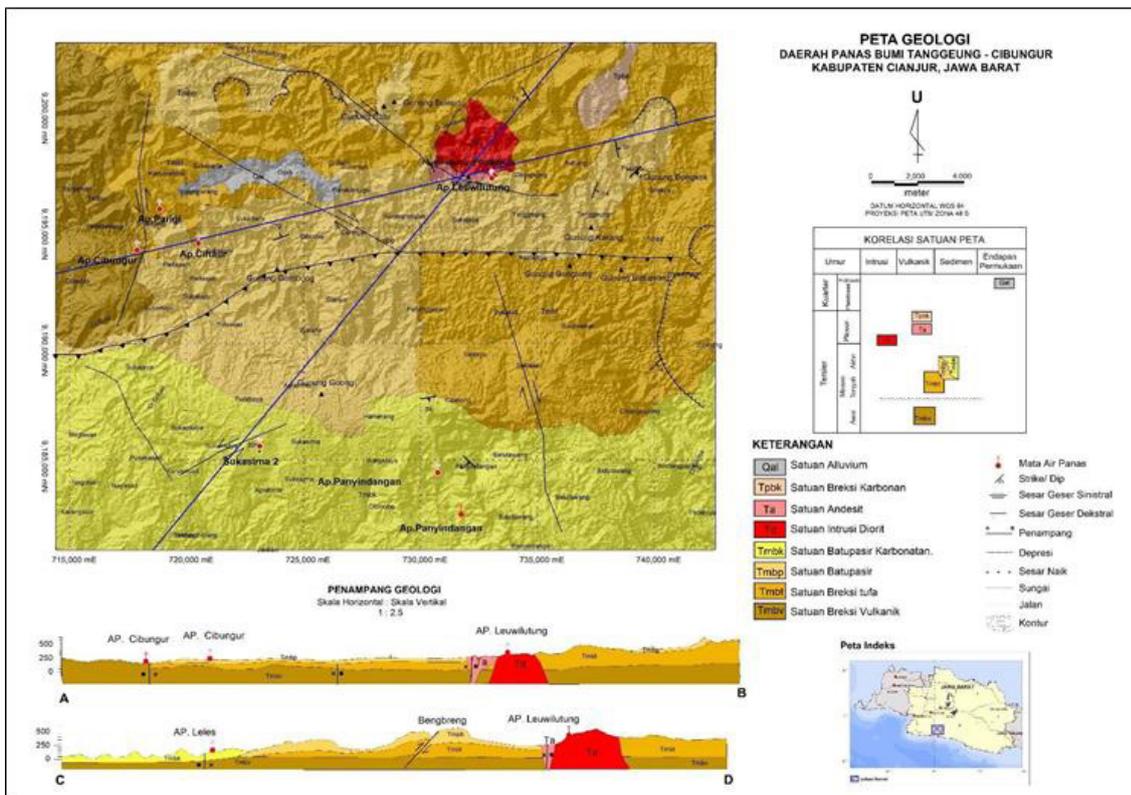
Metode geofisika meliputi pengukuran gaya berat (di titik ukur, pengolahan data, pengambilan conto batuan, dan pemodelan) dan menggunakan metode audio *magnetotelluric* (AMT)

HASIL PENYELIDIKAN

Analisis kelurusan di daerah penyelidikan dilakukan dengan menggunakan peta dasar berupa data DEMNAS. Berdasarkan analisis densitas kelurusan di daerah Tanggeung menunjukkan bahwa adanya kecenderungan densitas tinggi dengan arah barat laut - tenggara dan timur laut - barat daya serta terdapat juga berarah barat-timur. Terdapat suatu pola mirip *circular features* berbentuk tapal kuda membuka ke arah selatan yang di interpretasikan sebagai depresi.



Gambar 2. Peta Fault Fracture Density (FFD)



Gambar 3. Peta geologi daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur

MANIFESTASI PANAS BUMI

Manifestasi panas bumi daerah Tanggeung – Cibungur berupa mata air panas yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Geokimia

Berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ memperlihatkan bahwa seluruh sampel air panas daerah panas bumi Tanggeung maupun Leles masuk dalam tipe klorida dan klorida-sulfat (indikasi dari produk mineralisasi). Plotting Na-K-Mg pada seluruh sampel air panas berada di zona partial equilibrium berdasarkan diagram ini, temperatur reservoir diperkirakan sekitar 140°C.

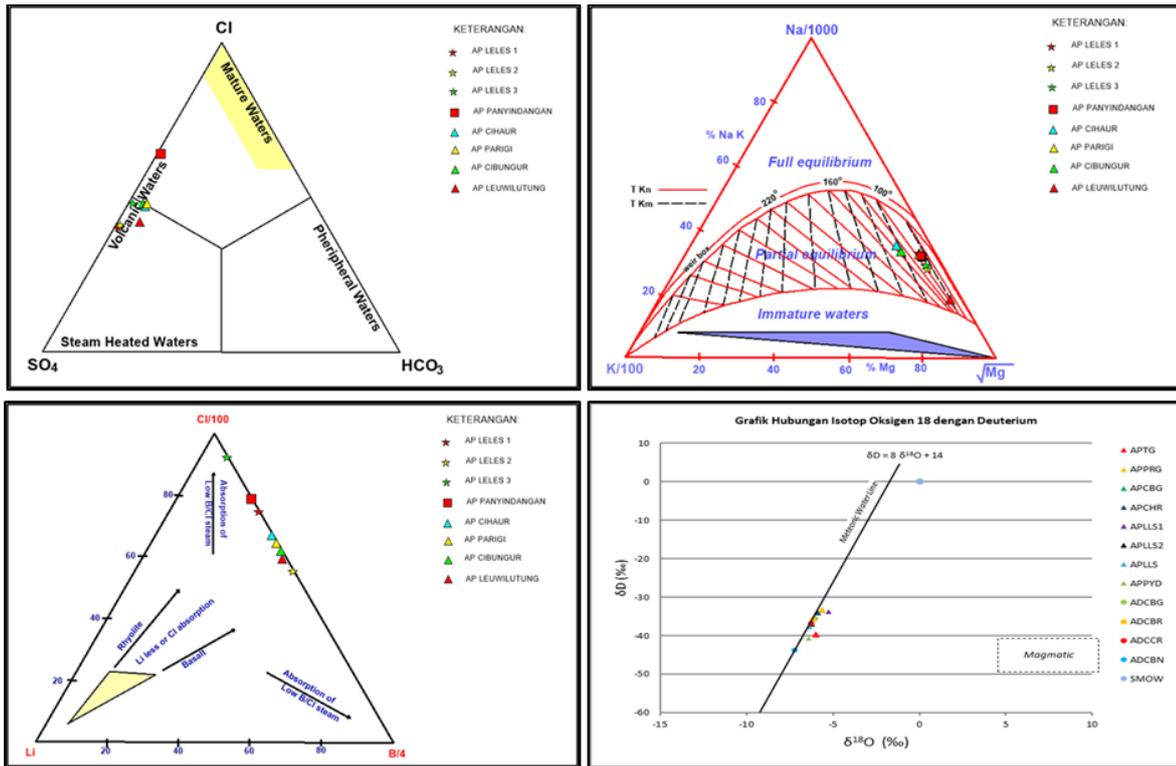
Pada diagram segitiga Cl-Li-B fluida Tanggeung dan sekitarnya berada pada

zona Cl yang mengarah ke zona B yang dapat diasumsikan bahwa lingkungan pembentukan berupa lingkungan vulkanik yang dipengaruhi batuan sedimen. Berdasarkan data hasil isotop ¹⁸O dan Deuterium yang diperoleh cenderung menjauhi garis air meteorik (*Meteoric Water Line*) yang menandakan terjadinya pengkayaan oksigen dan deuterium akibat adanya interaksi fluida dengan batuan.

Anomali Hg tanah pada daerah Tanggeung terlihat di sebelah utara air panas Leuwilutung dan di tengah-tengah antara air panas Cibungur dan Parigi diasumsikan berhubungan dengan proses mineralisasi. Sedangkan anomali Hg tinggi di dekat air panas Cibungur diperkirakan berhubungan dengan aktivitas hidrotermal.

Tabel 1. Manifestasi panas bumi daerah Tanggeung – Cibungur

No,	Nama Manifestasi	Koordinat		Elev (m)	Temp Manif (°C)	Temp Udara (°C)	pH	Debit (l/dt)	EC (µs/cm)	Keterangan
		X	Y							
1,	AP Leuwilutung 1	734434	9196212	238	63,9	25,9	7,75	0,1	2.990	Di pinggir sungai Cibuni dekat jembatan Leuwilutung. Ada beberapa titik keluaran manifestasi
2,	AP Leuwilutung 2	733041	9197139	270	71,5	29,1	-	-	-	AP keluar ditengah sungai Cibuni, terendam air sungai. AP keluar di seberang AP Tanggeung 1
3,	AP Parigi	718839	9195845	146	55,2	30,5	8,31	-	1.180	Di dekat sawah, di kolam penampungan warga dengan ukuran 3x1m
4,	AP Cibungur	717885	9194096	115	53,3	30,6	8,53	20	1.206	Dekat Jembatan pembatas Cianjur selatan - Sukabumi
5,	AP Cihaur	720504	9194379	167	41,3	31,5	8,61	5	1.240	Dipinggir sawah, berupa kolam 2x1 m
6,	AP Leles 1	723134	9185619	98	65,7	33,6	7,72	70	2.750	Muncul dari puncak bukit, dari dalam batu pasir dengan debit sangat besar
7,	AP Leles 2	723499	9185747	105	65,3	30,2	7,72	2,5	2.760	Dipinggir sungai cideurma, desa sukasirna ada 3 keluaran
8,	AP Leles 3	723320	9185705	90	60,2	33,1	-	0,5	-	AP keluar di antara AP Leles 1 dan 2, Keluar dari celah batuan.
9,	AP Leles 4	723081	9184578	92	57,0	30,1	7,74	0,1	2.740	AP keluar dari bawah tanah, berada di kampung Cinangka,
10,	AP Panyindangan	731750	9182678	29	38,9	25,8	7,75	1	5.050	Muncul di dekat sawah, merembes dari bawah tanah lempung
11,	AD Cibungur	719527	9194502	202	26,8	27,9	6,65	0,5	524	Di pinggir sawah, utara sawah, selatan kebun pisang, timur jalan, barat kebun kelapa
12,	AD Ciburang	718211	9195256	102	26,2	31,2	6,91	0,5	480	Mata air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari penduduk
13,	AD Ciceuri	736086	9195538	382	25,7	32,2	6,74	0,5	151	Pinggir kolam ikan, utara rumah, selatan rumah, timur kebun pisang & ketela, Barat sawah



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, dan Cl-Li-B, dan isotop Daerah Panas Bumi Tanggeung – Cibungur

Anomali CO₂ udara tanah pada daerah Tanggeung terlihat sedikit di utara Air Panas Parigi dan Utara daerah penyelidikan sedangkan untuk daerah Leles anomali terlihat di Barat daerah penyelidikan. Anomali CO₂ di daerah Tanggeung diperkirakan berhubungan dengan adanya struktur yang membatasi pemunculan air panas di sisi Timur dan Barat.

Geofisika

Survei geofisika di Daerah Tanggeung-Cibungur dan sekitarnya menggunakan metode gaya berat dan metode Audio Magnetotellurik (AMT). Berdasarkan peta anomali Bouguer, sebaran anomali secara umum merendah

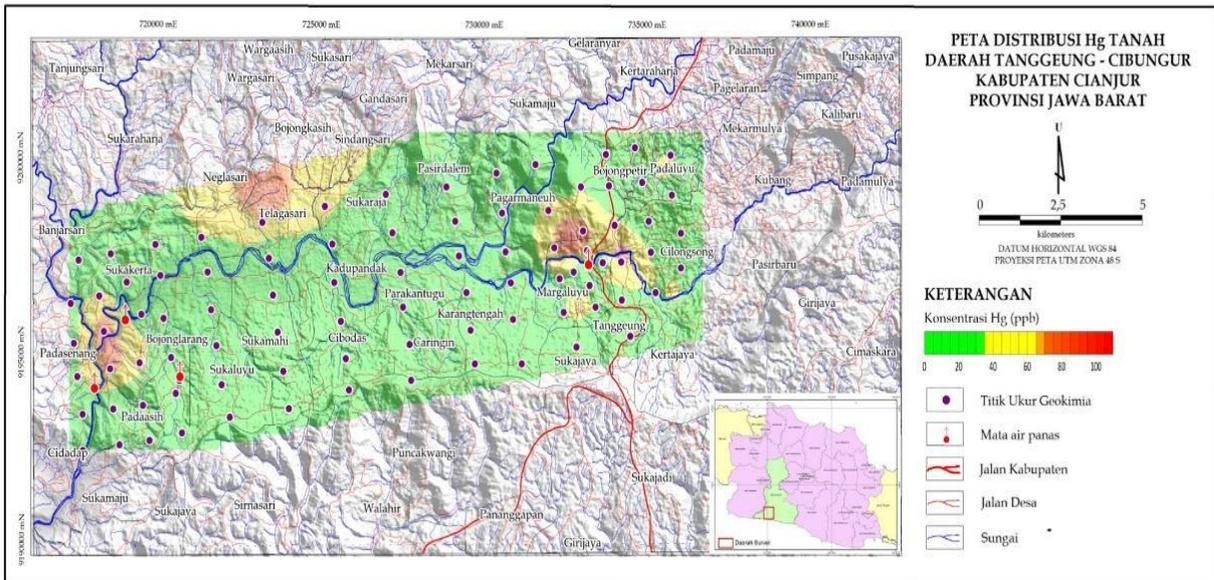
ke arah timur timurlaut dan baratlaut daerah penyelidikan. Nilai anomali densitas tinggi berada relatif di tengah daerah penyelidikan atau di sekitar mata air panas Leuwilutung, dan juga berada di bagian baratdaya daerah penyelidikan atau di sekitar mata air panas Cibungur, Cihaur, dan Parigi.

Hasil anomali Bouguer regional menunjukkan bahwa secara umum nilai anomali merendah ke arah timurlaut daerah penyelidikan. Dengan demikian sebaran densitas batuan merendah ke arah timur laut daerah penyelidikan.

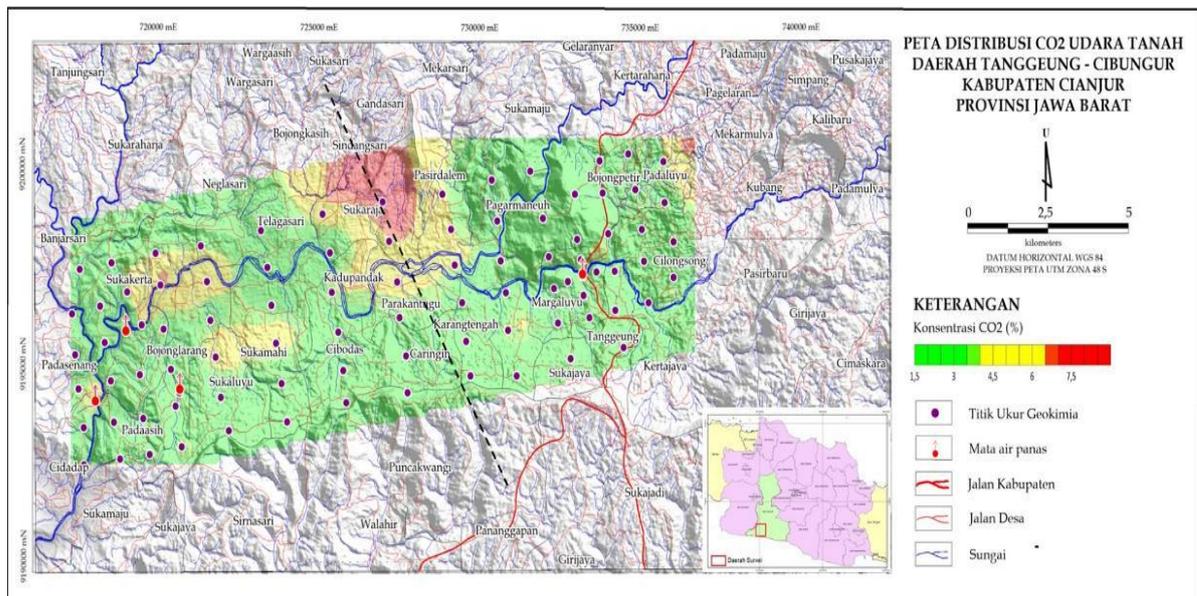
Hasil peta anomali Bouguer residual menunjukkan bahwa sebaran anomali tinggi berada relatif di tengah daerah penyelidikan atau di sekitar mata air

panas Leuwilutung dan meluas ke arah utara daerah penyelidikan. Keberadaan anomali tinggi tersebut dikelilingi oleh anomali rendah berupa pola melingkar. Hasil peta FHD menunjukkan adanya

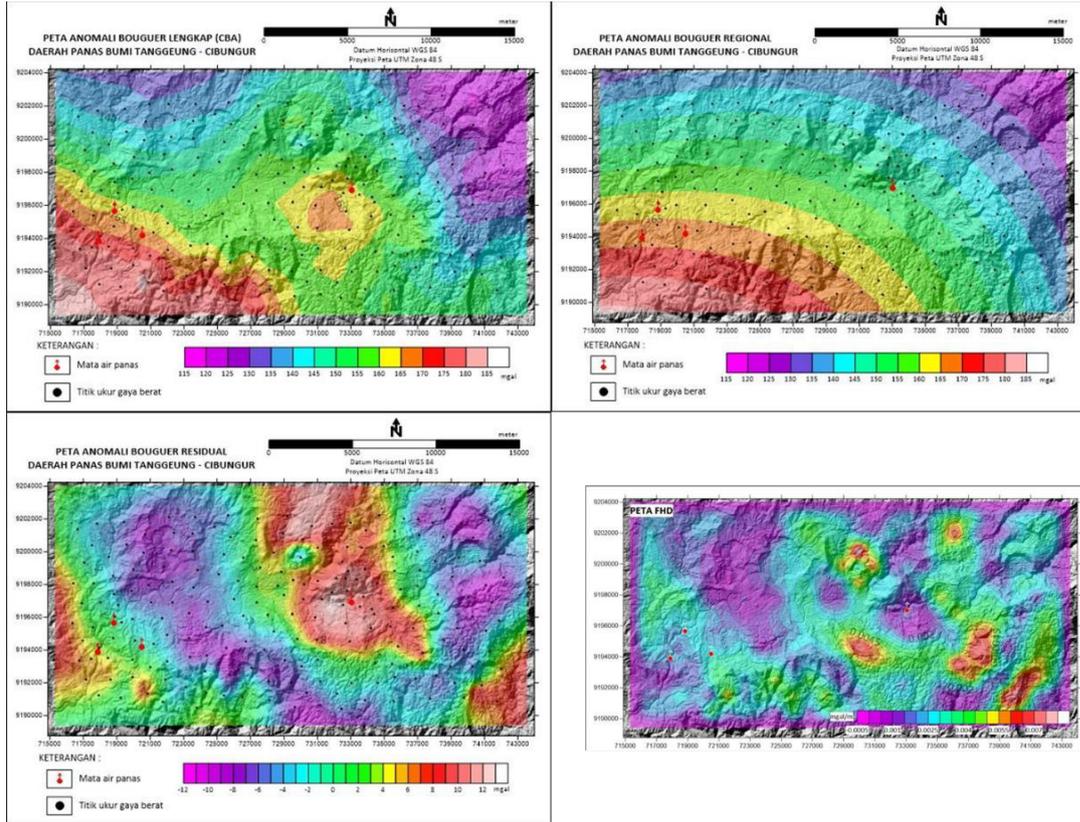
kelurusan relatif sepanjang barat – timur dan adanya kelurusan berupa pola melingkar yang mengitari keberadaan mata air panas Leuwilutung di bagian tengah-timur daerah penyelidikan.



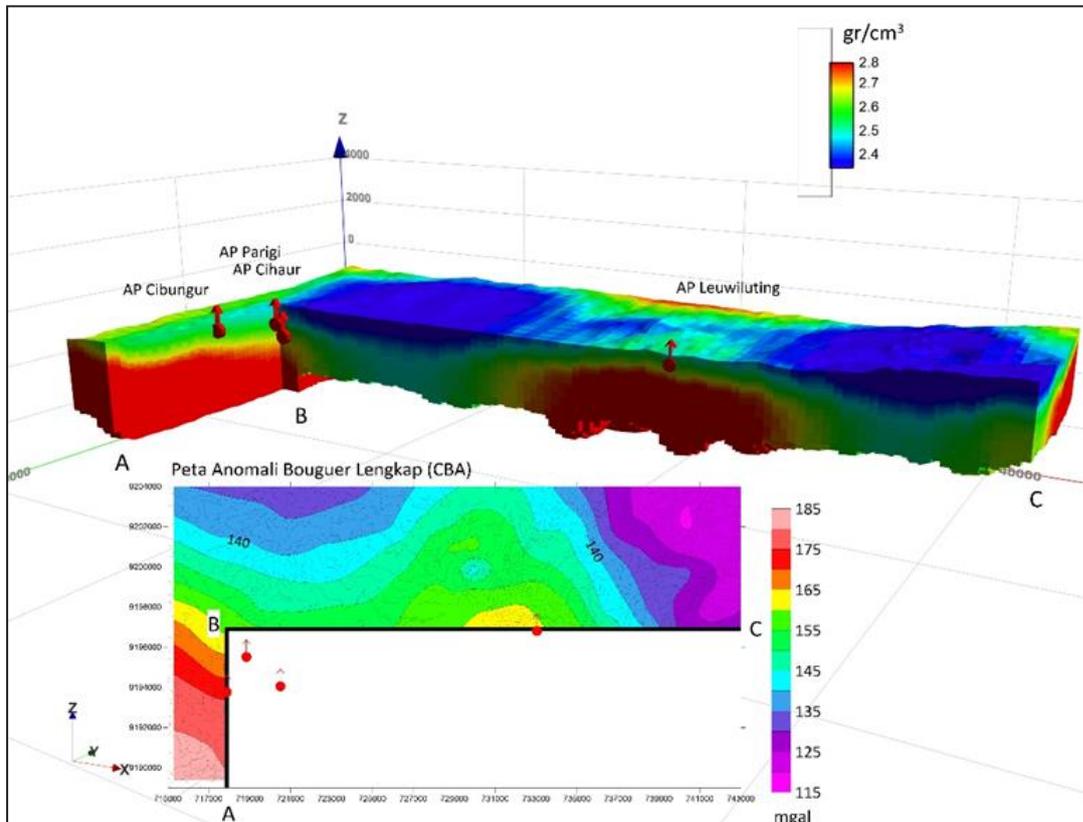
Gambar 5. Peta distribusi Hg tanah daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur



Gambar 6. Peta distribusi CO2 tanah daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur



Gambar 7. Peta anomali Bouguer, regional, residual dan FHD daerah panas bumi Tanggeung

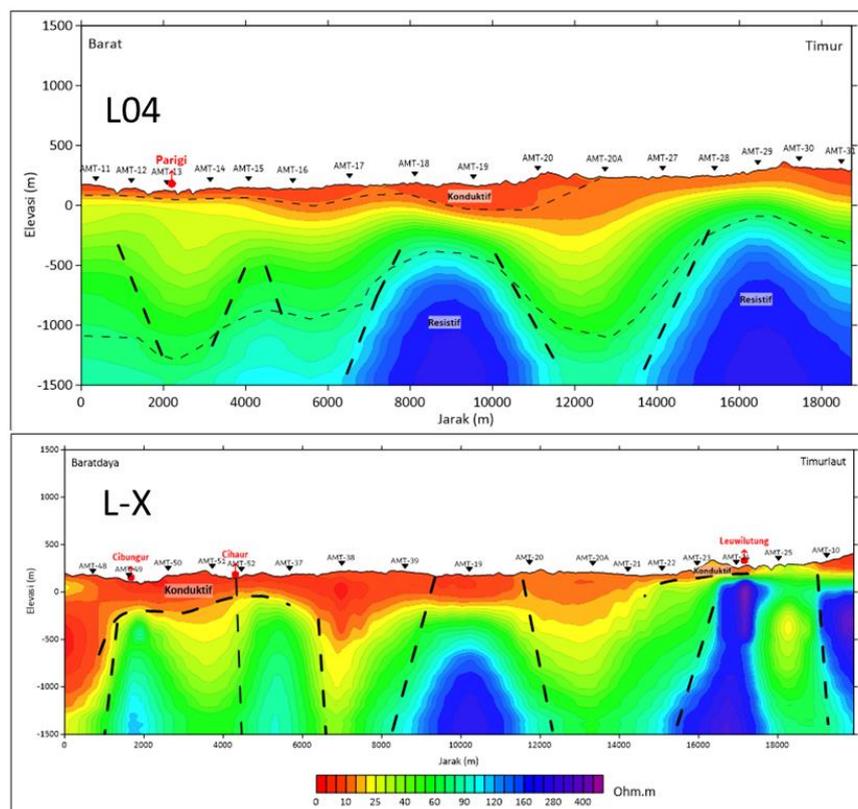


Gambar 8. Interpretasi penampang densitas hasil pemodelan 3-D

Penampang model tahanan jenis bawah permukaan pada lintasan L04 memotong mata air panas Parigi dengan arah penampang barat timur. Zona konduktif membentuk lapisan berada di dekat permukaan. Lapisan tipis dibagian barat dan sedikit menebal ke bagian tengah. Lapisan ini berasosiasi dengan batupasir yang muncul di bagian tengah penampang. Zona resistif pada bagian dalam membentuk undulasi yang kemungkinan diperkirakan berasosiasi dengan batuan vulkanik tua.

Zona konduktif pada model penampang L-X muncul memanjang dari arah barat daya dan menipis ke arah timurlaut. Zona ini memiliki ketebalan 500 – 750 meter disekitar mata air panas

Cibungur dan Cihaur. Sedangkan zona konduktif di bagian mata air panas Leuwilutung sangat tipis (ketebalan < 50 meter). Zona ini kemungkinan besar berasosiasi dengan batuan sedimen, dan kecil kemungkinan berhubungan dengan zona-zona alterasi. Dibawah dari area Leuwilutung terdapat lapisan tahanan jenis sedang yang relatif tipis yang dilanjutkan dengan tahanan jenis tinggi dibawahnya. Lapisan sedang yang tipis serta bodi yang resistif ini membentuk pola intrusif yang kemungkinan berasosiasi dengan lava. Lapisan sedang di bawah mata air panas Cibungur dan juga Cihaur masing-masing membentuk pola *updome*. Pola ini mungkin saja berasosiasi dengan batuan yang bersifat permeabel.



Gambar 9. Interpretasi penampang hasil pemodelan AMT daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur

PEMBAHASAN

Sistem panas bumi di daerah penyelidikan berdasarkan data geologi, geokimia dan geofisika dapat dikelompokkan menjadi tiga sistem, yaitu Daerah Tanggeung, Cibungur dan Leles. Secara umum sistem yang terbentuk berada pada *medium terrain* dengan elevasi rendah dan berkaitan dengan vulkanik tua dan sedimen.

Sistem panas bumi Tanggeung berasosiasi dengan lingkungan vulkanik tua dengan hadirnya batuan intrusi dan lava Tersier. Lapisan penudung sangat tipis berdasarkan data tahanan jenis AMT (< 10 ohmm) diduga berkaitan dengan lapisan lava yang terdapat di sekitar munculnya air panas yang mengalami *self sealing*. Sistem panas bumi Cibungur – Cibuni – Parigi berasosiasi dengan lingkungan sedimen. Batuan penudung dari lapisan lempung pada satuan batupasir dan reservoir diduga pada kedalaman 400 m. sumber panas tidak nampak dipermukaan dan diasosiasikan dengan tubuh intrusi di kedalaman.

Sistem panas bumi di daerah Leles masih belum bisa lebih jauh untuk diketahui. Data geologi dan geokimia menunjukkan munculnya air panas berada di satuan batupasir karbonat yang berselingan dengan batulempung. Tidak ditemukan batuan intrusif maupun batuan vulkanik di sekitar air panas, namun permeabilitas yang terbentuk dari hasil deformasi batuan berupa kekar dan sesar

cukup intensif sehingga debit yang dihasilkan dari manifestasi air panas sangat besar hingga membentuk air terjun yang mengalir sungai.

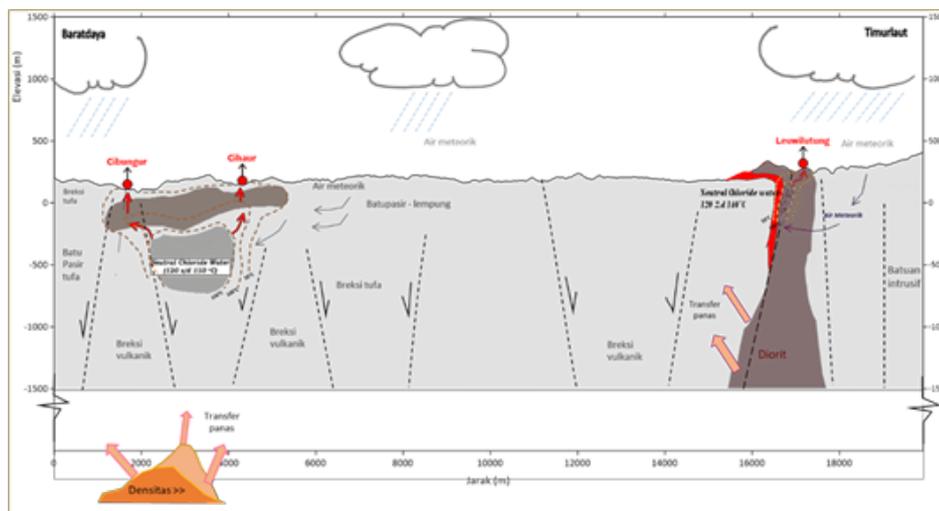
Sistem panas bumi di daerah Tanggeung dan sekitarnya diperkirakan sebagai sistem panas bumi dengan dominasi air dengan fluida reservoir temperatur menengah. Diperkirakan setidaknya ada 3 (tiga) reservoir yang terbentuk, yaitu Tanggeung dengan temperatur 110-130 °C, Cibungur-Parigi-Cihaur dengan temperatur 120-150 °C, dan Leles dengan temperatur 110-120 °C. Reservoir Tanggeung dan Cibungur dipisahkan oleh struktur hasil dari anomali CO₂ udara tanah. Pada daerah Tanggeung ada kemungkinan belum terbentuk reservoir, yang ditandai dengan tidak terbentuknya lapisan konduktif di sekitar air panas. Sedangkan pada daerah Cibungur, reservoir diperkirakan sudah terbentuk yang ditandai dengan terbentuknya lapisan konduktif dan didukung dengan adanya anomali Hg tinggi di sekitar air panas Cibungur dan Parigi. Aliran fluida di daerah ini diduga mengalir secara lateral (*Outflow*) dengan nilai rasio Na/K > 15 dan Na/Ca yang rendah.

Daerah Prospek

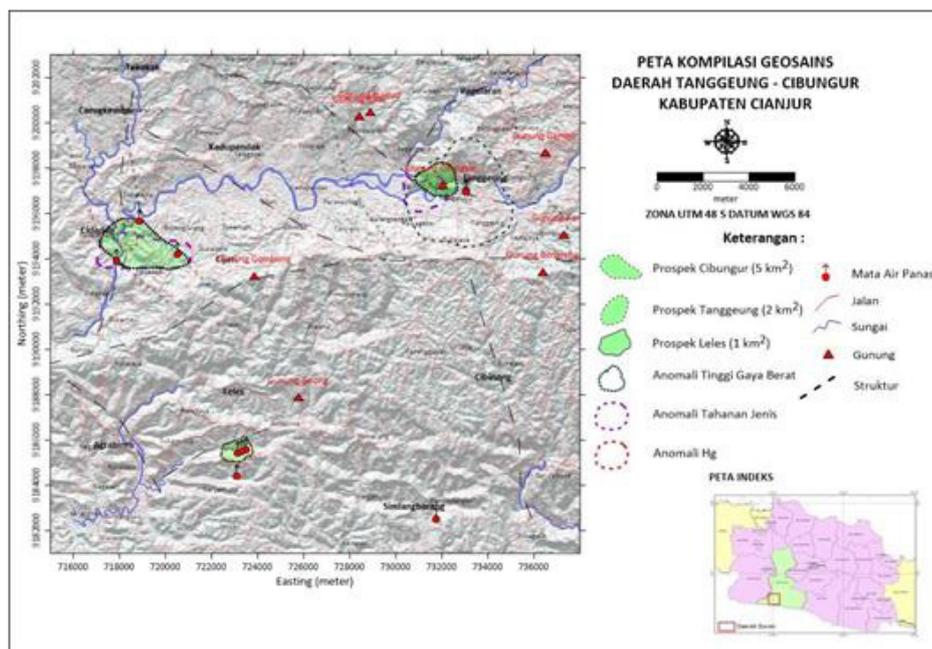
Sebaran area prospek panas bumi di Daerah Tanggeung-Cibungur berdasarkan hasil survei geologi, geokimia dan geofisika diklasifikasi menjadi tiga daerah prospek. Daerah prospek

Tangeung, yang terletak dibagian timur laut dari area survey. Daerah ini berada di sekitar mata air panas Leuwilutung dengan luas area prospek sekitar 2 km² dengan sumber daya panas bumi sebesar 1 MWe pada kelas sumber daya hipotetis. Daerah prospek Cibungur berada di bagian barat area survey yang berada di sekitar mata air panas Cibungur, Cihaur dan Parigi dengan

luas area sekitar 3 km² dengan sumber daya panas bumi sebesar 4 MWe pada kelas sumber daya hipotetis. Sedangkan daerah prospek Leles yang berada di bagian selatan hanya didasarkan pada hasil dari geologi dan geokimia dengan luas area prospek sekitar 1 km² dengan perkiraan sumber daya pada kelas spekulatif sebesar 5 MWe.



Gambar 10. Model Konseptual Panas Bumi Daerah Tangeung-Cibungur



Gambar 11. Peta Prospek Panas Bumi Daerah Tangeung-Cibungur

KESIMPULAN

Terdapat tiga sistem panas bumi terpisah, yaitu sistem panas bumi Tanggeung, Cibungur, dan Leles. Sistem panas bumi Tanggeung berasosiasi dengan lingkungan vulkanik tua dengan hadirnya batuan intrusi dan lava Tersier. Hasil perhitungan potensi sumber daya panas bumi dengan luas 2 km², nilai geotermometer 140°C (medium) adalah 1 MWe pada kelas sumber daya hipotetis.

Sistem panas bumi Cibungur – Cibuni – Parigi berasosiasi dengan lingkungan sedimen. Batuan penudung dari lapisan lempung pada satuan batupasir dan reservoir diduga pada kedalaman 400 m. sumber panas tidak nampak dipermukaan dan diasosiasikan dengan tubuh intrusi di kedalaman. Hasil

perhitungan potensi sumber daya panas bumi dengan luas 3 km², nilai geotermometer 150 °C (medium) adalah 4 MWe pada kelas sumber daya hipotetis.

Sistem panas bumi Leles belum dilaksanakan survei geofisika. Sistem yang terbentuk berasosiasi dengan batuan sedimen dengan nilai geotermometer 120 °C (temperatur rendah) sehingga asumsi perhitungan menggunakan metoda perbandingan adalah sekitar 5 MWe pada kelas spekulatif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim-1. (2003). Valuasi Pemanfaatan Sumberdaya Migas dan Panas Bumi Se- Jawa Barat. Bandung: Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Pemprov Jawa Barat.
- Anonim-2. (2010). Peningkatan Pemanfaatan Potensi Panas Bumi Di Jawa Barat. Bandung: Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Pemprov Jawa Barat.
- Anonim-3. (2020). Evaluasi Keprospekan Panas Bumi Daerah Jampang Kulon. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- Buonasorte, G., Caranova, R., Fiordelisi, A., & Ungarelli, C. (2013). MT as a tool for Geothermal exploration : a case study from Southern Tuscany. European Geothermal Congress. Pisa: EGC.
- Burhan, O., Noor, D., & Kandarisman, D. S. (2018). Geologi Daerah Sirnasari dan Sekitarnya, Kecamatan Jampang Surade, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geologi, 1.
- Cagniard, L. (1953). Basic theory of magnetotelluric method of geophysical prospecting. Geophysics 18, 605-645.

- Chave, A. D., & Jones, A. G. (2012). *The Magnetotelluric Method Theory and Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gafar, E. Z. (2017). Struktur Geologi Bawah Permukaan di Garut Selatan Berdasarkan Data Elektromagnetik. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 123-131.
- Giggenbach, W. (1988). Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg-Ca Geo-Indicators. *Geochemica Acta* 52, 2749-2765.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta: HAGI. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2015). *Peta Tata Guna Lahan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Koesmono, M., Kusnama, & Suwarna, N. (1996). *Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Longman, I. M. (1959). Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *J. Geophys Res* 64, 51-56.
- Robinson, E. S., & Crouch, X. (1998). *Basic Exploration Geophysics*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc Somerset.
- Rodi, W., & Mackie, R. L. (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics* Vol. 66, 174-187.
- Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vozoff, K. (1990). Magnetotellurics : Principles and practice. *Earth Planet.Sci*, Vol.99, No.4 , 441-471.
- Wohletz, K., & Heiken, G. (1992). *Volcanology and Geothermal Energy* Brekeley:University of California Press.

SURVEI GEOLOGI RINCI DAERAH PANAS BUMI GUCI, KABUPATEN TEGAL, PROVINSI JAWA TENGAH

Ghifara Herninda, Mochamad Nur Hadi, dan Yadi Supriyadi

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah panas bumi Guci didominasi oleh produk vulkanik Gunung Slamet yang menindih batuan dasar sedimen laut, batupasir berumur Tersier. Kondisi morfologi G. Slamet termasuk dalam topografi curam hingga landai. Produk vulkanik Slamet Tua terletak di bagian barat sekitar Kalipedes, Sigidong, dan G. Mingkrik sementara produk vulkanik muda menindihnya dan melampar ke arah Pernalang. Manifestasi dalam bentuk batuan ubahan terlampar di sekitar G. Mingkrik dan depresi Guci dengan disertai pemunculan air panas di sepanjang Sungai Kali Gung.

Sumber panas dari sistem panas bumi Guci berasal dari transfer panas yang diakibatkan aktivitas Gunung Slamet Muda (gunungapi aktif tipe A). Zona permeabel yang terbentuk hasil analisis data sesar maupun kekar, mengontrol sistem panas bumi Guci sekaligus memfasilitasi munculnya air panas, berarah baratdaya-tenggara yang sejajar pola Sumatera dengan jenis sesar oblik dan berpengaruh dalam pembentukan depresi di sekitar Guci.

Penyelidikan geologi dilakukan dengan analisis *X-Ray Diffraction*, petrografi, dan *spectra* analisis untuk laboratorium. Kehadiran mineral *chlorite*, *albite*, dan *calcite* sebagai penciri pembentukan batuan ubahan pada zona sub-propilitik dengan pendugaan temperatur pembentukan mencapai 225°C. Pada bagian permukaan, ubahan yang terbentuk termasuk pada zona argilik-silisifikasi yang dicirikan mineral *montmorillonite*, *silica* dan *halloysite* dengan pendugaan temperatur < 150°C dan pengaruh fluida dengan pH netral.

Kata kunci: Geologi, Panas bumi, Guci, Slamet

PENDAHULUAN

Tatanan geologi Indonesia sangat kompleks yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eropa - Asia, Lempeng Hindia - Australia, dan Lempeng Pasifik. Pertemuan ketiga

lempeng tersebut berperan dalam proses pembentukan gunungapi sebagai sumber panas bumi di Indonesia. Pemunculan sumber panas bumi di dunia sebagian besar berasosiasi dengan gunungapi yang masih aktif maupun yang sudah tidak aktif.

Masing-masing daerah panas bumi memiliki karakter sistem panas bumi yang berbeda tergantung pada parameter suhu, kedalaman, maupun kondisi geologinya.

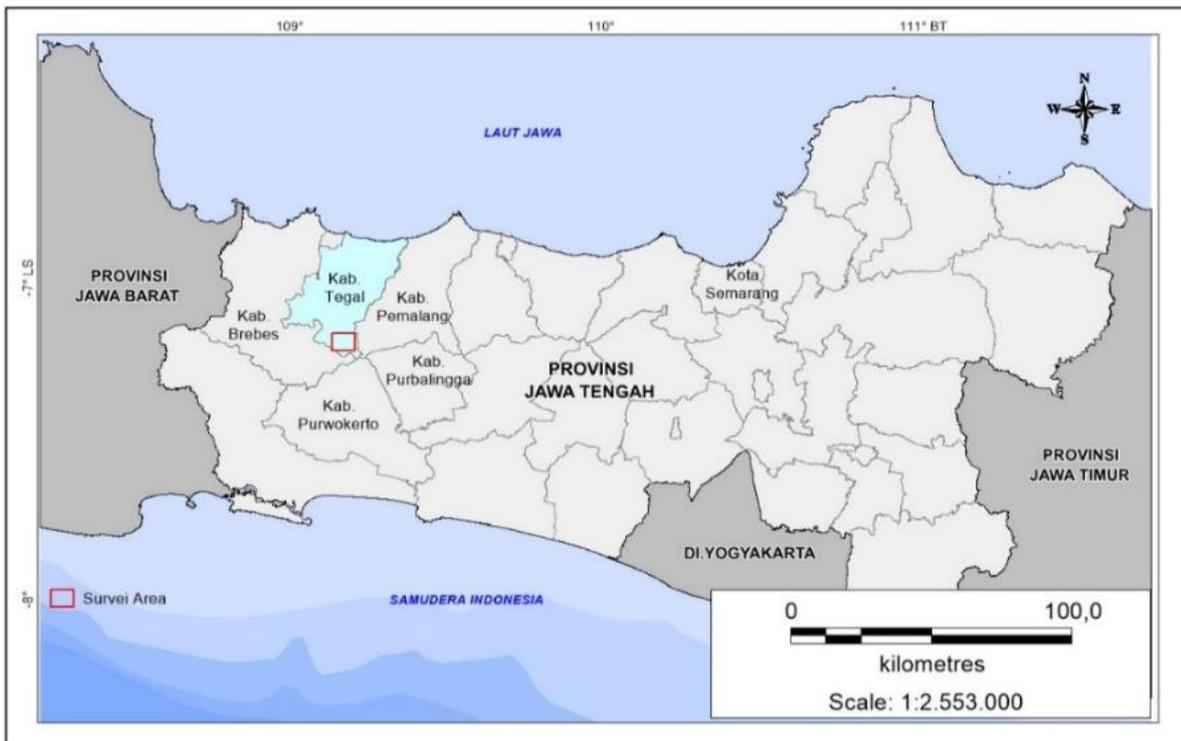
Survei geologi rinci ini dilaksanakan oleh Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi sebagai upaya melengkapi data dan informasi sebelumnya. Survei ini menitikberatkan pada penentuan sumber panas dan zona permeabilitas yang berperan dalam penentuan sistem panas bumi didukung data analisis dan interpretasi data struktur geologi, mineral ubahan, dan batuan di daerah panas bumi Guci.

Kegiatan survei difokuskan di sekitar daerah panas bumi Guci melengkapi hasil dari survei geosains sebelumnya. Secara administratif terletak di

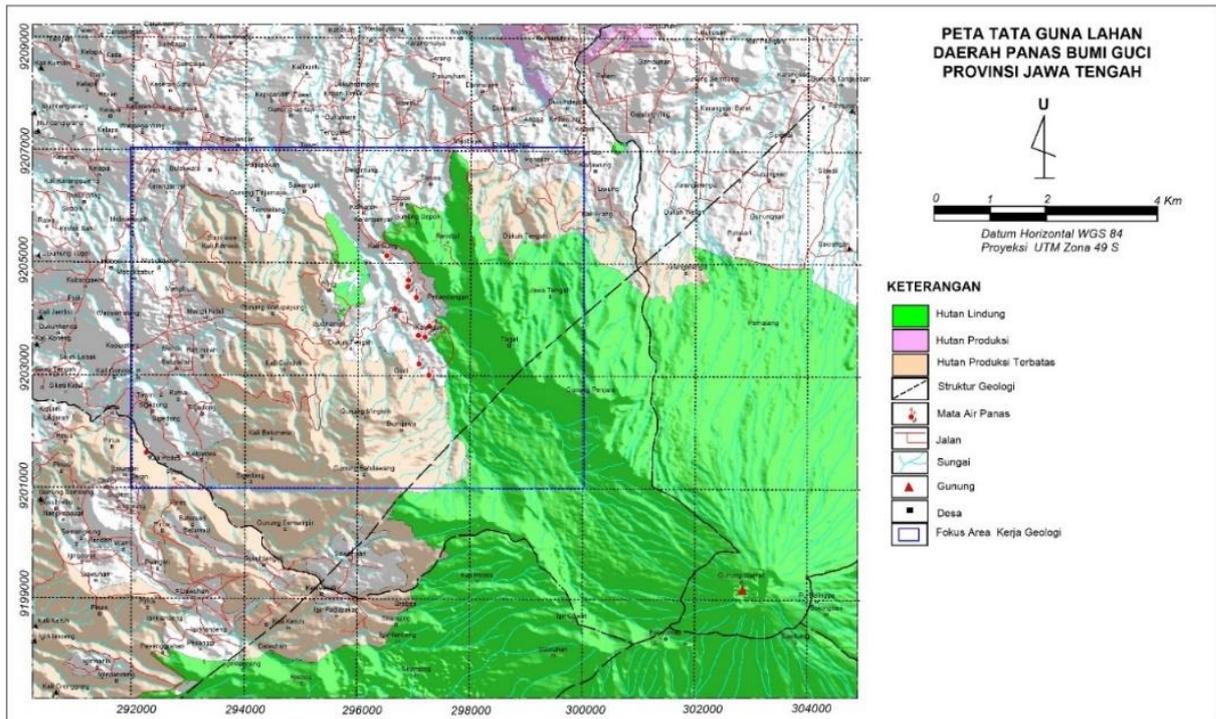
Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Secara geografis daerah survei terletak pada posisi 109° 06' 00" BT sampai 109° 14' 00" BT dan 7° 09' 00" LS sampai 7° 15' 30" LS.

Penyelidikan rinci geologi daerah Guci dilakukan dengan area pemetaan sekitar 8 x 6 km² yang terpusat di sekitar lembah Guci dan area pemetaan diluar lembah Guci sekitar 15 x 12 km² hingga meliputi puncak Gunung Slamet.

Mengacu pada pembagian wilayah hutan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2015, secara umum daerah panas bumi Guci terdiri dari Hutan Produksi, Hutan Produksi Terbatas, Hutan Lindung dan Areal Penggunaan Lain (Gambar 2).



Gambar 1. Peta indeks lokasi daerah survei



Gambar 1. Peta Tata Guna Lahan Daerah Guci

METODOLOGI

Metode survei geologi ini terbagi menjadi beberapa tahapan antara lain studi literatur, pekerjaan studio, penyelidikan lapangan, analisis laboratorium, pengolahan dan interpretasi data geologi, serta pembuatan model geologi untuk sistem panas bumi di Guci.

Data literatur dilakukan sebagai pembandingan yang mendukung interpretasi khususnya umur batuan.

Tahapan pekerjaan studio dilakukan analisis struktur dan mineral ubahan dari citra satelit, agar diperoleh informasi awal terkait pola struktur geologi dan zona mineral ubahan.

Penyelidikan lapangan bertujuan untuk mengumpulkan data hasil pengamatan dan pengukuran langsung di

lapangan, seperti deskripsi litologi secara megaskopis, pengukuran atribut sesar dan rekahan, serta pengambilan conto batuan.

Conto batuan yang diperoleh di lapangan selanjutnya dianalisis di laboratorium yang terdiri dari analisis petrografi, analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan analisis spectral, analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF).

GEOLOGI REGIONAL

Direktorat Vulkanologi pada tahun 1991 melakukan penyelidikan Geologi Daerah Bagian Timur dan Selatan Gunung Slamet, Jawa Tengah.

Urutan stratigrafi geologi dikorelasikan dengan hasil penyelidikan terdahulu menjadi satuan batuan vulkanik tua, vulkanik muda, endapan lahar

permukaan Kuartar, serta batuan sedimen Tersier. Formasi Rambatan merupakan formasi tertua berumur Tersier di bagian selatan Gunung Slamet. Sedangkan batuan vulkanik erupsi gunung slamet tua dan muda merupakan endapan tipis menutupi batuan sedimen Tersier tersebut.

Batuan sedimen merupakan *basement* dari Formasi Rambatan yang berumur paling tua pada daerah bagian selatan, berlapis baik, dan berselang-seling antara batupasir, napal, batupasir gampingan dan serpih.

Struktur geologi ditentukan berdasarkan bentuk kelurusan dan pola aliran sungai serta indikasi lainnya terdiri dari sesar-sesar berarah utara-selatan, barat-timur, baratlaut-tenggara, serta struktur pelipatan di bagian selatan Gunung Slamet yang merupakan antiklin.

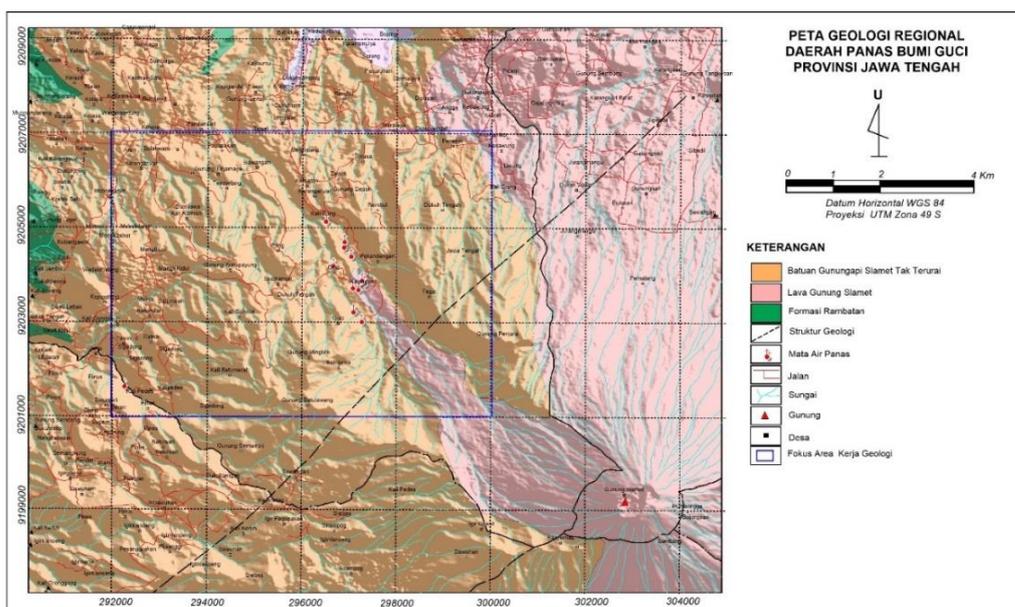
HASIL ANALISIS

Hasil pengambilan contoh batuan untuk analisis petrografi sebanyak 12 sampel, batuan ubahan 25 conto untuk analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Specterra serta sampel *X-Ray Fluoresence* (XRF) 23 conto.

Densitas Kelurusan dan Rekahan

Hasil penarikan kelurusan berdasarkan data citra dan data *Digital Elevation Model* (DEM) menunjukkan pola yang didominasi arah Baratdaya-Tenggara.

Berdasarkan analisis *Fault and Fracture Density* (FFD), anomali tinggi di sekitar Igir Cowet di bagian barat puncak G. Slamet dan di sekitar Gunung Penjara hingga ke arah barat daya dan barat. Anomali sedang terdapat di sekitar lereng bagian atas dari puncak G. Slamet, Igir Kencleng, G. Mingkrik, Batumirah, Tuwel, dan Bumijawa. (Gambar 4)



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Guci (Djouri, dkk., 1996)

Penginderaan Jauh

Hasil analisis distribusi suhu permukaan atau dikenal juga dengan *Land Surface Temperature* (LST) diperoleh dari USGS tahun 2022 yang terdapat di daerah Guci dengan menggunakan LANDSAT-8 OLI, memperlihatkan temperatur tertinggi 45°C. Di area survei anomali panas terlihat di sekitar pemukiman Sirampog dan Gambuhan sementara di area munculnya manifestasi air panas Guci dan puncak Gunung Slamet sekitar 30°C. (Gambar 5).

Morfologi

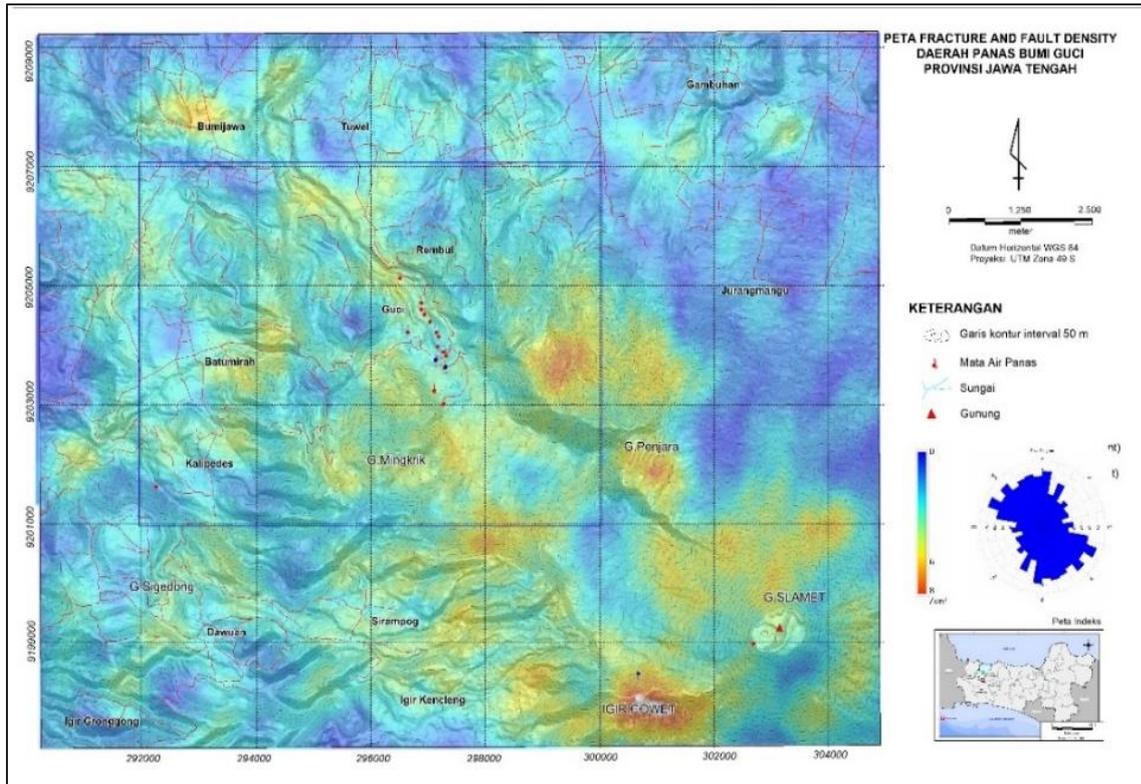
Satuan geomorfologi dibagi berdasarkan bentuk topografi, kerapatan kontur, bentuk lembah, dan kemiringan lereng (*slope*). Berdasarkan beberapa parameter tersebut, daerah Guci dan sekitarnya terbagi menjadi enam satuan geomorfologi (Gambar 6).

- a. Satuan Geomorfologi Puncak Slamet Muda; kemiringan lereng curam (16°-35°) dan rentang elevasi 2600-3400 mdpl. Dominasi pola aliran sungai radial. Ditempati oleh batuan vulkanik lava dan jatuhan piroklastik scoria kehitaman.
- b. Satuan geomorfologi Tubuh Slamet Muda; kemiringan lereng miring (4°-15°) dan elevasi 1000-2900 mdpl. Terbentuk akibat proses vulkanisme perselingan antara lava, aliran

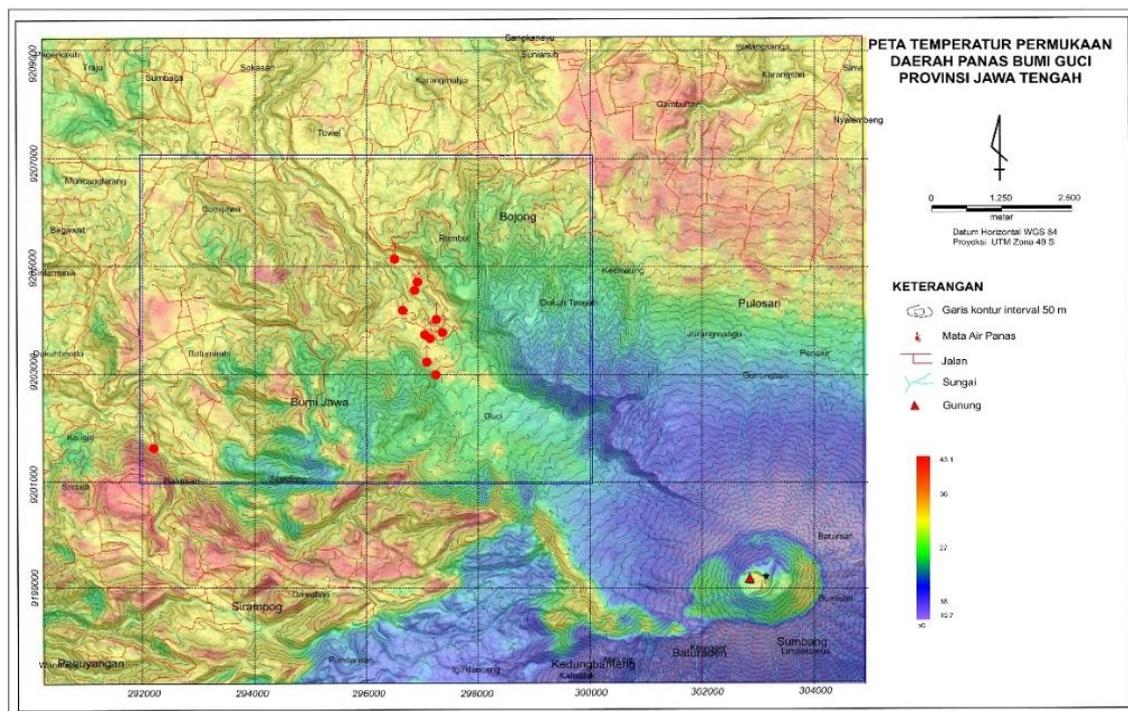
piroklastik, dan jatuhan piroklastik. Pola aliran sungai sub radial.

- c. Satuan geomorfologi Kaki Slamet Muda; kemiringan lereng landai (4°-8°) dan elevasi 950-2650 mdpl. Tersusun oleh batuan vulkanik jenis lava, aliran piroklastik, dan jatuhan. Dominasi pola aliran sungai sub parallel dan sub dendritik.
- d. Satuan Geomorfologi Tubuh Sigedong; Memiliki kemiringan lereng relatif curam (16°-35°) dengan rentang elevasi 2650-3400 mdpl. Pola aliran sungai dominan radial. Tersusun oleh batuan lava basalt dengan struktur vesikular dan jatuhan piroklastik dengan komposisi scoria.
- e. Satuan geomorfologi Tubuh Slamet Tua; kemiringan lereng landai hingga curam (4°-35°) dan elevasi 1000-2500 mdpl. Tersusun oleh batuan vulkanik dengan jenis lava, aliran piroklastik, dan jatuhan piroklastik. Setempat terdapat batuan sedimen dengan jenis batupasir dan lempung karbonatan. Pola aliran sungai sub parallel, trellis, dan sub dendritik.

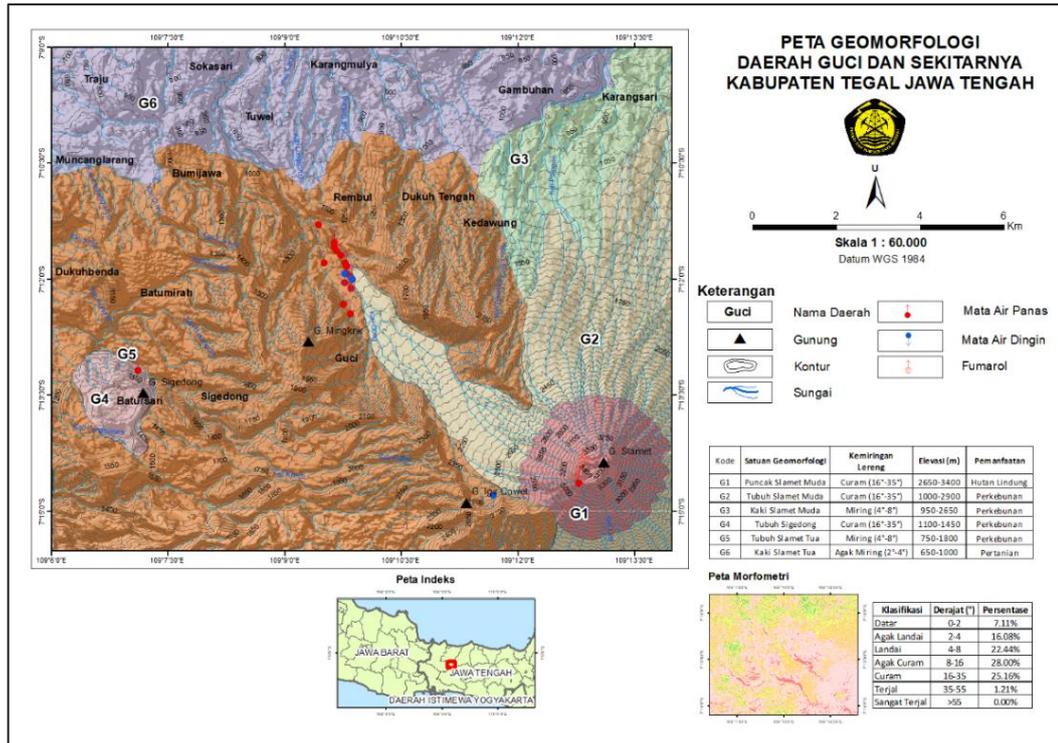
Satuan geomorfologi Kaki Slamet Tua; Memiliki kemiringan lereng agak miring (2°-4°) dengan elevasi 650-1000 mdpl. Tersusun oleh batuan aliran piroklastik dan setempat terdapat lava dan batupasir. Dominasi pola aliran sungai sub dendritik.



Gambar 3. Peta Analisis *Fracture and Fault Density*



Gambar 4. Peta Temperatur Permukaan (Modifikasi USGS, 2022)



Gambar 5. Peta Geomorfologi Daerah Guci dan Sekitarnya

Stratigrafi

Daerah penyelidikan dibagi menjadi 15 satuan batuan dikelompokkan dalam batuan sedimen, produk slamet tua, produk sigedong dan produk slamet muda (Gambar 7). Secara umum urutan satuan batuan berdasarkan umur pembentukan dari tua ke muda adalah sebagai berikut.

1. Sedimen

Merupakan *basement* yang tersingkap dengan jenis batupasir perselingan batulempung. Batupasir warna abu-abu kemerahan, keras, sortasi baik, kemas tertutup, ukuran butir pasir halus < 1/4 cm, bentuk butir membulat, kekerasan keras, karbonatan, dan sebagian telah teroksidasi. Batulempung warna abu-abu terang sampai gelap, keras, di beberapa

tempat karbonatan, dan memiliki ketebalan 10-40 cm. *Strike dip* umumnya N57°E/29° baratdaya-timurlaut dan terdeformasi. Data analisis paleontologi, diendapkan pada kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir pada lingkungan pengendapan neritik tengah sampai abisal.

Produk Slamet Tua

2. Lava Slamet Tua; lava andesit berwarna abu kehitaman, porfiritik, keras dan sebagian telah berubah, teroksidasi, terkekarkan, komposisi mineral plagioklas, piroksen, mineral bijih (pirit), klorit yang tersusun dalam mikrolit plagioklas. Terdeformasi kuat oleh sesar mendatar sinistral dengan arah baratlaut-tenggara. Struktur lava berlembar dan meniang. Pengukuran

umur absolut dengan metode jejak belah, satuan berumur 1,6 juta tahun.

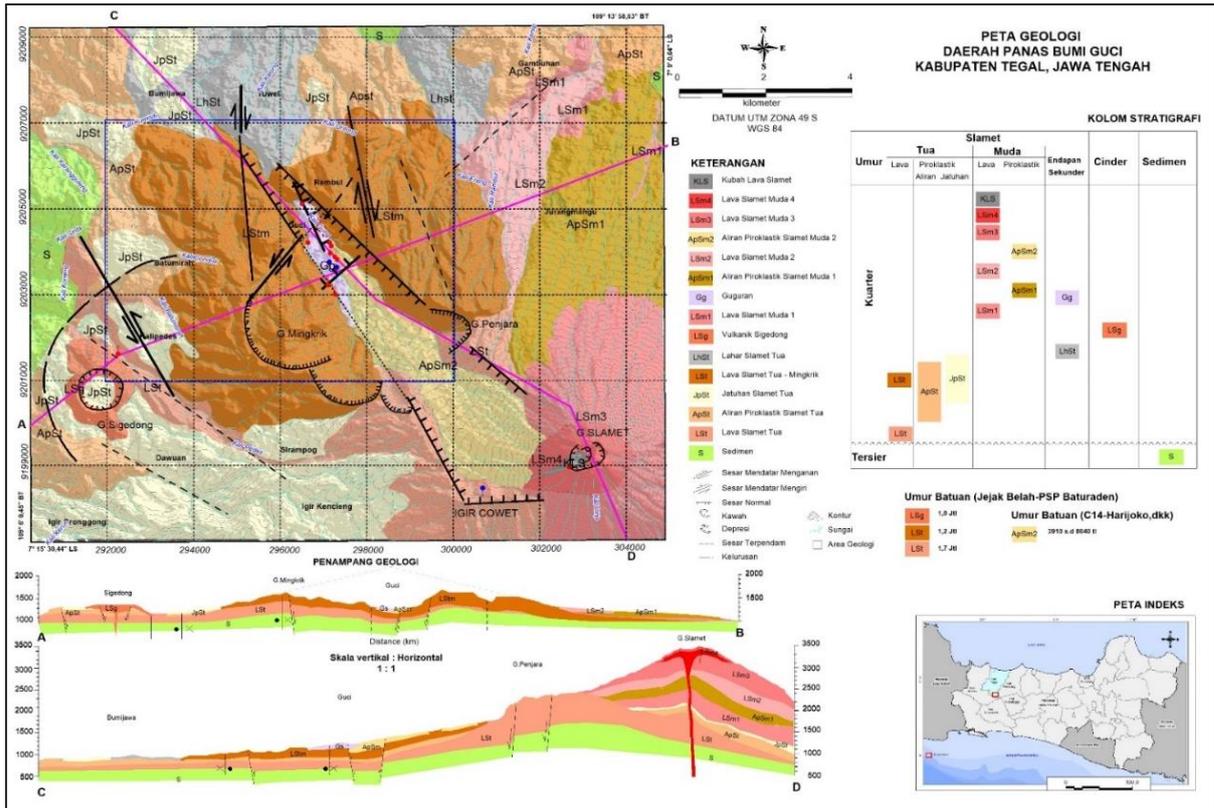
3. Aliran Piroklastik Slamet Tua; mengisi lembah atau dasar sungai. Memiliki warna kecoklatan, keras, komponen lava andesit menyudut hingga menyudut tanggung berukuran kerakal hingga bongkah dengan sorting buruk. Di beberapa tempat telah berubah dan teroksidasi.
4. Jatuhan Piroklastik Slamet Tua; tersusun oleh fragmen lapili scoria dan abu vulkanik, dengan butir pasir halus sampai lapili, skoriaan, vesikular, abu-abu sampai kemerahan, berlapis baik bersusun, gembur atau mudah lepas, dan sebagian telah lapuk.
5. Lahar Slamet Tua; berupa bongkah-bongkah membundar dengan ukuran yang beragam dan penyebarannya mengisi lembah-lembah sungai besar. Batuan dengan komponen lava andesit-basaltis, matriks pasir-abu vulkanik dengan ukuran sedang-halus.
6. Lava Slamet Tua Mingkrik; batuan andesit dengan tekstur porfiritik, mengalami ubahan sampai argilik. Tersesarkan secara intensif dan terkekarkan. Aliran lava di bagian barat laut dan timurlaut agak fragmental dan sebagian mengalami pelapukan.
7. Guguran ; membentuk bukit kecil yang tersusun oleh bongkah andesit serta bercampur dengan endapan aliran piroklastik dengan sorting buruk.

Produk Sigedong

8. Lava Sigedong; lava basalt dan jatuhan piroklastik scoria, berwarna kehitaman dan berongga. Lava basalt dengan komposisi plagioklas, gelas, piroksen, olivin, epidot dan klorit dengan jumlah yang sedikit. Membentuk morfologi tinggian kerucut *cinder cone*. Umur absolut sekitar 1,2 jt tahun.

Produk Slamet Muda

9. Lava Slamet Muda; lava basalt dengan warna abu-abu kehitaman, vesikular, tekstur afanitik, komposisi mineral plagioklas, piroksen, olivin, gelas vulkanik, mineral opak, epidot, dan klorit.
10. Aliran Piroklastik Slamet Muda; batuan piroklastik dengan komponen lava ukuran kerikil sampai bongkah dan bom, bentuk menyudut, berwarna gelap, dan matriks abu vulkanik berukuran pasir sampai abu. Komposisi berupa scoria berwarna coklat kehitaman hingga kemerahan akibat oksidasi, berongga, menyudut dengan keseragaman yang buruk, berukuran lapili hingga bom, di beberapa tempat tampak struktur laminasi.
11. Lava Slamet Muda 2; Lava andesit basaltik dengan komposisi mineral plagioklas, piroksen, klorit, dan olivin. Memiliki tekstur porfiritik, struktur masif. Terkekarkan dengan jenis *shear joint* yang belum terisi oleh mineral sekunder.



Gambar 6. Peta Geologi Daerah Guci dan Sekitarnya

12. Aliran Piroklastik Slamet Muda 2; endapan piroklastik aliran berwarna abu-abu kecoklatan, komponen dan fragmen berupa lava andesit, basalt, warna abu-abu kehitaman, berukuran lapili sampai bolder, menyudut-menyudut tanggung, dan dijumpai kayu terarangkan berukuran 2-5 cm. Hasil pentarikan umur *charcoal* (radiokarbon) yang dilakukan oleh Harijoko dkk (2021) menyatakan umur antara 3910 ± 30 sampai 8040 ± 30 tahun lalu.
13. Lava Slamet Muda 3; jenis lava andesit dengan warna abu-abu kehitaman, tekstur porfiritik, struktur masif, terdapat mineral plagioklas, kuarsa, dan biotit.
14. Lava Slamet Muda 4; menempati hampir seluruh bagian area lereng dan puncak G. Slamet. Lava andesit dengan warna abu-abu, tekstur porfiritik, struktur masif, dan memiliki komposisi mineral plagioklas, kuarsa, dan biotit.
15. Kubah Lava Slamet; warna hitam dan tekstur porfiritik. Karakteristik mikroskopis pada litologi lava basalt memperlihatkan adanya tekstur hipokristalin, berbutir halus dengan ukuran $< 1,2$ mm, bentuk butir euhedral-anhedral, tersusun oleh fenokris plagioklas, piroksen, olivin, dan klorit dalam massadasar berupa mineral gelas.

Struktur Geologi

Pengukuran kekar di daerah penelitian menghasilkan orientasi utama kekar menunjukkan arah utara timurlaut (NNE) – selatan baratdaya (SSW) dan kekar pasangannya berarah barat baratdaya (WSW) – timur timurlaut (ENE). Tegasan utama daerah penelitian berarah relatif timur laut (NE) – baratdaya (SW).

Analisis sesar ditandai dengan kehadiran alterasi hidrotermal yang intensif, cermin sesar, zona hancuran, kelurusan topografi, dan sebagian didukung kehadiran mata air panas sebagai manifestasi sebagai berikut.

- a. Sesar F1 ; Relatif berarah baratlaut-tenggara. Pengukuran cermin sesar menunjukkan kedudukan N 330° E / 80° dengan *pitch* 10° NW. Struktur penyerta berupa sesar gerus. Berdasarkan klasifikasi Rickard (1972), termasuk sesar mendatar mengangan normal.
- b. Sesar F2 ; Relatif berarah baratdaya-timurlaut. Kedudukan cermin sesar menunjukkan N 184° E / 62° dengan *pitch* 79° S. Struktur penyerta berupa sesar gerus. Berdasarkan Rickard (1972), termasuk sesar mendatar mengangan naik.
- c. Sesar F3 ; Relatif berarah baratdaya-timurlaut. Pengukuran cermin sesar menunjukkan kedudukan N 224° E / 64° dengan *pitch* 46° NE. Berdasarkan klasifikasi Rickard (1972), termasuk sesar normal mengangan.

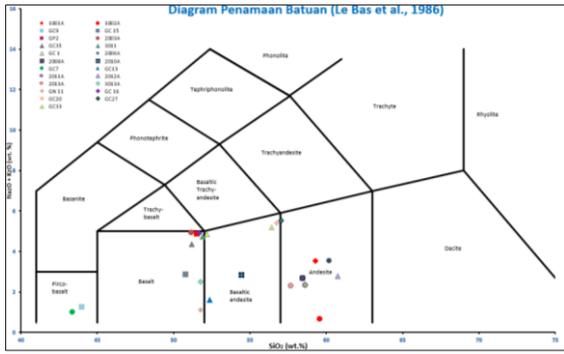
- d. Sesar F4 ; Relatif berarah utara baratlaut-selatan tenggara. Pengukuran cermin sesar menunjukkan kedudukan N 342° E / 84° dengan *pitch* 54° NW. Menghasilkan struktur penyerta berupa kekar gerus. Berdasarkan klasifikasi Rickard (1972), termasuk sesar normal mengiri.
- e. Sesar F5 ; Relatif berarah baratlaut-tenggara. Hasil analisis kinematika sesar menunjukkan kedudukan bidang sesar N 112° E / 59° dengan kedudukan *slip* 65°, N 217° E dan *pitch* sebesar 23°. Klasifikasi Rickard (1972), termasuk sesar mendatar mengiri normal.

Geokimia Batuan

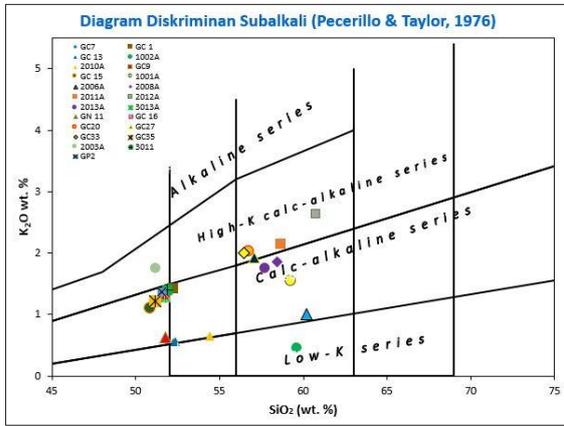
Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ di daerah survei berkisar antara 43.39% sampai 60.73%.

Afinitas magma berdasarkan diagram K₂O terhadap SiO₂ (Peccherillo dan Taylor, 1976) dan diagram AFM (Irvine dan Baragar, 1971) menunjukkan afinitas magma batuan di daerah survei termasuk dalam *tholeiitic* hingga *calc alkaline*.

Batuan yang dijumpai di daerah survei umumnya merupakan batuan intermediet hingga basa, sehingga dapat diperkirakan bahwa tatanan tektonik termasuk pada lingkungan busur kepulauan.



Gambar 7. Diagram SiO₂ terhadap K₂O dan Na₂O (Modifikasi dari Le Bas, 1991)



Gambar 8. Diagram SiO₂ terhadap K₂O (Modifikasi dari Peccherillo dan Taylor, 1976 dalam Harahap, 2007)

Hidrogeologi

Sebaran zona resapan (*recharge*) meliputi daerah tinggian melingkupi sebagian besar daerah survei. Keterdapatn struktur geologi seperti sesar dan kekar yang cukup intens diduga memberikan jalur permeabilitas yang baik dalam keberlangsungan siklus hidrologi. Sementara itu, zona lepasan (*discharge*) berada pada daerah dengan elevasi rendah seperti daerah aliran sungai dan lembah. Sebaran zona lepasan mendominasi bagian utara, timur, dan selatan dari area survei.

Berdasarkan Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Pekalongan, dikelompokkan dalam sistem akuifer aliran ruang antar butir, sistem akuifer dengan aliran melalui celahan dan ruang antar butir, sistem akuifer dengan aliran melalui celahan, rekahan, dan saluran, dan sistem akifer dengan produktivitas rendah dan daerah airtanah langka.

PEMBAHASAN

Analisis Struktur Geologi

Pola sesar yang terbentuk di sekitar Guci dipengaruhi oleh pola Meratus (BD-TL) yang diduga sebagai tektonik tua yang terbentuk, nampak pada hasil bentukn morfologi dan evolusi magma yang bergerak dari barat - barat daya ke timur - timur laut melalui pergeseran pusat erupsi G. Slamet Tua hingga pembentukan Slamet Muda (Sutawidjaja, dkk, 1995).

Sesar F2 dengan jenis mendatar menganan naik memotong di sekitar Dukuh Tengah dan sesar F3 dengan jenis normal menganan di bagian tengah depresi Guci dengan bukaan ke utara.

Tektonik di daerah Guci dipengaruhi oleh sesar-sesar dengan arah BL-TG sejajar pola Sumatera. Sesar ini diduga memotong pola sesar meratus yang lebih tua. Adapun penarikan sesar F1 dengan jenis mendatar menganan normal di sekitar Kalipedes, depresi sesar Guci yang diwakili oleh sesar F4 dengan jenis sesar normal mengiri dan sesar F5 dengan jenis mendatar mengiri normal.

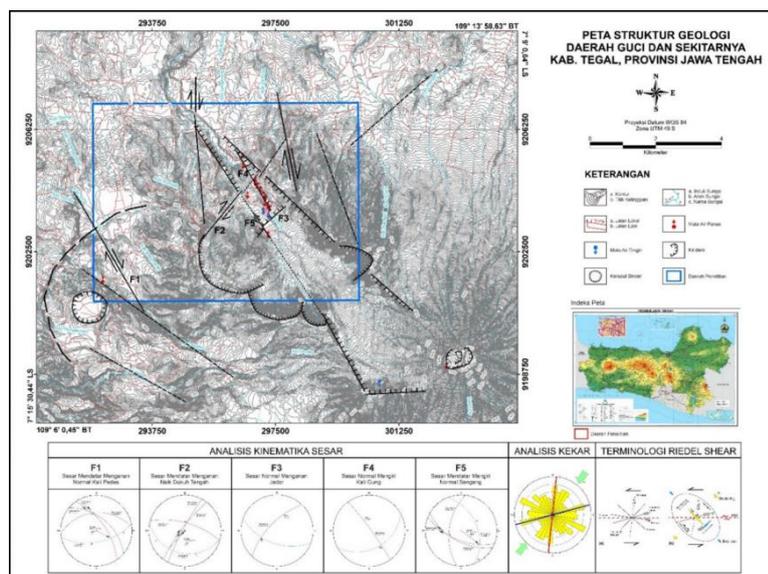
Dijumpai kelurusan dan bentukan *circular feature* serta graben yang teraktivasi akibat pembumbungan magma G. Slamet sehingga merobek daerah Guci yang telah tersesarkan menjadi depresi Guci dan sesar normal, kenampakan berupa gawir tajam dan curam di sekitar sisi barat G. Penjara dan sisi timur tinggian Mingkrik. Pola sesar vulkanik ini menjadi sesar terakhir yang terbentuk sebagai akibat tektonik dan proses vulkanik pembentukan Gunung Slamet Muda.

Analisis dan Interpretasi Alterasi Batuan

Hasil analisis batuan ubahan yang terbentuk di sekitar Guci menunjukkan terbentuknya dua tipe ubahan. Asosiasi mineral ubahan pada batuan vulkanik slamet tua di sekitar G. Mingkrik ke arah selatan menghasilkan mineral *chlorite*, *quartz*, *calcite*, *albite*, dan *illite*. Asosiasi mineral tersebut menunjukkan pengaruh fluida yang mengubah batuan melalui

proses hidrotermal dan termasuk dalam zona sub-propilitik dengan pengaruh pH netral dan temperatur pembentukan dalam kisaran 180-225°C, salinitas beragam, berdasarkan data stabilitas temperatur mineral (White et.al, 1995). Zona ini diduga merupakan fosil pembentukan mineral hidrotermal di kedalaman yang muncul di permukaan bersama batuanannya.

Ubahan banyak ditemukan di sekitar munculnya air panas di depresi Guci sepanjang sungai Kali Gung. Beberapa mineral yang teridentifikasi melalui pengukuran XRD, petrografi, maupun spektra antara lain, *montmorillonite*, *halloysite*, *nontronite*, *quartz*, *kaolinite*, *pyrite* dan *albite*. Kehadiran mineral tersebut menunjukkan pengaruh dari temperatur < 150°C dengan pengaruh pH fluida asam-netral, salinitas rendah. Berdasarkan asosiasi mineral yang muncul diklasifikasikan pada zona ubahan argilik (Corbet and Leach, 1995).



Gambar 9. Peta Struktur Geologi Daerah Guci

Pada lokasi tertentu di daerah G. Mingkrik di bagian utara nampak produk vulkanik lava yang telah tersilisifikasi, hal tersebut menunjukkan di bagian permukaan mengandung komposisi silika dengan *pyrite* yang cukup tinggi.

Distribusi yang cukup luas untuk daerah ubahan disekitar G. Mingkrik hingga bagian bawah depresi Guci menjadikan daerah tersebut sebagai bagian penudung dari sistem hidrotermal yang terbentuk di bagian utara tinggian G. Slamet. Sementara kehadiran spot-spot mineral ubahan pada satuan batuan lava tua maupun sedimen di luar Mingkrik dan depresi Guci kemungkinan akibat proses hidrotermal lain maupun faktor pelapukan.

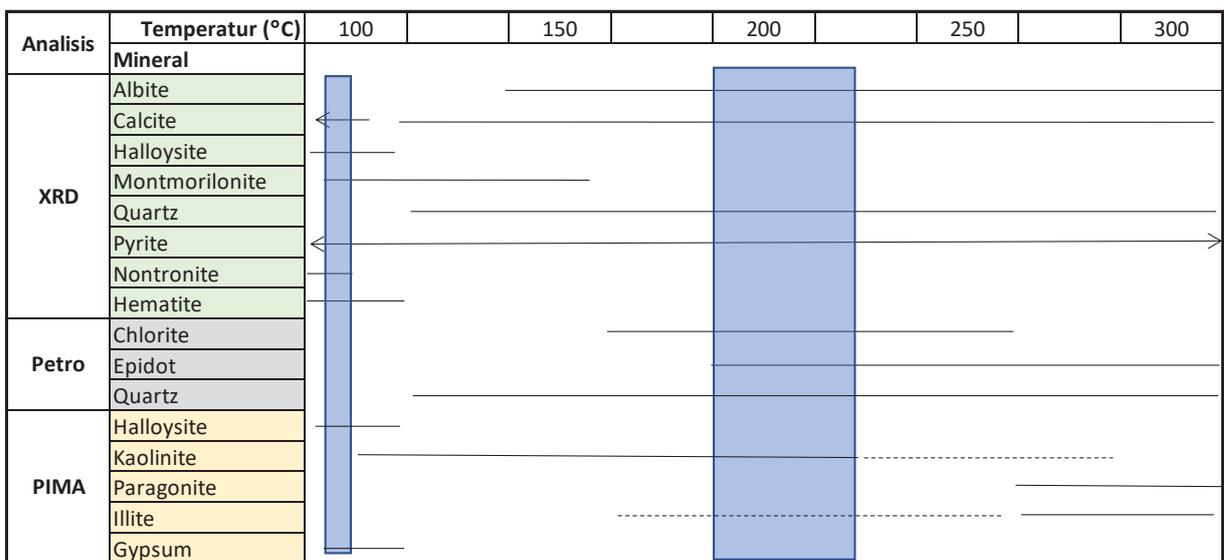
Implikasi Terhadap Sistem Panas Bumi

Siklus hidrologi yang mensuplai fluida dari permukaan meresap hingga kedalaman dan terpanaskan melalui zona *permeable* yang diidentifikasi melalui

rekahan maupun sesar dari hasil analisis data densitas rekahan (FFD) dan pengukuran di lapangan pada kekar dan sesar. Fluida kemudian terperangkap di kedalaman, tersimpan dalam reservoir pada batuan vulkanik tua hingga terpanaskan dan sesuai gaya bouyansi akan naik kepermukaan dalam bentuk air panas maupun mengubah mineral pada batuan asal menjadi batuan ubahan.

Sumber Panas

Sumber panas menurut data geologi terletak pada magma pembentuk Slamet Muda. Berdasarkan data Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi pada tahun 2014 masih terjadi pembentukan kubah magma baru di puncaknya. Jarak ke puncak sekitar 5 km dari Guci, sangat memungkinkan untuk menyatakan bahwa Gunung Slamet sebagai sumber panas dari sistem Guci.



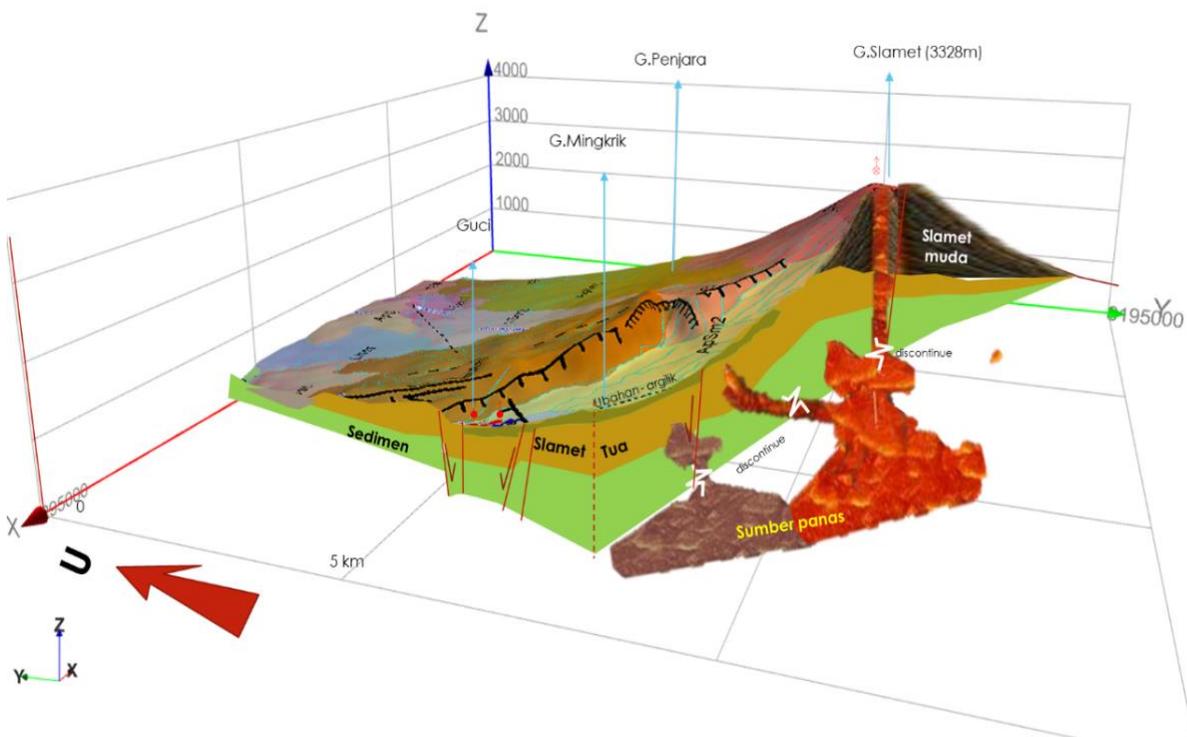
Gambar 10. Temperatur pembentukan mineral yang teridentifikasi

Reservoir

Pada sepanjang Kali Gung ditemukan undak air terjun disertai munculnya air panas di sekelilingnya terutama pada daerah rekahan dan batas antara perlapisan batuan antara lava dan aliran piroklastik. Daerah depresi Guci memiliki bentuk seperti alur aliran air di permukaan, pola tersebut diperkirakan menerus hingga ke bawah permukaan. Intensitas rekahan pada lava dan piroklastik produk Mingkrik diduga terbentuk di kedalaman pada satuan batuan vulkanik produk slamet tua sehingga memungkinkan terbentuknya wadah yang mengisi rongga kosong rekahan oleh fluida sebagai reservoir.

Batuan Penudung

Berdasarkan hasil analisis dengan metode XRD, spektra, maupun petrografi, batuan penudung terdiri dari batuan ubahan lempung dan batuan tersilisifikasi. Di daerah G. Mingkrik ditemukan silisifikasi pada batuan lava basalt dengan intensitas silika tinggi bersama dengan mineral pirit. Kehadiran mineral lempung berupa *montmorilonite*, *kaolinite*, dan *halloysite* menunjukkan bahwa penudung di sekitar Kali Gung didominasi oleh mineral lempung. Data mineral ubahan berupa mineral lempung dan silika menjadikan batuan penudung pada sistem Guci terbentuk pada zona argilik.



Gambar 11. Model konseptual geologi panas bumi daerah Guci

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem panas bumi yang terbentuk di daerah Guci berkaitan erat dengan aktivitas vulkanik Gunung Slamet sebagai sumber panasnya. Area interes untuk pengembangan panas bumi berdasarkan hasil analisis FFD, kekar, dan data sesar menunjukkan daerah permeabel berada di bagian depresi Guci kearah Gunung Slamet.

Lingkungan tektonik daerah Slamet termasuk pada lingkungan busur kepulauan dengan pengaruh struktur geologi yang mengontrol sistem panas bumi Guci berarah baratlaut tenggara (pola Sumatera) dengan jenis sesar obliq

sebagai pembentuk zona permeabel.

Batuan ubahan mineral lempung dan silisifikasi pada zona argilik berfungsi sebagai penudung. Kehadiran mineral ubahan penciri temperatur tinggi seperti *chlorite* menunjukkan reservoir pernah mencapai temperatur 225°C pada zona sub-propilitik.

Fluida permukaan pada sistem Guci mengalir dari tinggian G. Slamet ke arah Guci (aquifer produktif tinggi pada aliran piroklastik) dan mengisi reservoir yang terbentuk pada batuan vulkanik produk Slamet Tua dengan jenis lava andesit dan piroklastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, F. 2013. Peta Geologi Hasil Interpretasi Citra Inderaan Jauh Lembar Balapulang, Jawa Tengah. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi.
- Anonim. 2008. Laporan Penugasan Survei Pendahuluan Daerah Guci, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Spring Energy. (*unpublish*)
- Corbett, G.J. and Leach, T.M. 1996. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization. A workshop presented for the Society Exploration Geochemist*, Townsville, 185 h.
- Direktorat Vulkanologi. 1991. Penyelidikan Geologi Daerah Bagian Timur dan Selatan G. Slamet, Jawa Tengah.
- Djouri, M., Samodra, H., Amin, T.C., dan Gafoer, S.1996. Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengemangan Geologi, Bandung.
- Harahap, B.H. 2007. Petrologi Batuan Magmatis Neogen Daerah Pangkalan Kotabaru, Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol 27 No.4, Hal 207-217.
- Harijoko, A., Sari, S. A., Wibowo, H.E., Setiawan, I., and Muktikanana, MLA. 2021. *Stratigraphy, Chronology, and Magma Evolution of Holocene Volcanic Products from Mt. Slamet Deposited in The Guci Valley, Central Java, Indonesia*. *Journal of Volcanology and geothermal Research* 418, Elsevier.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. Peta Tata Guna Lahan. Jakarta.
- Le Bas, M. J., and Streckeisen, A. L. 1991. *The IUGS systematics of igneous rocks*. Journal of the Geological Society, 148 (5). 825-833.
- Vukadinovic, D., and Sutawidjaja I. 1995. *Geology, Mineralogy, and Magma Evolution of Gunung Slamet Volcano, Java, Indonesia*. Journal of Southeast Asian Earth Sciences Vol.11 no.2 pp 135-164. Elsevier Science, Ltd.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W. 1995. *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics, and Exploration*: Society of Economic Geologists Newsletter 23, hal 1-13.

**SURVEI RINCI GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI GUCI,
KABUPATEN TEGAL, PROVINSI JAWA TENGAH**

Andri Eko A. W., Winda Nirmala, dan Dikdik Rusdianto

Kelompok Kerja Panas Bumi,
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Sistem panas bumi daerah panas bumi Guci ditandai adanya kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan berupa 16 titik mata air panas di dua area yaitu area Guci dan Sigidong. Mata Air panas memiliki temperatur 37,6 °C s.d. 60,5 °C, pH netral kisaran 7 s.d. 8, memiliki daya hantar listrik 500 s.d. 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debit yang besar dengan ketinggian diatas 1.000 mdpl.

Hasil analisis geokimia menunjukkan bahwa seluruh mata air panas bertipe bikarbonat dan belum mencapai kesetimbangan (immature waters) yang mungkin diakibatkan oleh pencampuran oleh meteoric water. Debit yang besar membuat interaksi dengan batuan sangat minim sehingga tidak terjadi pengkayaan oksigen pada analisa isotop. Pendugaan temperatur pada sistem panas bumi ini dengan metoda perhitungan geotermometer air NaKCa (210 s.d. 250°C), entalpi silika (170°C) dan entalpi klorida (220°C).

Fluida Guci merupakan aliran lateral dari reservoir yang berada di dekat Gunung Slamet. Proses pencampuran yang sangat tinggi dengan air meteorik mengakibatkan fluida Guci mempunyai komposisi Mg dan Bikarbonat yang tinggi, sedangkan komposisi Cl sangat rendah karena mengalami pengenceran. Selain itu, air panas Guci mengalami proses Steam Gain, yaitu fluida mendapatkan massa steam yang cukup besar, yang mengakibatkan kenaikan entalpi namun komposisi Cl nya turun karena kenaikan massa fluida. Oleh karena itu, diperkirakan sebelum fluida panas mixing dengan air meteorik, terjadi adiabatic boiling dengan melepaskan steam (max steam loss).

Perkiraan daerah prospek Geokimia didapatkan dengan melakukan overlay dari peta anomali Hg tanah, CO₂ udara tanah, temperatur, dan pH tanah yang menunjukkan daerah anomali di sekitar manifestasi air panas Guci. Namun daerah tersebut bukan daerah prospek mengingat air panas Guci merupakan aliran lateral (outflow) dari sistem panas bumi di Gunung Slamet. Hasil peta sebaran Hg tanah, menunjukkan daerah menarik yang memiliki nilai anomali Hg tinggi di sekitar Gunung Mingkrik, yang diperkirakan berhubungan dengan sistem panas bumi. Berdasarkan hasil overlay dari peta-peta anomali, didapatkan perkiraan luas daerah prospek berdasarkan metode Geokimia sebesar 2 km². Daerah prospek Geokimia

terletak di Gunung Mingkrik yang berada di Selatan - Baratdaya dari manifestasi air panas Guci.

Kata kunci: Panas Bumi, Geokimia, Guci

PENDAHULUAN

Daerah panas bumi Guci yang secara geografis terletak pada koordinat $07^{\circ} 08' 00''$ - $07^{\circ} 19' 30''$ LS dan $109^{\circ} 05' 00''$ - $109^{\circ} 14' 00''$ BT merupakan salah satu daerah WKP yang dikembalikan ke pemerintah, oleh karena itu perlu adanya upaya penambahan data agar menambah daya tarik investor saat dilelangkan kembali kedepannya serta mendukung program kegiatan eksplorasi oleh pemerintah.

Survei penambahan data geokimia ini bertujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan kimia manifestasi panas bumi, serta kandungan Hg tanah dan CO_2 udara tanah yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida, estimasi temperatur bawah permukaan (reservoir) dan mengetahui zona permeabilitas pada sistem panas bumi.

METODE

Kegiatan survei geokimia yang dilakukan meliputi kegiatan pengamatan, pengukuran, pengambilan conto, pengolahan data dan interpretasi.

Kegiatan pengamatan antara lain pengamatan jenis manifestasi, jenis endapan pada manifestasi, jenis gas, pengamatan sifat fisika air, dan

pengamatan tanah. Kegiatan pengukuran meliputi pengukuran koordinat dan ketinggian lokasi pengamatan, pengukuran temperatur manifestasi dan udara di lokasi, pH air, debit air panas/dingin, daya hantar listrik air panas/dingin, temperatur udara tanah, dan pengukuran CO_2 , CO , H_2S dan NH_3 pada manifestasi fumarol. Dari beberapa lokasi, beberapa sampel diambil untuk dianalisis, yaitu sampel air, sampel gas, sampel tanah, dan sampel CO_2 udara tanah. Semua sampel yang diambil selanjutnya dianalisis. Analisis sampel air untuk mengetahui konsentrasi Cl, HCO_3 , SO_4 , F, CO_3 , Na, K, Li, Mg, B, Ca, Fe, Al, As, SiO_2 , dan NH_4 , selain pH dan daya hantar listrik yang telah dilakukan di lapangan. Analisis sampel gas adalah untuk mengetahui konsentrasi CO_2 , H_2S , CO , H_2 , CH_4 , dan gas lainnya. Analisis sampel isotop air untuk mengetahui konsentrasi ^{18}O dan deuterium dalam fluida panas bumi. Sedangkan analisis sampel tanah dan udara tanah untuk mengetahui konsentrasi pH, merkuri dan karbondioksida di dalam tanah.

Data komposisi kimia air selanjutnya diplotting dalam diagram segitiga kandungan relatif Cl, SO_4 dan HCO_3 , kandungan relatif Na/1000, K/100, $\sqrt{\text{Mg}}$, kandungan relatif Cl/100, Li, B/4

untuk mengetahui karakteristik fluida reservoir, plotting data isotop konsentrasi ^{18}O dan deuterium untuk mengetahui asal air, serta perhitungan pendugaan temperatur bawah permukaan (geotermometer). Data berupa hasil pengukuran temperatur, hasil analisis pH, merkuri (Hg), dan CO_2 disajikan dalam bentuk peta distribusi konsentrasinya.

MANIFESTASI

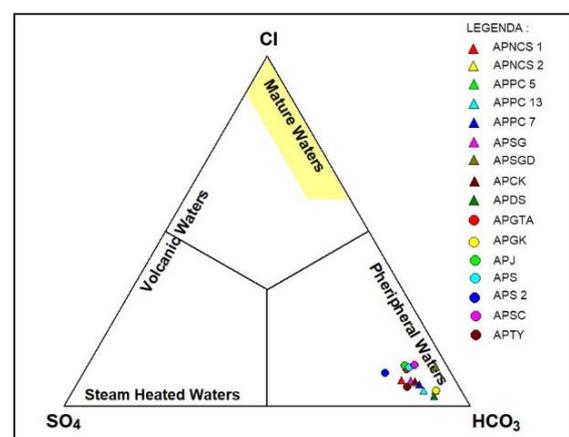
Manifestasi yang muncul di daerah Guci berupa mata air panas sebanyak 16 titik lokasi dan Solfatara. Sebagian besar titik mata air panas berada di aliran Sungai Gung sebanyak 15 lokasi, satu lokasi berada di sigedong. Ke 16 mata air panas tersebut adalah Air panas Nces 1 (APNCS 1), Air Panas Nces 2 (APNCS 2), Air Panas Pancuran 5 (AP 5), Air Panas Pancuran 13 (AP 13), Air Panas Pancuran 7 (AP 7), Air Panas Sigeong (APSG), Air Panas Sigedong (APSGD), Air Panas Curug Kembar (APCK), Air Panas Dakisan (APD), Air Panas Griya Tirta Ayu (APGTA), Air Panas Guciku (APGK), Air Panas Jedor (APJ), Air Panas Sengang (APS), Air Panas Sengang 2 (APS 2), Air Panas Secaya (APSC) dan Air Panas Teyeng (APTY). Mata air panas berada di elevasi 1053 hingga 1326 mdpl dengan temperatur 37,6 hingga 60,5 °C. Mata air panas memiliki pH netral 6,92 hingga 8,31 dengan ciri fisik tidak berwarna, tidak berasa serta sebagian besar muncul dari celah batuan

beku. Mata air panas di daerah ini memiliki debit air yang cukup besar hingga >10 lt/dtk (Tabel 1).

Hasil dari analisa laboratorium pada conto air yang diambil di lokasi mata air panas menunjukkan ion balance $<5\%$ sehingga data bisa dilanjutkan untuk interpretasi (Tabel 2).

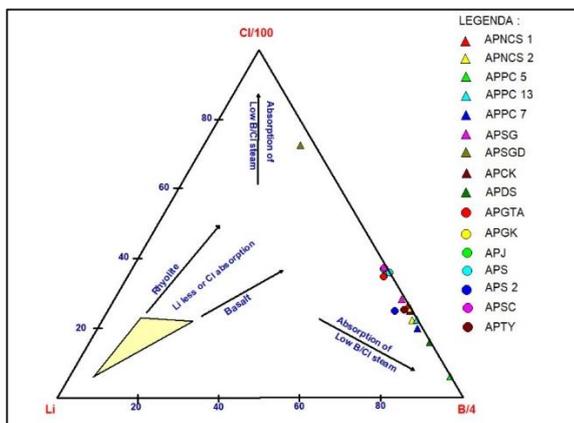
KIMIA FLUIDA PANAS BUMI

Berdasarkan diagram segitiga $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$ seperti pada Gambar 1, air panas daerah Guci termasuk dalam tipe bikarbonat. Tipe bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. Kandungan bikarbonat yang tinggi dan klorida yang rendah pada tipe ini dapat diakibatkan oleh terjadinya kondensasi uap yang kaya akan karbondioksida di dekat permukaan ataupun akibat reaksi dengan batuan.



Gambar 1. Diagram Segitiga $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$ Daerah Panas Bumi Guci

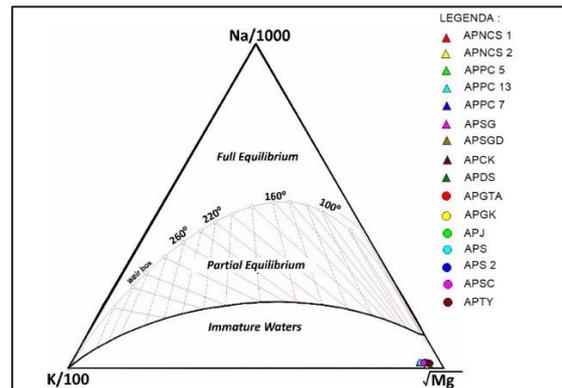
Untuk mengetahui asal usul fluida panas bumi dilakukan plotting diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988). Dari hasil plotting pada diagram Cl-Li-B yang ditunjukkan pada Gambar 2 terlihat bahwa seluruh mata air panas di daerah Guci berada pada kondisi *absorption of high B/Cl steam*, besarnya konsentrasi Boron dimungkinkan karena adanya *water rock interaction* dari reservoir hingga permukaan. Hal ini berbeda dengan mata air panas Sigedong (APSGD) yang memiliki kadar konsentrasi Cl yang lebih tinggi sehingga berada pada kondisi *absorption of low B/Cl steam*. Berdasarkan diagram ini juga terlihat bahwa terdapat dua reservoir yang berbeda antara daerah Guci dan Sigedong.



Gambar 2. Diagram Segitiga Cl-Li-B Daerah Panas Bumi Guci

Plotting pada diagram Na-K-Mg menunjukkan bahwa seluruh mata air panas berada pada kondisi *immature waters* dan memiliki kadar Mg yang tinggi. *Immature waters* menandakan bahwa air panas di daerah ini belum mencapai titik

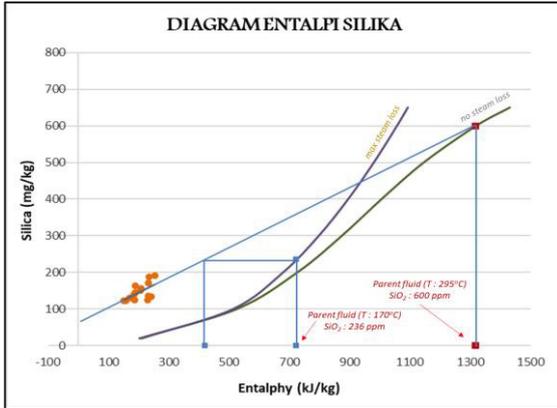
kesetimbangan, sedangkan menurut Nicholson (1993) kadar Mg yang tinggi menandakan bahwa mata air panas telah mengalami pencampuran dengan air meteorik atau air tanah yang memiliki konsentrasi Mg yang lebih tinggi.



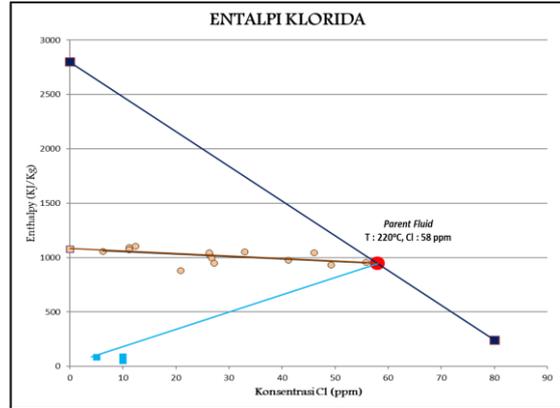
Gambar 3. Diagram Segitiga Na-K-Mg Daerah Panas Bumi Guci

Isotop ¹⁸O dan ²H

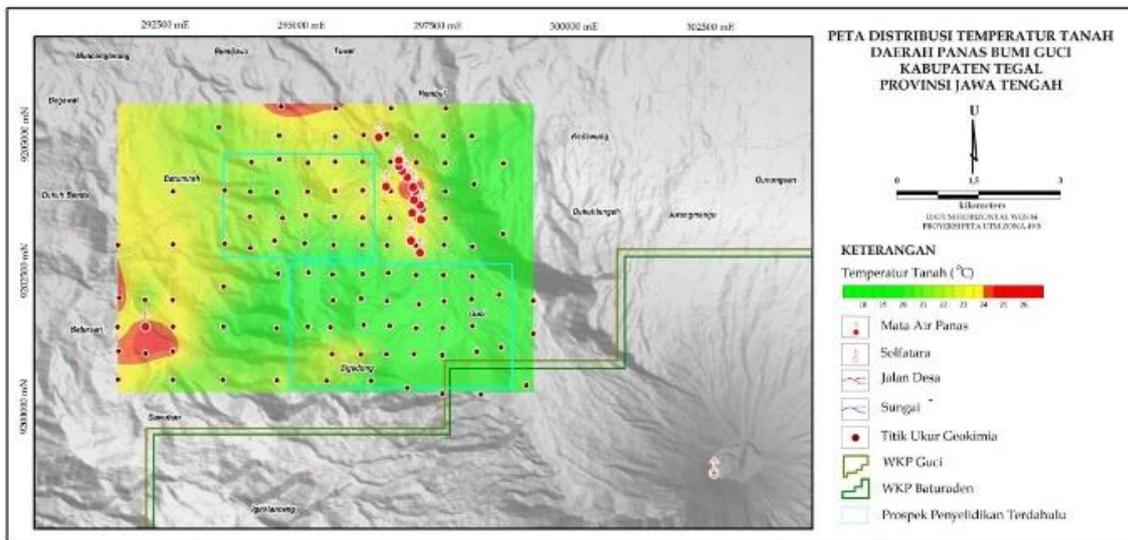
Hasil plotting isotop ¹⁸O dan Deuterium (Gambar 4) menunjukkan air panas daerah Guci terletak pada *local meteoric water line* (LMWL). Hal ini mungkin dikarenakan oleh adanya pencampuran mata air panas dengan *meteoric waters* ataupun kecepatan laju fluida panas bumi yang cepat ditandai dengan besarnya debit sehingga interaksi fluida dengan sekitar terjadi dengan cepat sehingga nilai pengkayaan oksigen tidak signifikan. Namun terlihat dalam grafik bahwa nilai isotop air hujan memiliki berat yang jauh lebih ringan dibanding yang lain hal tersebut dimungkinkan karena pengaruh elevasi.



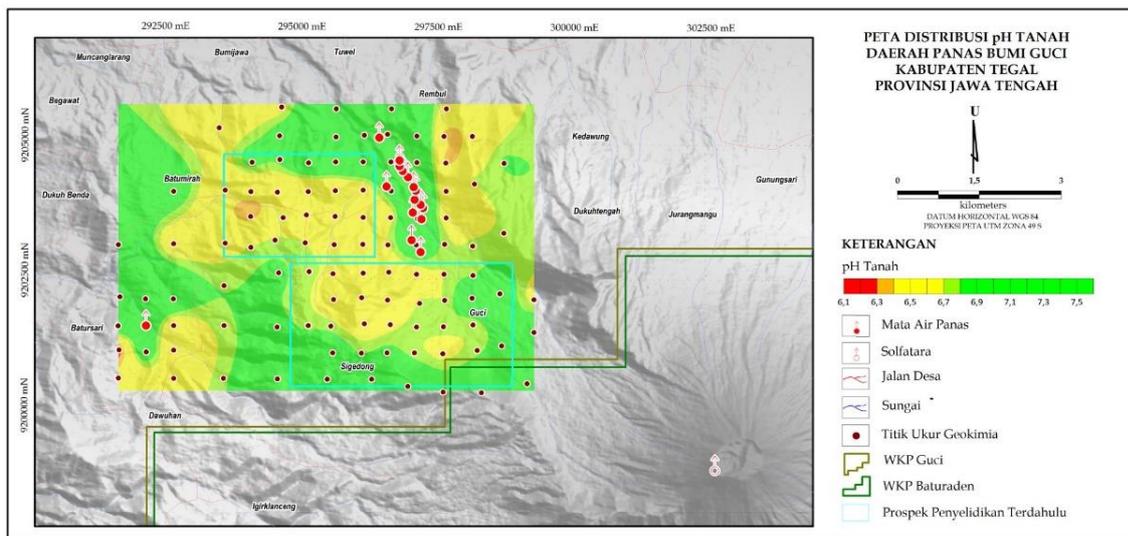
Gambar 5. Diagram entalpi silika daerah panas bumi Guci



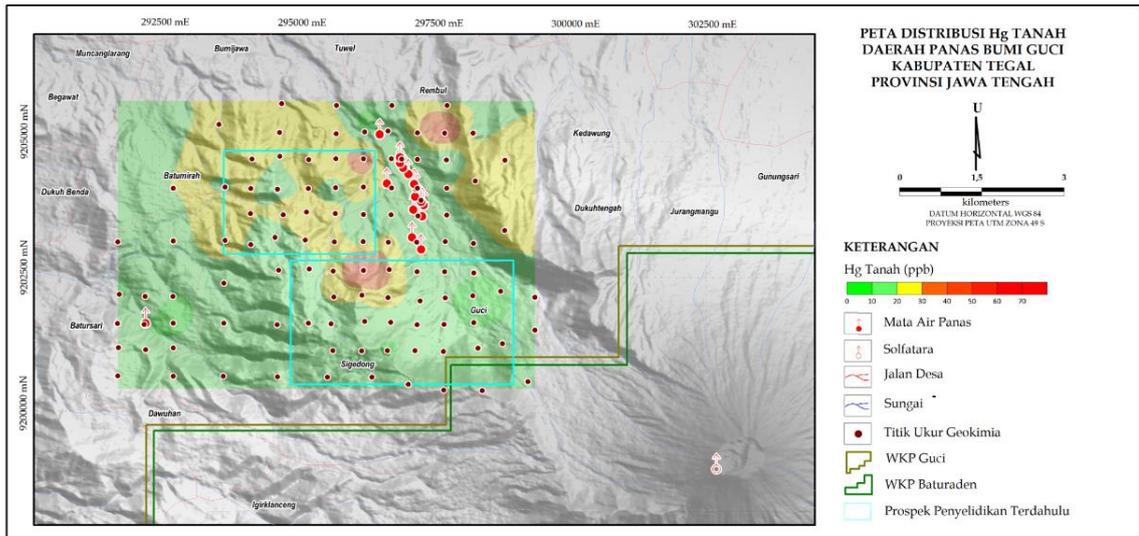
Gambar 6. Diagram entalpi klorida daerah panas bumi Guci



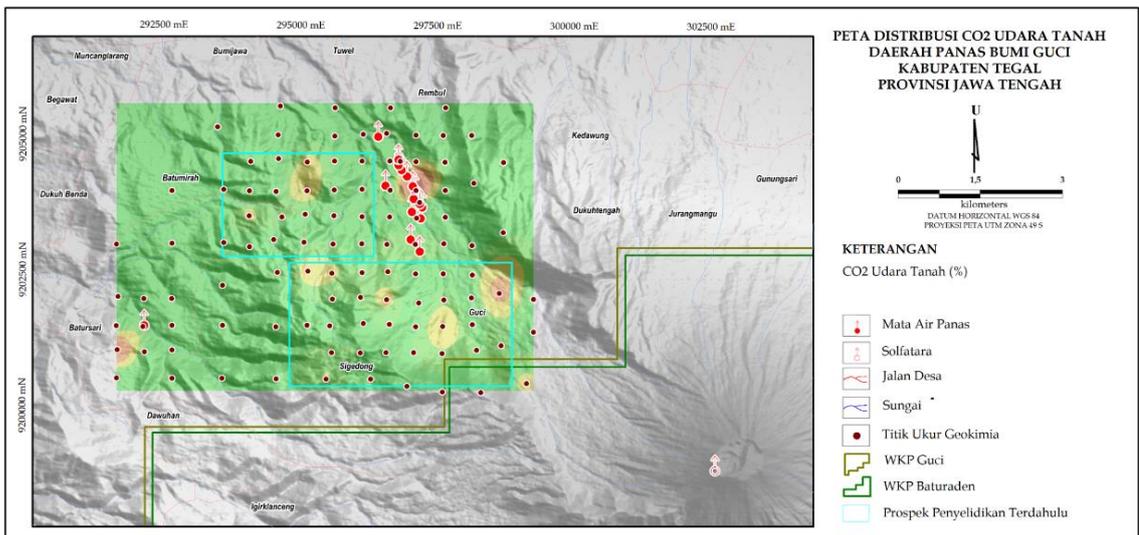
Gambar 7. Peta Distribusi Temperatur Tanah



Gambar 8. Peta Distribusi pH Tanah



Gambar 9. Peta Distribusi Hg Tanah



Gambar 10. Peta Distribusi CO₂ Udara Tanah

PEMBAHASAN

Pola Aliran Fluida

Sistem panas bumi Guci diperkirakan merupakan sistem dominasi air dengan fluida temperatur menengah s.d. tinggi, yang berhubungan dengan aktivitas vulkanisme Gunung Slamet. Air panas di daerah Guci diperkirakan merupakan aliran *outflow* dari sistem panas bumi yang berada di dekat Gunung Slamet.

Fluida reservoir dengan batuan vulkanik sebagai *host rock* bertemperatur >200 °C, bergerak ke permukaan melalui celah atau rekahan-rekahan batuan yang kemudian muncul di permukaan berupa manifestasi uap dan air panas bertemperatur tinggi.

Fluida Guci merupakan air bikarbonat yang mengalami pencampuran dengan air meteorik, yang ditandai dengan tingginya komposisi Mg dalam air panas.

Saat fluida panas menuju permukaan, dapat terjadi *boiling* yang disebabkan terjadi penurunan tekanan hidrostatik. Ketika laju alir fluidanya tinggi seperti di daerah Guci, pendinginan (*cooling*) dapat diperkirakan sebagai proses adiabatik seperti yang ditunjukkan pada diagram *silica mixing*. Sedangkan pada fluida dengan laju alir yang kecil, akan terjadi kehilangan panas secara konduktif dengan batuan-batuan sekitar yang lebih dingin. Proses *boiling* tersebut akan menghasilkan 2 fasa fluida yaitu fasa uap dan fasa air. Gas CO₂ dan unsur-unsur volatil lainnya akan cenderung berada dalam fasa uap (*steam*) dan akan bergerak menuju permukaan. *Steam* tersebut juga akan terkondensasi di *groundwater* ataupun di air permukaan dan menyebabkan oksidasi CO₂ menjadi HCO₃⁻ ataupun H₂S menjadi H₂SO₄ (Herdianita dan Mandradewi, 2010). Kehilangan gas CO₂ pada saat *boiling*, akan mengakibatkan pH larutan menjadi lebih tinggi. Itu sebabnya pada kelompok air panas Guci mempunyai pH yang relatif lebih basa.

Fluida Guci merupakan aliran lateral dari reservoir yang berada di dekat Gunung Slamet. Proses pencampuran yang sangat tinggi dengan air meteorik mengakibatkan fluida Guci mempunyai komposisi Mg dan Bikarbonat yang tinggi, sedangkan komposisi Cl sangat rendah karena mengalami pengenceran. Selain itu, air panas Guci mengalami proses *Steam Gain*, yaitu fluida mendapatkan

massa *steam* yang cukup besar, yang mengakibatkan kenaikan entalpi namun komposisi Cl nya turun karena kenaikan massa fluida. Oleh karena itu, diperkirakan sebelum fluida panas *mixing* dengan air meteorik, terjadi *adiabatic boiling* dengan melepaskan steam (*max steam loss*).

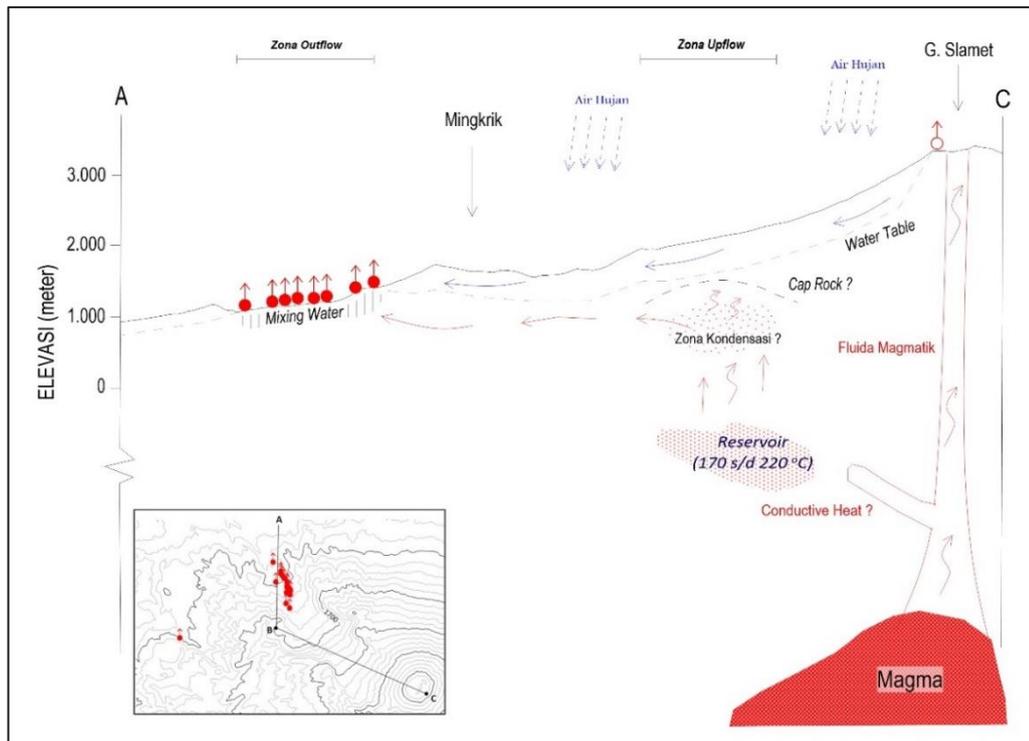
Sistem panas bumi Guci memiliki fluida reservoir berupa air klorida dengan temperatur minimum 170 °C (geotermometer SiO₂; entalpi silika) dan temperatur most dan max: 220°C (Na-K-Ca; entalpi klorida). Pemunculan manifestasi-manifestasi di Guci diperkirakan merupakan aliran lateral (*outflow*) dari sistem panas bumi di Gunung Slamet, dengan zona *upflow* diperkirakan terletak di Baratlaut dari Gunung Slamet, diantara manifestasi air panas Guci dan Gunung Slamet.

Area Prospek Panas Bumi

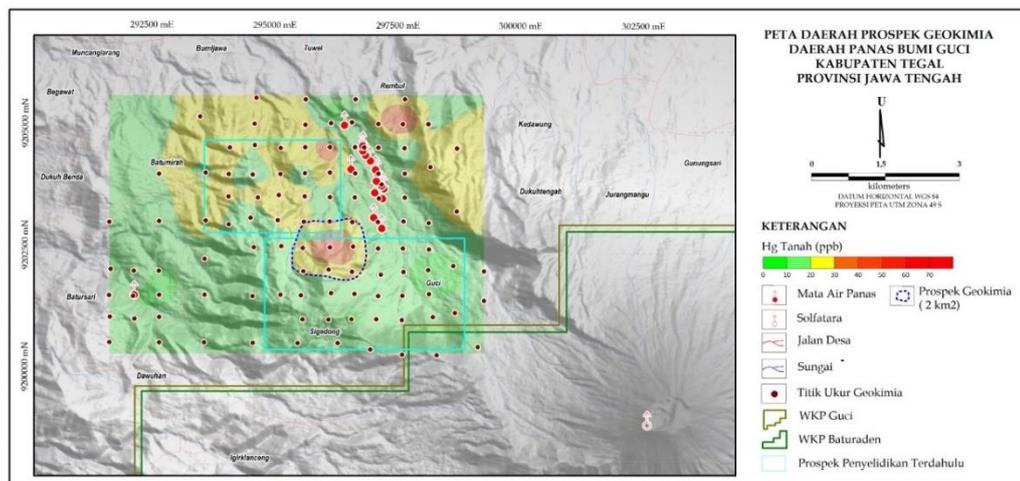
Perkiraan daerah prospek Geokimia didapatkan dengan melakukan overlay dari peta anomali Hg tanah, CO₂ udara tanah, temperatur, dan pH tanah. Daerah tersebut diperkirakan merupakan zona permeabel dan memiliki sebaran panas yang tinggi dari sistem panas bumi di Gunung Slamet. Hasil peta sebaran pH tanah, tidak menunjukkan anomali. Sedangkan peta sebaran temperatur dan CO₂ udara tanah, menunjukkan daerah anomali di sekitar manifestasi air panas Guci. Namun daerah tersebut bukan daerah prospek mengingat air panas Guci

merupakan aliran lateral (*outflow*) dari sistem panas bumi di Gunung Slamet. Hasil peta sebaran Hg tanah, menunjukkan daerah menarik yang memiliki nilai anomali Hg tinggi di sekitar Gunung Mingkrik, yang diperkirakan berhubungan dengan sistem panas bumi. Berdasarkan hasil overlay dari

peta-peta anomali, didapatkan perkiraan luas daerah prospek berdasarkan metode Geokimia sebesar 2 km². Daerah prospek Geokimia terletak di Gunung Mingkrik yang berada di Selatan - Baratdaya dari manifestasi air panas Guci.



Gambar 11. Pola aliran fluida sistem panas bumi Guci



Gambar 12. Peta Daerah Prospek Geokimia Panas Bumi Daerah Guci

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengamatan dilapangan dan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa sistem panas bumi di daerah Guci berasosiasi dengan aktivitas magmatik dari Gunung Slamet. Fluida di daerah ini bertipe bikarbonat dan berada pada zona *Immature Water*, yang mengalami pencampuran dengan air meteorik dan mengalir secara lateral (*outflow*) dari sistem panas bumi di daerah Gunung Slamet. Hasil dari perhitungan Geotermometer Sistem Panas Bumi Guci bertemperatur 210 s.d. 250° C

(Geotermometer Na-K-Ca), 220° C (Entalpi Klorida) dan 170° C (Geotermometer SiO₂ dan *Silica Mixing*). Sistem Panas Bumi Guci merupakan sistem dominasi air, dengan fluida reservoir berupa air klorida ber-pH netral, dengan perkiraan temperatur minimum 170 °C (geotermometer SiO₂; entalpi silika) dan temperatur *most* dan *max*: 220°C (Na-K-Ca; entalpi klorida). Perkiraan luas daerah prospek berdasarkan metode Geokimia sebesar 2 km², terletak di Gunung Mingkrik yang berada di Selatan - Baratdaya dari manifestasi air panas Guci.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2017, Peta Tata Guna Lahan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- Arnorsson, Stefan, 2000, *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use*. International Atomic Energy, Vienna.
- Burger, H.R., 1992: *Exploration Geophysics of shallow Sub Surface*, Prentice Hall
- Direktorat Vulkanologi, 1991. Laporan Pengukuran Gaya Berat Daerah Bumiayu – Guci dan Sekitarnya, G. Slamet, Jawa Tengah.
- Direktorat Vulkanologi, 1991. Laporan Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi G. Slamet dan sekitarnya, Jawa Tengah.
- Direktorat Vulkanologi, 1991. Laporan Penyelidikan Geokimia Panas Bumi G. Slamet.
- Giggenbach, W.F., 1988, *Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg – Ca Geo-Indicators*, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.
- Giggenbach, W.F dan Soto., 1992, *Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin*, *EPSL* 113, 495-51.
- Herdianita, N.R. dan Mandradewi, W., 2010, *Evolution of Ciselok – Cisukarame Geothermal System, West Java – Indonesia, Based on Its Surface Manifestation*, *Proceedings World Geothermal Congress 2010*
- Huggett, R.J. 2007, *Fundamentals of Geomorphology*, 2nd ed., Routledge, England, 458 pp

- Johnston, J.M., Pellerin, L., dan Hohmann, G.W., 1992. *Evaluation of Electromagnetic Methods for Geothermal Reservoir Detection*. *Geothermal Resources Council Transactions*, 16. 241 – 245
- Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry & Exploration Technique*, Springer Verlag, In. Berlin.
- PT. Spring Energy Santosa., 2008, Survei Pendahuluan Panas Bumi Daerah Guci – G. Slamet Kabupaten Tegal, Jawa Tengah
- Sinclair, A. J., 1991, A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited. *Journal of Geochemical Exploration*, 41(1-2), 1-22
- Suratman, 1971, Laporan Pendahuluan Inventarisasi dan Penyelidikan Pendahuluan Gejala Panas bumi di Daerah Sekitar G. Slamet.
- Wohletz, K. Dan Heiken, G., 1992, *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press, Berkeley, 450p.

Tabel 1. Data Manifestasi Permukaan Daerah Guci, Kabupaten Tegay, Provinsi Jawa Tengah

NO	MANIFESTASI PANAS BUMI	KOORDINAT (UTM)		ELEVASI (mdpl)	SUHU AIR (°C)	SUHU UDARA (°C)	DEBIT (lt/dtk)	pH	DAYA HANTAR LISTRIK (µS/cm)		KETERANGAN
		(mT)	(ms)								
1	AP Nees 1	296946	9204524	1113	49,3	23,9	>10	7,94	792		Air panas muncul dari celah batuan beku ditebing pinggir sungai gung. Air panas di tampung dalam bak dan dialirkan sebagai sumber air panas. Terdapat kalisit, smersilita dan karbonatan.
2	AP Nees 2	296890	9204608	1107	55,5	26,4	2	7,79	948		Air panas muncul dari celah batuan beku dipinggir sungai. Air panas telah dimanfaatkan sebagai sumber air panas di hotel/villa sekitarnya
3	AP Pancuran 5	297279	9203899	1197	43,9	24,8	>2	7,06	636		Air panas muncul dari celah batuan yang selanjutnya tertampung dalam kolam yang dimanfaatkan untuk wisata pemandian air panas
4	AP Pancuran 13	297326	9203834	1203	45,2	25,5	>10	7,31	678		Air panas muncul dari celah batuan dengan rasa tawar dan air tidak berwarna. Sumber air panas telah dimanfaatkan sebagai wisata pemandian air panas.
5	AP Pancuran 7	297138	9203754	1227	49,9	27	0,5	7,93	1.013		Air panas muncul dari celah batuan yang ditampung dalam kolam yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai wisata pemandian air panas. Menurut informasi area pancuran 7 jika dilakukan pengeboran sumur menghasilkan air panas.
6	AP Sigeong	296518	9205135	1053	44,5	28,1	3	8,22	742		Air panas muncul dari celah batuan beku
7	AP Sigeong	292256	9201642	1329	38,9	22,5	0,1	7,94	548		Muncul dari celah batuan beku di pinggir sungai dan telah dialirkan dengan pipa kecil. Air panas tidak berwarna dan berasa. Dimanfaatkan warga sekitar untuk mandi setelah bertani.
8	AP Curug Kembar	297046	9204407	1133	60,5	25,6	>10	8,16	1.049		Terletak diantara dua air terjun dan berad dalam gua batuan beku. Air panas dimanfaatkan untuk sumber air panas di hotel sekitar. Air tidak berwarna dan berasa
9	AP Dakisan	297192	9204155	1174	37,6	22,6	2	7,47	526		Air panas muncul dari celah batuan di tebing sungai dengan iar terjun pengantin. Memiliki rasa tawar dan tak berwarna.
10	AP Griya Tirta Ayu	297173	9203989	1182	55,0	24,9	0,25	8,24	1.025		Muncul dari celah batuan di pinggir sungai. Air panas telah dimanfaatkan sebagai sumber air panas untuk hotel/villa di sekitar sumber air panas.
11	AP Guciku	297155	9204226	1163	40,5	24,2	6	7,09	595		Air muncul dari celah batuan, air tidak berasa dan berwarna
12	AP Jedor	297301	9203632	1240	58,0	20,5	0,1	8,05	1.023		Air tidak berwarna dan berasa. Air panas telah dimanfaatkan sebagai sumber air panas untuk hotel/villa
13	AP Sengang	297283	9203024	1326	56,1	22,3	6	7,76	939		Air tidak berwarna dan tidak berasa
14	AP Sengang 2	297117	9203245	1297	45,1	21,8	9	7,78	1.078		Air tidak berwarna dan tidak berasa
15	AP Secaya	296893	9204718	1090	55,7	23,5	6	8,31	779		Air tidak berwarna dan tidak berasa
16	AP Teyeng	296654	9204231	1125	36,1	22,3	0,4	7,79	807		Air tidak berwarna dan tidak berasa
17	AD Pancuran 7	297130	9203750	1227	20,7	23,3	0,08	6,92	292		Mata air dingin yang berasal dari kaki gunung Slamet
18	AS Kaligung	297300	9203630	1240	20,8	20,8	-	7,97	157		Air Sungai besar tempat pemunculan air panas Guci
19	AD Amerta	300670	9198484	2440	12,7	14,8	>10	7,75	132		Mata air dingin di puncak Gunung Slamet
20	Solfatara	302698	9199005	3205	80,5	-	-	-	-		Kadar CO 10 ppm, CO ₂ 150 ppm, HCN 0,1 % dan H ₂ S >60 ppm

Tabel 2. Data Kimia Manifestasi Daerah Panas Bumi Guci, Kab. Tegal, Prov. Jawa Tengah

Kode Sempel	APNCS	APNCS	APNCS	APPC	APPC7	APSG	APSGD	APCK	APDS	APGTA	APGK	APJ	APS	APS 2	APSC	APTY	ADPC 7	ASK	ADAM
	1	2	5	13															
pH	7,94	7,79	7,06	7,31	7,93	8,22	7,94	8,16	7,47	8,24	7,09	8,05	7,76	7,78	8,31	7,79	6,92	7,97	7,75
DHL	792	948	636	678	1013	742	548	1049	526	1025	595	1023	939	1078	779	807	292	157,7	132,1
SiO ₂	150,00	170,16	139,74	145,74	156,71	123,79	130,23	191,66	123,07	124,66	129,20	133,37	187,49	163,49	136,26	122,24	87,01	59,03	65,51
B	4,40	5,47	11,07	2,76	6,31	4,00	0,53	5,96	2,09	5,07	2,09	5,38	4,98	7,96	4,00	3,47	0,71	4,18	0,18
Al ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	0,44	2,46	0,51	0,58	2,07	0,42	0,88	2,75	0,42	1,06	0,46	1,35	2,82	2,11	1,29	2,07	0,52	0,6	0,65
F	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
Cl ⁻	40,00	40,00	18,00	20,00	40,00	40,00	40,00	50,00	10,00	70,00	18,00	80,00	70,00	70,00	60,00	30,00	5,00	10,00	10,00
SO ₄ ²⁻	70,00	60,00	25,00	40,00	60,00	60,00	10,00	70,00	25,00	70,00	25,00	70,00	60,00	118,90	40,00	70,00	25,00	20,00	30,00
HCO ₃ ⁻	419,20	491,63	352,68	375,17	536,36	443,10	303,29	574,26	302,59	524,26	358,79	531,60	498,60	544,05	409,91	444,51	157,85	80,56	31,65
CO ₃ ²⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca ²⁺	31,92	30,73	26,86	27,73	34,62	26,30	30,22	31,92	24,96	35,30	25,19	39,06	35,14	77,27	28,64	38,07	21,31	15,41	13,07
Mg ²⁺	39,44	38,38	31,87	34,03	45,10	31,41	20,70	43,33	24,80	40,23	28,81	46,07	37,58	42,84	31,54	38,48	13,92	7,20	5,66
K ⁺	31,99	36,83	24,20	25,28	31,63	24,47	14,51	38,44	20,70	27,12	22,19	28,50	35,24	23,65	26,99	18,98	6,67	3,40	2,59
Na ⁺	99,97	110,33	49,81	50,11	107,31	97,77	47,85	111,99	46,28	116,48	48,21	108,03	100,21	103,89	97,72	87,5	25,55	11,51	8,15
Fe ³⁺	-	-	-	-	0,23	-	0,57	0,08	-	0,07	-	0,41	0,92	0,84	0,27	4,05	-	0,01	-
Li ⁺	-	0,02	-	-	0,02	0,01	0,02	0,01	-	0,04	-	0,02	-	0,12	0,01	0,02	-	-	-
TDS	496	660	368	420	688	508	368	796	352	696	416	764	732	804	580	568	92	36	68
Ion Balance	2,93	0,64	-0,24	-3,46	-0,52	-4,56	-4,66	-4,74	0,77	-4,91	-4,48	-4,90	-5,00	-2,63	-4,33	0,53	4,00	-0,91	4,97

SURVEI RINCI GAYA BERAT DAERAH PANAS BUMI GUCI, KABUPATEN TEGAL, PROVINSI JAWA TENGAH

Ratna Dewi, Asep Sugianto, dan Husin Setia Nugraha

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah panas bumi Guci terletak di Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di sebelah utara dari Gunung Slamet. Daerah ini merupakan salah satu wilayah kerja panas bumi yang dikembalikan kepada pemerintah yang kemudian pada tahun ini dilakukan penambahan data oleh PSDMBP dalam rangka percepatan pengembangan panas bumi di Indonesia. Maksud dari survei rinci gaya berat adalah untuk memperoleh gambaran struktur densitas bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi di daerah survei. Data keprospekan ini akan dijadikan sebagai data pendukung bagi evaluasi keprospekan WKP Guci.

Pengukuran gaya berat dilakukan pada 109 titik ukur yang difokuskan di daerah Mingkrik dan melingkupi daerah mata air panas Guci dan Sigedong, hingga ke puncak Gunung Slamet. Jarak antar titik pengukuran sebesar 500 – 1.000 m. Hasil dari kegiatan survei rinci gaya berat di daerah Guci menunjukkan keberadaan anomali densitas rendah di puncak Gunung Slamet yang diinterpretasikan sebagai respon dari batuan vulkanik produk Gunung Slamet Muda yang bersifat porous. Keberadaan anomali tinggi di zona depresi Guci diinterpretasikan sebagai batuan berdensitas tinggi yang bersifat plutonik berupa sill atau dike. Berdasarkan analisis struktur dari FHD, struktur yang berkembang di daerah Guci umumnya berarah baratlaut – tenggara.

Kata kunci: gaya berat, anomali densitas, *first horizontal derivative*, analisis struktur

PENDAHULUAN

Pada tahun 2022, pemerintah telah melaksanakan program kegiatan eksplorasi panas bumi di beberapa daerah untuk mendorong pengembangan panas bumi di Indonesia. Adapun salah satu daerah tersebut adalah WKP Guci. WKP Guci sebelumnya sudah memiliki

pengembang. Namun, karena suatu hal, pengembang tidak dapat melanjutkan eksplorasi dan mengembalikan WKP Guci kepada pemerintah. WKP Guci akan dilelangkan kembali untuk mendapatkan pengembang yang baru. Namun sebelum dilelang kembali, pemerintah berencana melakukan pengeboran sumur eksplorasi

di WKP ini untuk mengurangi risiko di sisi hulu sehingga lebih menarik untuk dilelang dan dikembangkan lebih lanjut. Guna mendukung pengeboran eksplorasi ini, maka perlu dilakukan penambahan data gaya berat yang bertujuan untuk memperoleh informasi struktur bawah permukaan melalui anomali densitas batuan.

Daerah Guci terletak di Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Sebelumnya, daerah ini sudah dilakukan survei geofisika dengan menggunakan geolistrik (Direktorat Vulkanologi, 1990) (Direktorat Vulkanologi, 1992), gaya berat (Direktorat Vulkanologi, 1990), serta gabungan antara metode geolistrik, gaya berat dan magnetotellurik (PT Spring Energi Sentosa, 2009). Hasil dari pengukuran-pengukuran tersebut kurang merepresentasikan daerah panas bumi

Guci, karena sebaran titik ukurnya yang tidak berupa grid dan masih banyak area yang kosong. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan data, salah satunya data gaya berat, dengan sebaran titik yang lebih bagus.

METODE

Kegiatan survei gaya berat di daerah panas bumi Guci dilakukan dengan menggunakan gravimeter Scintrex CG6. Distribusi titik ukur gaya berat didesain melingkupi Guci, dengan fokus di daerah Mingkrik atau sebelah barat laut dari Gunung Slamet, di mana terdapat kemunculan mata air panas. Pengukuran juga dilakukan melewati puncak Gunung Slamet. Jarak antar titik pengukuran sebesar 500 – 1.000 m. Jumlah titik ukur gaya berat adalah sebanyak 109 titik.



Gambar 1. Peta lokasi daerah panas bumi Guci

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan koreksi berupa koreksi apungan, pasang surut, lintang, udara bebas, Bouguer dan terrain (Telford, Geldart, Sheriff, & Keys, 1990). Penentuan densitas batuan dilakukan dengan perhitungan Parasnis. Data yang terkoreksi, berupa data anomali Bouguer lengkap, kemudian dipisahkan menggunakan filter *moving average*, menjadi anomali regional dan residual. Peta anomali Bouguer lengkap, regional dan residual kemudian dianalisis dan diinterpretasi dengan mengacu data geologi untuk mendapatkan kemungkinan sebaran benda anomali.

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan metode *First Horizontal Derivative (FHD)* dari peta anomali Bouguer lengkap. Hasil FHD digunakan untuk memperkirakan struktur geologi yang berkaitan dengan sistem panas bumi (Supriyanto, Noor, & Suhanto, 2017). Hasil interpretasi FHD dibandingkan juga dengan peta struktur geologi untuk mengkonfirmasi adanya struktur di lapangan.

Pemodelan dilakukan secara 3D dengan menggunakan perangkat lunak Grablox. Model yang dihasilkan mempunyai nilai *root mean square (RMS)* sebesar 0,02.

TINJAUAN GEOLOGI

Dari hasil survei geologi (Hadi, Simarmata, Permana, Supriyadi, &

Herninda, 2022) (Gambar 2), diketahui bahwa batuan di daerah Gunung Slamet dan sekitarnya, tersusun oleh batuan batuan sedimen, produk Slamet tua, produk Sigedong dan produk Slamet muda.. Morfologi daerah survei terbagi menjadi satuan puncak Slamet muda, tubuh Slamet muda, kaki Slamet, tubuh Sigedong, tubuh Slamet tua, kaki Slamet tua.

Alterasi batuan di daerah Guci terdapat pada 2 (dua) lokasi, yaitu di daerah Mingkrik dan di sekitar munculnya air panas di depresi Guci. Asosiasi mineral ubahan di sekitar Mingkrik menunjukkan pengaruh fluida yang mengubah batuan melalui proses hidrotermal dan termasuk dalam zona sub-propilitik. Zona ini diduga merupakan fosil pembentukan mineral hidrotermal di kedalaman yang muncul di permukaan bersama batuanannya. Ubahan yang ditemukan di sekitar munculnya air panas di depresi Guci diklasifikasikan pada zona ubahan argilik.

Pola sesar yang terbentuk di sekitar Guci dipengaruhi oleh pola Meratus (BD-TL) yang diduga sebagai tektonik tua yang terbentuk. Hal ini nampak pada hasil bentukan morfologi dan evolusi magma yang bergerak dari barat - barat daya ke timur - timur laut melalui pergeseran pusat erupsi G. Slamet Tua hingga pembentukan Slamet Muda.

Sesar F2 dengan jenis mendatar manganan naik memotong di sekitar Dukuh

Tengah dan sesar F3 dengan jenis normal mengangan di bagian tengah depresi Guci dengan bukaan ke utara.

Tektonik di daerah Guci dipengaruhi oleh sesar-sesar dengan arah BL-TG sejajar pola Sumatera. Sesar ini diduga memotong pola sesar meratus yang lebih tua. Adapun penarikan sesar F1 dengan jenis mendatar mengangan normal di sekitar Kalipedes, depresi sesar Guci yang diwakili oleh sesar F4 dengan jenis sesar normal mengiri dan sesar F5 dengan jenis mendatar mengiri normal.

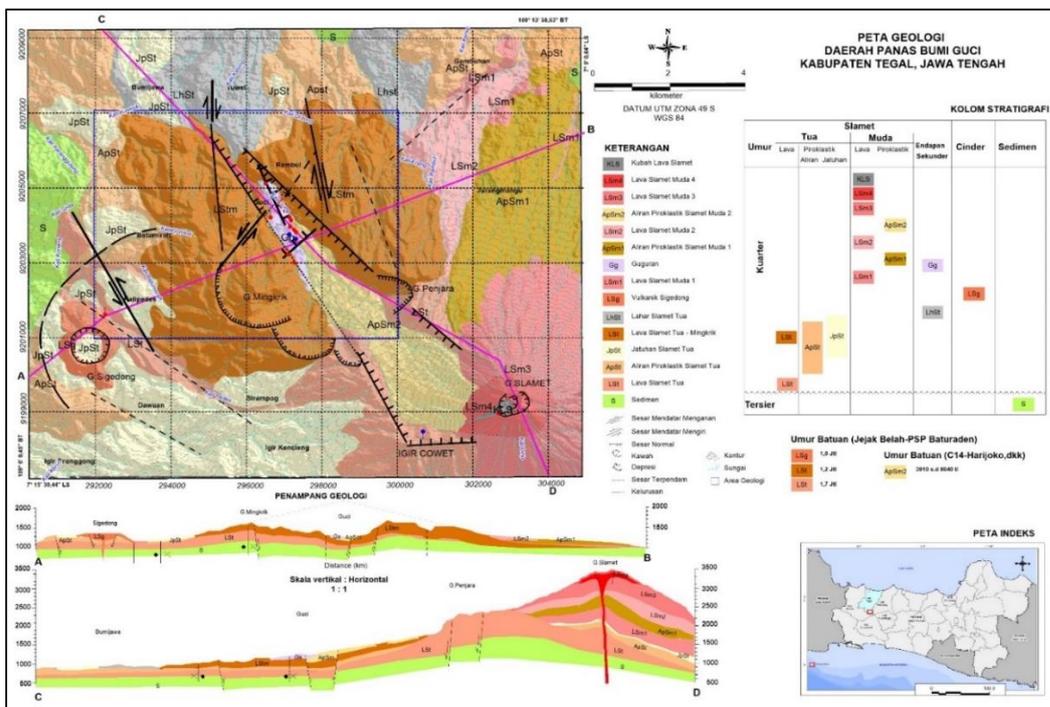
Dijumpai kelurusan dan bentukan *circular feature* serta graben yang teraktivasi akibat pembungkungan magma Gunung Slamet sehingga merobek daerah Guci yang telah tersesarkan menjadi depresi Guci dan sesar normal, kenampakan berupa gawir tajam dan

curam di sekitar sisi barat G. Penjara dan sisi timur tinggian Mingkrik. Pola sesar vulkanik ini menjadi sesar terakhir yang terbentuk sebagai akibat tektonik dan proses vulkanik pembentukan Gunung Slamet Muda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer Lengkap

Pada peta anomali Bouguer (Gambar 3), terlihat adanya nilai anomali rendah (<50 mgal) di sekitar puncak Gunung Slamet. Anomali sedang (50-68 mgal) berada di bagian utara dan timur daerah penelitian, serta bagian selatan dari mata air panas Sigedong. Anomali tinggi (>68 mgal) berada di sepanjang depresi Guci, melebar hingga ke sisi timur Mingkrik dan di sisi tenggara mata air panas Sigedong.



Gambar 2. Peta geologi daerah Guci (Hadi, Simarmata, Permana, Supriyadi, & Herninda, 2022)

Anomali rendah di sekitar puncak Gunung Slamet merupakan tipikal respon dari gunung api aktif, di mana terdapat pusat erupsi berupa kawah, sehingga densitasnya lebih rendah dibandingkan densitas batuan di sekelilingnya. Anomali sedang di bagian utara dan timur daerah penelitian berkaitan dengan batuan sedimen yang merupakan batuan dasar di daerah penyelidikan.

Kemunculan anomali tinggi pada zona depresi Guci menjadi sesuatu yang menarik karena berdasarkan hasil survei geologi (Hadi, Simarmata, Permana, Supriyadi, & Herninda, 2022), depresi Guci terisi oleh batuan piroklastik dari hasil erupsi Gunung Slamet muda, yang seharusnya menghasilkan respon anomali yang rendah. Kemunculan anomali tinggi di zona depresi Guci yang melebar hingga ke sisi timur Gunung Mingkrik kemungkinan diakibatkan oleh suatu tubuh batuan berdensitas tinggi yang tidak muncul ke permukaan karena tertutup oleh batuan piroklastik hasil erupsi Gunung Slamet muda. Zona anomali tinggi di bagian tenggara mata air panas Sigedong kemungkinan merupakan respon dari produk vulkanik Slamet tua.

Anomali Regional dan Residual

Pada peta anomali gaya berat regional (Gambar 4), anomali rendah (<50 mgal) terpusat pada puncak Gunung Slamet. Anomali tinggi (>67 mgal) berada di tengah area penyelidikan, membentuk

klosur yang dibatasi oleh kompleks mata air panas Guci dan Sigedong. Sedangkan anomali sedang (50 s.d. 67 mgal) mengelilingi klosur anomali tinggi tersebut.

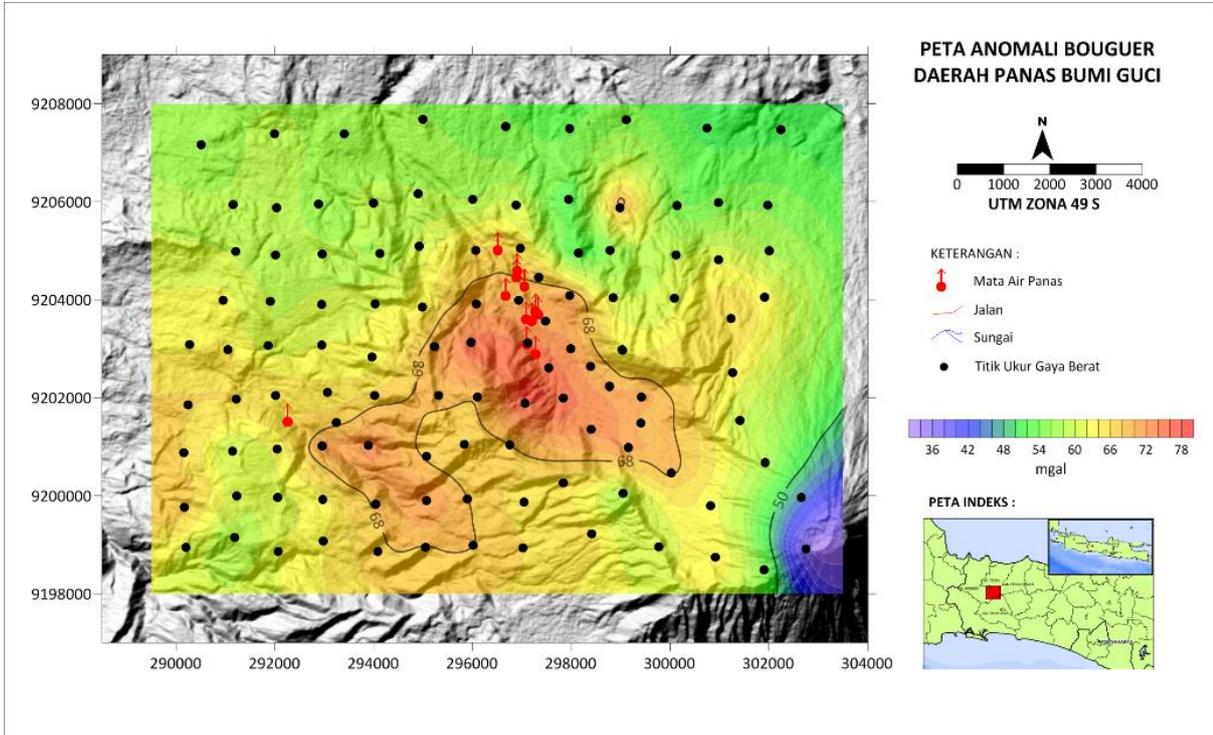
Anomali rendah di puncak Gunung Slamet berkaitan dengan respon dari kawah Gunung Slamet. Anomali tinggi di tengah daerah penyelidikan kemungkinan berasosiasi dengan batuan plutonik berdensitas tinggi yang berkaitan dengan aktivitas vulkanik Gunung Slamet Tua.

Pada peta anomali gaya berat residual (Gambar 5), anomali rendah (<-3 mgal) membentuk klosur-klosur kecil yang tersebar di area puncak Gunung Slamet, timur kelompok mata air panas Guci, utara mata air panas Sigedong, dan Igir Cowet (utara daerah penyelidikan, barat puncak Gunung Slamet). Anomali tinggi (>1,5 mgal) berada di sepanjang depresi Guci, barat laut hingga ke tenggara mata air panas Sigedong dan Jurangmangu (timur area penyelidikan). Anomali sedang (-3 s.d. 1,5 mgal) mendominasi di hampir seluruh area penyelidikan.

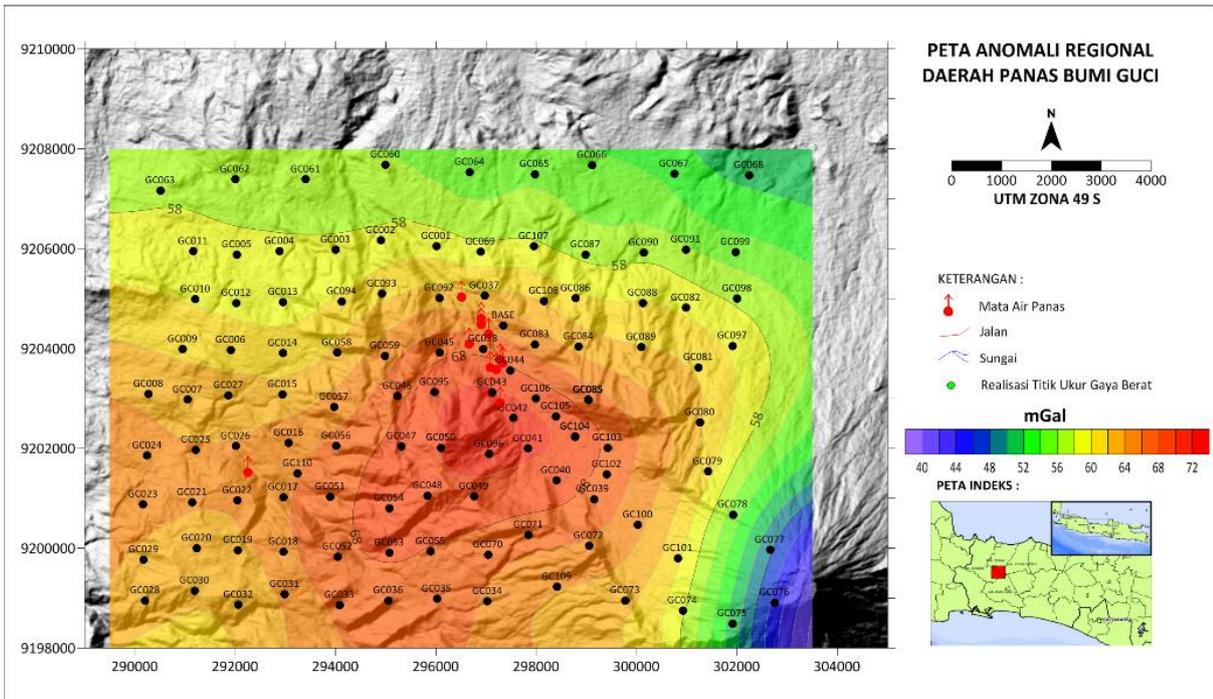
Anomali tinggi yang muncul di sepanjang depresi Guci serta diperkirakan berasosiasi dengan batuan plutonik berdensitas tinggi yang merupakan produk vulkanik Gunung Slamet Tua. Anomali tinggi di barat laut hingga tenggara mata air panas Sigedong juga diperkirakan merupakan produk vulkanik Gunung Slamet tua. Sedangkan anomali tinggi di daerah Jurangmangu diperkirakan berasosiasi dengan produk vulkanik

Gunung Slamet Muda. Anomali rendah di area puncak Gunung Slamet, timur kelompok mata air panas Guci, utara mata

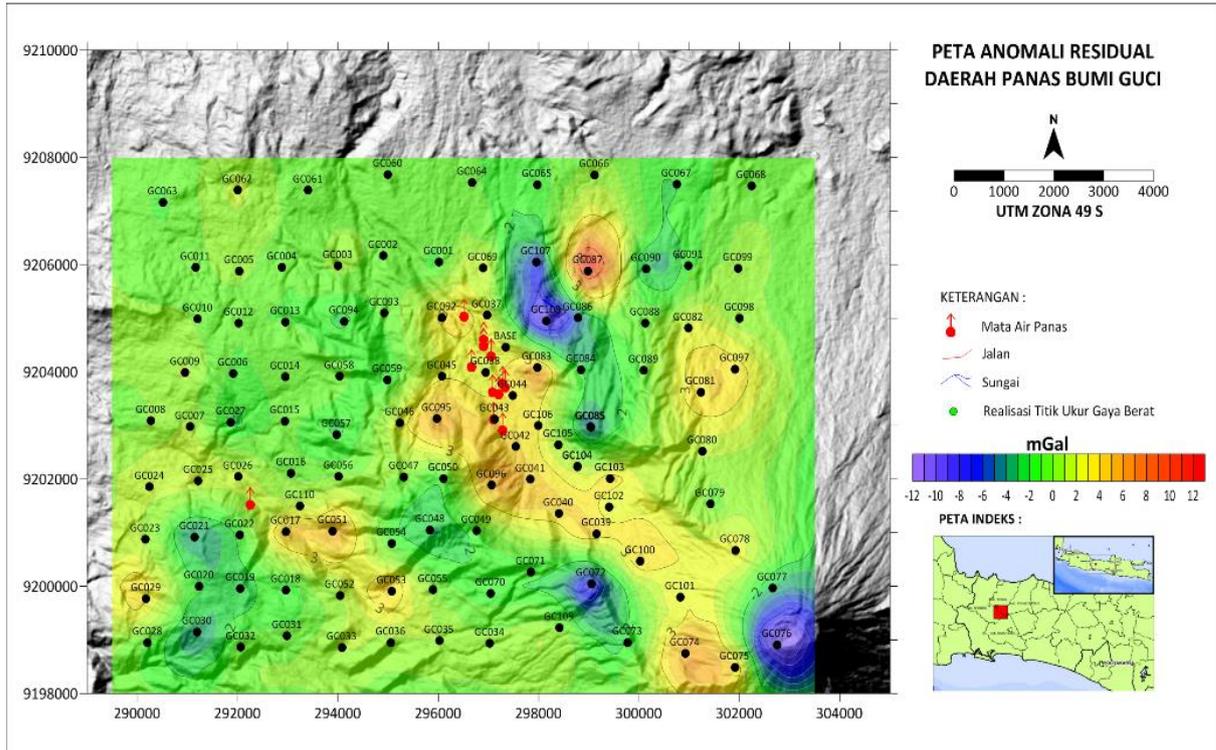
air panas Sigedong, dan Igir Cowet diperkirakan sebagai respon dari zona lemah yang merupakan zona struktur.



Gambar 3. Peta anomali Bouguer daerah Guci



Gambar 4. Peta anomali regional daerah Guci



Gambar 5 Peta anomali residual daerah Guci

Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan metode *First Horizontal Derivative (FHD)*. Pada peta FHD (Gambar 6), zona anomali tinggi ($>0,009$ mgal/m) berada di sekitar puncak Gunung Slamet, sepanjang batas depresi Guci, dan juga di daerah Rembul (timur mata air panas Guci). Hampir semua zona anomali tinggi ini membentuk kelurusan berarah baratlaut-tenggara.

Kelurusan berarah baratlaut-tenggara yang terletak di sebelah timurlaut dan baratdaya mata air panas Guci diperkirakan berasosiasi dengan struktur geologi yang membentuk graben Guci. Kelurusan berarah baratlaut-tenggara juga terdapat di sekitar mata air panas

Sigedong. Selain itu, terdapat juga kelurusan berarah baratdaya-timurlaut yang terletak di antara mata air panas Sigedong dan mata air panas Guci.

Pemodelan 3 dimensi

Hasil pemodelan 3D ditampilkan dalam 2 penampang berarah baratlaut – tenggara dan baratdaya-timurlaut yang berpotongan di zona manifestasi mata air panas Guci. Penampang densitas berarah baratlaut-tenggara (Gambar 7) memotong puncak Gunung Slamet dan zona manifestasi mata air panas Guci. Pada penampang ini, terlihat adanya batuan berdensitas rendah ($2,5 \text{ g/cm}^3$) di bawah puncak Gunung Slamet yang diperkirakan berasosiasi dengan batuan yang

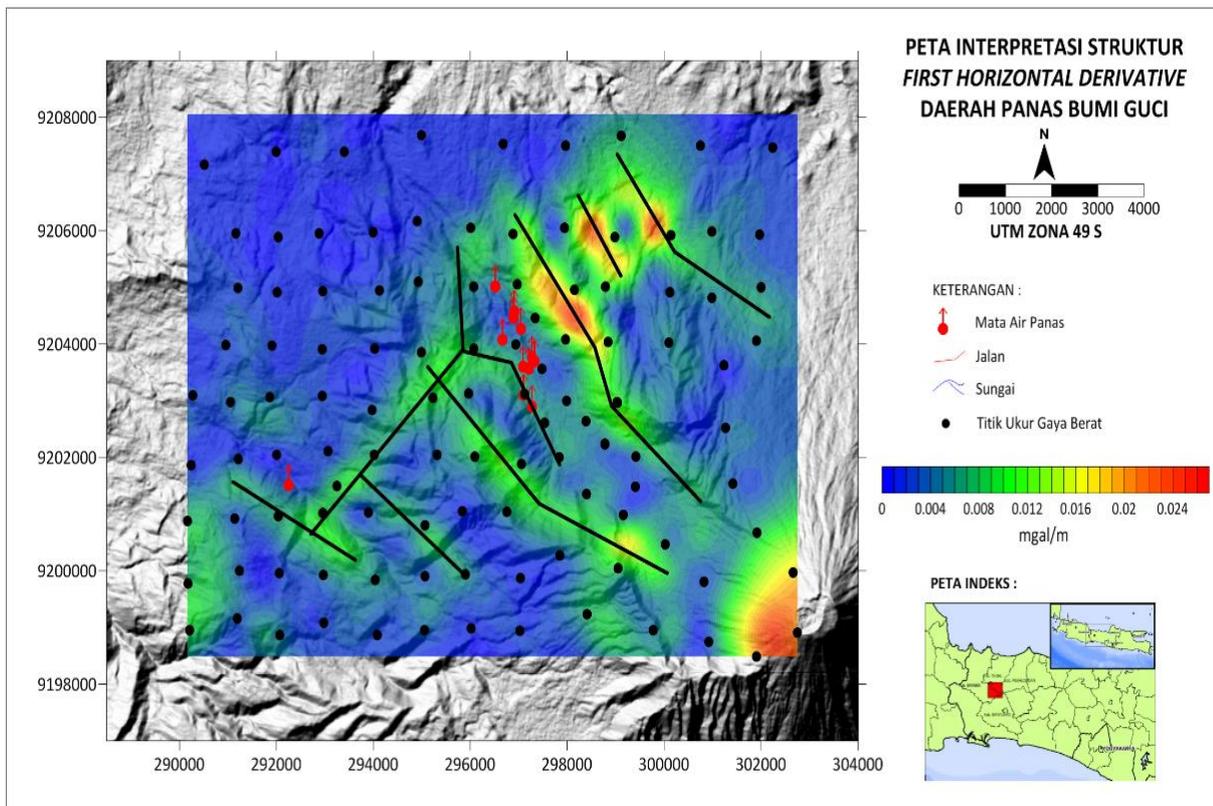
menyusun kawah Gunung Slamet yang bersifat *porous*. Di bawah zona manifestasi mata air panas Guci dimodelkan sebagai batuan berdensitas tinggi ($2,9 \text{ g/cm}^3$). Batuan ini diperkirakan sebagai batuan beku plutonik.

Penampang berarah baratdaya – timurlaut (Gambar 6) memotong mata air panas Sigedong dan zona manifestasi mata air panas Guci. Pada penampang ini, batuan plutonik yang berada di bawah zona manifestasi mata air panas Guci juga tergambar. Namun, batuan plutonik ini terlihat menggantung di dekat permukaan. Kemungkinan, batuan ini berupa *sill* atau *dike*. Di bawah Kawah Sigedong, tergambar sebagai batuan dengan densitas rendah ($2,5 \text{ g/cm}^3$). Batuan ini

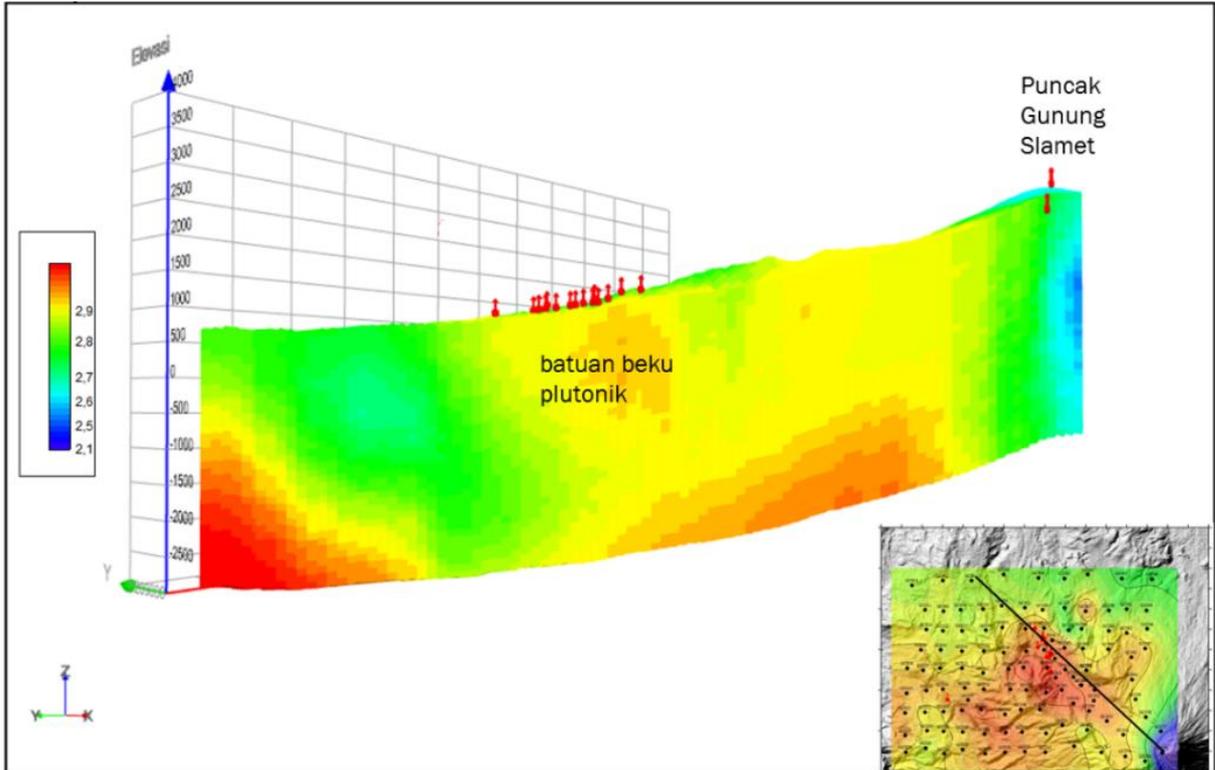
diperkirakan sebagai produk vulkanik Gunung Slamet Tua yang bersifat *porous*.

KESIMPULAN

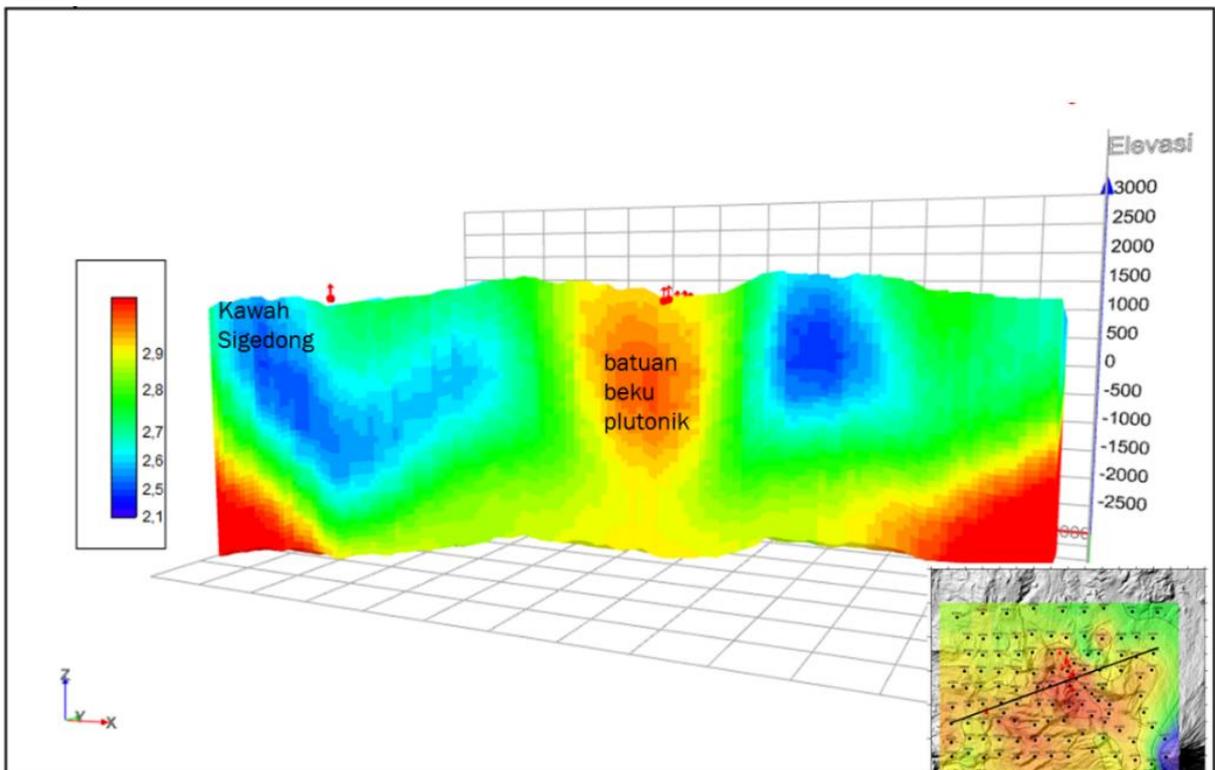
Hasil survei gaya berat daerah panas bumi Guci menunjukkan adanya anomali densitas rendah di puncak Gunung Slamet yang diinterpretasikan sebagai respon dari batuan vulkanik produk Gunung Slamet Muda. Anomali tinggi di zona depresi Guci diinterpretasikan sebagai batuan berdensitas tinggi yang diduga sebagai batuan plutonik berupa *sill* atau *dike*. Berdasarkan analisis struktur menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD), struktur yang berkembang di daerah Guci umumnya berarah baratlaut – tenggara.



Gambar 6. Peta interpretasi struktur FHD daerah Guci



Gambar 1. Penampang densitas hasil pemodelan 3D pada lintasan baratlaut-tenggara



Gambar 8. Penampang densitas hasil pemodelan 3D pada lintasan barat daya – timur laut

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Vulkanologi. (1990). *Laporan Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Gunung Slamet dan Sekitarnya, Jawa Tengah*. Bandung.
- Direktorat Vulkanologi. (1990). *Laporan Pengukuran Gaya Berat Daerah Bumiayu-Guci dan Sekitarnya*. Bandung.
- Direktorat Vulkanologi. (1992). *Laporan Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Guci-Bumijawa, Jawa Tengah*. Bandung.
- Hadi, M. N., Simarmata, R. S., Permana, L. A., Supriyadi, Y., & Herninda, G. (2022). *Laporan Akhir Survei Rinci Geologi Daerah Panas Bumi Guci, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- PT Spring Energi Sentosa. (2009). *Evaluasi Prospek WKP Panas Bumi Daerah Guci dan Sekitarnya, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah*. Semarang.
- Supriyanto, Noor, T., & Suhanto, E. (2017). Analysis of Gravity Data Beneath Endut Geothermal Prospect Using Horizontal Gradient and Euler Deconvolution. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., & Keys, D. A. (1990). *Applied Geophysics*. London: Cambridge University Press.

SURVEI RINCI MT DAN TDEM DAERAH PANAS BUMI GUCI, KABUPATEN TEGAL, PROVINSI JAWA TENGAH

Ahmad Zarkasyi, Rina Wahyuningsih, dan Arief Munandar

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah Guci berada di kaki utara Gunung Slamet yaitu salah satu Gunung Api aktif di Jawa Tengah dan merupakan salah satu area terindikasi potensi panas bumi. Tahun 2023 dilakukan survei geofisika magnetotellurik (MT) dan TDEM sebagai rangkaian usaha mengetahui potensi panas bumi Guci dan mengurangi resiko di sisi hulu. Melalui metode ini diperoleh data tahanan jenis untuk dianalisis dan interpretasi sehingga diperoleh informasi sistem panas bumi yang lebih jelas dan mempertegas potensi panas buminya.

Metode MT telah diketahui sebagai metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik (EM) alami sebagai sumber gelombang atau energi untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan. Di daerah Guci, telah diakuisisi data MT sebanyak 32 titik dengan distribusi antar titik sekitar 750-1000 meter. Pengolahan dan pemodelan data menggunakan teknik inversi 1 dimensi (1D), 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D) dengan hasil berupa informasi tahanan jenis secara lateral dan vertikal.

Hasil analisis yang diperoleh terindikasi adanya lapisan batuan konduktif bernilai < 10 Ohmm yang diduga berfungsi sebagai lapisan batuan penudung sistem sistem panas bumi Guci. Lapisan ini berada di area zona depresi Guci dengan ketebalan bervariasi 800-1250 meter. Zona reservoir diperkirakan berada di bawah lapisan penudung dengan nilai tahanan jenis sekitar > 25 Ohmm yang diperkirakan berada di lereng utara Gunung Slamet sampai dengan zona tepi sekitar Bukit Mingkrik pada kedalaman sekitar 900-1300 meter. Untuk menentukan potensi panas bumi di daerah ini masih dibutuhkan kajian lebih lanjut berupa integrasi hasil dari segala ilmu kebumian atau geosain.

Kata kunci: Panas bumi, Magnetotellurik, Guci

PENDAHULUAN

Untuk mengetahui potensi energi panas bumi di suatu daerah diperlukan suatu eksplorasi yang bertahap dan terpadu. Hasil dari masing-masing tahapan

eksplorasi diintegrasikan untuk dapat mencapai keberhasilan pemboran sumur produksi hingga ke pembangkitan listrik.

Gunung Slamet merupakan satu area di Jawa Tengah (Gambar 1) yang

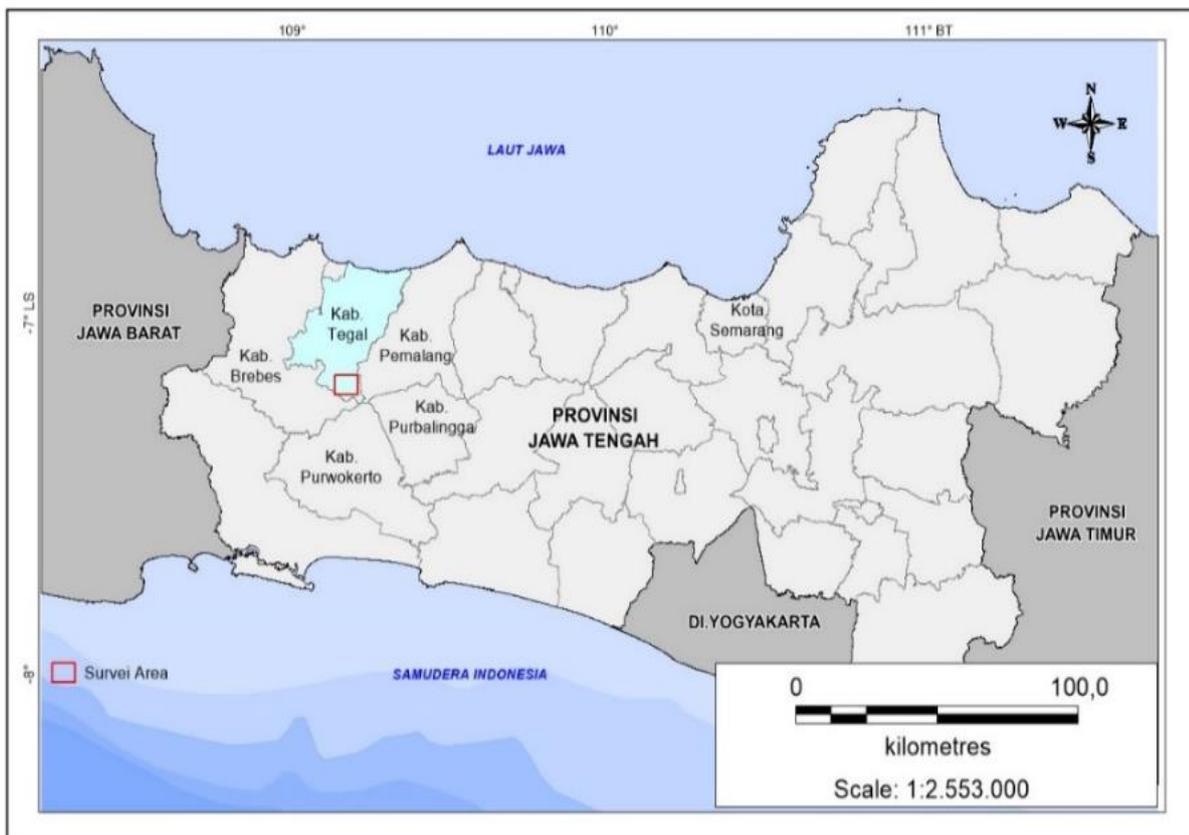
memiliki indikasi potensi panas bumi. Indikasi potensi diperlihatkan dengan beberapa manifestasi panas bumi dipermukaan seperti di selatan G.Slamet (Batu Raden), Barat Gunung Slamet dan utaranya yaitu Guci. Sisi Selatan, barat memiliki data geosains yang sudah cukup komplit (dari geologi hingga ke landaian suhu) sedangkan area utara / Guci masih membutuhkan pendataan lanjut.

Tahun 2022, pemerintah melalui Badan Geologi – Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) melakukan survei geofisika dengan metode Magnetotelurik dan TDEM di daerah Guci. Maksud dan tujuan survei ini untuk mengetahui sebaran tahanan

jenis bawah permukaan sistem panas bumi dan memperoleh data keprospekan (letak, delineasi, dan besarnya potensi) serta sebagai data pendukung daerah yang akan dilakukan pengeboran oleh pemerintah.

REVIEW GEOSAIN

Informasi Geologi di daerah Guci diperoleh dari Laporan Survei Rinci Geologi tahun 2023 (Ghifara dkk, PSDMBP, 2023, unpublished Report). Hasil laporan menginformasikan Daerah Guci tersusun oleh batuan batuan sedimen, batuan vulkanik produk Slamet Tua, produk vulkanik Sigedong dan produk vulkanik Slamet Muda (Gambar 2).



Gambar 1 Peta lokasi daerah Guci

Berdasarkan laporan tersebut menyebutkan bahwa sistem panas bumi yang terbentuk di daerah Guci erat kaitannya dengan aktivitas vulkanik Gunung Slamet. Proses magmatik yang membentuk Slamet Muda menjadikannya sebagai sumber panas sistem panas bumi daerah ini.

Produk Gunung Slamet Tua yang kaya akan rekahan menjadikannya sebagai zona lapisan batuan yang dapat menampung fluida. Lapisan batuan ini yang berperan atau berfungsi sebagai reservoir di sistem panas bumi Guci.

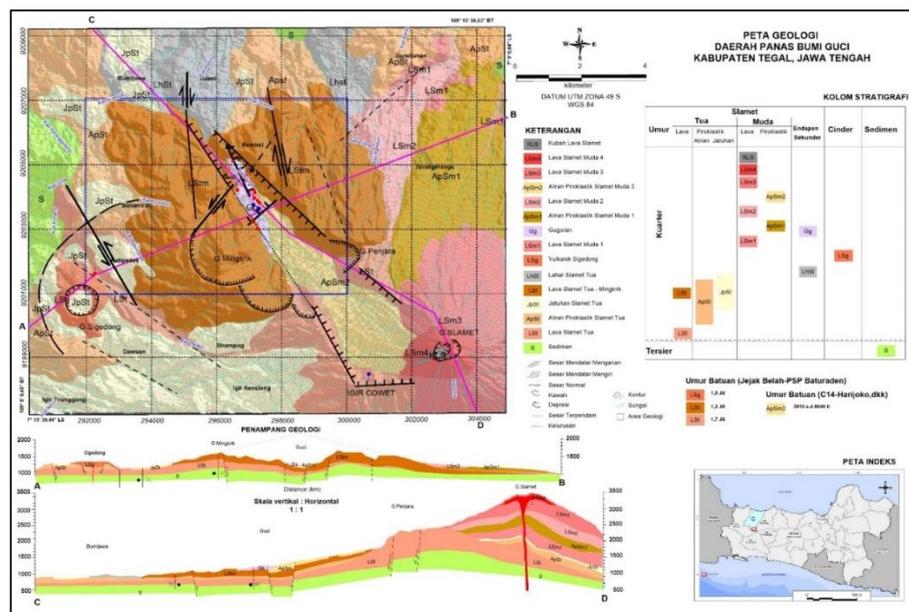
Hasil analisis dari metode XRD, spektra, maupun petrografi, diperkirakan caprock atau batuan penudung sistem Guci tersusun dari batuan ubahan lempung dan batuan tersilisifikasi. Ditemukan juga silisifikasi pada batuan lava basalt dengan intensitas silika tinggi bersama dengan mineral pirit yang mengindikasikan batuan

penudung pada sistem Guci terbentuk pada zona argilik.

METODE DAN TEORI

Metode Survei MT

Informasi bawah permukaan sangat diperlukan untuk menginterpretasi sistem panas bumi. Informasi ini dapat diperoleh dengan menggunakan metode geofisika. Dalam eksplorasi panas bumi salah satu metode geofisika yang optimal menggambarkan distribusi tahanan jenis bawah permukaan adalah metode MT. Metode ini mengukur variasi waktu medan magnetik di permukaan bumi dengan memanfaatkan variasi medan magnet bumi yang dihasilkan dari kilat, aktivitas ionosfer dan solar wind. Sumber tersebut menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi yang sangat lebar yaitu antara 10-5 -104 Hz (Daud, 2013).



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Guci dan Sekitarnya (Ghifara dkk, PSDMBP, 2022)

Fluktuasi medan magnet menyebabkan arus listrik sedangkan variasi konduktivitas listrik berarah lateral dan vertikal di kerak disebabkan oleh adanya ion atau benda konduktif padat (Zhdanov, 2002). Tahanan jenis pada metode ini diperoleh dari perbandingan besarnya medan listrik dan medan magnet yang dikenal dengan persamaan Cagniard (Cagniard, 1953). Persamaan ini dihasilkan dari persamaan Maxwell dengan asumsi gelombang bidang.

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

Dimana,

ρ_a : tahanan jenis semu (Ohm-m)

f : frekuensi (Hz)

E : Besarnya medan listrik (mV/km)

H : Besarnya medan magnet (nT)

Berdasarkan pada sifat penjalaran medan elektromagnetik pada anomali konduktif, kedalaman penetrasi (skin depth) bergantung pada frekuensi yang digunakan dan resistivitas material bawah permukaan. Material yang lebih rendah resistivitasnya menyebabkan medan EM menjadi lebih tajam dan memiliki daya tembus lebih dangkal daripada material yang mempunyai resistivitas lebih tinggi. Demikian pula, medan listrik dan magnetik frekuensi tinggi memiliki daya tembus yang lebih dangkal dibanding dengan medan dengan frekuensi rendah. Dengan kata lain, semakin kecil frekuensi yang

digunakan, maka penetrasi gelombang elektromagnetik akan semakin dalam yang dikenal sebagai skin depth.

Kedalaman efektif dalam metode MT bergantung kepada tahanan jenis batuan dan frekuensi yang digunakan. Penetrasi kedalaman efektif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Zhdanov, 2009).

Penetrasi kedalaman efektif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\delta = 503 \times (\rho / f)^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

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, karena frekuensi tinggi tidak memiliki penetrasi yang cukup dalam, sedangkan frekuensi rendah memiliki penetrasi lebih dalam. Hal ini menunjukkan bahwa struktur tahanan jenis dari zona dangkal sampai ke zona dalam dapat dianalisis berdasarkan tinggi atau rendahnya frekuensi.

Skin depth sebagai fungsi dari frekuensi dan tahanan jenis dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana

- δ : skin depth (m)
- ω : ($= 2\pi f$) frekuensi sudut
- σ : konduktivitas (S/m)
- μ : permeabilitas magnet (H/m)
- ρ : tahanan jenis semu (Ohm-m)
- f : frekuensi (Hz)

Metode TDEM

Metode TDEM (*Time Domain Electro Magnetic*) atau kadang disebut juga TEM (*Transient Electro Magnetic*) adalah salah satu 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.

$$V(t, r) = I_0 \frac{C (\mu_0 \sigma r^2)^{3/2}}{10 \pi^{1/2} t^{5/2}} \quad (4)$$

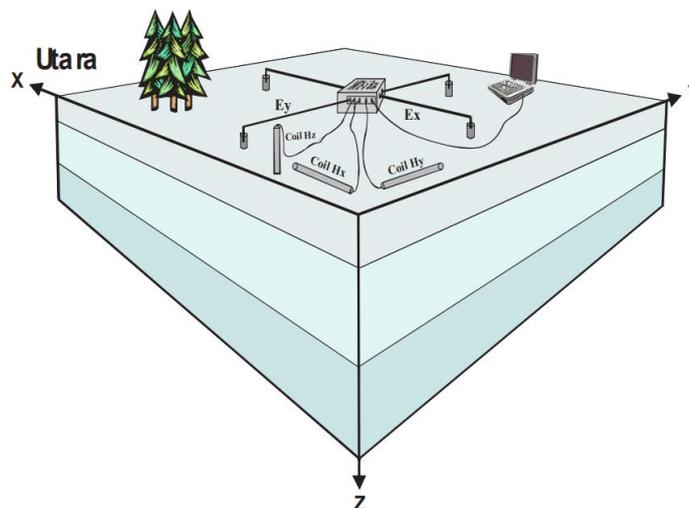
Dimana, $C = A_r N_r A_s N_s \frac{\mu_0}{2\pi r^3}$, dan

- 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 ($\frac{\text{henry}}{m}$)
- $V(t, r)$ = Tegangan transien
- r = Jari-jari dari *transmitter loop* (m)
- I_0 = Arus pada *transmitting loop* (A)

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

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

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



Gambar 3. Konfigurasi pengukuran medan listrik dan magnet

HASIL PENYELIDIKAN

Proses perekaman data MT (akuisisi) dilakukan selama rentang waktu 12-18 jam dengan komponen meliputi komponen magnetik Hx, Hy dan Hz dan komponen elektrik yaitu Ex dan Ey. Bentangan Ex dan Ey sekitar 60-100 meter menyesuaikan kondisi lapangan pengukuran. Pengukuran menggunakan sistem Phoenix dengan tipe MTU-5C dengan jumlah titik sebanyak 32 titik (Gambar 4).

Proses pemodelan data MT menggunakan teknik inversi 1 dimensi (1D), 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Data MT yang diproses dalam pemodelan 1D dan 3D tidak dirotasi, sedangkan pemodelan 2D dirotasi tegak lurus penampang. Pemodelan teknik inversi 1D dan 2D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Winglink. Sedangkan pemodelan 3D menggunakan perangkat lunak WS3D (Siripunvaraporn *et al.* 2005) dengan mencuplik 12 frekuensi data.

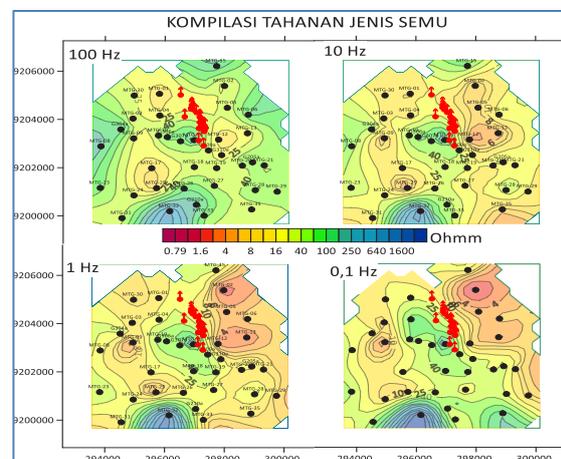
Tahanan Jenis Semu

Sebaran tahanan jenis semu invarian (Gambar 4) memperlihatkan area-area sekitar manifestasi berada pada nilai tahanan jenis rendah <10 Ohmmeter. Posisi kemunculan kelompok manifestasi area Guci ini berada di zona transisi liniasi kontur yang rapat dan bersebelahan dengan blok anomali tahanan jenis tinggi di sisi baratnya. Besar kemungkinan kelompok manifestasi ini muncul di area

zona sesar yang terindikasi dari zona liniasi kontur yang rapat.

Keberadaan anomali tahanan jenis tinggi di area bagian tengah ini cukup tegas dan konsisten. Terpetakan mulai dari permukaan dan menerus ke kedalaman dan meluas dan atau menyatu di kedalaman dengan nilai tinggi yang berada di selatan dan baratdaya.

Berdasarkan informasi geologi, area tersebut berupa batuan vulkanik dan berdasarkan pola sebaran diduga pada kedalaman menjadi satuan yang sama dengan produk-produk batuan di selatan. Pola liniasi dari sebaran tahanan jenis semu ini juga mengindikasikan kontrol sesar geologi yang dominan berarah baratlaut-tenggara. Sedangkan Perluasan nilai-nilai tahanan jenis rendah yg mengelilingi blok tahanan jenis tinggi ini besar kemungkinan merupakan batuan produk vulkanik yang lepas dan kaya akan air. Nilai rendah yg terindikasi sebagai alterasi mungkin berada di area sekitar manifestasi dan area selatan-baratdaya.



Gambar 4. tahanan jenis semu

Model Lateral Tahanan Jenis

Pemodelan tahanan jenis secara lateral baik perkedalaman maupun elevasi menunjukkan pola yang serupa dengan hasil pemetaan tahanan jenis semu (real data). Tahanan jenis batuan bernilai resistif (>25 Ohmm) muncul di area selatan selatan, baratdaya, barat, timur, tenggara dan area bagian tengah sekitar area Mingkrik. Sedangkan tahanan jenis batuan bernilai medium (10-25 Ohmm) dan konduktif (<10 Ohmm) muncul di bagian tengah yang mengitari zona anomali resistif area Mingkrik.

Pada kedalaman 250-500 meter atau sekitar elevasi 1000 m dpl, nilai tahanan jenis batuan konduktif <10 Ohmm berpola sangat jelas di sisi timur area Mingkrik dengan pola memanjang mengisi celah rendah berarah baratlaut-tenggara. Area ini menjadi area dengan nilai terkecil (sangat konduktif). Sedangkan area lain di sekitar Mingkrik memiliki jenis batuan relatif rendah sampai medium 10-25 Ohmm. Dengan bertambah kedalaman (750-1000 meter) atau elevasi sekitar 750-500 meter, area celah tersebut masih bernilai sangat konduktif tetapi mulai terpisah dengan yang berada di tenggara (arah Gunung Slamet). Begitu juga sisi selatan-barat dan utara Mingkrik, nilai tahanan jenis batuan perlahan meningkat walau masih medium.

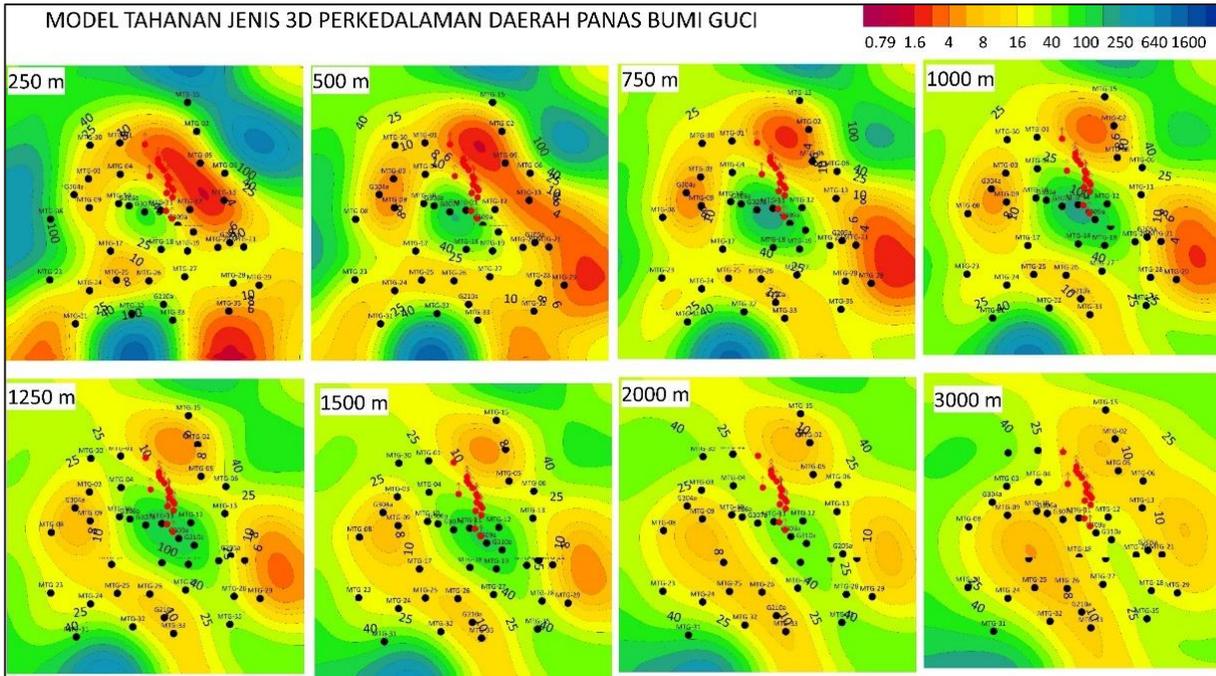
Tren sebaran tahanan jenis batuan semakin terbentuk jelas pada kedalaman 1250 -2000 meter atau elevasi 0 sampai dengan -1000 meter dpl. Tahanan jenis

batuan yang mengelilingi area Mingkrik semakin bernilai seragam yaitu medium (10-15 Ohmm) tanpa ada rapat kontur yang tajam. Selain nilai yang mulai homogen, pola liniasi juga terbentuk berarah baratlaut-tenggara.

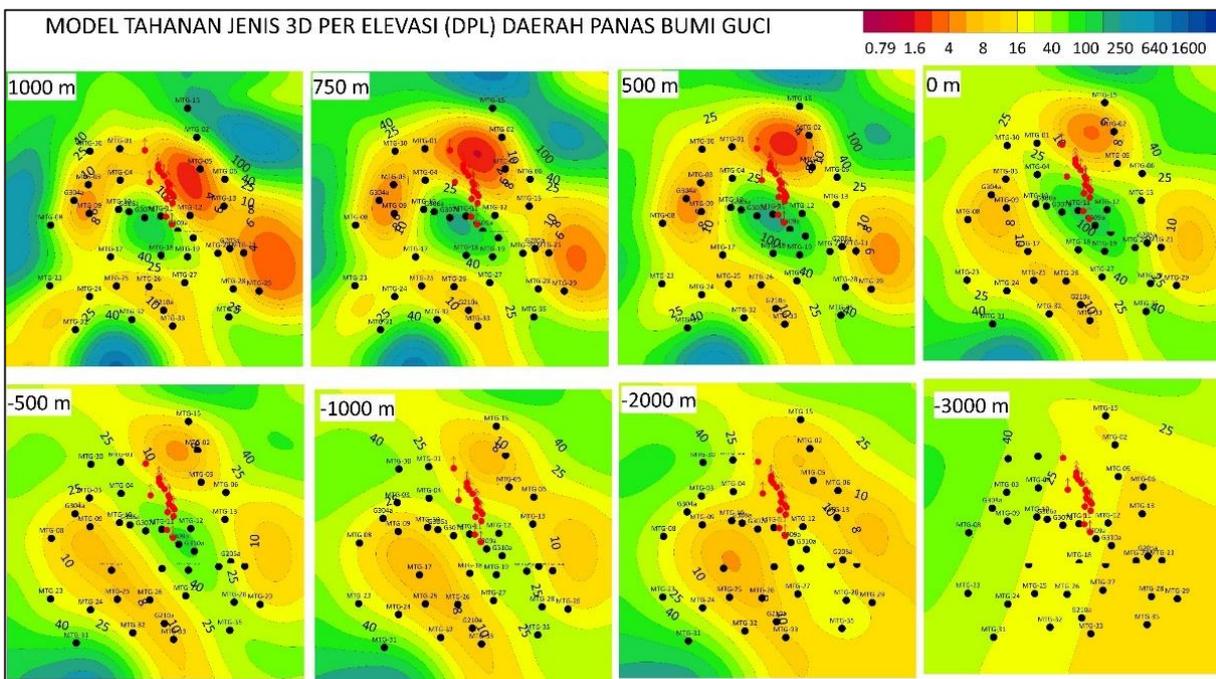
Keberadaan anomali tahanan jenis tinggi di area Mingkrik (tengah) dari pemodelan juga cukup tegas dan konsisten. Anomali ini termodelkan mulai dari kedalaman dangkal menerus terus dengan nilai tahanan jenis batuan yg juga semakin tinggi. Anomali ini mulai membentuk dan menyatu pada kedalaman sekitar 1000 meter dengan pola yang memanjang berarah baratlaut-tenggara. Pola ini sebagai indikasi adanya pengaruh kontrol sesar geologi berarah baratlaut-tenggara.

Model Penampang Tahanan Jenis

Penampang P1 dan P2 berada di sisi utara dari kelompok manifestasi air panas Guci. Hasil kedua penampang memiliki memperlihatkan lapisan resistif (>25 Ohmm) di permukaan ujung lintasan dengan ketebalan sekitar 200-500 meter, kemudian lapisan konduktif <10 Ohmm yang termodelkan di bawahnya dan bagian tengah serta adanya bodi resistif yang terindikasi di bawah lapisan konduktif bagian tengah. Ketebalan lapisan konduktif ini bervariasi sekitar 500 sampai dengan 2000 meter dengan lapisan tertipisnya berada di bagian tengah.



Gambar 5. Kompilasi model tahanan jenis kedalaman



Gambar 6. Kompilasi model tahanan jenis per elevasi

Untuk Penampang P3 dan P4 polanya juga menyerupai penampang di utaranya. Pola lapisan konduktif di bagian tengah yang termodelkan pada

penampang P1 dan P2, termodelkan kembali di penampang P3 dan P4 tetapi dengan posisi lebih ke timurlaut atau ujung lintasan. Lapisan konduktif ini

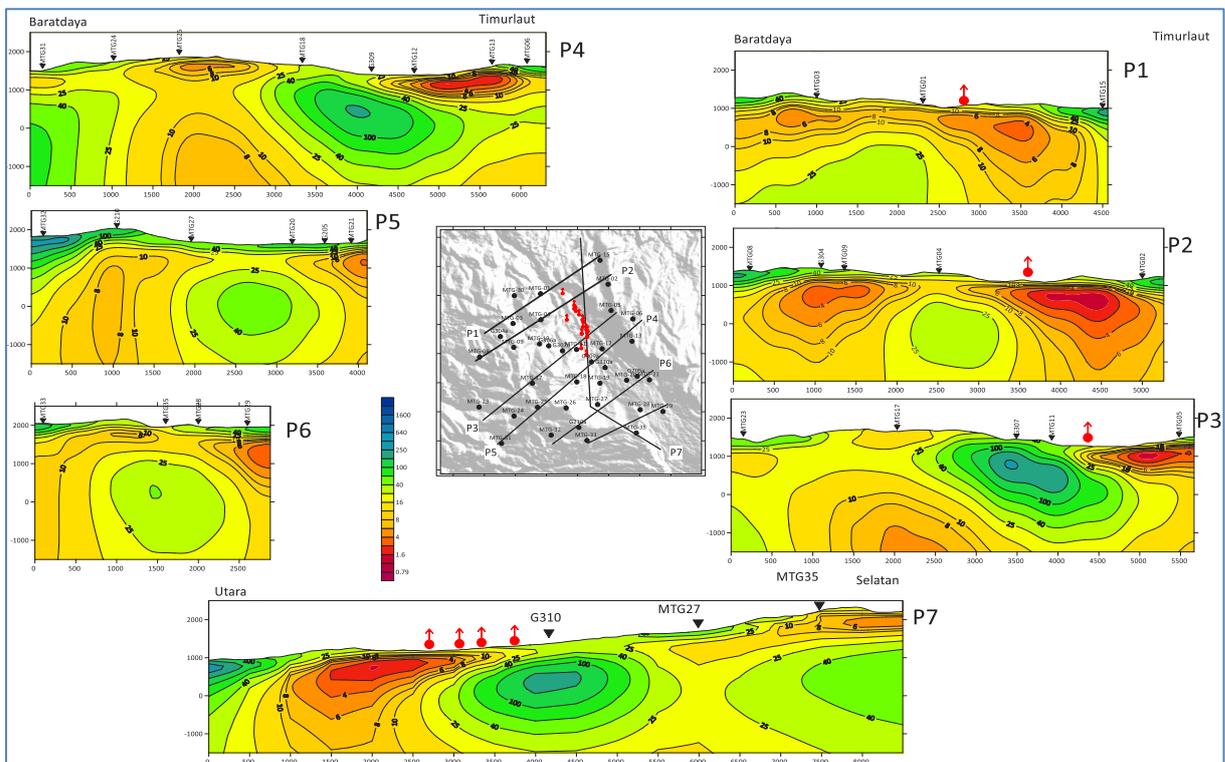
memiliki nilai tahanan jenis batuan <8 Ohmm dan berkelurusan dengan topografi lembahan yang terbentuk dan juga zona munculnya manifestasi air panas.

Keberadaan tubuh lapisan resistif di dua penampang ini juga cukup tegas dengan nilai yang juga lebih tinggi (> 100 Ohmm) dan muncul mulai dari permukaan. Sedangkan lapisan batuan konduktif di sisi timurlaut memiliki ketebalan sekitar 600-800 meter.

Lintasan Pemodelan P5 dan P6 berada paling selatan mendekati area puncak Gunung Slamet. Hasil pemodelan tahanan jenis batuan di lintasan ini masih menunjukkan keberadaan tubuh batuan bertahanan jenis resistif di bagian tengah (25-100 Ohmm). Tubuh ini dikelilingi tahanan jenis batuan konduktif bernilai

sekitar 8-10 Ohmm dan <8 Ohmm di ujung lintasan timurlautnya. Sedangkan lapisan permukaannya termodelkan lapisan resistif dengan ketebalan sekitar 100 -200 meter dan nilai tahanan jenis 25-100 Ohmm.

Penampang P7 lebih mencerminkan pola yang tergambar di penampang sebelumnya. Dari sisi selatan termodelkan lapisan konduktif 8-10 Ohmm yang membuka dari arah puncak G. Slamet melidah ke utara dengan ketebalan sekitar 600-800 meter yang kemudian di susul lapisan resistif di bawahnya. Tubuh batuan resistif termodelkan di bagian tengah dan menerus ke dalam. Area sekitar manifestasi termodelkan dengan nilai sangat konduktif < 6 Ohmm dan semakin tebal ke arah utara. Sedangkan sisi paling utara kembali termodelkan lapisan resistif.



Gambar 7. Kompilasi penampang model tahanan

DISKUSI

Sistem Panas Bumi

Komponen sistem panas bumi seperti lapisan penudung dan reservoir diinterpretasikan dengan menganalisa pola nilai tahanan jenis. Lapisan penudung sebagai lapisan yang berperan mencegah fluida panas muncul ke permukaan diinterpretasikan dari nilai tahanan jenis rendah atau bersifat konduktif dan tidak meloloskan air. Sedangkan zona lapisan batuan di bawah lapisan penudung diinterpretasikan sebagai lapisan reservoir yang umum bernilai tahanan jenis moderat atau medium.

Hasil pemodelan di daerah Guci, lapisan konduktif termodelkan secara signifikan di lereng utara dan lereng baratlaut dari Puncak Gunung Slamet. Selain lapisan konduktif termodelkan secara jelas struktur tahanan jenis bernilai medium sampai dengan tinggi dengan pola kontur yang tertutup (closure) yang konsisten mulai dari permukaan. Pola struktur tahanan jenis yang termodelkan ini seperti pola ideal dalam suatu sistem panas bumi umumnya yaitu lapisan konduktif didefinisikan sebagai lapisan batuan yang mengalami alterasi dan lapisan batuan bertahanan jenis medium-tinggi sebagai batuan pembawa panas atau penyimpan panas.

Pola struktur tahanan jenis di Daerah ini memiliki keunikan dibandingkan struktur tahanan jenis pada umumnya di

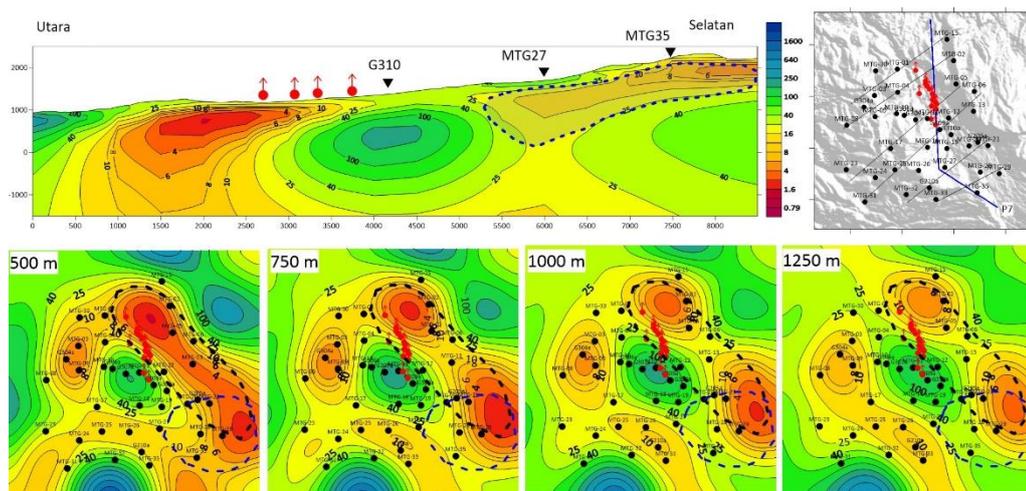
daerah vulkanik Kuarter. Keunikan ini diindikasikan awal dari bentuk kurva - kurva tahanan jenis yang diperoleh. Kurva tahanan jenis di daerah ini memiliki rentang pita nilai rendah yang cukup panjang dan tren naik pada frekuensi rendah (dibawah 0,01 Hz). Hal unik lain adalah bentuk kurva tahanan jenis tinggi yang berbentuk datar bukan cekung seperti umumnya, Kurva kurva di atas terobservasi di area graben Guci dan lereng baratlaut untuk rentang pita yang lebar (MTG-21, MTG-27, MTG-29 dan MTG-35), dan area perbukitan Mingkrik untuk kurva datar bernilai resistif ((MTG-18, MTG-19). Kurva-kurva ideal atau umum pada sistem panas bumi terobservasi hanya berada di selatan area Mingkrik ke arah puncak G. Slamet.

Berdasarkan hasil pemodelan baik secara vertikal dan lateral dan juga analisa kurva MT diduga sistem panas bumi di daerah Guci terbentuk di area sisi utara dari Puncak Gunung Slamet (Gambar 8). Tahanan jenis rendah yang termodelkan di sebagian besar area penyelidikan dan berkorelasi dengan fluida panas diperkirakan hanya terkonsentrasi di graben area Guci dengan nilai <10 Ohmm. Sedangkan tahanan jenis rendah di area lainnya diduga berkaitan erat dengan pencampuran fluida panas outflow dan air meteorik permukaan di daerah ini yang memang berlimpah dan mungkin zona limpasan.

Keprospekan Panas Bumi

Delineasi zona prospek panas bumi ditarik dengan mempertimbangkan pola sebaran lapisan konduktif, gradasi kontur, susunan batuan dan struktur dari informasi geologi dan interpretasi zona reservoir. Zona prospek di daerah Guci berdasarkan hasil yang diperoleh dan informasi kebumian lainnya masih memiliki ambiguitas yang cukup tinggi. Anomali-anomali tahanan jenis rendah yang termodelkan tidak didukung oleh informasi geosain lain untuk diinterpretasikan sebagai lapisan konduktif yang berkorelasi dengan lapisan batuan terubahkan. Area bertahanan jenis tinggi di bagian tengah (Mingkrik) walaupun secara dari bentuk sebaran dan pemodelan begitu ideal, tetapi hasil analisa kurva juga tidak mencerminkan suatu struktur batuan sumber panas dan ataua pembawa panas (area Mingkrik).

Berdasarkan analisa mulai dari kurva yang diperoleh dan hasil pemodelan tahanan jenis baik secara lateral dan vertikal kemungkinan area keprospekan panas bumi Guci terbentuk di bagian utara dari puncak Gunung Slamet. Gambar 4.5 memperlihatkan area-area yang diduga atau berindikasi sebagai zona prospek panas bumi Guci. Area yang diberikan garis hitam putus-putus diperkirakan merupakan lapisan bertahanan jenis rendah yang berkorelasi dengan fluida panas. Lapisan batuan bertahanan jenis rendah tersebut berada di zona depresi dan atau graben Guci. Sedangkan zona prospek panas bumi diperkirakan terbentuk hanya disekitar area utara sampai dengan perbukitan Mingkrik (garis putus-putus biru). Untuk yang di zona graben diperkirakan pengaruh kuat air meteorik lebih dominan.



Gambar 8. Interpretasi sistem panas bumi dan keprospekan berdasarkan sebaran lateral dan penampang model tahanan jenis

Kajian keprospekan di daerah Guci masih harus diintegrasikan dengan data geosain lainnya. Zona prospek panas bumi yang dilakukan dengan area pengukuran MT saat ini masih belum menggambarkan sistem panas bumi secara utuh. Area Mingkrik yang diawal diduga merupakan zona struktur batuan yang membentuk sistem panas bumi memperlihatkan kurva data dan pemodelan tahanan jenis yang tidak mencerminkan tubuh batuan pembawa panas. Model-model tahanan jenis yang dihasilkan juga memiliki ambiguitas tinggi jika diinterpretasikan sebagai lapisan penudung. Berdasarkan hasil penampang tahanan jenis dan analisa data MT, struktur tahanan jenis rendah yang berkorelasi sistem hanya berada di area utara dari puncak Gunung Slamet sampai dengan batas tepi Bukit Mingkrik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penyelidikan dan analisis dapat disimpulkan bahwa di daerah panas bumi Guci Terindikasi lapisan batuan konduktif bernilai <10 Ohmm sampai dengan <4 Ohmm yang

diperkirakan sebagai lapisan batuan penudung / *cap rock* dan atau lapisan batuan sedimen Tua tersebar hampir di seluruh area survey.

Lapisan batuan bertahanan jenis rendah yang berkorelasi dengan sistem panas bumi diperkirakan yang berada di area zona depresi Guci dengan ketebalan lapisan penudung ini bervariasi sekitar 800-1250 meter. Terindikasi adanya struktur batuan bertahanan jenis tinggi yang konsisten mulai dari permukaan di bagian tengah yaitu di Bukit Mingkrik.

Zona reservoir diperkirakan berada di bawah lapisan penudung atau *caprock* dengan nilai tahanan jenis sekitar > 25 Ohmm yang diperkirakan berada di lereng utara Gunung Slamet sampai dengan tepi Bukit Mingkrik pada kedalaman sekitar 900-1300 meter

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim penulis berikan kepada para staf Pusat Sumber Mineral Batubara dan Panas Bumi, Kelompok Kerja Panas Bumi yang telah memberikan masukan dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2022, Laporan Survei Rinci Geologi Daerah Panas Bumi Guci Kabupaten Tegal, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- Cagniard, L. (1953). Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics* 18: 605–645.

- Cumming, & Mackie, R., 2010. Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D and 3D MT Inversion and TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History, Proceeding World Geothermal Congress, 2010.
- Daud, Yunus. 2010, Diktat kuliah: Metode Magnetotelluric (MT), Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Grandis, H., dkk., 1999, Citra Tahanan Jenis Daerah Vulkanik Bandung Selatan Berdasarkan Data Magnetotellurik Frekuensi Audio (AMT)., Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-25, Bandung 3 - 4 Oktober 2000
- Gang Yu, 2008, Exploring for geothermal reservoirs using broadband 2-D MT and gravity survey in Hungary, 19th IAGA WG 1.2 Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth Beijing, China, October 23-29, 2008.
- Heditama, 2012, 3-D Inversion of MT Data Using MT3Dinv-X Software, Proceeding The 12th Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Conference, Bandung.
- Jones, A. G., A. D. Chave, G. Egbert, D. Auld, and K. Bahr, 1989: A comparison of techniques for magnetotelluric response function estimation. *J. Geophys. Res.*, 94, 14201-14213, doi: 10.1029/jb094ib10p14201.
- Siripunvaraporn, W., G. Egbert, Y. Lenbury, and M. Uyeshima, 2005a: Three-dimensional magnetotelluric inversion: Data-space method. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 3D Resisvity Structure in the Chingshui Geothermal Area 281 150, 3-14, doi: 10.1016/j.pepi.2004.08.023.
- Siripunvaraporn, Weerachai. (2012). Three-Dimensional Magnetotelluric Inversion: An Introductory Guide for Developers and Users. *Surv Geophys* (2012) 33:5-27
- Suharmanto, Puji, Fahmi F, Daud Y, Zarkasyi A, Sugianto A, Suhanto E, 2015, Delineation of Geothermal System at Prospect Area 'P' by Using Multi-Dimensional Modeling of Magnetotelluric Data Integrated Geological and Geochemistry Data, Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition.
- Vozoff, K., 1991, The Magnetotelluric Method, Chapter 8, Electromagnetic method in applied geophysics-Applications part A and part B, edit by Corbett, J.D., published by Society of Exploration Geophysicists, p.641-711.
- Zhdanov, M.S., 2002. Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems. Amsterdam: Elsevier. Zhdanov, M.S., 2009. Geophysical Electromagnetic Theory and Methods. Amsterdam: Elsevier

SUIRVEI GEOLOGI DAERAH PANAS BUMI BANDA BARU, KABUPATEN MALUKU TENGAH, PROVINSI MALUKU

Santia Ardi Mustofa, Sukaesih, dan Widya Asoka Suleman

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah Panas Bumi Banda Baru yang berlokasi di Pulau Seram, Kabupaten Maluku Tengah, Maluku, merupakan sistem panas bumi non-vulkanik. Keberadaan sistem panas bumi di Banda Baru ditandai dengan kemunculan manifestasi berupa mata air panas dengan temperatur antara 35,5 s.d. 63,1 °C. Daerah panas bumi Banda Baru terletak pada sistem flat terrain dengan batuan tertua yang ditemukan adalah Satuan Metamorf yang berumur Perem s.d. Trias. Satuan Granit merupakan satuan yang lebih muda dengan periode pembentukan pada kisaran umur Karbon Atas s.d. Triasik Atas. Satuan Konglomerat, merupakan satuan yang lebih muda yang berumur Kuartar dan terbentuk pada lingkungan darat. Satuan paling muda adalah Aluvial yang pembentukannya masih berlangsung hingga saat ini. Struktur di daerah Banda Baru memiliki arah umum baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Struktur geologi yang ditemukan umumnya berupa sesar geser dan sesar normal.

Sistem panas bumi di daerah Banda Baru sangat dipengaruhi oleh tektonik aktif. Sumber panas sistem panas bumi Banda Baru diperkirakan berupa panas yang dihasilkan oleh suatu aktivitas tektonik. Reservoir panas bumi berupa batuan metamorf dengan rekahan yang intensif.

Kata kunci: Banda Baru, Seram, Non-Vulkanik, Metamorf

PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Australia, dan Lempeng Pasifik. Hal tersebut membuat memiliki sumber daya panas bumi yang melimpah. Hingga tahun 2022, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) mencatat bahwa Indonesia memiliki sumber daya panas bumi sebesar

23.060,4 MW yang tersebar ke dalam 361 daerah panas bumi, salah satunya adalah daerah panas bumi Banda Baru.

Secara administratif, daerah penyelidikan termasuk dalam beberapa wilayah desa di sekitar Pemerintah Negeri Banda Baru, Kecamatan Amahai, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Secara astronomis, daerah panas bumi Banda Baru terletak pada koordinat

128°59'11" s.d. 129°10'00" BT dan 3°18'8" s.d. 3°10'00" LS atau 498.500 s.d. 518.500 mT dan 9.635.000 s.d. 9.650.000 mU dengan luas sekitar 10 km x 10 km pada zona UTM 52 S. Secara tata guna lahan, menurut klasifikasi tata guna lahan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, daerah panas bumi Banda Baru dibagi menjadi lima (5) kawasan peruntukan, yaitu Hutan Lindung, Hutan Produksi Khusus, Hutan Produksi Terbatas, Taman Nasional, dan Areal Penggunaan Lain. Daerah Panas Banda Baru daerah prospeknya berada di area Hutan Produksi Khusus.

METODE

Metodologi dalam survei ini dibagi menjadi tahapan studi literatur, survei lapangan, analisis laboratorium, dan pengolahan data untuk mendapatkan model konseptual sistem panas bumi. Metode yang dipakai terdiri dari analisis kelurusan, analisis struktur, pemetaan geologi, dan XRF.

Prinsip yang digunakan dalam pembuatan peta densitas kelurusan dengan metode *Fault and Fracture Density* (FFD), yaitu mengasumsikan kelurusan sebagai sesar dan rekahan merupakan bidang lemah untuk jalur pergerakan fluida panas. Data yang digunakan dalam pembuatan analisis densitas kelurusan berupa data DEMNAS yang diproduksi oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) yang memiliki resolusi hingga 8 m, untuk

kemudian diekstrak menjadi *hillshade*. Setiap kelurusan yang terdapat dalam tiap *grid* dihitung jumlah kelurusan yang selanjutnya akan diinterpolasikan dengan *grid* lainnya, sehingga didapat suatu peta densitas kelurusan untuk menerjemahkan arah dan pola dari kelurusan di daerah panas bumi Banda Baru.

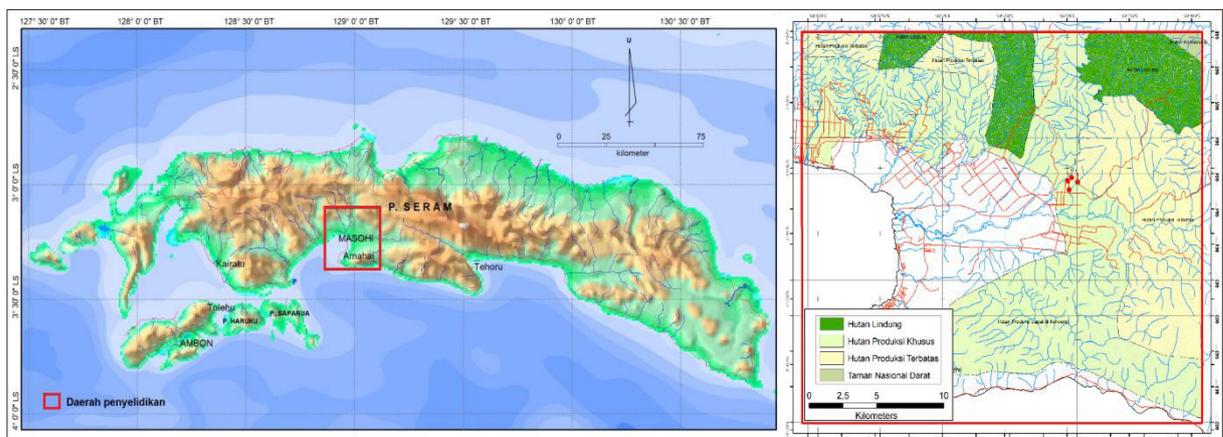
Analisis distribusi suhu permukaan / *Land Surface Temperature* (LST) merupakan salah satu pengolahan citra LANDSAT-8 OLI yang memanfaatkan saluran (*band*)-10 dengan dengan panjang gelombang 10,60 – 11,19 dan saluran-11 dengan panjang gelombang 11,50 – 12,51 yang memiliki rentang *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Secara umum, pengolahan citra LST dapat dilakukan dengan algoritma *split window*, *dual angle*, atau *single channel*. Variabel yang dipakai dalam pemrosesan citra LST adalah radian spektral yang diperoleh dari saluran-10 dan saluran-11 serta nilai emisivitas objek permukaan pada citra yang diperoleh dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Citra LST akan dipengaruhi oleh keberadaan awan, ketebalan vegetasi, dan waktu akuisisi citra.

Geomorfologi adalah ilmu yang mempelajari tentang kenampakan atau rona muka bumi beserta proses-proses yang menyebabkannya. Pembagian satuan geomorfologi daerah penelitian, dilakukan berdasarkan hasil studi dari klasifikasi geomorfologi yang dilakukan oleh Van Zuidam (1985). Dalam hal

interpretasi geomorfologi, penulis menggunakan 3 aspek pendekatan, yaitu morfometri, morfografi, dan morfogenetik.

Morfometri merupakan nilai aspek geomorfologi daerah, seperti kemiringan lereng, titik ketinggian, panjang relief, dan kekerasan relief. Van Zuidam (1985) telah membagi kelas relief berdasarkan kelerengan dan perbedaan ketinggian. Morfografi merupakan aspek yang digambarkan dari morfologi suatu daerah, seperti dataran, perbukitan atau pegunungan, gunung api, bentuk lembah, bentuk lereng, pola punggung, serta pola aliran. Sedangkan morfogenetik merupakan asal usul atau proses terjadinya

bentuk lahan, yaitu endogen dan eksogen. Simbol warna digunakan untuk aspek geomorfologi yang jelas dan memiliki arti penting di dalam peta tersebut, seperti aspek morfogenetik di dalam pemetaan geomorfologi, sehingga aspek tersebut disimbolkan dengan warna. Proses endogen dan eksogen masa lalu dan sekarang merupakan faktor-faktor perkembangan yang paling menonjol dari suatu bentangalam, sehingga harus digambarkan dengan jelas dan digunakan simbol warna. Warna-warna tertentu yang direkomendasikan untuk dijadikan simbol satuan geomorfologi berdasarkan aspek genetik adalah sebagai berikut Tabel 1.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Tata Guna Lahan Daerah Panas Bumi Banda Baru

Tabel 1. Hubungan kelas relief, kemiringan lereng dan perbedaan ketinggian

Klasifikasi	Kemiringan		Beda Tinggi (m)	Warna
	Persen (%)	Derajat (°)		
Datar	0-2	0-2	< 5m	Hijau
Agak Landai	2-7	2-4	5 s.d. 25 m	Hijau Muda
Landai	7-15	4-8	25 s.d. 75 m	Kuning
Agal Curam	15-30	8-16	75 s.d. 200 m	Jingga
Curam	30-70	16-35	200 s.d. 500 m	Merah Muda
Terjal	70-140	35-55	500 s.d. 1000 m	Merah
Sangat Terjal	>140	>55	> 1000 m	Ungu

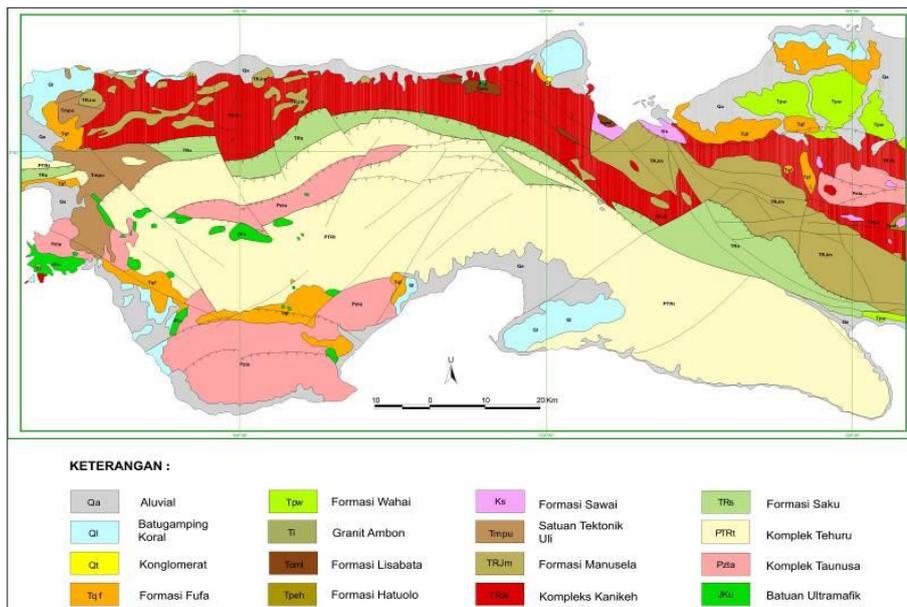
GEOLOGI REGIONAL

Dari peta Geologi Lembar Ambon dan Masohi, Maluku yang ditulis oleh S.Tjokrosapoetra,dkk. (1993), Pulau Seram, Pulau Boano, Pulau Kelang, dan Pulau Manipa terletak dalam Busur Banda Luar, sedangkan Pulau Ambon dan Pulau Haruku termasuk Busur Banda Dalam dan termasuk ke dalam Orogen Maluku. Pulau Seram dimasukkan ke dalam lajur imbrikasi Neogen (Audley-Charles drr, 1981). Batuan yang ada di daerah penyelidikan terdiri dari batuan non gunung api yang berumur Perem (Paleozoikum) sampai Holosen (Gambar 2). Urutan stratigrafi Pulau Seram dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

Batuan Ultramafik (Jku) terdiri dari harsburgit, dunit, serpentinit dan sedikit gabro. Harsburgit berwarna kelabu kehitaman, kompak, faneritik, holokristalin,

hipidiomorfik granular disusun oleh olivin, piroksen, plagioklas dan bijih. Dunit berwarna hijau daun sampai hijau kecoklatan, kompak holokristalin, fanerik, hipidiomorfik, granular. Terdiri dari olivin, antigorit, serpopit, krisolit di beberapa tempat terserpentinkan. Serpentinit berwarna kelabu kehijauan sampai kehitaman, kompak, holokristalin, alotriomorfik granular. Tersusun dari serpentinit, olivin dan magnetit. Gabro berwarna kelabu kehitaman, kompak, faneritik, hipidiomorfik granular. Terdiri dari mineral olivin, piroksen, plagioklas, serpentinit dan mineral ikutan.

Komplek Taunusa (Pzta) terdiri dari sekis, kuarsit, genes, amfibolit, pualam dan filit. Derajat batuan malihan ini mulai dari derajat sekis hijau bagian bawah sampai derajat granulit dan derajat amfibolit.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah panas bumi Banda Baru (Modifikasi S. Tjokrosapoetra, dkk., 1993)

Komplek Tehuru (PTrt) terdiri dari filit, batusabak, batugamping terpualamkan dan sedikit sekis.

Komplek Saku (Trs) terdiri dari Batusabak, grewake meta dan konglomerat meta dengan sisipan gamping.

Formasi Kanikeh (TrJk) terdiri dari perselingan batupasir, serpih dan lanau, dengan sisipan konglomerat dan batugamping. Batupasir umumnya terdiri dari arkosa dan grewake, mengandung sedikit mika, berbutir halus-sedang, terpilah sedang-buruk, menyudut tanggung. Diduga berasal dari batuan malihan Saku dan Tehoru.

Formasi Manusela (TrJm) terdiri dari batugamping mengandung koral, kalsilutit, dan batugamping oolit.

Komplek Uli (Tmpu) disusun oleh berbagai jenis batuan berukuran dari beberapa centimeter tercampur di dalam massadasar lempung. Bongkahan tersebut terdiri dari batupasir, batugamping, rijang merah, amfibolit, sekis, filit, gabro, diabas dan batuan granitan. Bongkahan tersebut termampatkan dan tercampur secara tektonik dengan massa dasar lempungan berwarna kelabu, kemerahan sampai kehijauan.

Formasi Sawai (KS) terdiri dari kalsilutit, serpih merah dan rijang mengandung radiolaria.

Formasi Hatuolo (Tpeh) terdiri dari serpih pasiran, napal, dan rijang.

HASIL PENYELIDIKAN DAN ANALISIS

Penginderaan Jauh

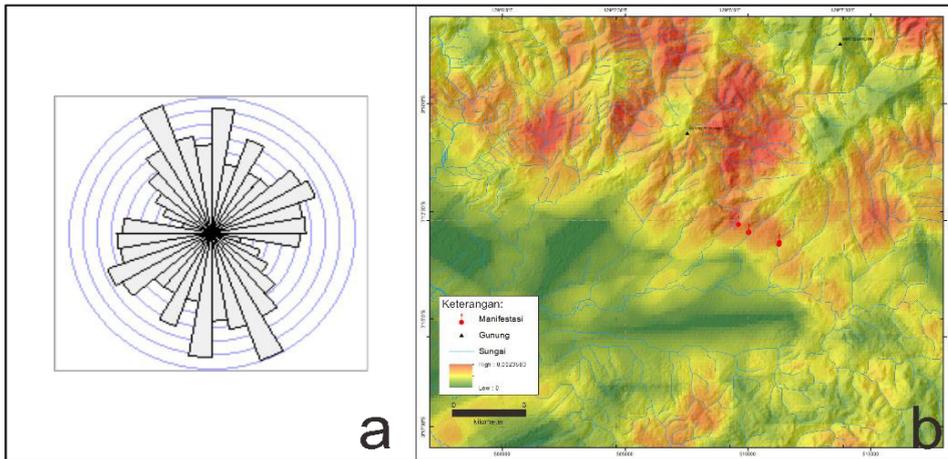
Dalam melakukan analisis kelurusan, perlu dilakukan metode analisis kerapatan struktur (*Fracture Fault Density*) agar dapat diketahui suatu anomali berdasarkan banyaknya kecenderungan kelurusan di suatu wilayah. Anomali ini memberikan gambaran struktur geologi yang paling intensif untuk daerah tersebut.

Berdasarkan analisis kelurusan di daerah Banda Baru, arah umum kelurusan yang ditunjukkan oleh diagram bunga menunjukkan orientasi kelurusan secara umum berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan (Gambar 3 a.). Sedangkan analisis FFD (Gambar 3 b.) menunjukkan bahwa adanya kecenderungan densitas tinggi dengan arah barat daya–timur laut. Berdasarkan analisis FFD lokasi mata air panas di daerah panas bumi Banda Baru berada pada nilai anomali densitas tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah pada peta. Anomali tinggi pada analisis FFD diharapkan merupakan suatu zona permeabel yang mengontrol sistem panas bumi di daerah Banda Baru.

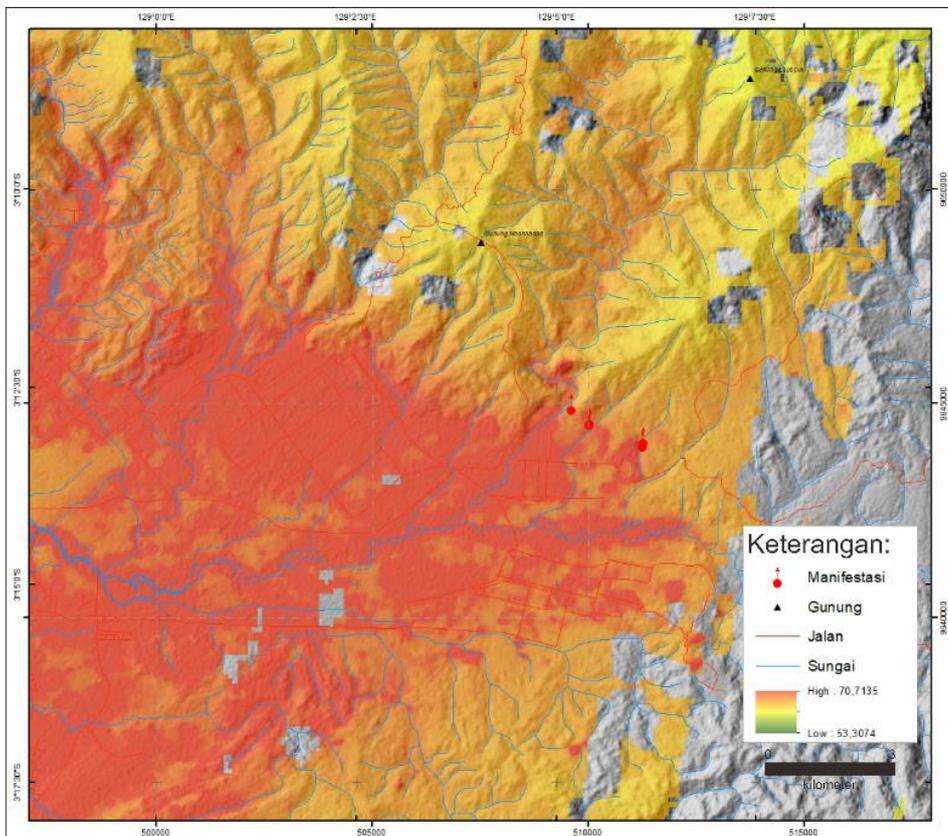
Hasil analisis distribusi suhu permukaan atau dikenal juga dengan *Land Surface Temperature* (LST) yang terdapat di daerah Banda Baru dengan menggunakan LANDSAT-8 OLI dengan akuisisi data pada tanggal 31 Desember 2019, memperlihatkan adanya kisaran temperatur antara 53-70°C. Di area survei, mata air panas berada di anomali panas

tinggi (Gambar 4). Anomali panas tinggi umumnya tersebar di daerah tengah yang berupa daerah pemukiman dan daerah aluvial yang memungkinkan menyerap dan memantulkan panas matahari dengan

sangat baik dibandingkan dengan daerah dengan tutupan vegetasi yang lebih lebat. Anomali panas tinggi di daerah manifestasi bisa jadi berasal dari aktivitas panas bumi di sekitar manifestasi



Gambar 3 a. Diagram bunga kelurusan di daerah Banda Baru
b. Peta Densitas Kelurusan Daerah Panas Bumi Banda Baru



Gambar 4. Peta Distribusi Suhu Permukaan Daerah Panas Bumi Banda Baru

Geomorfologi

Daerah penyelidikan yang berada di daerah survei diklasifikasikan menjadi 2 satuan geomorfologi secara umum berdasarkan Van Zuidam, 1983, yaitu:

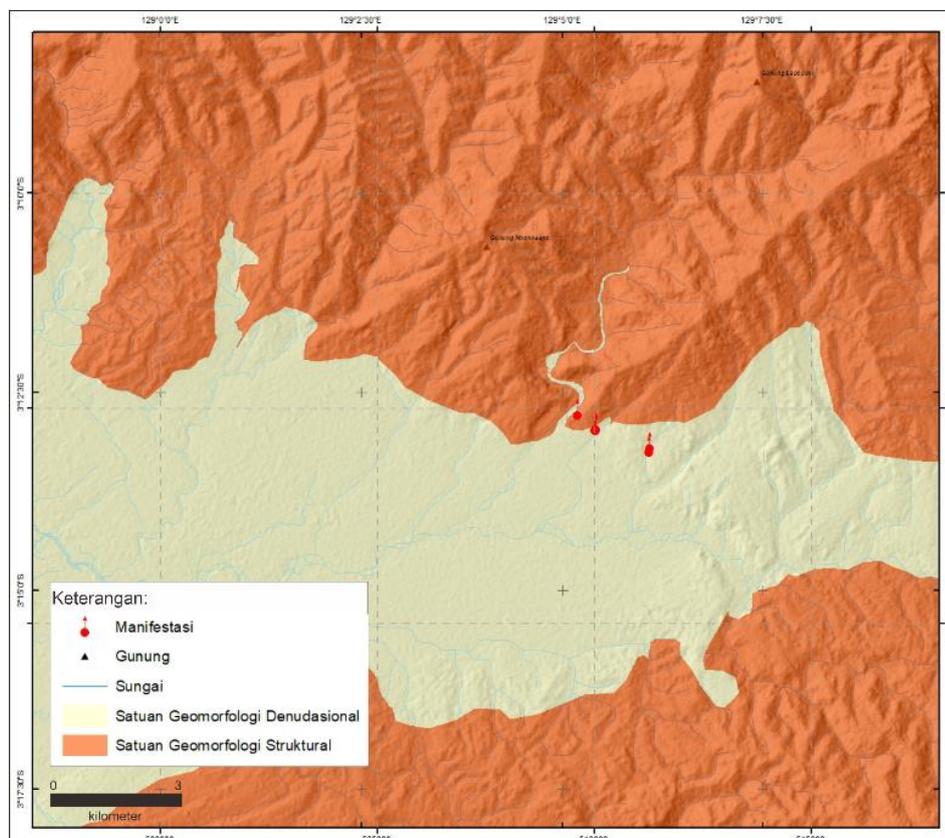
Satuan Geomorfologi Struktural meliputi 67% daerah survei dengan litologi Andesit, batuan metamorfik dan konglomerat. Terdiri atas Perbukitan Agak Landai, Perbukitan Landai, Perbukitan Agak Curam dan Perbukitan Curam. Satuan ini umumnya menempati di bagian utara daerah survei dengan struktur geologi yang sangat intensif.

Satuan Geomorfologi Denudasional

meliputi 33% daerah survei yang disusun oleh aluvial dan konglomerat. Terdiri atas Dataran Rendah Datar, Dataran Rendah Pedalaman Agak Landai, Dataran Rendah Pedalaman Landai, Dataran Rendah Agak Curam, Perbukitan Rendah Curam. Satuan ini umumnya menempati bagian tengah ke selatan daerah survei dengan proses erosi dan pengendapan yang lebih dominan.

Stratigrafi

Secara litologi, daerah panas bumi Banda Baru tersusun atas empat satuan tidak resmi, dari tua ke muda adalah Satuan Metamorf, Satuan Granit, Satuan Konglomerat dan Aluvial.



Gambar 1. Peta Geomorfologi Daerah Panas Bumi Banda Baru

Satuan Metamorf tersusun atas gneis, sekis dan filit yang ditandai dengan warna ungu di peta geologi. Satuan ini menempati bagian utara daerah survei memanjang dari barat hingga timur. Satuan ini tersusun atas gneis, berwarna abu-abu kehitaman dengan sisipan warna putih, mengkilap, berfoliasi gneisik. Sekis berwarna segar abu-abu mengkilap, bentuk mineral lepidoblastik, tersusun atas kuarsa, mika, dan terlihat jelas struktur foliasinya. Filit berwarna segar kehitaman, bentuk mineral lepidoblastik, tersusun oleh mineral mika, foliasi dan setempat menyerpih. Satuan Sekis mengalami deformasi yang kuat ditandai dengan ditemukannya bukti pensesaran yaitu cermin sesar (*slicken side*) dan kekar gerus (*shear fracture*). Satuan ini diselaraskan dengan Batuan malihan berderajat rendah dalam Peta Geologi Indonesia, Lembar Ambon (Ratman dan Atmawinata, 1994) yang berumur Perem s.d. Trias.

Satuan Granit yang tersusun atas batuan beku yang berkomposisi granitik yang ditandai dengan warna merah pada peta. Satuan ini terdistribusi setempat di bagian selatan Gunung Noonaanno. Granit berwarna segar abu-abu, fanerik, dengan mineral penyusun hornblenda, plagioklas, K-Felspar, dan kuarsa. Satuan granit sudah mengalami deformasi yang intensif ditandai dengan adanya kekar gerus pada singkapannya. Berdasarkan Kurniawan

(2014), granit di Pulau Seram berumur Karbon Atas s.d. Triassik Atas.

Satuan Konglomerat yang tersusun atas konglomerat dan batulempung. Ditunjukkan dengan warna coklat di peta. Satuan Konglomerat menempati bagian tengah daerah survei memanjang dari barat-timur dan di sebelah tenggara dicirikan dengan kontur landai. Konglomerat berwarna segar kecoklatan, ukuran butir kerikil s.d. kerakal, bentuk butir membundar, kemas terbuka, pemilahan buruk, fragmen polimik tersusun atas batuan metamorf, batupasir. Tidak terlihat struktur sedimen. Satuan ini diduga terbentuk pada umur Kuartar dengan lingkungan pengendapan darat.

Aluvium yang terdiri dari aluvial yang ditunjukkan dengan warna abu-abu di peta. Satuan ini menempati bagian tengah hingga selatan daerah survei. Satuan ini terdiri dari material lepas-lepas polimik yang terdiri dari sekis, andesit, batupasir, kuarsa dengan ukuran kerikil s.d. bongkah. Pembentukan satuan ini masih berlangsung saat survei dilakukan.

Urutan Stratigrafi daerah panas bumi Banda Baru terangkum dalam Gambar 6. Sedangkan hasil tumpang susun stratigrafi dan struktur geologi disajikan dalam Peta Geologi Tentatif Daerah Panas Bumi Banda Baru (Gambar 10).

KOLOM STRATIGRAFI				
UMUR	BATUAN METAMORF	BATUAN BEKU	BATUAN SEDIMEN	ENDAPAN PERMUKAAN
KUARTER			Qko	Qal
TERSIER				
KAPUR	Ks	Kg		

Gambar 6. Kolom Stratigrafi Daerah Panas Bumi Banda Baru

Manifestasi Panas Bumi

Daerah panas bumi Banda Baru memiliki manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas yang tersebar di Negeri Banda Baru dan Kelurahan Hollo. Di Negeri Banda Baru sedikitnya memiliki dua lokasi mata air panas dengan temperatur 53 s.d 63°C. Lokasi pertama berada di bagian tengah daerah survei sedikitnya memiliki 6 mata air panas dengan temperatur dan debit yang bervariasi, yaitu mata air panas Banda Baru-1, Banda Baru-2, hingga mata air panas Banda Baru-6. Aliran air panasnya membentuk endapan sinter karbonat atau endapan travertin yang cukup luas mencapai dimensi 27 x 11 meter dengan ketebalan travertin yang bervariasi antara 1 s.d. 60 cm. Mata air panas Banda Baru 7 berada 600 meter di sebelah barat lokasi pertama. Di lokasi mata air panas Banda Baru-7 terdapat beberapa mata air panas atau rembesan air panas dengan debit tidak lebih dari 0,1 liter/detik.

Terdapat dua mata air panas di Kelurahan Hollo, temperatur air paling

panas terukur sebesar 37°C, sehingga mata air panas Hollo termasuk kategori mata air hangat. Karakteristik fisik mata air panas di daerah panas bumi Banda Baru berdasarkan hasil observasi di lapangan tersaji dalam Tabel 2.

Struktur Geologi

Pulau Seram merupakan bagian dari Busur Banda dan berada pada zona tumbukan antara Lempeng Australia dan Blok Banda. Tataan tektonik inilah yang membuat Pulau Seram memiliki struktur geologi yang kompleks dan beberapa masih aktif hingga saat ini.

Struktur yang ditemukan dari observasi lapangan pada daerah survei relatif berarah baratlaut-tenggara, baratdaya-timurlaut, relatif utara-selatan dan barat-timur. Sesar-sesar yang ditemukan di daerah survei, sebagian berupa sesar mendatar. Namun demikian, dikarenakan keterbatasan bukti pergerakan bidang sesar di lapangan, sehingga masih terdapat ketidakpastian mengenai kinematika sesar di daerah

survei. Oleh karena itu, pengambilan data rekahan saat pemetaan lapangan dapat membantu untuk menganalisis kinematika sesar di daerah survei dengan mengacu pada tatanan tektonik yang terjadi saat ini.

Beberapa struktur sesar yang ditemukan dari observasi lapangan yaitu sebagai berikut:

Sesar Ruwata memiliki orientasi relatif barat-timur. Sesar ini diinterpretasikan melalui Sungai Ruwata. Sesar ini diidentifikasi dari kelurusan Sungai Ruwata yang berarah barat-timur.

Sesar Ruwata terpotong oleh sesar yang lebih muda yang berarah baratdaya-timurlaut. Sesar Ruwata mungkin adalah termasuk sesar yang terbentuk paling awal di daerah survei.

Sesar Nua Nea berada di bagian selatan daerah survei. Sesar ini memiliki orientasi barat-timur. Kehadiran sesar Nua Nea diidentifikasi berdasarkan kehadiran kekar gerus. Menurut analisis kinematika, Sesar Nua Nea adalah sesar mengangan normal dengan *hanging wall* berada di utara bidang sesar.

Tabel 1. Karakteristik fisik manifestasi di daerah panas bumi Banda Baru

No	Nama Manifestasi	X	Y	Elevasi (m)	T manifestasi (°C)	pH	Debit (l/s)
1	Air Panas Banda Baru-1 (APBB-1)	510024	9644643	137	59,3	6,7	0,5
2	Air Panas Banda Baru-2 (APBB-2)	510027	9644639	135	63,1	6,7	0,3
3	Air Panas Banda Baru-3 (APBB-3)	510039	9644646	138	60,2	6,6	0,4
4	Air Panas Banda Baru-4 (APBB-4)	510045	9644653	139	61,8	6,9	0,1
5	Air Panas Banda Baru-5 (APBB-5)	510036	9644646	138	59,6	6,6	0,2
6	Air Panas Banda Baru-6 (APBB-6)	510031	9644649	138	60,1	6,8	0,7
7	Air Panas Banda Baru-7 (APBB-7)	509609	9644979	90	58,1	7,4	0,07
8	Air Panas Hollo-1 (APHL-1)	511274	9644211	104	35,5	6,1	0,04
9	Air Panas Hollo-2 (APHL-2)	511273	9644123	107	37,1	6,4	0,1

Periode pembentukan sesar berikutnya memiliki arah relatif baratlaut-tenggara, seperti Sesar Sepa. **Sesar Sepa** berada di sebelah utara daerah survei. Sesar Sepa ini juga dipotong oleh sesar yang lebih muda yang berarah baratdaya-timurlaut. Sesar Sepa diidentifikasi berdasarkan kelurusan morfologi serta analisis kinematika kekar gerus pada stasiun BBD-33 yang menghasilkan pergerakan manganan normal dengan *hanging wall* berada di sebelah baratdaya bidang sesar.

Sesar Hollo 2 memiliki arah relatif baratlaut-tenggara. Sesar Hollo 2 diidentifikasi berdasarkan kelurusan yang terdapat di citra DEMNAS. Sesar Hollo 2 diperkirakan terbentuk pada periode yang sama dengan Sesar Sepa.

Sesar Noonnaano juga memiliki arah relatif baratlaut-tenggara. Sesar Noonnaano diinterpretasikan berdasarkan kelurusan morfologi DEMNAS dan juga kehadiran manifestasi panas bumi yang membentuk suatu kelurusan. Sesar Banda Baru merupakan sesar yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di daerah survei. Sesar ini diperkirakan sebagai sebuah sesar normal dengan *hanging wall* berada di sebelah selatan bidang sesar. Sesar Noonnaano dipotong oleh sesar yang lebih muda yang berarah baratdaya-timurlaut. Namun ada kemungkinan Sesar Noonnaano teraktifkan kembali oleh aktivitas tektonik yang cukup aktif di daerah survei.

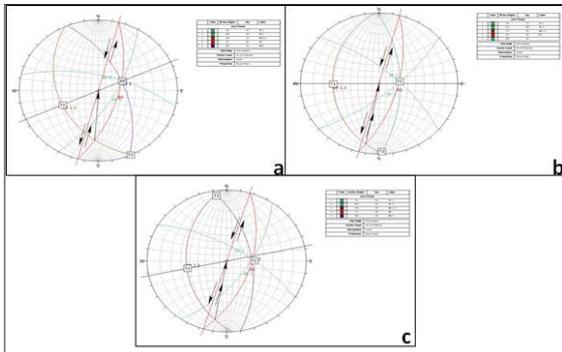
Periode sesar berikutnya memiliki orientasi baratdaya-timurlaut seperti Sesar Layeni. **Sesar Layeni** berada di sebelah barat daerah survei. Sesar ini diidentifikasi berdasarkan citra DEMNAS, kelurusan sungai, dan kehadiran kekar gerus. Berdasarkan analisis kinematika, Sesar Layeni merupakan sebuah sesar manganan normal dengan *hanging wall* berada di sebelah baratlaut bidang sesar.

Sesar Jerili melintasi Desa Jerili dengan orientasi baratdaya-timurlaut. Sesar Jerili diidentifikasi dari kelurusan sungai dan kekar gerus. Berdasarkan analisis kinematika, Sesar Jerili merupakan sesar manganan naik dengan *hanging wall* berada di baratlaut bidang sesar.

Sesar Noa merupakan sesar yang berarah baratdaya-timurlaut. Sesar ini diidentifikasi berdasarkan kelurusan Sungai Noa dan kekar gerus yang banyak ditemukan sepanjang tepi Sungai Noa. Sesar Noa juga merupakan struktur yang mengontrol kemunculan air panas Banda Baru-7. Sesar ini diduga masih aktif hingga saat ini. Berdasarkan analisis kinematika dari kedudukan kekar gerus di beberapa singkapan (Gambar 7), Sesar Noa merupakan sesar mengiri naik dengan *hanging wall* berada di sebelah timur bidang sesar.

Sesar Banda Baru memiliki orientasi baratdaya-timurlaut. Sesar Banda Baru diidentifikasi berdasarkan kelurusan pada citra DEMNAS dan munculnya mata air panas Banda Baru 1-6. Sesar Banda

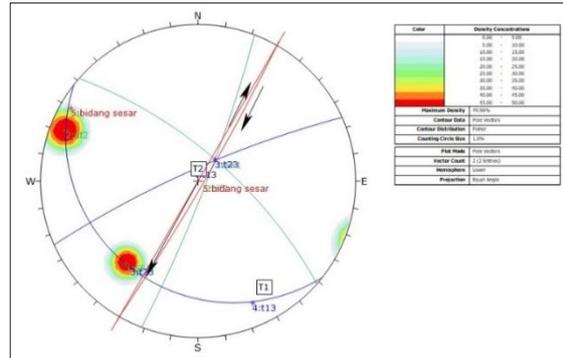
Baru merupakan sesar yang mengontrol keluarnya mata air panas Banda Baru 1-6.



Gambar 8. Analisis kinematika pada stasiun a. BBF-4 b. BBF-6 c. BBF-9

Sesar Banda Lama memiliki orientasi baratdaya-timurlaut. Sesar Banda Lama diidentifikasi berdasarkan kelurusan pada citra DEMNAS, kehadiran kekar gerus, dan munculnya mata air panas Hollo. Sesar Banda Lama merupakan sesar yang mengontrol keluarnya mata air panas Hollo. Berdasarkan analisis kinematika dari kedudukan kekar gerus (Gambar 8), Sesar Banda Lama merupakan sebuah sesar manganan turun dengan bidang sesar relatif tegak dengan *hanging wall* berada di sebelah timur bidang sesar.

Sesar Kali Udang melintasi Kali Udang dengan orientasi baratdaya-timurlaut. Sesar Kali Udang diidentifikasi dari kelurusan sungai dan kekar gerus. Berdasarkan analisis kinematika, Sesar Kali Udang merupakan sesar manganan naik dengan *hanging wall* berada di baratlaut bidang sesar.



Gambar 9. Analisis kinematika di mata air panas Hollo

Sesar Hollo melintasi Kelurahan Hollo di sebelah selatan daerah survei. Sesar Hollo memiliki orientasi baratdaya-timurlaut. Sesar ini diidentifikasi berdasarkan kelurusan yang teramati pada citra DEMNAS dan kehadiran kekar gerus. Analisis kinematika kedudukan kekar gerus, menunjukkan bahwa Sesar Hollo merupakan sesar manganan turun dengan *hanging wall* berada di sebelah baratlaut bidang sesar.

Sesar TNS merupakan sesar yang memotong Sesar Noonnaano, Sesar Sepa dan Sesar Noa. Sesar ini dapat diidentifikasi dari kelurusan citra DEMNAS dan kekar gerus. Berdasarkan analisis kinematika kedudukan kekar gerus, Sesar TNS adalah sebuah sesar manganan turun dengan *hanging wall* berada di sebelah baratlaut bidang sesar.

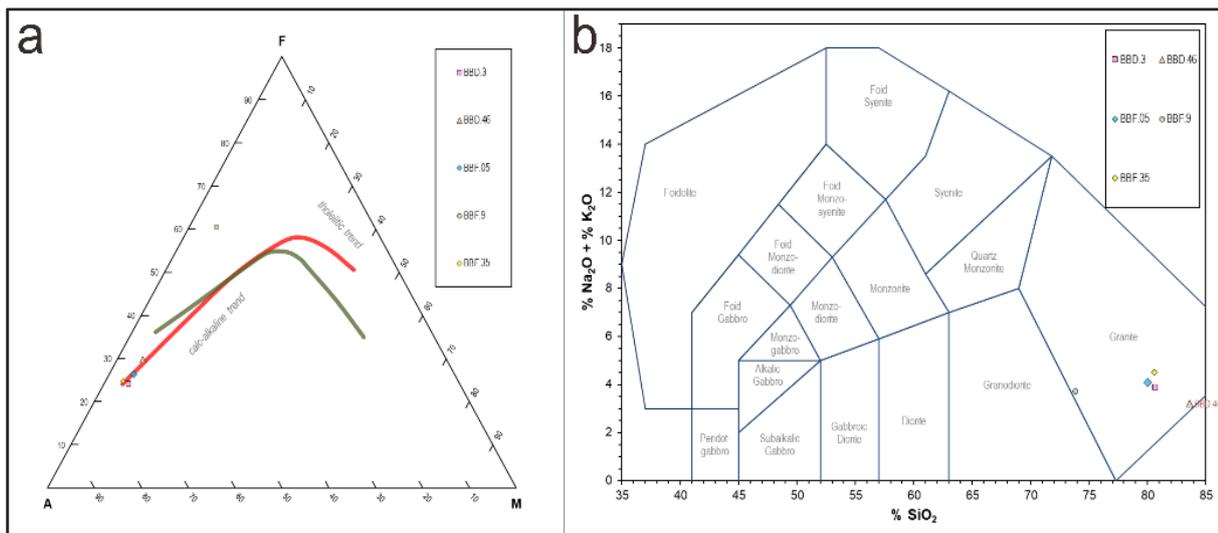
Hasil tumpang susun stratigrafi dan struktur geologi disajikan dalam Peta Geologi Tentatif Daerah Panas Bumi Banda Baru (Gambar 10).

menyebutkan bahwa magma seri *tholeiitic* dapat terbentuk pada berbagai tatanan tektonik, sedangkan magma seri *calc-alkaline* hanya terbentuk pada tatanan tektonik subduksi, seperti terjadi pada lingkungan tektonik di daerah busur kepulauan (*island arc*) atau tepian kontinen aktif (*active continental margin*). Hartono (1994) menjelaskan bahwa batuan yang terbentuk di daerah busur kepulauan merupakan batuan berkomposisi basaltik-andesitik, sedangkan batuan yang terbentuk pada daerah tepian kontinen aktif berupa batuan berkomposisi lebih asam seperti batuan dasitik atau granitik.

Gambar 11 b. memperlihatkan bahwa batuan di daerah survei merupakan batuan granitik yang berarti batuan asam. Berdasarkan penjelasan di atas, maka batuan di daerah survei terbentuk pada tepian kontinen aktif.

Hidrogeologi

Salah satu unsur penting dalam suatu sistem panas bumi adalah keberadaan suplai fluida ke dalam reservoir panas bumi. Fluida tersebut berfungsi sebagai media dalam proses transfer energi panas secara konvektif, baik fluida yang dominan berasal dari permukaan maupun fluida yang terperangkap di dalam batuan. Sirkulasi air atau fluida yang berasal dari proses *recharge* atau resapan di area tangkapan (*catchment area*) kemudian mengalami penetrasi secara vertikal dan akhirnya memasuki sistem panas bumi hingga terjadi proses *discharge* di permukaan sebagai manifestasi panas bumi. Oleh karena itu, sistem hidrologi di sekitar sistem panas bumi sangat berperan penting dalam keberlangsungan sistem panas buminya.



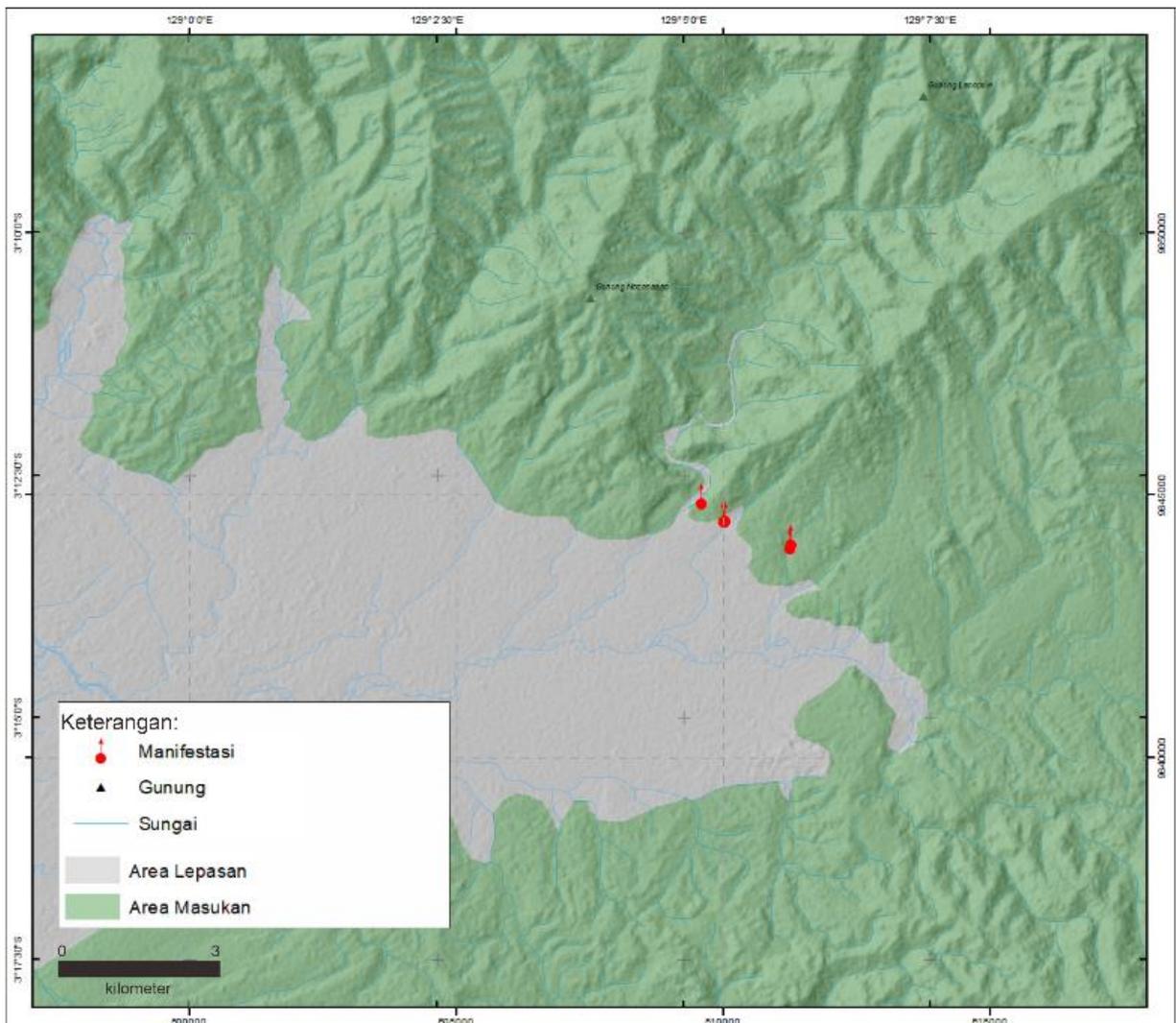
Gambar 11 a. Perbandingan antara kandungan Na₂O dan K₂O, FeO, dan MgO (Modifikasi dari Irvine dan Baragar, 1971 dalam Harahap, 2007)

b. Diagram ubungan SiO₂ dengan Na₂O+K₂O pada batuan plutonik

Daerah panas bumi Banda Baru berada pada ketinggian antara 0 s.d. 700 mdpl dengan kemiringan lereng 0-55°. Iklim di daerah Banda Baru termasuk dalam iklim tropis dengan curah hujan yang cukup tinggi. Menurut BPS Kabupaten Maluku Tengah (2022), curah hujan di Kabupaten Maluku Tengah tercatat berkisar antara 80,5-559 mm pada tahun 2021 dengan rata-rata sekitar 224,6 mm. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Mei dan terendah pada bulan Februari.

Hampir seluruh aliran sungai di daerah panas bumi Banda Baru berasal dari aliran air permukaan yang mengalir dan berkumpul di aliran sungai kecil. Aliran sungai-sungai kecil tersebut berkumpul dan mengalir ke sungai besar dengan debit yang besar. Sedikit mata air dingin yang muncul dari celah batuan.

Daerah dengan elevasi lebih tinggi merupakan daerah resapan. Sedangkan daerah elevasi lebih rendah dan merupakan pedataran merupakan daerah lepasan (Gambar 12).



Gambar 12. Peta Hidrologi Daerah Panas Bumi Banda Baru

PEMBAHASAN

Menurut tatanan geologi dan hidrologinya, sebagian besar sistem panas bumi pada suhu menengah dapat dikelompokkan sebagai berikut (Hochstein dan Browne, 2000):

1. Sistem pada busur gunung berapi aktif dan tidak aktif, yaitu yang berada pada lingkungan batuan vulkanik
2. Sistem "*heat sweep*" pada pemekaran aktif dan pada batas-batas tumbukan lempeng
3. Sistem zona rekahan pada batuan sedimen atau batuan metamorf

Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah panas bumi Banda Baru merupakan sistem panas bumi pada zona rekahan (*Fracture Zone System Hosted by Metamorphic Rocks*).

Sebagai daerah yang banyak dipengaruhi oleh struktur geologi (sesar, kekar) daerah Banda Baru memiliki kemampuan yang baik untuk meloloskan air permukaan (*meteoric water*) ke bawah permukaan. Sebagian air meteorik menuju ke bawah permukaan melalui zona rekahan hingga terpanaskan di kedalaman oleh aktivitas struktur geologi hingga menghasilkan fluida panas.

Fluida panas yang terbentuk kemudian terakumulasi dalam lapisan reservoir, yaitu suatu zona yang berdaya lulus terhadap fluida (*permeable*) sebagai akibat dari banyaknya rekahan yang berkembang pada batuan metamorf.

Interaksi antara fluida panas yang tersimpan di reservoir dengan batuan di atasnya (sekitarnya) bisa menghasilkan batuan ubahan (*alterasi*) yang bersifat kedap air (*impermeable*) yang disebut dengan batuan penudung (*cap rock*). Namun batuan alterasi ini tidak ditemukan di permukaan. Batuan yang bersifat *impermeable* diduga adalah batuan metamorf yang permeabilitas rendah. Batuan penudung inilah yang menyebabkan pergerakan fluida panas yang terdapat di lapisan reservoir tertahan untuk sampai ke permukaan.

Secara geologi, sumber panas dari sistem panas bumi Banda Baru diperkirakan berupa panas yang dihasilkan oleh suatu aktivitas tektonik, mengingat di utara daerah survei terdapat Sesar Kawa yang masih aktif hingga saat ini.

Reservoir panas bumi di daerah panas bumi Banda Baru diduga terletak pada batuan metamorf. Meskipun permeabilitas dan porositas primer batuan metamorf sangat kecil, akan tetapi dengan kehadiran permeabilitas sekunder berupa rekahan yang intensif sebagai akibat pengaruh dari aktivitas tektonik yang sangat intensif, menjadikan batuan metamorf memiliki porositas dan permeabilitas yang sangat baik untuk menjadi reservoir panas bumi. Lokasi keberadaan dan dimensi reservoir di bawah permukaan dikontrol oleh struktur geologi dan memerlukan hasil survei metode geofisika.

Batuan yang berfungsi sebagai batuan penudung dalam sistem panas bumi Banda Baru diperkirakan berupa batuan metamorf yang porositas dan permeabilitasnya rendah.

Sebaran area resapan meliputi daerah dengan elevasi yang lebih tinggi dengan litologi berupa batuan metamorf dengan rekahan yang intensif. Rekahan di daerah dengan elevasi yang lebih tinggi mengontrol permeabilitas sebagai daerah resapan, sehingga sangat menunjang dalam menjaga kesinambungan siklus hidrologi di daerah survei. Daerah resapan di daerah Banda Baru sendiri berada di bagian utara daerah survei (Gambar 12).

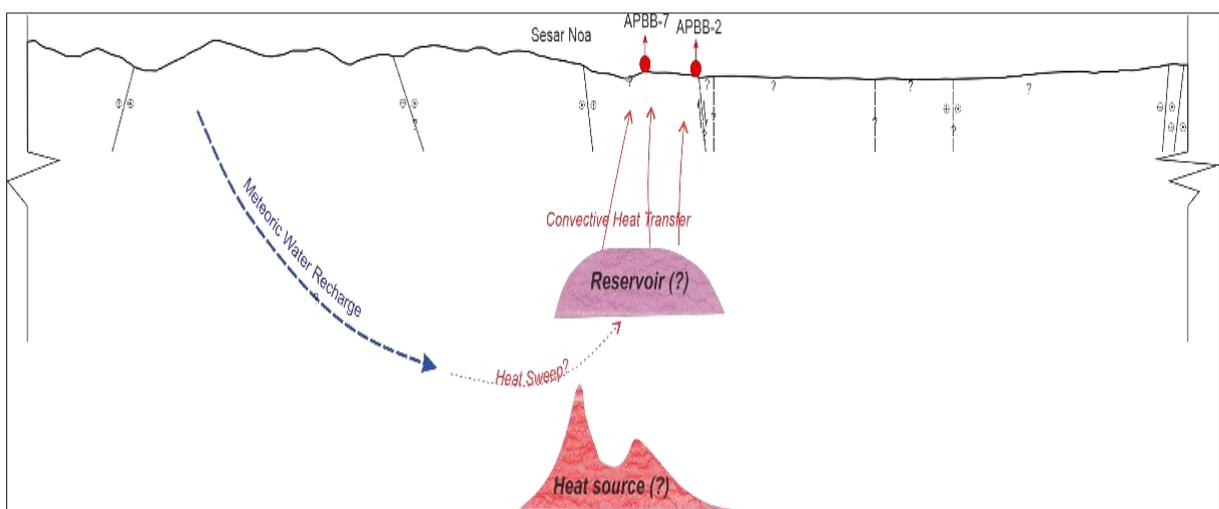
Sementara itu, area pemunculan air merupakan daerah tempat terkonsentrasinya titik-titik keluaran air yang berasal dari daerah resapan, air permukaan dan tempat naiknya air dari kedalaman yang kemudian muncul berupa

mata air. Keberadaan area keluaran pada daerah survei berada pada elevasi rendah, yaitu di sekitar lembah dan aliran sungai serta bagian tengah hingga selatan daerah survei.

Gabungan dari komponen sumber panas, reservoir, dan batuan penudung membentuk suatu sistem panas bumi di daerah Banda Baru, seperti yang tergambarkan melalui model geologi konseptual sistem panas bumi daerah Banda Baru (Gambar 13).

KESIMPULAN

Daerah panas bumi Banda Baru terletak pada morfologi datar hingga terjal dengan kemiringan lereng antara 0-55°. Litologi yang menyusun daerah panas bumi Banda Baru tersusun atas Satuan Metamorf, Satuan Granit, Satuan Konglomerat, serta Aluvium.



Gambar 13. Model geologi konseptual sistem panas bumi

Struktur geologi di daerah panas bumi Banda Baru umumnya memiliki orientasi baratlaut-tenggara, baratdaya-timurlaut, dan barat timur. Kehadiran struktur geologi di daerah survei sangat dikontrol oleh tatanan tektonik Pulau Seram. Struktur di daerah survei sangat berperan penting dalam sistem panas bumi Banda Baru, baik sebagai reservoir maupun yang mengontrol adanya sumber panas yang transfer panasnya melalui

mekanisme *heat sweep* pada sistem zona rekahan.

Daerah panas bumi Banda Baru termasuk ke dalam sistem panas bumi non-vulkanik. Keberadaan sistem panas bumi di daerah panas bumi Banda Baru ditandai dengan kemunculan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dengan temperatur 37,1 s.d. 63,1 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Maluku Tengah. (2022). *Maluku Tengah Dalam Angka 2022*.
- Hartono, U. (1994). *The Petrology and Geochemistry of the Wilis and Lawu Volcanoes, East Java, Indonesia*.
- Hochstein, M. P., & Browne, P. R. (2000). Surface Manifestations of Geothermal with Volcanic Heat Sources. In *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). *Peta Tata Guna Lahan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kurniawan, A. (2014). Geologi Batuan Granitoid di Indonesia dan Distribusinya. *Masyarakat Ilmu Bumi Indonesia, I/E-3*.
- Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. (2022). *Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Panas Bumi*. Bandung.
- Ratman, N., & Atmawinata, S. (1994). *Peta Geologi Indonesia, Lembar Ambon*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tjokrosapoetro, S., Achdan, A., & Rusmana, E. (1993). *Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku*.
- Wilson, B. (1989). *Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach*.
- Zuidam, R. A. (1983). *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*.
- Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*.

SURVEI RINCI GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI BANDA BARU KABUPATEN MALUKU TENGAH, PROVINSI MALUKU

Dede Iim Setiawan, Hamdi Anwar, dan Agam Faisal

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Keberadaan sistem panas bumi Banda Baru ditandai oleh kehadiran manifestasi panas bumi di permukaan berupa mata air panas di Desa Banda Baru dan Desa Hollo pada elevasi 90 mdpl - 139 mdpl. Temperatur air panas terukur sebesar 35°C - 63°C, pH berkisar antara 6,4 - 7,4, dan daya hantar listrik sebesar 1746 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sampai 5850 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dengan debit air panas sebesar 0,07 liter/detik hingga 0,5 liter/detik, mata air panas di kedua lokasi tersebut memiliki endapan travertin yang ketebalannya mencapai 60 cm.

Fluida panas dari reservoir sistem panas bumi Banda Baru yang diperkirakan bertemperatur 185°C - 220°C mengalami proses pendidihan (*boiling*) dan pengkayaan unsur atau senyawa dari batuan sampingnya serta mengalami proses pencampuran (*mixing*) dengan air meteorik sebelum tiba di permukaan sebagai mata air panas di Banda Baru dan Hollo. Mata air panas Banda Baru pada elevasi sekitar 139 mdpl adalah air bikarbonat hasil kesetimbangan sebagian (*partial equilibrium*) yang diperkirakan mengalir langsung dengan cepat dari reservoir panas bumi di bawahnya (*upflow*). Mata air panas Hollo pada elevasi 107 mdpl diduga berasal dari reservoir panas bumi di Banda Baru, kemudian hadir sebagai mata air panas di Hollo setelah sebelumnya mengalami aliran secara lateral (*outflow*). Pengkayaan silika (SiO_2) terjadi sebagai akibat dari proses pelarutan mineral silika penyusun batuan oleh fluida panas pada temperatur maksimum, kemudian pelarutan Ca, Na, Cl, dan CO_3 berlangsung pada temperatur yang lebih rendah. Sebagian mineral karbonat yang terlarut pada air panas kemudian mengendap kembali di permukaan sebagai endapan travertin pada temperatur yang lebih rendah lagi. Pegeseran isotop Oksigen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) air panasnya masih di bawah 3,5‰, sehingga interaksi antara fluida panas dan batuan tidak terlalu intensif seperti halnya interaksi yang terjadi pada fluida bertemperatur tinggi. Proses evaporasi sedikit mempengaruhi pengkayaan tersebut, sehingga air panasnya diperkirakan sebagai hasil pencampuran proses evaporasi dengan pertukaran mineral batuan.

Delineasi area permeabel (area prospek) berdasarkan analisis tanah dan udara tanah menunjukkan bahwa areanya berada di sekitar mata air panas Banda Baru, yaitu berasosiasi dengan area anomali merkuri tinggi dan karbondioksida tinggi di area tersebut.

Kata kunci: Geokimia Banda Baru, sistem panas bumi, Air Panas Banda Baru

PENDAHULUAN

Evaluasi data kepanasbumian hasil survei yang telah dilakukan sejak Tahun 2011, daerah panas bumi Banda Baru merupakan salah satu daerah prospek panas bumi terpilih. Namun dari sisi ketersediaan datanya masih memerlukan kelengkapan, sehingga diperlukan data baru yang dapat menambah tingkat keyakinan terhadap potensi sumber daya panas buminya. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) - Badan Geologi hingga saat ini telah melakukan survei terpadu geologi, geokimia, dan geofisika serta survei magnetotelurik di daerah tersebut.

Untuk menambah tingkat keyakinan data geosains yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam kegiatan pengeboran eksplorasi, maka pada tahun anggaran 2022 PSDMBP telah melakukan survei rinci geokimia. Surveinya meliputi kegiatan pengamatan dan pengukuran sifat fisik dan kimia manifestasi panas bumi, analisis kimia fluida panas bumi, serta survei tanah dan udara tanah.

Maksud dari survei geokimia ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai sifat fisik dan kimia manifestasi panas bumi, serta distribusi temperatur udara tanah, pH tanah, konsentrasi Hg tanah, dan konsentrasi CO₂ udara tanah. Survei ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida, estimasi temperatur

bawah permukaan (reservoir) dan mengetahui zona permeabilitas pada sistem panas bumi Banda Baru.

Kegiatan survei difokuskan di sekitar daerah prospek panas bumi Banda Baru berdasarkan hasil evaluasi data geosains sebelumnya. Daerahnya secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Amahai dan Kecamatan Teon Nila Serua, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Secara geografis terletak pada koordinat 500.000 s.d. 518.000 mT dan 9.637.000 s.d. 9.654.000 mS pada zona UTM 52 S.

Daerah survei dapat dicapai dari Kota Ambon dengan melakukan penyeberangan menggunakan kapal cepat dari Pelabuhan Tulehu ke Pelabuhan Amahai di Kota Masohi dengan waktu tempuh sekitar 2 jam. Perjalanan dilanjutkan dengan perjalanan darat ke arah barat menuju Desa Banda Baru dengan waktu tempuh sekitar 1 jam (Gambar 1).



Gambar 1. Peta indeks lokasi daerah survei

METODOLOGI

Kegiatan survei geokimia rinci di daerah panas bumi Banda Baru meliputi pengamatan dan pengukuran sifat fisik dan kimia manifestasi, analisis kimia fluida panas bumi, serta pengukuran kandungan merkuri dan pH tanah, serta kandungan gas karbondioksida dalam udara tanah.

Analisis kimia fluida panas bumi di banda baru hanya diperoleh dari manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Analisis kimia fluida terhadap konsentrasi senyawa terlarut dan terabsorpsi di dalam fluida panasnya. Beberapa parameter penting yang digunakan meliputi sifat fisika dan kimia manifestasi panas bumi. Analisis area permeabel diperoleh dari sebaran konsentrasi merkuri tanah dan konsentrasi gas karbondioksida dalam udara tanah.

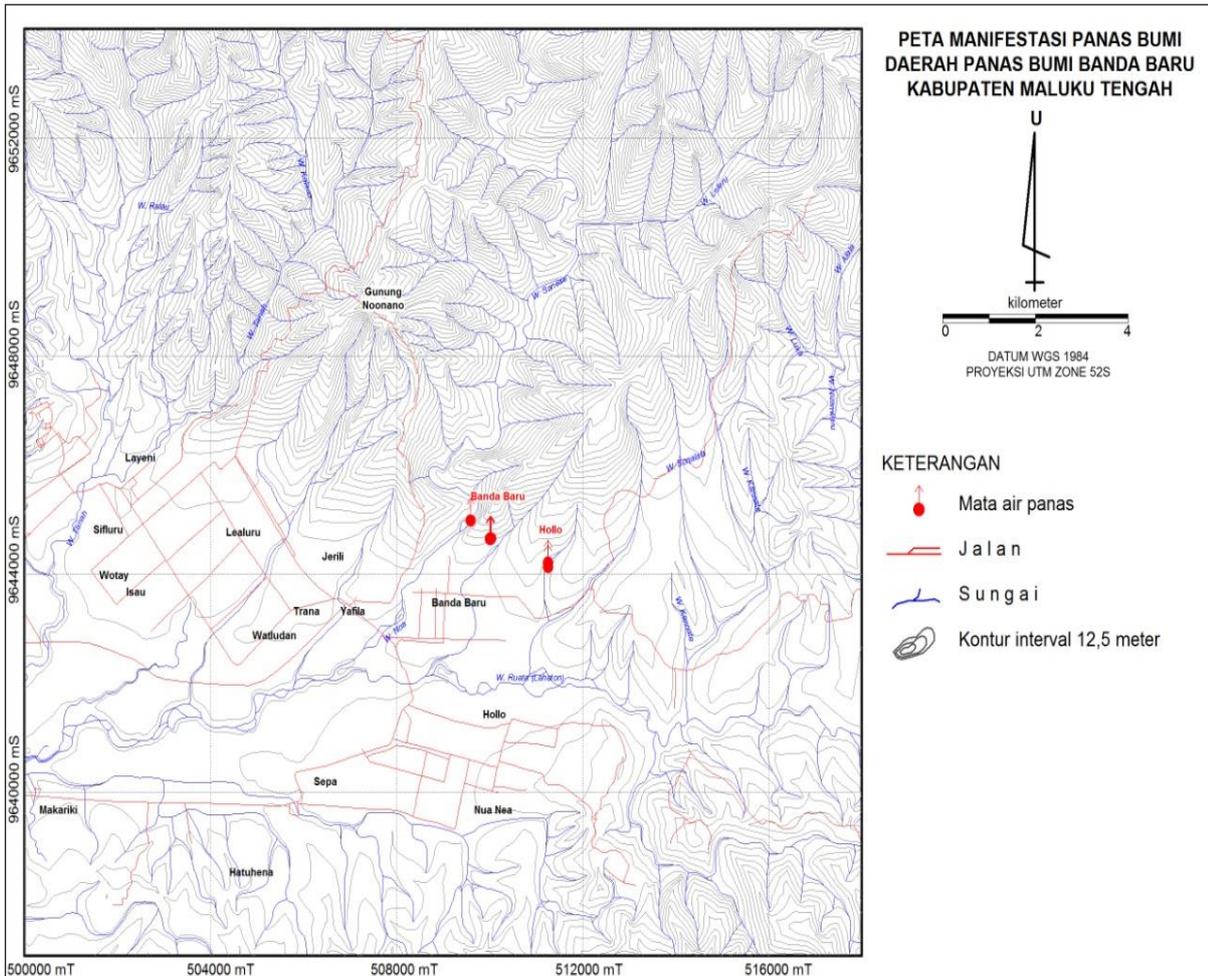
Analisis karakteristik fluida panas bumi diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik reservoir panas bumi, asal-muasal fluida panas bumi, dan rangkaian peristiwa perjalanan fluida panas bumi sebelum tiba di permukaan melalui komponen perunut atau pelacak dan geoindikator berdasarkan zat yang terlarut. Analisis temperatur, pH dan konsentrasi Hg tanah serta CO₂ udara tanah diharapkan dapat memberikan indikasi zona permeabel. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat dibuat suatu

model konseptual geokimia yang meliputi sumber fluida, arah aliran fluida dan perkiraan temperatur reservoir panas bumi, serta deliniasi zona permeabel.

HASIL ANALISIS

Daerah panas bumi Banda Baru memiliki manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas yang terdapat di Desa Banda Baru dan Kelurahan Hollo. Banda Baru sedikitnya memiliki 7 mata air panas yang teridentifikasi, sedangkan Hollo memiliki 2 mata air panas yang teridentifikasi (Gambar 2). Untuk kepentingan analisis kimia fluida, diambil beberapa sampel air dan sampel gas. Sampel air berasal dari mata air panas dan air dingin. Sementara sampel gas berasal dari buangan gas yang keluar dari mata air panas di Banda Baru.

Hasil analisis kimia anion dan kation pada beberapa sampel air panas dan sampel air dingin memperlihatkan bahwa nilai kesetimbangan ion (*ion balance*) kurang dari atau sama dengan 5%, seperti yang terlihat dalam Tabel 3.5. Nilai kesetimbangan ion kurang dari 5% menunjukkan bahwa proses analisis major anion dan kation sampel airnya baik, sehingga datanya dapat digunakan untuk tahapan analisis dan interpretasi fluida panas bumi selanjutnya.



Gambar 2. Distribusi manifestasi panas bumi berupa mata air panas yang berada di Desa Banda Baru dan Kelurahan Hollo

Secara umum konsentrasi anion dan kation dalam sampel air terbagi ke dalam 3 kelompok, yaitu air laut dengan konsentrasi anion dan kation paling tinggi, kelompok air panas yang memiliki konsentrasi anion dan kation yang relatif lebih tinggi dari kelompok air dingin yang memiliki konsentrasi anion dan kation relatif jauh lebih rendah. Semua air panas memiliki konsentrasi anion dan kation tinggi dibandingkan air dinginnya, meskipun berbeda-beda konsentrasinya, namun memiliki pola yang sama. Hal

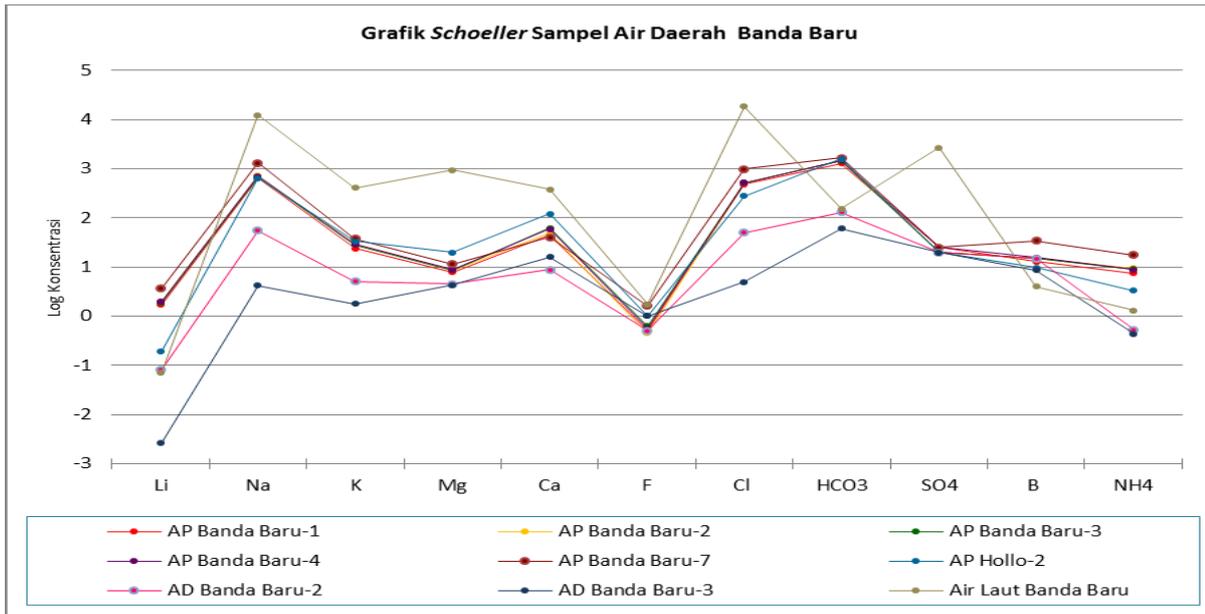
tersebut merupakan hal yang umum di dalam suatu fluida panas bumi, karena dengan temperatur yang lebih tinggi, maka proses interaksi antara air panas dengan batuan di sekitarnya menjadi lebih intensif. Terlihat bahwa, konsentrasi SiO_2 , B, Na, K, Li, Cl, dan SO_4 pada semua air panas tersebut relatif lebih tinggi. Nilai konsentrasi unsur atau senyawa anion dan kation pada semua sampel airnya berbanding lurus dengan nilai daya hantar listrik dan nilai TDS.

Tabel 3.1. Hasil analisis kimia anion dan kation air di Daerah Banda Baru

NAMA SAMPEL (KODE)	Air Panas Banda Baru-1 (APBB-1)	Air Panas Banda Baru- 2 (APBB-2)	Air Panas Banda Baru- 3 (APBB-3)	Air Panas Banda Baru- 4 (APBB-4)	Air Panas Banda Baru- -7 (APBB-7)	Air Panas Holo-2 (APHL-2)	Air Dingin Banda Baru-2 (ADBB-2)	Air Dingin Banda Baru-3 (ADBB-3)	Air Laut Banda Baru (ALB)
pH	8,17	8,32	7,87	8,06	8,52	7,73	7,21	7,85	8,59
DHL ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	3000	3510	3410	3540	5300	2950	328	105	48700
TDS (mg/L)	1848	2220	2164	2224	3304	1808	124	32	36152
SiO ₂ (mg/L)	78,59	89,46	86,65	92,89	89,75	98,39	31,53	21,41	9,41
B (mg/L)	12,84	15,20	14,93	15,73	34,45	9,78	14,98	8,62	4,00
Al ³⁺ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺ (mg/L)	0,19	0,21	0,23	0,01	0,10	0,07	0,04	0,00	0,19
Ca ²⁺ (mg/L)	45,88	49,38	62,10	59,29	40,60	121,12	8,91	16,05	380,39
Mg ²⁺ (mg/L)	7,74	8,65	8,56	8,78	11,46	20,01	4,50	4,30	937,65
Na ⁺ (mg/L)	653,3	714,16	678,48	704,61	1301,38	634,79	55,35	4,25	12250,46
K ⁺ (mg/L)	24,11	28,65	28,06	29,19	38,00	33,20	5,10	1,80	403,36
Li ⁺ (mg/L)	1,70	1,95	1,89	1,98	3,61	0,19	0,08	0,00	0,07
As ³⁺ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺ (mg/L)	7,40	9,35	9,01	8,87	17,72	3,30	0,53	0,44	1,31
F ⁻ (mg/L)	0,52	0,45	0,63	0,55	1,62	0,00	0,50	0,00	1,76
Cl ⁻ (mg/L)	477,12	511,20	511,20	518,02	974,69	279,46	50,00	5,00	18350,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	25,00	20,00	20,00	25,00	25,00	20,00	20,00	20,00	2674,85
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1267,02	1476,83	1433,07	1483,42	1640,34	1595,47	130,05	60,73	153,71
CO ₃ ⁼ (mg/L)	0,00	12,56	0,00	0,00	94,23	0,00	0,00	0,00	5,29
Ion Balance (%)	3,2	4,9	4,8	4,8	3,3	2,7	5,0	4,8	5,0

Hubungan beberapa sampel air berdasarkan konsentrasi anion dan kationnya terlihat pada Diagram Schoeller (Gambar 3). Pada diagram tersebut terlihat bahwa terdapat 3 air dengan pola konsentrasi yang berbeda. Air dingin berupa air laut yang memiliki pola konsentrasi lebih tinggi dari air dingin dan air panasnya, kecuali Li, HCO₃, dan B lebih rendah dari air panasnya. Air panas dengan pola konsentrasi lebih tinggi dari air dinginnya dan lebih rendah dari konsentrasi air lautnya, yaitu air panas Banda Baru-1 hingga Banda Baru-7, dan air panas Holo-2. Namun memiliki

konsentrasi HCO₃ lebih tinggi daripada air lautnya. Pola konsentrasi air dingin Banda Baru memiliki konsentrasi lebih rendah dari air laut dan air panasnya. Jika memperhatikan perbandingan pola konsentrasi ketiga kelompok air tersebut, pola konsentrasi air panas terlihat lebih memiliki kemiripan dengan pola konsentrasinya air dingin Banda Baru. Perbedaan terlihat signifikan pada nilai konsentrasinya saja. Dengan demikian, diduga terdapat hubungan antara air meteorik di Banda Baru terhadap air panasnya.



Gambar 3. Pola perbandingan konsentrasi anion-kation beberapa sampel air Daerah Banda Baru dalam Diagram Schoeller

Variasi konsentrasi anion dan kation, nilai daya hantar listrik, dan derajat keasaman dalam sampel air panas dan air dingin tersebut diduga berkaitan dengan kondisi pembentukan atau asal-usulnya dan lingkungan pembentukannya. Kelompok air panas dengan konsentrasi anion dan kation tinggi, memiliki daya hantar listrik tinggi, airnya yang netral dan temperaturnya relatif lebih tinggi (Banda Baru) tersebut diduga berhubungan dengan air atau fluida reservoir panas bumi, setidaknya memiliki konsentrasi fluida panas bumi yang lebih dominan (?) Kelompok air panas dengan konsentrasi anion dan kation lebih rendah, memiliki daya hantar listrik sedikit lebih rendah, airnya relatif netral, dengan temperatur yang lebih rendah (Hollo) diperkirakan sebagai air atau fluida panas bumi yang sudah mengalami proses

pendinginan selama berinteraksi dengan batuan dan sebagian lagi diduga mengalami pencampuran atau berinteraksi dengan air meteorik, bahkan dapat juga dikatakan sebagai air meteorik yang terpanaskan oleh fluida panas bumi (?) Kelompok air dingin dengan konsentrasi anion dan kationnya relatif lebih rendah dan memiliki derajat keasaman yang netral adalah air meteorik.

Karakteristik Kimia Air

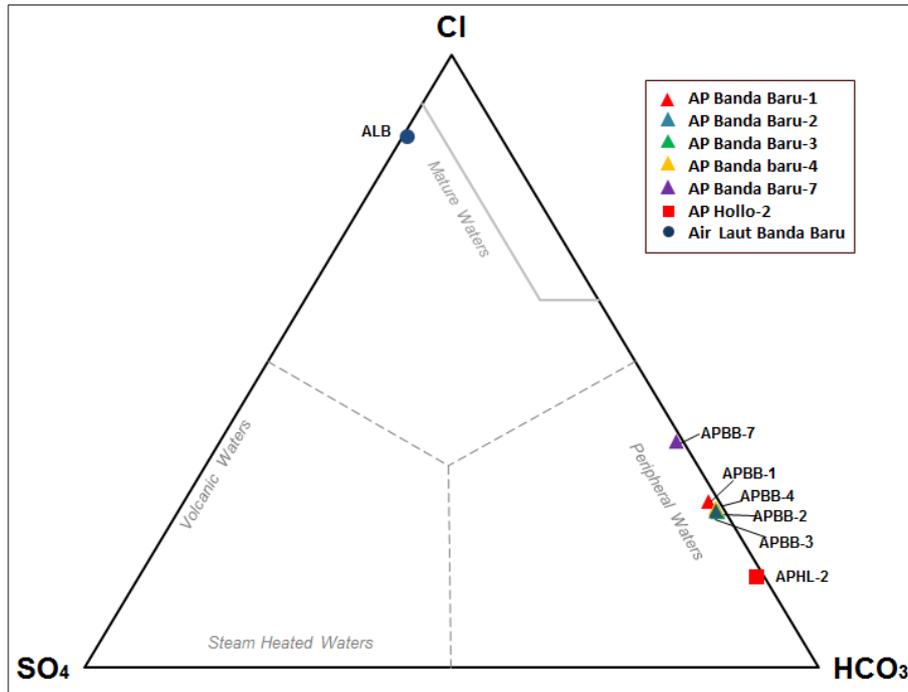
Konsentrasi anion beberapa air panas pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ menempatkan sampel air tersebut ke dalam air panas bertipe bikarbonat (Gambar 4). Air bertipe bikarbonat memiliki konsentrasi bikarbonat (HCO₃) yang jauh lebih dominan dibandingkan konsentrasi klorida dan sulfatnya, rasio Cl/HCO₃ dan rasio SO₄/HCO₃ yang sangat kecil, yaitu

0,18 hingga 0,38. Air bikarbonat adalah tipe air yang banyak mengandung CO_2 dan umumnya berhubungan dengan air permukaan. Air ini disebut juga sebagai *netral bicarbonate-sulphate waters*, karena merupakan produk dari proses kondensasi gas dan uap dengan air permukaan, sehingga menjadi mata air bawah tanah yang miskin oksigen. Air panas Banda Baru yang bertipe bikarbonat mengandung konsentrasi HCO_3 mencapai 1595 mg/L dan masih memiliki sedikit konsentrasi sulfat mencapai 25 mg/L, namun pH airnya relatif netral. Jika memperhatikan kondisi air bikarbonat seperti demikian, maka konsentrasi karbonat yang tinggi dapat dihubungkan dengan kemungkinan pengkayaan air panas oleh batuan samping yang mengandung unsur karbonat. Bikarbonat yang terlarut pada air panas kemudian mengendap kembali di permukaan sebagai endapan travertin seperti yang terlihat di mata air panas Banda Baru yang mencapai ketebalan 60 cm. Pada mata air panasnya yang memiliki buakan gas, umumnya muncul gas karbondioksida yang lebih tinggi sebagai akibat dari konversi HCO_3 menjadi CO_2 di dekat permukaan. Oleh karena hal tersebut, konsentrasi bikarbonat yang signifikan diperkirakan berasal dari proses pengkayaan dari batuan samping dan pengaruh air permukaan. Pada air panas Hollo-2, tingginya konsentrasi HCO_3 dari air panas Banda Baru lainnya diduga berhubungan dengan proses pencampuran

dengan air permukaan yang lebih intensif, sehingga airnya berangsur berubah menjadi air karbonat dengan konsentrasi klorida yang lebih rendah.

Diagram segi tiga Cl-Li-B (Gambar 5) menunjukkan bahwa air panas Banda Baru berada satu kluster pada zona *Li loss* atau absorpsi B dan Cl oleh batuan. Fluida panas bumi diperkirakan bergerak cukup jauh dari reservoir di kedalaman. Pada saat yang sama selain berinteraksi dengan batuan samping pada saat fluida masih lebih tinggi temperaturnya, sejalan dengan berkurangnya konsentrasi Li dan bertambahnya konsentrasi B dan Cl, pada kedalaman yang lebih dangkal kemungkinan mengalami proses pencampuran dengan air permukaan.

Kondisi air panasnya dalam segi tiga Cl-Li-B yang berada dalam satu kluster, diperkirakan sebagai indikasi adanya kesamaan asal air reservoir panas bumi dari semua air panas Banda Baru. Perbandingan konsentrasi Cl/B semua air panasnya memiliki nilai yang relatif sama, yaitu berkisar 28 hingga 37. Air panas Hollo-2 yang terplot lebih jauh dari pojok Li dan mendekati ke sisi Cl-B, proses absorpsi Cl dan B lebih tinggi, sedangkan konsentrasi Li semakin rendah. Meskipun demikian, perbandingan Cl/B pada air panas Hollo-2 sama dengan air panas Banda Baru lainnya, sehingga diperkirakan berasal dari satu reservoir panas bumi yang sama.



Gambar 4. Sampel air Daerah Banda Baru dalam diagram segi tiga Cl-SO₄-HCO₃

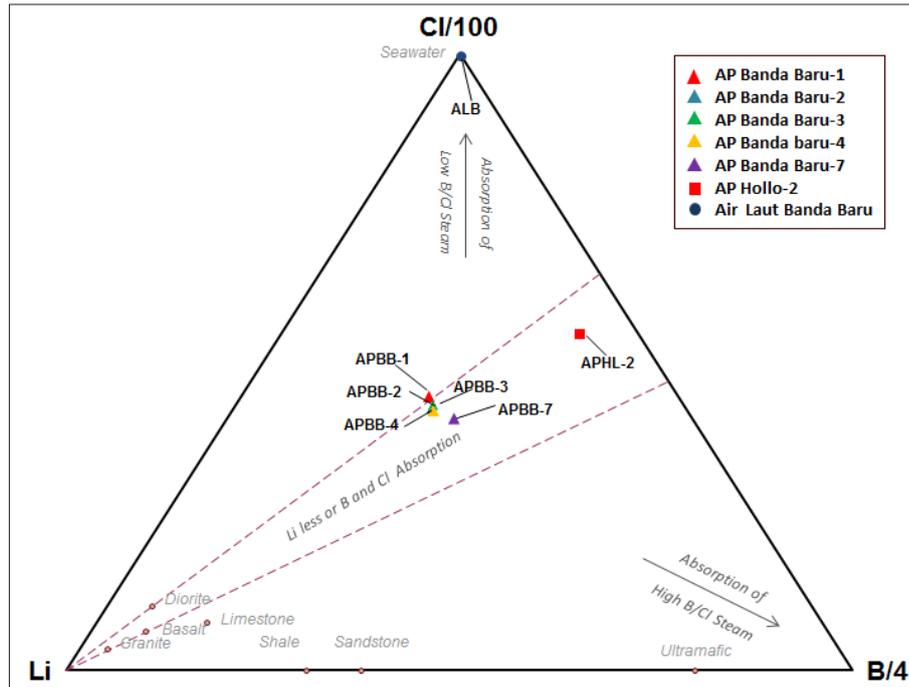
Dugaan kemungkinan terjadinya pencampuran fluida panas yang sebelumnya mengalami *boiling* dengan air permukaan dapat juga dikontrol (geoindikator) dengan perbandingan dari konsentrasi silika (geotermometer silika) dengan komponen unsur dominan air permukaan (Mg) dan pembawa panas dari K-feldspar (K) dari geotermometer K-Mg. Sampel air panas menunjukkan komposisi silika yang relatif setimbang dengan temperatur dari geotermometer K-Mg, terplot pada temperatur 84-95°C (Gambar 6). Temperatur mata air panas adalah 35-63°C. Pemunculan air panasnya diperkirakan bersamaan dengan proses pengayaan unsur-unsur penyusun batuan seperti SiO₂ dan Na akibat interaksi fluida panas dengan batuan.

Diagram segi tiga Na, K, dan Mg (Gambar 7) memperlihatkan bahwa air panas Banda Baru mengalami kesetimbangan sebagian (*partial equilibrium*) antara unsur atau senyawa penyusun batuan dengan unsur atau senyawa di dalam fluida panas buminya. Hanya air panas Hollo-2 saja yang tidak mengalami proses kesetimbangan (*immature water*).

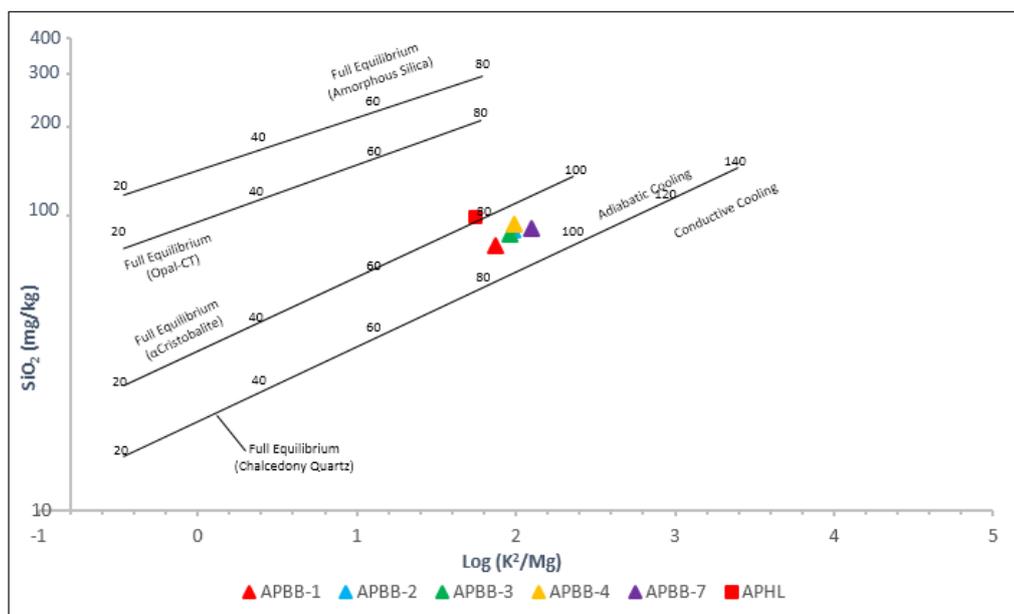
Air panas Banda Baru yang mengalami kesetimbangan sebagian (*partial equilibrium*), reaksi kesetimbangan kimia airnya terjadi sebagian atau tidak murni. Pada kondisi kesetimbangan sebagian dimungkinkan terjadinya pencampuran oleh air meteorik yang masuk ke bawah permukaan. Unsur Na dan K dari reservoir akan bercampur dengan unsur Na dan K dari air permukaan, sehingga

akan mempengaruhi rasio Na/K, juga ditambah sedikit kontaminasi oleh unsur Mg. Hal ini menyebabkan reaksi kesetimbangan kimia akan berkurang, namun tetap mencerminkan kondisi reservoirnya. Perkiraan temperatur bawah

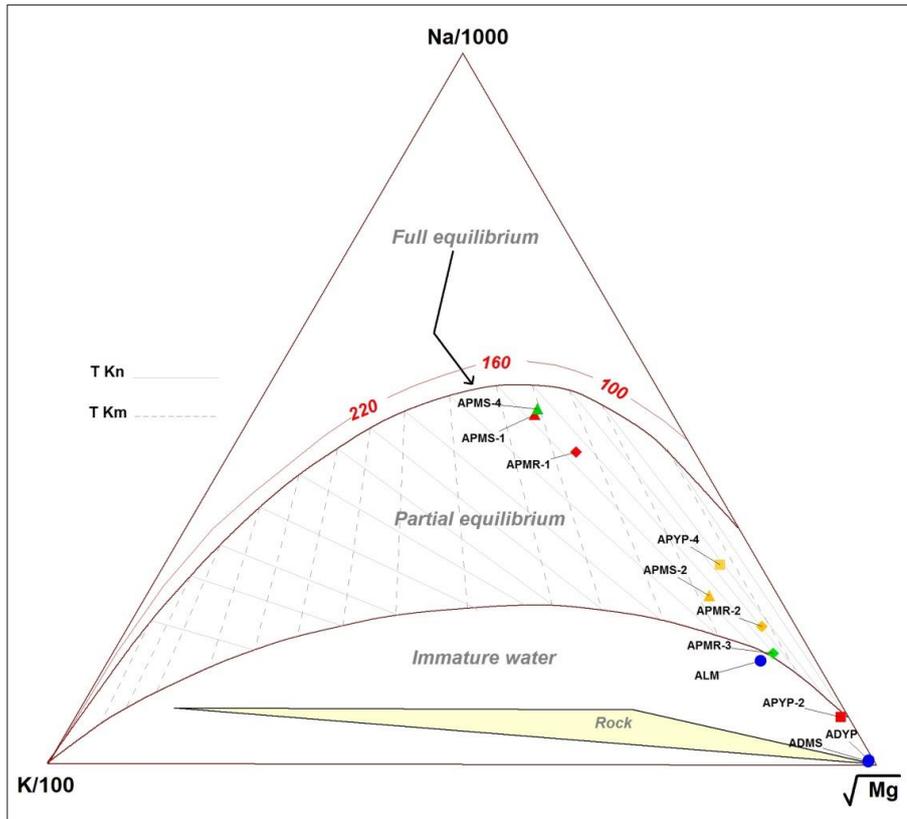
permukaan atau temperatur reservoir berdasarkan persamaan *geothermometer* Na-K dengan K-Mg pada diagram Na-K-Mg tersebut adalah berkisar 170° hingga 185°C.



Gambar 5. Sampel air Daerah Banda Baru dalam diagram segi tiga Cl-Li-B



Gambar 6. Grafik perbandingan konsentrasi silika dan K-Mg air panas Banda Baru



Gambar 6. Sampel air Daerah Marana dalam diagram segi tiga Na-K-Mg

Karakteristik Kimia Gas

Analisis kimia gas terhadap 6 sampel gas yang berasal dari buangan atau gelembung gas (*gas bubble*) memperlihatkan konsentrasi gas CH₄ pada gas Masaingi (GGM-1 dan GGM-2) lebih dominan dari gas lainnya. Sementara sampel gas Yompo memiliki konsentrasi CO₂ dan N₂ yang dominan (Tabel 3). Konsentrasi H₂S tidak terdeteksi pada semua sampel gas, sehingga konsentrasi CH₄ pada gas Masaingi dapat berasal dari gas magmatik atau dapat juga berasosiasi dengan CH₄ dari material organik pada batuan sedimen. Konsentrasi N₂ dan CO₂ pada sampel gas Yompo dapat berhubungan dengan gas magmatik dari

kedalaman maupun berasal dari pengaruh udara atmosferik ketika terjadi proses oksidasi di dekat permukaan.

Dalam segi tiga hubungan antara rasio N₂-He-Ar (Gambar 7) terlihat bahwa semua sampel gasnya memiliki keterkaitan dengan gas meteorik, ditunjukkan dengan masih adanya pengaruh Ar pada semua gasnya, yaitu relatif tertarik ke pojok Ar. Gas Masaingi diduga merupakan hasil pencampuran antara gas dari kedalaman pada kerak bumi (batuan sedimen?) dengan gas meteorik, terletak pada daerah antara He dan Ar. Sedangkan gas Yompo diduga hasil interaksi antara komponen gas magmatik dengan komponen gas meteorik, yaitu berada antara N₂ dan Ar.

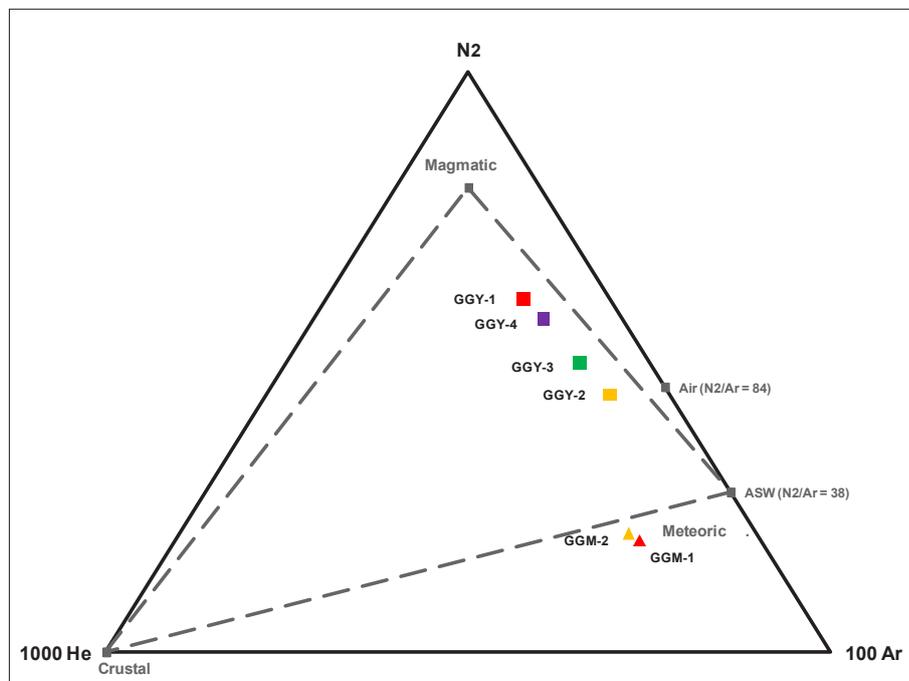
Hadirnya CO₂ menjadikan pentingnya dilakukan analisis perbandingan konsentrasi gas CO₂ terhadap gas N₂ dan Ar, seperti yang terlihat bahwa sampel gas berada pada

daerah antara N₂ dan Ar (Gambar 8). Hal ini mengindikasikan bahwa gas CO₂ yang hadir sebagai pengaruh komponen gas meteorik, umumnya dari hasil proses oksidasi di dekat permukaan.

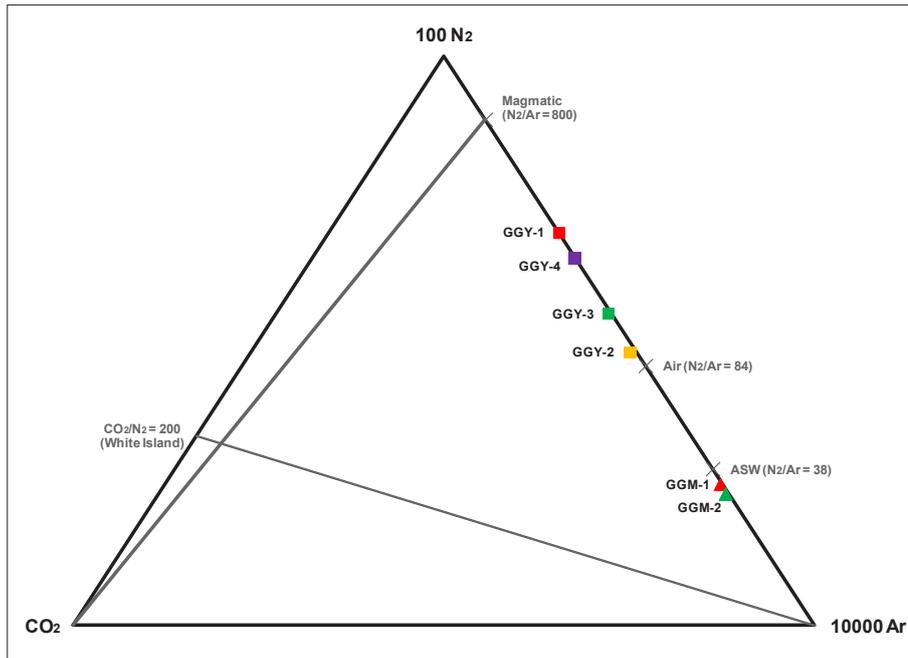
Tabel 3. Hasil analisis kimia sampel gas Daerah Marana

KANDUNGAN		KODE SAMPEL					
		GGY-1	GGY-2	GGY-3	GGY-4	GGM-1	GGM-2
He	(%mol)	0,0191	0,0060	0,0108	0,0148	0,0163	0,0134
H₂	(%mol)	0,0052	0,0006	0,0027	0,0028	0,0094	0,0140
O₂	(%mol)	1,0473	0,0909	0,6148	0,6968	0,0130	0,0158
Ar	(%mol)	0,4384	0,3472	0,4543	0,4282	0,5753	0,5156
N₂	(%mol)	97,7396	32,4670	55,6382	77,6170	19,0582	15,5188
CH₄	(%mol)	0,7504	0,2422	0,4030	0,5860	65,6341	51,2153
CO₂	(%mol)	ttd	66,8460	42,8760	20,6544	14,6938	32,7071
H₂S	(%mol)	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
NH₃	(%mol)	0,000004	0,00001	0,000014	0,00002	0,000004	0,00000

*ttd : tidak terdeteksi



Gambar 7. Perbandingan konsentrasi unsur N₂, He, dan Ar sampel gas Daerah Marana dalam diagram segi tiga N₂-He-Ar



Gambar 8. Perbandingan konsentrasi gas N₂, CO₂, dan Ar sampel gas Daerah Marana dalam diagram segi tiga N₂-CO₂-Ar

Analisis Isotop ¹⁸O dan ²H

Kandungan isotop oksigen-18 pada air panas yang relatif mengalami pengkayaan hanya terlihat pada air panas Masaingi-1 dan air panas Marana-1, meskipun tidak terlalu tinggi. Pengkayaan lebih banyak terjadi pada deuteriumnya, namun dalam jumlah yang tidak terlalu besar (Tabel 4).

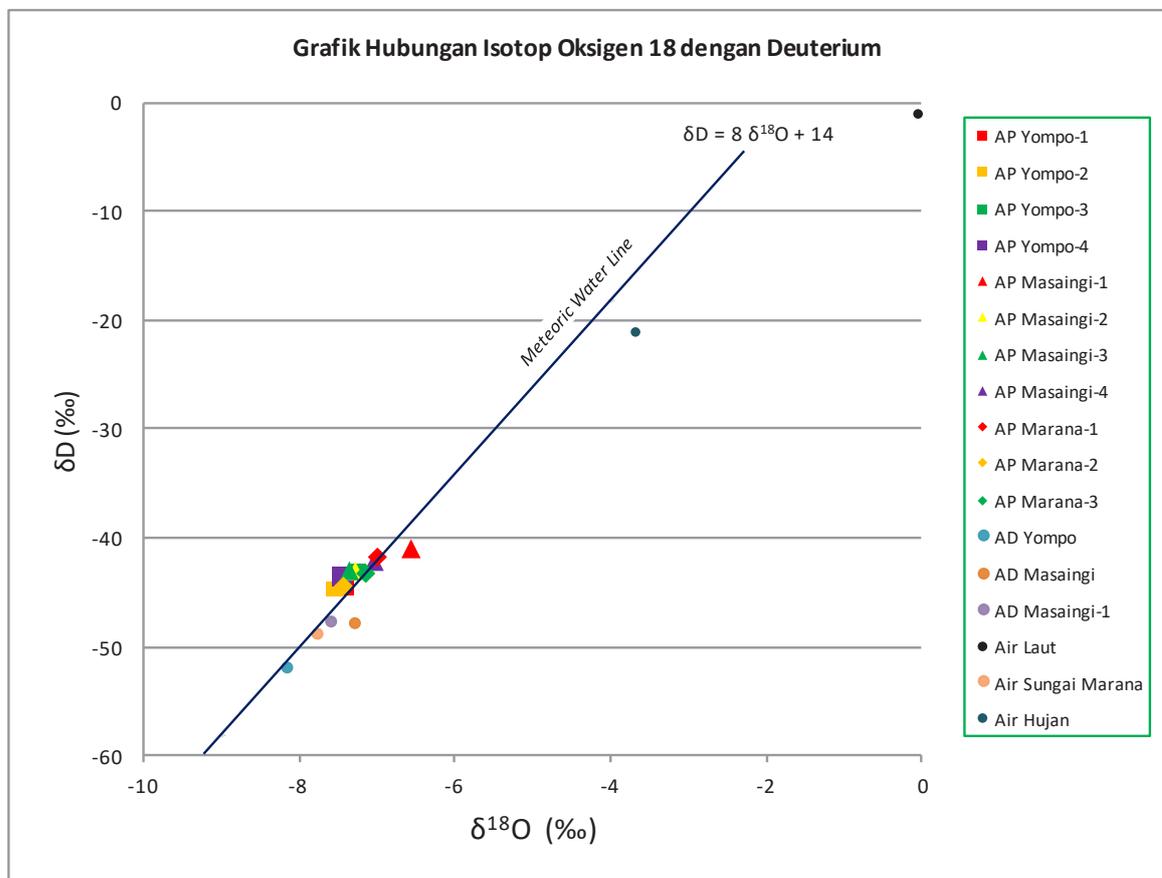
Grafik hubungan antara isotop oksigen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) dan deuterium ($\delta^2\text{H}$) dengan persamaan air meteorik lokal (*meteoric water line*) $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$ memperlihatkan bahwa semua air panasnya berasosiasi dengan air meteorik serta lebih dominan mengalami

pengkayaan deuterium dibandingkan oksigen-18. Semua air panasnya berada di sekitar garis meteorik lokal dan lebih dominan bergerak ke sumbu vertikal (deuterium). Hanya air panas Masaingi-1 dan Marana-1 yang memperlihatkan pengkayaan deuterium disertai dengan pengkayaan oksigen-18 cukup signifikan dari air dingin atau air meteorik (Gambar 9).

Hal tersebut mewakili kondisi air panas di Daerah Marana, bahwa fluida panasnya berasal dari air meteorik yang terpanaskan, kemudian membentuk fluida panas bumi yang umumnya mengalami pengkayaan oksigen-18 dan deuteriumnya.

Tabel 4. Hasil analisis kandungan isotop oksigen-18 dan deuterium pada sampel air Marana

NAMA SAMPSEL	KODE SAMPSEL	OKSIGEN-18 ($\delta^{18}\text{O}$) (‰)	DEUTERIUM (δD) (‰)
Air panas Yompo-1	APYP-1	-7,42	-44,37
Air panas Yompo-2	APYP -2	-7,54	-44,62
Air panas Yompo-3	APYP -3	-7,23	-42,83
Air panas Yompo-4	APYP -4	-7,44	-43,54
Air panas Masaingi-1	APMS-1	-6,56	-40,95
Air panas Masaingi-2	APMS-2	-7,27	-43,01
Air panas Masaingi-3	APMS-3	-7,35	-42,98
Air panas Masaingi-4	APMS-4	-7,03	-42,12
Air panas Marana-1	APMR-1	-6,99	-41,72
Air panas Marana-2	APMR-2	-7,42	-44,40
Air panas Marana-3	APMR-3	-7,14	-43,23
Air dingin Yompo	ADYP	-8,16	-51,78
Air dingin Masaingi	ADMS	-7,29	-47,70
Air dingin Masaingi-1	ADMS-1	-7,60	-47,54
Air laut Marana	ALM	-0,05	-0,94
Air dingin S. Masaingi	ADSM	-7,77	-48,67
Air hujan	AHM	-3,67	-21,01



Gambar 9. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap $\delta^2\text{H}$ sampel air Daerah Marana

Analisis Temperatur Bawah Permukaan

Pendugaan temperatur bawah permukaan atau reservoir panas bumi Marana dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan geotermometer zat terlarut pada sampel air panas. Perhitungan geotermometer gas dari sampel gas tidak dapat dilakukan, karena gas yang diperoleh terindikasi sebagai gas hasil pencampuran dari komponen gas meteorik ketika fluida panas bumi berinteraksi dengan air permukaan. Unsur terlarut yang digunakan dalam perhitungan berasal dari sampel air panas bertipe klorida dan ber-pH relatif netral. Geotermometer unsur terlarut yang digunakan dalam perhitungan ini adalah geotermometer kation, dalam hal ini Na-K. Geotermometer Na-K (Giggenbach, 1988) menghasilkan nilai perkiraan temperatur bawah permukaan berkisar antara 140°C -

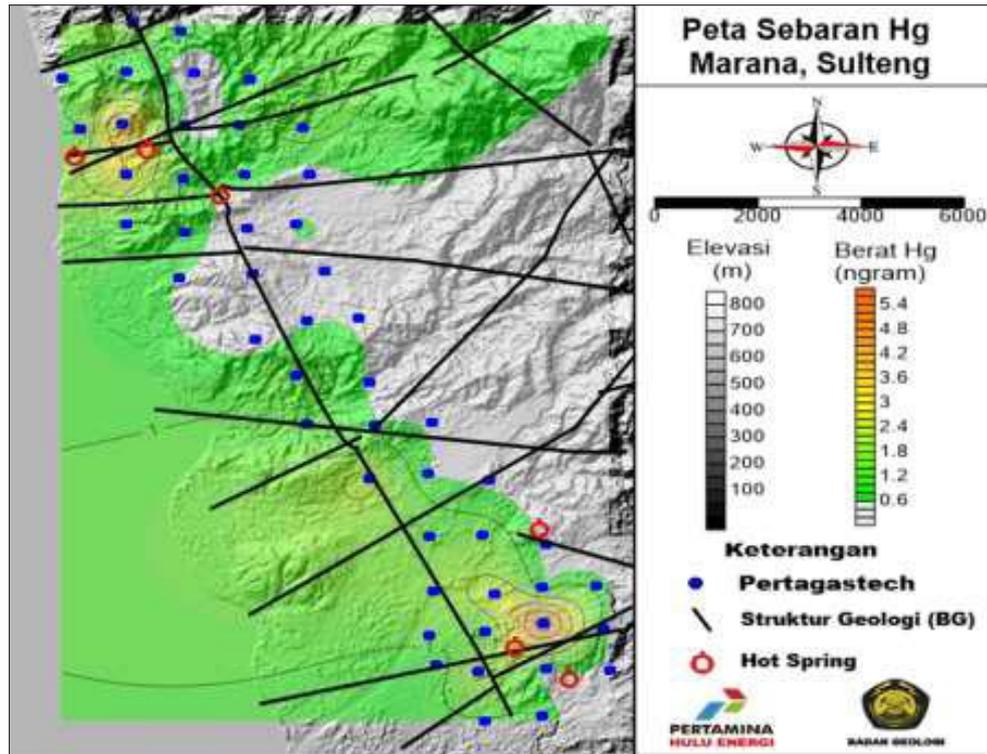
160°C untuk reservoir Masaingi-Marana, serta 100°C - 120°C untuk reservoir Yompo (Tabel 5).

Survei Pertagastech

Kegiatan survei Pertagastech dilakukan pada 50 lokasi titik amat yang tersebar di sekitar area mata air panas Marana dan air panas Masaingi, serta dihubungkan ke bagian selatan hingga sekitar air panas Yompo. Pada setiap lokasi titik amat dilakukan pengambilan sampel udara tanah dari dalam lobang dengan kedalaman sekitar 1 meter, yaitu menggunakan unit adsorben Pertagastech. Setelah dilakukan analisis, seluruh unit adsorben Hg memiliki nilai konsentrasi yang terdeteksi, sedangkan adsorben As hanya 48 sampel, dan adsorben H₂S hanya 2 sampel saja yang terdeteksi di atas batas deteksi.

Tabel 5. Hasil perhitungan geotermometer unsur terlarut pada sampel air panas

NAMA AIR PANAS	GEOTERMOMETER (°C)					
	Kuarsa (No Steam Loss)	Kuarsa (Max. Steam Loss)	Na/K (Fournier)	Na/K (Truesdell)	Na/K (Giggenbach)	Na/K/Ca
Yompo-2	95	93	85	35	106	59
Yompo-4	103	103	103	55	124	82
Masaingi-1	113	112	139	95	159	84
Masaingi-2	105	105	142	98	162	85
Masaingi-4	113	112	136	91	156	83
Marana-1	104	103	137	92	157	94
Marana-2	101	100	114	67	135	83
Marana-3	91	89	132	87	152	79



Gambar 10. Peta distribusi konsentrasi Hg Daerah Marana

Pola sebaran Hg yang tinggi mengindikasikan keberadaan struktur sesar di bawah permukaan. Anomali nilai Hg tinggi berasosiasi dengan kehadiran manifestasi panas bumi di permukaan. Pola sebaran nilai konsentrasi As terlihat merata, tidak memperlihatkan suatu pola anomali untuk area anomali panas. Dengan jumlah data yang sangat sedikit, survei H₂S tidak memberikan interpretasi yang baik. Secara kualitatif, hanya hasil analisis Hg yang memberikan informasi bahwa area permeabel lebih banyak terdapat di sekitar manifestasi (Gambar 10).

PEMBAHASAN

Fluida panas pada manifestasi panas bumi di Masaingi-Marana dan

Yompo diperkirakan berasal dari reservoir panas bumi. Kontrol struktur patahan telah mengakibatkan kehadiran mata air panas berada dalam 1 pola kelurusan barat-laut-tenggara, dengan tingkat permeabilitas yang berbeda. Hal tersebut mengakibatkan mata air panas muncul pada zona permeabilitas yang lebih baik, bersesuaian dengan hasil identifikasi anomali Hg tinggi. Hal ini berpengaruh kepada tingkat pencampuran air meteorik terhadap fluida panas buminya. Air panas Masaingi-Marana relatif lebih sedikit terpengaruh oleh air meteorik jika dibandingkan dengan air panas Yompo.

Air panas Masaingi dan Marana yang bertipe klorida diduga berasal dari reservoir yang berasosiasi dengan batuan sedimen, sehingga konsentrasi klorida

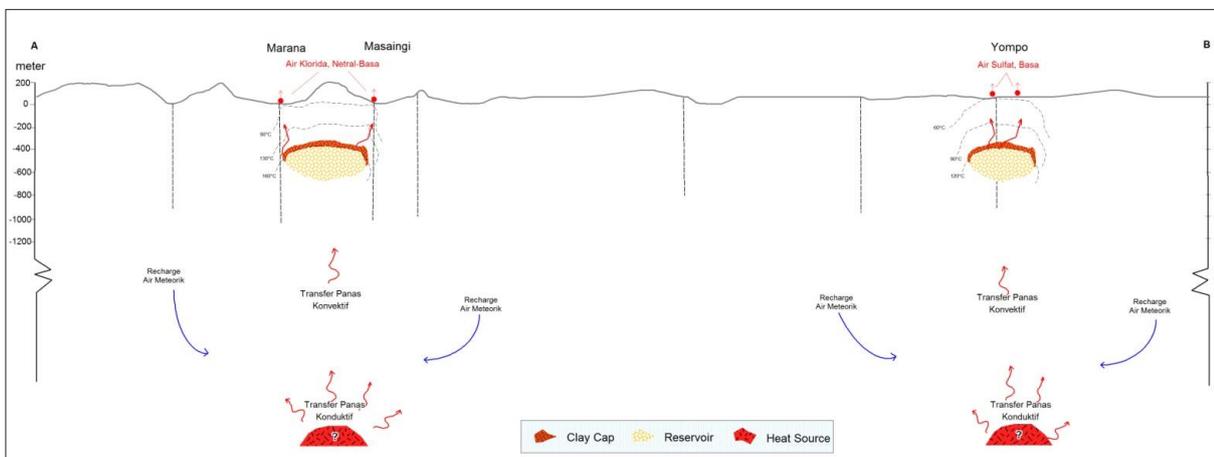
yang hadir banyak dipengaruhi oleh ketersediaan klorida pada batuan sedimennya. Hal ini diperkuat oleh kehadiran Na yang tinggi pada sampel airnya juga konsentrasi gas CH₄ pada sampel bualan gasnya.

Hadirnya air sulfat pada air panas Yompo mungkin berkaitan dengan sulfat yang berasal dari proses pengkayaan dari batuan atau mineral sulfida atau mineralisasi. Bahkan dapat juga berkaitan dengan batuan berkomposisi sulfat seperti anhidrit. Kemungkinan lainnya adalah berkaitan dengan sulfat dari proses dekomposisi senyawa anorganik (?) Hadirnya CO₃⁻ diduga hasil pengkayaan dari batuan berkomposisi karbonatan (?). Oleh karena itu, air sulfat-bikarbonat ini dapat diperkirakan sebagai air hasil kondensasi uap panas bumi di dekat permukaan atau bahkan sedikit mengalami proses pencampuran (*mixing*) dengan air meteorik di permukaan (?) Meskipun demikian, terlihat kontribusi fluida magmatik dalam fluida panas bumi Yompo

jika melihat kehadiran gas CO₂ dan N₂ pada sampel gas, meskipun tidak signifikan.

Berdasarkan komposisinya, gas Masaingi lebih mencerminkan gas yang berasal dari kerak bumi yang diperkirakan berasosiasi dengan batuan sedimen dan mengalami proses pencampuran dengan komponen gas meteorik dari air permukaan (?) Gas Yompo diperkirakan berasosiasi dengan gas magmatik dari kedalaman dan mengalami pencampuran komponen gas meteorik dari air permukaan selama proses perjalanannya ke permukaan (?)

Reservoir panas bumi diperkirakan berada di bawah permukaan sekitar air panas Masaingi untuk sistem panas bumi Masaingi-Marana, sehingga air panas Masaingi diduga berada pada zona *upflow* sedangkan air panas Marana berada di bagian batas ujung dari reservoirnya (?) Sistem panas bumi Yompo diperkirakan memiliki reservoir di sekitar air panas Yompo-1 (?)



Gambar 11. Model konseptual geokimia panas bumi Daerah Marana

KESIMPULAN

Daerah Marana setidaknya memiliki 2 sistem panas bumi, yaitu sistem panas bumi Masaingi-Marana dan sistem panas bumi Yompo. Fluida panas pada sistem panas bumi Masaingi-Marana terindikasi memiliki keterkaitan dengan kondisi lingkungan batuan sedimen.

Kontrol struktur sesar banyak mempengaruhi hidrologi di Daerah Marana, sehingga pengaruh air permukaan tersebut cukup besar terhadap komposisi kimia anion dan kation airnya. Kehadiran struktur sesar juga mengontrol sebaran zona permeabilitas dan sekaligus mengontrol kehadiran mata air panas di permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Giggenbach, W.F., 1988, *Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg – Ca Geo-Indicators*, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.
- Giggenbach, W.F dan Soto., 1992, *Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin*, *EPSL* 113, 495-51

SURVEI RINCI GAYA BERAT DAERAH PANAS BUMI BANDA BARU, KABUPATEN MALUKU TENGAH, PROVINSI MALUKU

Iqbal Takodama, Asep Suryana, dan Asep Sugianto

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Dalam rangka percepatan pengembangan energi panas bumi, pemerintah melakukan program eksplorasi panas bumi oleh pemerintah (*government drilling*). Salah satu daerah yang termasuk kedalam program ini adalah daerah Banda Baru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Salah satu kegiatan dari program ini adalah penambahan data-data geosains untuk lebih mendetailkan lagi data-data yang sudah ada. Penambahan data yang dilakukan salah satunya adalah penambahan data gaya berat.

Pola anomali tinggi gaya berat berdasarkan anomali bouguer lengkap berada di bagian selatan yang berasosiasi dengan batuan metamorf. Pola anomali rendah berada di bagian tengah yang merupakan respon dari alluvial serta di bagian baratlaut yang berasosiasi dengan batuan sedimen konglomerat. Berdasarkan anomali residual, pola rendah dibagian tengah serta bagian baratlaut juga terlihat. Pola anomali tinggi muncul dibagian utara serta di bagian utara dari mata air panas. Dibagian selatan terdapat kelurusan yang berarah barat-timur dan baratlaut-tenggara. Kelurusan yang berarah baratlaut-tenggara yang terlihat di sekitar gunung Noonano hingga ke area tenggara dari daerah survey yang memotong mata air panas Banda Baru serta mata air panas Hollo. Terdapat juga kelurusan berarah baratdaya-timurlaut yang juga memotong mata air panas Banda Baru.

Pemodelan data gaya berat dilakukan dengan pemodelan kebelakang maupun pemodelan kedepan. Berdasarkan kedua pemodelan tersebut, terdapat kesamaan yaitu adanya *body* densitas tinggi yang termodelkan dan berada di bawah mata air panas Banda Baru. *Body* dengan densitas tinggi ini diperkirakan sebagai batuan pembawa panas dari sistem panas bumi Banda Baru.

Kata kunci: Panas Bumi, Banda Baru, Gaya Berat, Anomali Bouguer, Struktur

PENDAHULUAN

Berdasarkan program eksplorasi panas bumi oleh pemerintah (*government drilling*), daerah Banda Baru termasuk

kedalam salah satu daerah yang menjadi prioritas untuk dilaksanakan kegiatan *government drilling*. Untuk mendukung kearah tersebut, perlu dilakukan kegiatan

akuisisi data geosains (penambahan data) di daerah tersebut.

Beberapa penyelidikan dan penelitian yang berkaitan dengan aspek panas bumi maupun geologi secara umum telah banyak dilakukan diantaranya penyelidikan geologi dan geokimia (2011), penyelidikan geofisika terpadu (2011), survei aliran panas (2013) dan survey magnetotellurik (2013). Kemudian pada tahun 2020, PSDMBP melakukan kajian evaluasi geosains di daerah ini sebagai bahan usulan wilayah kerja panas bumi. Berdasarkan kajian tersebut, didapatkan luas area prospek panas bumi sekitar 4 km² dengan perkiraan sumber daya panas bumi 9 MWe pada kelas cadangan mungkin (Anonim-5, 2020).

Menindaklanjuti hasil kajian tersebut, PSDMBP pada tahun anggaran 2022 melakukan kegiatan survei rinci gaya berat untuk menambah data gaya berat yang sudah ada. Penambahan data ini

diharapkan akan lebih memperkuat analisis struktur-struktur yang akan menjadi *constraint* dari sistem panas bumi Banda Baru.

Maksud dan tujuan dari kegiatan survei rinci gaya berat ini adalah menambah data gaya berat guna memperoleh informasi struktur bawah permukaan melalui anomali densitas batuan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi di daerah survei.

Secara administratif daerah penyelidikan termasuk kedalam wilayah Desa Banda Baru dan sekitarnya, Kecamatan Amahai, Kabupaten Maluku Tengah dengan Ibukota Masohi, Provinsi Maluku. Secara geografis terletak pada koordinat 3° 9'31.54"-3°16'43.45" LS dan 128°59'9.50"-129° 9'8.54" BT atau 498000 – 517000 mT dan 9635000 – 9650000 mU pada sistem *Universal Transverse Mercator* zona 52 S (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi Daerah Panas Bumi Banda Baru

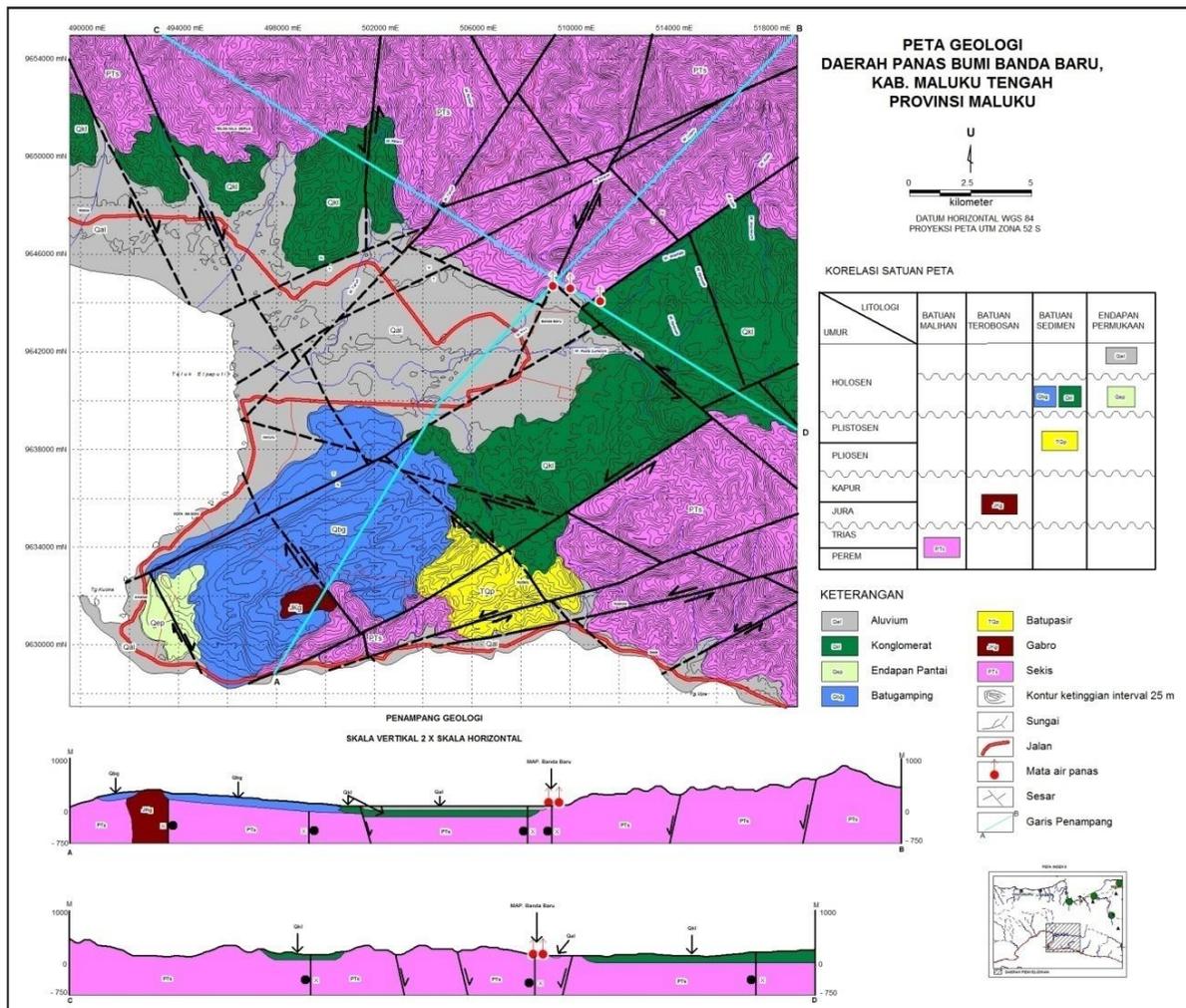
TINJAUAN GEOLOGI

Litologi batuan yang menyusun daerah ini terdiri dari batuan malihan, batuan beku, batuan sedimen, dan endapan permukaan (Gambar 2). Urutan satuan batuan atau stratigrafi dari tua ke muda adalah satuan sekis (PTs), gabro (Jkg), batupasir (TQp), batugamping (Qbg), konglomerat (Qkl), endapan pantai (Qep), dan aluvium (Qal). Struktur geologi yang berkembang di daerah ini didominasi oleh struktur-struktur berarah relatif baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut. Struktur sesar ini diperkirakan yang memfasilitasi

keluarnya sejumlah mata air panas di lokasi survei.

METODOLOGI

Metode gaya berat merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran medan gravitasi bumi. Komponen utama yang diamati adalah variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan. Hal yang diselidiki dalam metode ini adalah perbedaan medan gravitasi dari satu titik observasi terhadap titik observasi lainnya.



Gambar 2. Peta geologi daerah Banda Baru (Anonim-1, 2011)

Semua data hasil pengukuran di lapangan langsung dilakukan pengolahan awal dan dikoreksi standar di lapangan. Sedangkan untuk pengolahan lebih lanjut, penentuan nilai densitas, pembuatan peta anomali dan pemodelan dilakukan di studio (kantor). Koreksi data gaya berat dibedakan menjadi dua jenis, yakni koreksi internal dan koreksi eksternal. Koreksi internal terdiri dari koreksi pasang surut dan koreksi drift. Dari kedua koreksi tersebut bisa diperoleh data gravitasi observasi di masing-masing *station*. Koreksi yang kedua adalah koreksi eksternal, seperti koreksi lintang, koreksi udara bebas (FAC), koreksi bouguer dan koreksi medan (*terrain*).

Anomali gaya berat Bouguer yang terukur di permukaan merupakan penjumlahan (super posisi) dari berbagai macam sumber dan kedalaman anomali di bawah permukaan. Dari berbagai sumber tersebut, salah satunya merupakan *target event* untuk dipisahkan, baik yang berada di zona dangkal (residual) ataupun zona dalam (regional). Metode pemisahan anomali residual dengan regional menggunakan metode *trend surface analysis*.

Analisis derivatif horizontal merupakan suatu analisis terhadap data gaya berat untuk mendapatkan pola kelurusannya. Peta anomali *horizontal derivative* bisa dianalisis dari peta anomali Bouguer maupun peta anomali residual. Gradien horizontal dari anomali gaya berat

akan teramati pada bidang batasnya (Blakely, 1995). Gradien ini biasanya disebabkan oleh suatu tubuh batuan yang berada di bawah permukaan. Gradien ini cenderung lebih tahan terhadap *noise*, karena memerlukan perhitungan dari 2 (dua) arah turunan horizontal orde pertama. Dibandingkan dengan gradien vertikal yang hanya berfungsi baik pada kedalaman dangkal, gradien horizontal memiliki kelebihan delineasi yang cukup baik pada kedalaman dangkal maupun dalam.

Survey gaya berat dilakukan secara *looping* terhadap suatu *Base Station* sebagai titik acuan (titik referensi/titik ikat) yang telah memiliki nilai gravitasi absolut. Nilai gravitasinya ini diperoleh setelah direferensikan dengan titik acuan yang telah memiliki nilai gravitasi absolut. Pengukuran dalam satu hari kegiatan diawali dari *base station* kemudian dilanjutkan ke titik pengukuran di lapangan dan diakhiri kembali di *base station*. Hal ini dimaksudkan agar memperoleh nilai koreksi *drift* dari alat yang sekecil mungkin.

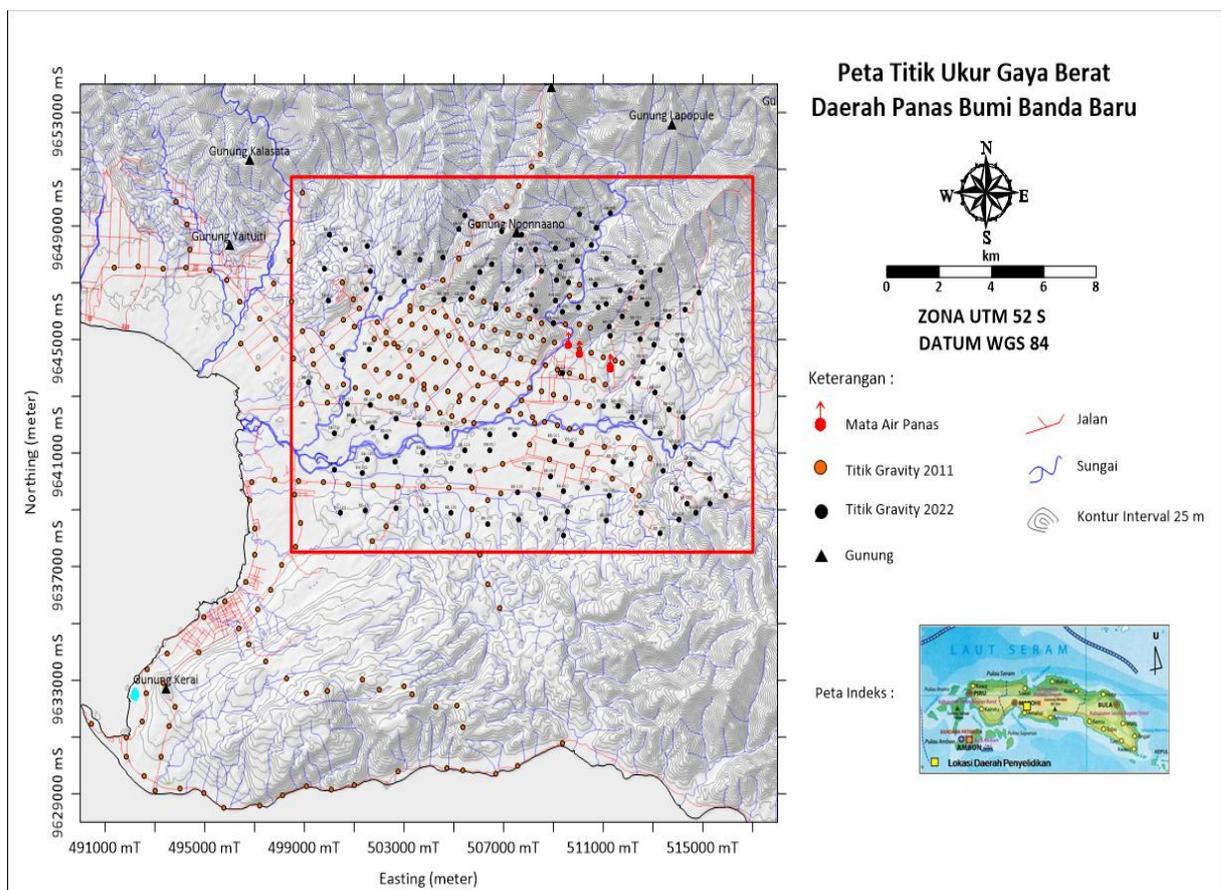
Kegiatan penyelidikan gaya berat di daerah Banda Baru dilakukan dengan menggunakan alat Gravimeter (Scintrex CG-6) dengan nomor serial 00000021010311. Pengukuran satu titik dilakukan selama kurang lebih 10 menit dengan jumlah data gaya berat yang terukur di tahun 2022 sebanyak 135 data. Lokasi pengukuran dilakukan dengan memperhatikan lokasi titik pengukuran

gaya berat sebelumnya dan menyesuaikan dengan kondisi geologi dan medan lapangan. Gambar 3 menunjukkan peta sebaran data gaya berat daerah Banda Baru. Kotak merah merupakan kotak kerja dari metode gaya berat yang akan diproses lebih lanjut setelah digabungkan antara data gaya berat pada tahun 2011 dengan data gaya berat 2022. Daerah kotak merah ini merupakan daerah target yang akan dianalisis lebih lanjut.

Lengkap (ABL) memiliki rentang nilai dari -4 mGal hingga 38 mGal (Gambar 4). Anomali tinggi berada di bagian selatan dengan pola memanjang dari barat ke timur. Pola anomali tinggi ini diperkirakan berasosiasi dengan batuan metamorf. Pola anomali rendah berada di tengah dari area survey dan membuka ke arah barat dan barat laut. Pola rendah dibagian tengah area ini berasosiasi dengan alluvial, sedangkan yang di bagian barat laut berasosiasi dengan batuan sedimen konglomerat. Pola rendah juga muncul di sekitar Gunung Noonano yang berasosiasi dengan batuan metamorf.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai dari *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) / Anomali Bouguer



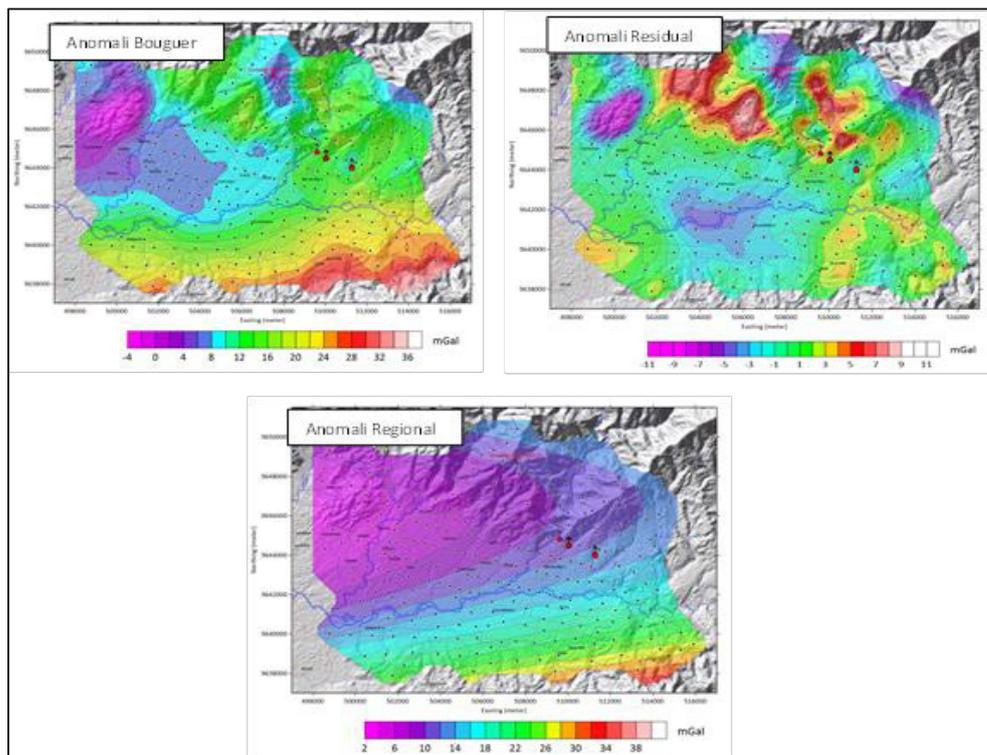
Gambar 3. Peta sebaran titik ukur gaya berat daerah panas bumi Banda Baru

Di sekitar mata air panas Banda Baru maupun mata air panas Hollo (tenggara dari MAP Banda Baru) berada dalam zona anomali yang relatif sedang. Pola kelurusan yang diperkirakan dari kontras anomali tinggi dan rendah berada di bagian selatan yang memiliki arah barat timur. Sedangkan di area tengah ke utara memiliki kelurusan yang relatif berarah baratlaut-tenggara. Kelurusan ini jika diteruskan akan memotong mata air panas. Kelurusan yang lain yang terlihat berada di bagian utara yang berarah utara-selatan.

Anomali bouguer regional di daerah Banda Baru memiliki trend nilai yang rendah dibagian utara dan semakin meninggi ke arah selatan (Gambar 4). Anomali regional ini memiliki pola kelurusan yang relatif berarah barat-timur

yang berada di bagian selatan. Sedangkan dibagian tengah relatif memiliki kelurusan berarah baratdaya-timurlaut.

Anomali residual (Gambar 4) memiliki rentang nilai dari -11 mGal hingga 12 mGal. Pola anomali rendah yang berada di bagian tengah dan di bagian baratlaut masih serupa dengan pola rendah pada anomali bouguer lengkap. Pola rendah di bagian tengah berasosiasi dengan alluvial sedangkan pola rendah yang berada di bagian baratlaut berasosiasi dengan konglomerat. Pola rendah yang di anomali bouguer muncul di sekitar gunung Noonano juga memiliki pola yang rendah yang sama pada anomali residual. Pola rendah ini berasosiasi dengan batuan metamorf.



Gambar 4. Peta anomali gaya berat daerah Banda Baru

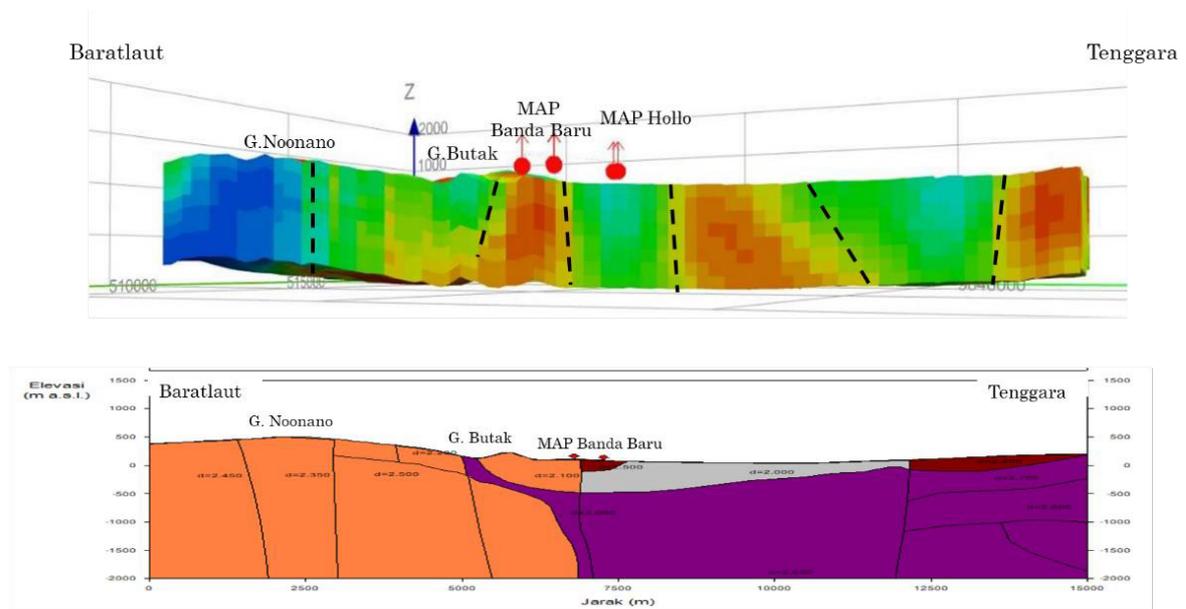
Kelurusan yang berarah baratlaut-tenggara memanjang di sisi timur dari gunung Noonano hingga ke tenggara dari area survei. Kelurusan ini dekat dengan kelompok mata air panas Banda Baru dan juga mata air panas Hollo. Di sisi barat dari gunung Noonano terdapat kelurusan yang relatif berarah utara-selatan. Beberapa kelurusan dari analisis FHD ini jika dibandingkan dengan struktur geologi yang telah terpetakan mengalami kemiripan posisi serta arah kelurusannya.

Berdasarkan model 3-dimensi, *body* dengan densitas rendah berada di bagian baratlaut yang diinterpretasikan sebagai batuan metamorf dari gunung Noonano. Sedangkan di bawah dari gunung Butak diisi oleh densitas yang sedang, dan semakin tinggi seiring dengan kedalaman. *Body* densitas tinggi muncul tepat di bawah mata air panas Banda Baru dengan bentukan seperti batuan terobosan. Berdasarkan informasi geologi, *body* tinggi ini merupakan batuan metamorf dari batuan andesit. Batuan ini kemungkinan menjadi batuan pembawa panas dari sistem panas bumi di Banda Baru. Sedangkan dibawah mata air panas Hollo diisi oleh batuan yang memiliki densitas rendah hingga sedang. Di sisi tenggara terdapat *body* densitas tinggi yang diduga merupakan *body* dari batuan metamorf (Gambar 6).

Model berdasarkan pemodelan kedepan (*forward modelling*) ditarik sama

dengan profil penampang pada model inversi (model 3-D). Berdasarkan informasi geologi serta percobaan pencocokan kurva penghitungan dengan kurva pengamatan, dihasilkan model 2-dimensi dari data gaya berat. Terdapat 4 jenis batuan yang ada dalam profile penampang ini (**Error! Reference source not found.**). Batuan D diinterpretasikan sebagai batuan tertua dengan range densitas 2,65 – 3 gr/cm³. Kemudian terdapat batuan C dengan range densitas 2,1 – 2,5 gr/cm³. Kedua batuan tersebut merupakan batuan metamorf dengan intensitas metamorfisnya yang berbeda-beda. Kemudian ada batuan B yang diinterpretasikan sebagai batuan konglomerat dengan nilai densitas 2,4 gr/cm³. Batuan A dengan nilai densitas 2,0 gr/cm³ diinterpretasikan sebagai endapan alluvial.

Berberapa struktur yang bisa ditarik berdasarkan data gaya berat ini diantaranya: di sisi barat laut (Sekitar Gunung Noonano) terdapat struktur yang berarah relatif baratdaya-timurlaut yang diperkirakan berupa sesar mendatar. Kemudian terdapat struktur berupa sesar mendatar di sekitar dari gunung Butak. Kemunculan dari mata air panas Banda Baru dikontrol oleh perpotongan dari dua buah struktur yakni struktur sesar Banda Baru yang berarah baratlaut-tenggara dan struktur sesar Banda Lama yang berarah baratdaya-timurlaut.



Gambar 6. Penampang model gaya berat daerah Banda Baru. 3-Dimensi (atas), 2,5-Dimensi (bawah)

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum trend anomali gaya berat di daerah Banda Baru menunjukkan trend anomali tinggi di bagian selatan rendah di bagian tengah dan relatif sedang ke tinggi di bagian utara. Beberapa kelurusan struktur yang diperoleh dari data gaya berat menunjukkan arah kelurusan yang relatif berarah baratdaya-timurlaut, baratlaut-tenggara, barat-timur dan utara-selatan. Kelurusan-kelurusan ini sebanding dengan struktur-struktur geologi yang telah

terpetakan baik itu posisi maupun arah kelurusannya. Sumber panas dari sistem panas bumi Banda Baru dicirikan oleh adanya body densitas tinggi yang berada dibawah dari mata air panas Banda Baru.

Untuk hasil yang lebih komprehensif mengenai sistem panas bumi Banda Baru, perlu diintegrasikan data gaya berat ini dengan data-data geosains lainnya seperti data geokimia maupun data magnetotellurik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim-1, 2011. Laporan Akhir Survei Terpadu Geologi Dan Geokimia Panas Bumi Daerah Banda Baru Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi
- Anonim-2, 2011. Laporan Akhir Survei Geofisika Terpadu Gaya Berat, Geomagnet dan Geolistrik Daerah Panas Bumi Banda Baru Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

- Anonim-3, 2013. Laporan Akhir Survei Aliran Panas Daerah Panas Bumi Banda Baru Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Anonim-4, 2013. Laporan Akhir Survei TDEM dan MT Daerah Panas Bumi Banda Baru Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Anonim-5, 2020. Evaluasi Data Geosains Panas Bumi Untuk Pengusulan Wilayah Kerja Panas Bumi Tahun 2020. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- Bemmelen, V. R., 1949. The Geology of Indonesia. Netherlands: The Hague Vol I.A.
- Blakely, R. J., 1995. Potential Theory in Gravity and Magnetic Application. Cambridge: Cambridge University Press.
- M, M. C., 1977. Laporan Inventarisasi Kenampakan Gejala Panas Bumi di daerah Pulau Haruku, Saparua, Nusalaut dan Seram, Maluku Tengah, s.l.: s.n.
- Pirttijärvi, M., 2004. GRABLOX : Gravity interpretation and modeling software based on a 3-D block model, s.l.: Geological Survey of Finland.
- Telford, W., Geldart, L. & Sheriff, R., 1990. Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.

SURVEI RINCI MT DAN TDEM DAERAH PANAS BUMI BANDA BARU KABUPATEN MALUKU TENGAH, PROVINSI MALUKU

Wiwid Joni, Yudi Aziz Muttaqin, dan Erawan Melisano

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Daerah panas bumi Banda Baru berada pada lingkungan non-vulkanik. Indikasi keberadaan sistem panas bumi dicirikan oleh pemunculan mata air panas Banda Baru 1-7 memiliki temperatur 58 – 63^oC berada di Desa Banda baru, Kecamatan Amahai, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Berdasarkan hasil pemodelan 3-Dimensi data MT, di daerah panas bumi Banda Baru menunjukkan adanya lapisan konduktif <10 Ohm-m di bawah mata air panas Banda Baru yang diduga berasosiasi dengan lapisan penudung dari sistem panas bumi Banda Baru. Luasan degradasi tahanan jenis yang diduga berasosiasi dengan sistem panas bumi tersebut berupa spot memanjang relatif berarah baratlaut-tenggara. Keberadaan top reservoir diduga berada pada elevasi -700 meter atau pada kedalaman 750 hingga 800 meter dari permukaan.

Hasil kompilasi data geosains (geologi, geokimia, dan geofisika) daerah panas Banda Baru menghasilkan luasan prospek di sekitar mata air panas Banda Baru seluas 5 km². Dengan melakukan perhitungan Monte Carlo dihasilkan potensi cadangan mungkin pada daerah panas bumi Banda Baru sebesar 20 Mwe.

Kata kunci: non-vulkanik, MT, lapisan penudung, reservoir, prospek

PENDAHULUAN

Metode MT atau *Magnetotelluric* (EM pasif) mengukur fluktuasi medan listrik (E) dan medan magnet (B) alami secara ortogonal di permukaan bumi untuk menentukan struktur konduktifitas bumi pada kedalaman beberapa puluh meter hingga beberapa ratus kilometer (Simpson, F., dan Bahr, K., 2005). Metode TDEM atau *Time Domain Electromagnetic* (EM aktif) hanya mengukur peluruhan medan magnet

sekunder terhadap waktu dalam bentuk tegangan transien (Eypórssson, E., 2015). Dengan hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder, metode TDEM relatif tidak terpengaruh oleh topografi permukaan dan faktor topografi sehingga dapat berfungsi sebagai koreksi statik data MT (Stenberg, B.K., dkk, 1988).

Metode MT merupakan salah satu metode geofisika utama dalam eksplorasi panas bumi, dan telah dilakukan di daerah

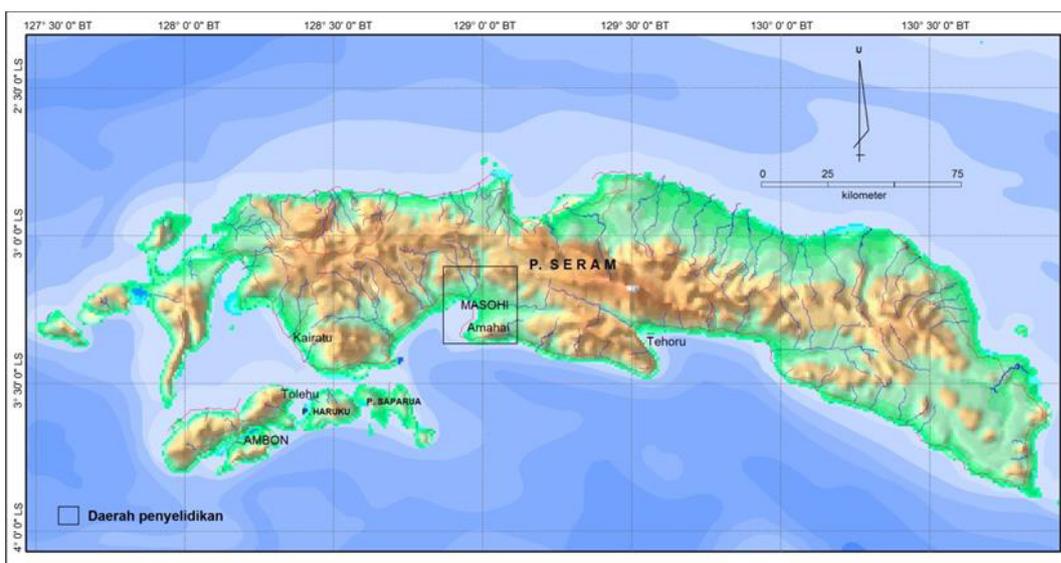
panas bumi Banda Baru oleh Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), Badan Geologi pada tahun anggaran 2022. Daerah Banda Baru termasuk kedalam salah satu daerah yang menjadi prioritas untuk dilaksanakan kegiatan *government drilling*. Secara administratif, daerah penyelidikan termasuk ke dalam wilayah Desa Banda Baru, Kecamatan Amahai, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku berada pada zona UTM 52 S (Gambar 1. 1).

METODOLOGI

Cagniard (1953), Keller dan Frischknecht (1966) menyatakan bahwa bumi dalam kasus struktur 1-D berupa bidang bumi berlapis, dan setiap lapisannya bersifat homogen dan isotropik. Data MT merupakan respon dari struktur tahanan jenis 3-D di dalam bumi (Petrick, dkk., 1977; Stanley, dkk., 1977; Rooney dan Hutton, 1977).

Namun pemodelan 1-D sangat mudah dilakukan, disamping itu dapat digunakan sebagai jaminan kualitas setiap stasiun data MT yang lebih efektif. Pemodelan 1-D biasanya dapat menggambarkan karakter geometri dari tahanan jenis secara keseluruhan terhadap lapisan penudung, namun tidak dapat mendeteksi batas bawah atau variasi kedalamannya (Cumming, W., dan Mackie, R, 2010).

Keterbatasan dari pemodelan 1-D tersebut dapat diatasi dengan melakukan pemodelan 3-D. Dengan melakukan pemodelan 3-D, kita dapat menentukan batas bawah zona lapisan penudung karena kedalaman efektif pemodelan 3-D tidak dibatasi oleh asumsi geometris sebagaimana yang terjadi pada pemodelan 1-D (Miensopust, M.P, dkk., 2013; Tietze, K., dan Ritter, O., 2013).



Gambar 1. Peta indeks lokasi survei

Dengan melakukan pemodelan 1-D dan 3-D di daerah panas bumi Banda Baru diharapkan dapat membangun model konseptual sumber daya secara terintegrasi.

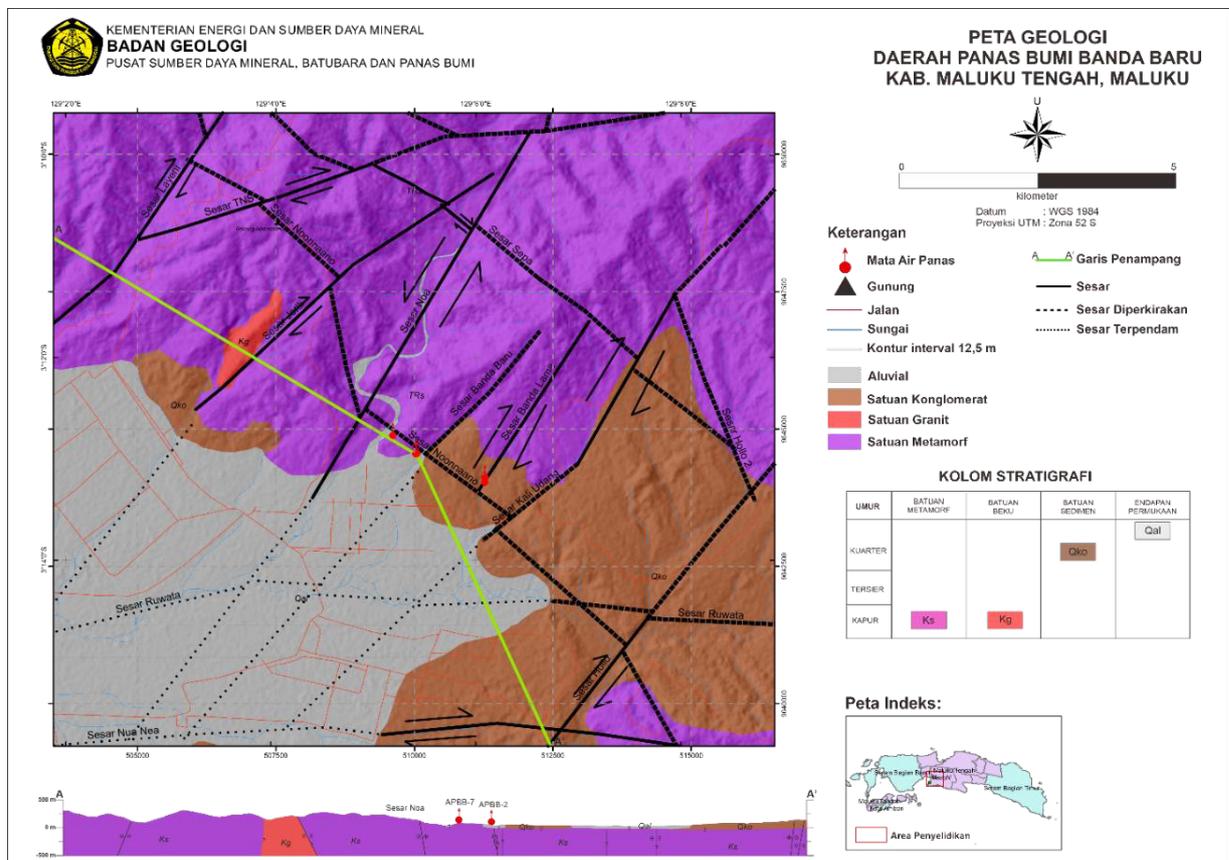
GEOLOGI

Daerah panas bumi Banda Baru termasuk ke dalam sistem panas bumi non-vulkanik dan terletak pada morfologi datar hingga terjal dengan kemiringan lereng antara 0-55°. Litologi yang menyusun daerah panas bumi Banda Baru tersusun atas Satuan Metamorf, Satuan Granit, Satuan Konglomerat, serta Aluvium. Struktur geologi di daerah panas bumi Banda Baru umumnya memiliki orientasi

baratlaut-tenggara, baratdaya-timurlaut, dan barat timur. Struktur geologi yang ditemukan di daerah survei umumnya berupa sesar geser dan sesar normal.

HASIL DATA PENGUKURAN

Hasil kegiatan survei MT dan TDEM di daerah panas bumi Banda Baru menggunakan dua unit alat Phoenix System. Kedua unit ini menggunakan receiver MTU5A System seri 3054 dan 1940 dengan koil coil magnetik seri BMT serial 53102, 53110, 53111, dan seri MT5H serial 3304, 3307, 3308. Sedangkan pengukuran TDEM menggunakan V8 Multifunction System seri 2963, RXU-TMR seri 2956, dan Transmitter T3 seri 1181.

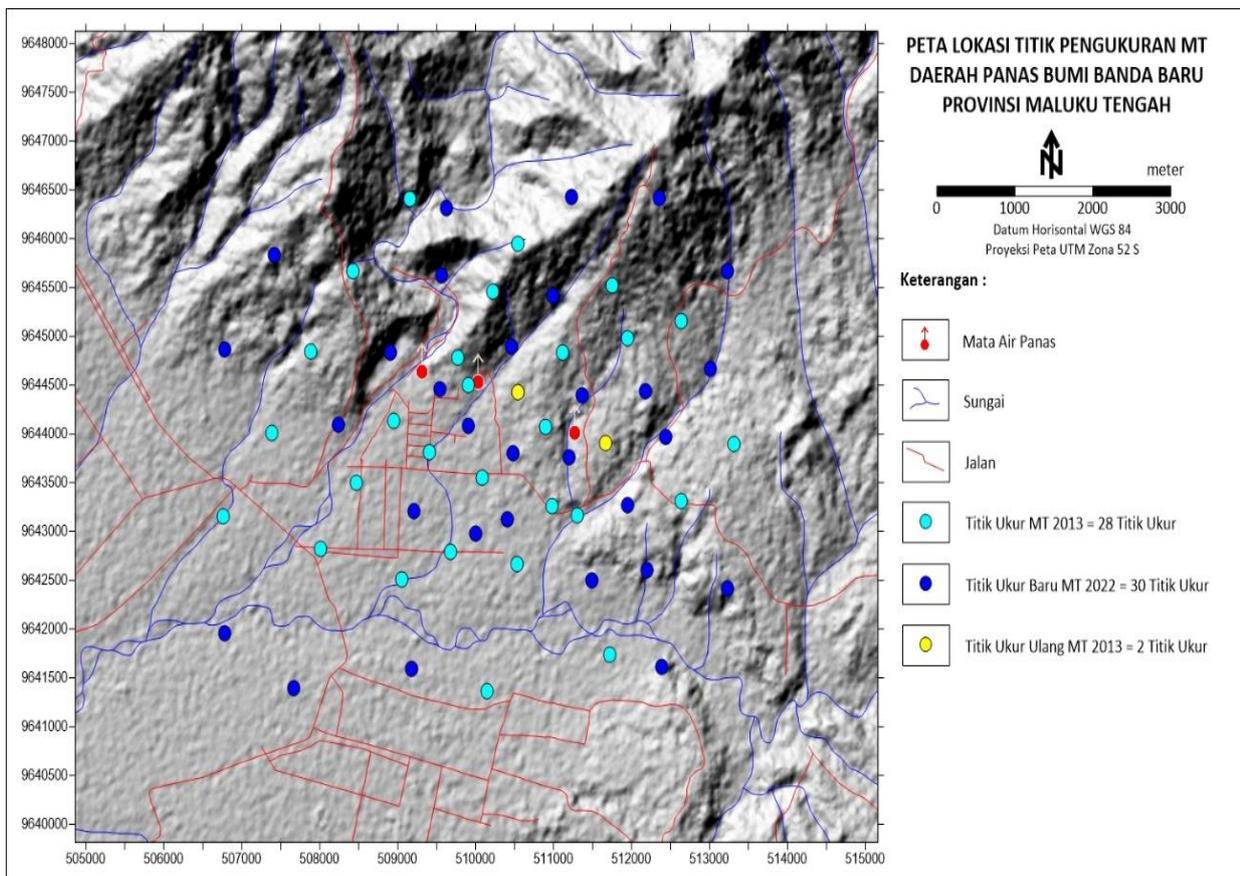


Gambar 2. Peta geologi rinci daerah panas bumi Banda Baru

Pengukuran data MT rata-rata berlangsung 10 -20 jam dengan jumlah titik ukur sebanyak 32 titik yang terdiri dari 30 titik ukur baru dan 2 titik ukur pengulangan data MT tahun 2013. Sebaran titik-titik ukur MT memiliki jarak antar titik ukur 500 – 1000 meter relatif mengisi celah antara lintasan data MT tahun 2013 dan mengisi celah yang kosong di pinggir lintasan data MT tahun 2013. Pembentukan lintasan baru bertujuan untuk mengisi antar lintasan terdahulu yang relatif jauh.

Hasil pemodelan data MT tersebut dicuplik 2 model yaitu lintasan yang berarah baratlaut-tenggara dan berarah baratdaya-timurlaut yang dianggap

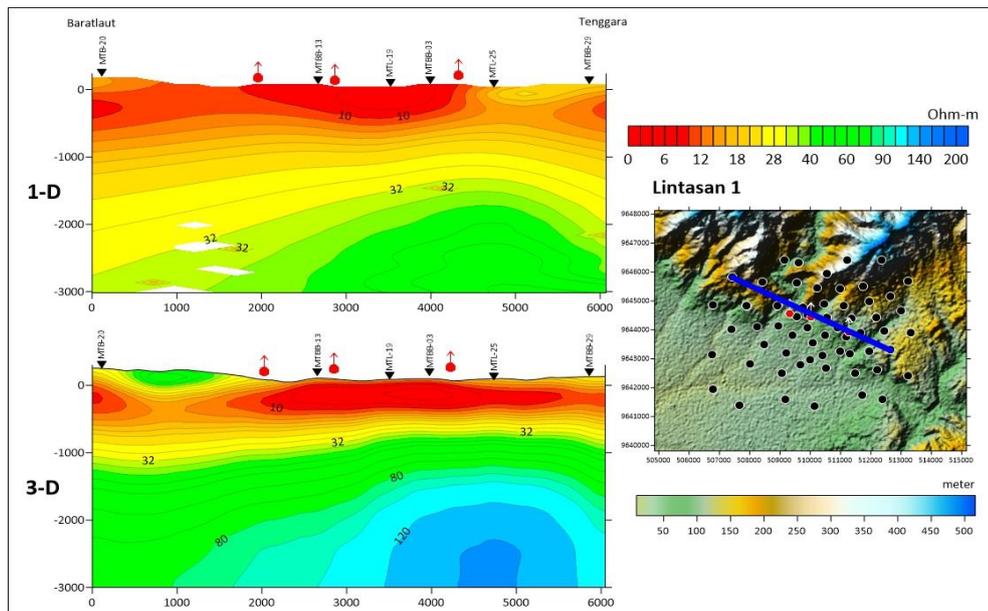
mewakili daerah penyelidikan. Hasil pemodelan 1-D lintasan 1 menunjukkan adanya lapisan bertahanan jenis rendah <10 Ohm-m yang melingkupi ketiga mata air panas atau di bawah titik ukur MTBB-13, MTL-19, dan MTBB-03. Hal yang sama juga dihasilkan lapisan bertahanan jenis rendah <10 Ohm-m pada pemodelan 3-D namun relatif memanjang ke arah tenggara dengan ketebalan sekitar 500 m atau hingga elevasi -400 m. Lapisan bertahanan jenis sedang 30 – 80 Ohm-m berada mulai elevasi -600 m hingga -1000 m. Keberadaan lapisan bertahanan jenis sedang tersebut memiliki ketebalan 600 m hingga 1200 m.



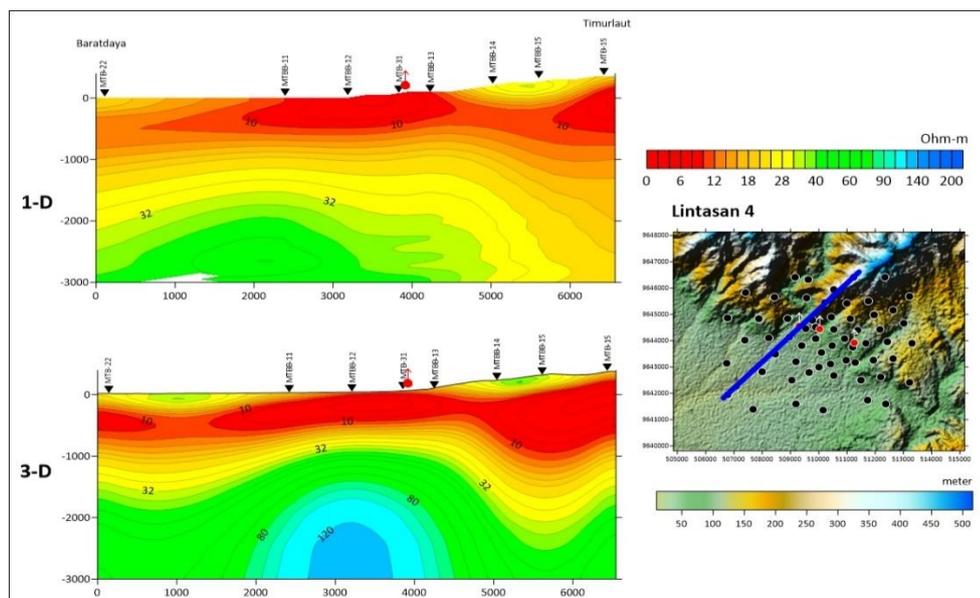
Gambar 3. Peta sebaran titik ukur MT

Hasil pemodelan 1-D pada lintasan 4 dapat mencitrakan lapisan bertahanan jenis rendah <10 Ohm-m yang melingkupi mata air panas dan di bawah titik ukur MTBB-11, MTBB-12, MTB-31, dan MTBB-13. Pada hasil pemodelan 3-D, keberadaan lapisan tahanan jenis rendah tersebut relatif sepanjang lintasan, namun anomali

menarik yang diduga berhubungan dengan sistem panas bumi Banda Baru berada di bawah titik ukur MTB-11, MTB-12, MTB-31, dan MTBB-13 dengan kedalaman elevasi -400 m hingga -600 m. Lapisan bertahanan jenis sedang 30 – 80 Ohm-m berada mulai elevasi -800 m dengan ketebalan minimal 600 m.



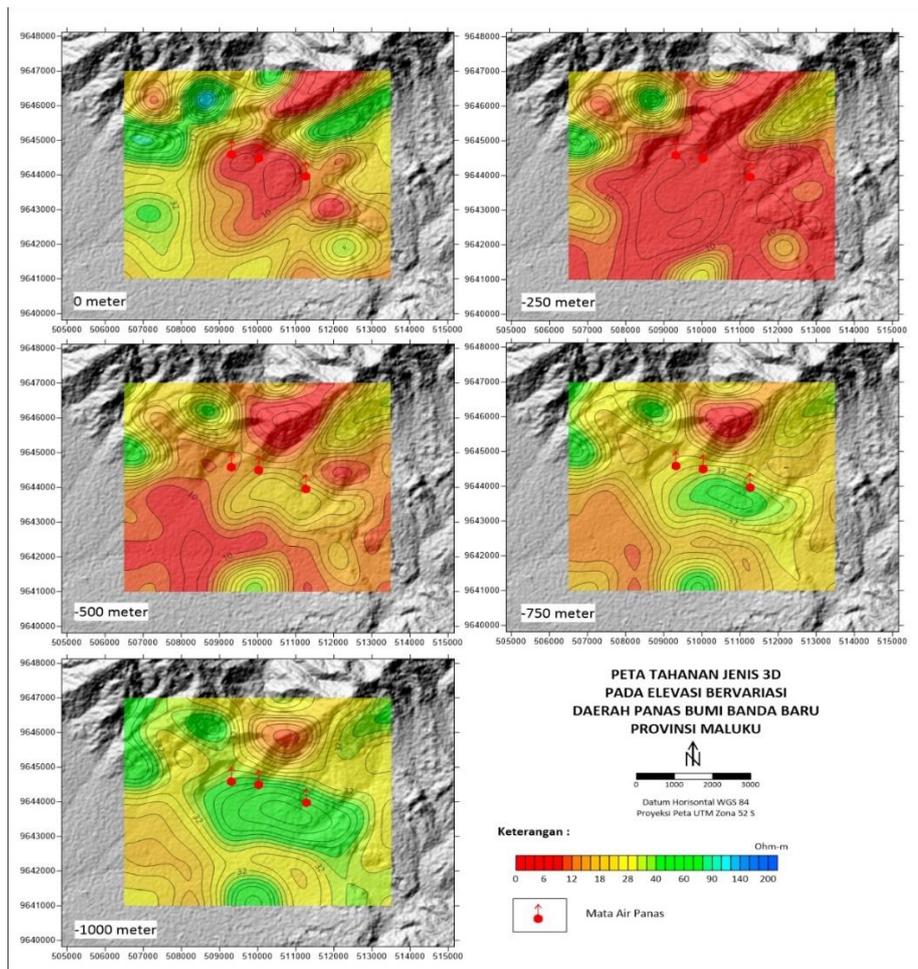
Gambar 4. Penampang tahanan jenis lintasan 1



Gambar 5. Penampang tahanan jenis lintasan 4

Hasil pemodelan 3-D dapat dibuat peta tahanan jenis pada elevasi yang bervariasi untuk dapat menunjukkan perubahan nilai tahanan jenis secara lateral pada elevasi 0, -250, -500, -750, dan -1000 m. Hasil peta tahanan jenis pada elevasi 0 m menunjukkan pola anomali relatif mirip dengan peta tahanan jenis semu pada frekuensi 100 dan 10 Hz. Sebaran tahanan jenis rendah <10 Ohm-m berada di bagian pedataran yang melingkupi seluruh mata air panas di daerah penyelidikan. Keberadaan tahanan jenis rendah tersebut juga berada di bagian utara dan membuka ke arah timurlaut. Batuan penyusun pada

terhadap nilai tahanan jenis rendah di pedataran tersebut merupakan respon batuan alluvial, sedangkan di bagian utara yang secara umum memiliki nilai tahanan jenis lebih tinggi yang berada di morfologi perbukitan merupakan respon batuan sekis dan andesit berdasarkan geologi permukaan. Pada elevasi -250 m, sebaran tahanan jenis rendah <10 Ohm-m hampir mengisi seluruh titik pengukuran MT, dengan kata lain meluas ke arah selatan dan timur daerah penyelidikan kecuali di bagian barat laut berupa spot dan di bagian timurlaut berupa spot memanjang.



Gambar 6. Peta tahanan jenis 3-D pada elevasi bervariasi

Sebaran tahanan jenis rendah <10 Ohm-m mengalami mulai mengalami degradasi nilai berupa spot memanjang berarah baratlaut-tenggara berada relatif di bagian selatan mata air panas Banda Baru pada elevasi -500 m. Perubahan tahanan jenis tersebut semakin tegas dan meluas keberadaannya pada elevasi -750 m hingga elevasi -1000 m. Keberadaan anomali tahanan jenis rendah yang mengalami degradasi tersebut diduga berkaitan dengan keberadaan batuan yang telah teralterasi oleh mata air panas yang muncul kepermukaan sehingga merubah sifat fisis batuan disekitarnya dan berfungsi sebagai lapisan penudung dari sistem panas bumi Banda Baru.

PEMBAHASAN

Pada Gambar 7 memperlihatkan peta tahanan jenis hasil pemodelan 3-D pada elevasi -300 m hingga elevasi -700 m dengan interval 100 m untuk melihat degradasi nilai tahanan jenis di daerah panas bumi Banda Baru. Pada peta tahanan jenis elevasi -300 m menunjukkan sebaran tahanan jenis <10 Ohm-m hampir melingkupi seluruh daerah penyelidikan, kecuali di bagian baratlaut dan timurlaut. Pada elevasi -400 m terjadi perubahan nilai tahanan jenis di dekat kelompok mata air panas Banda Baru berupa spot memanjang berarah baratlaut-tenggara menjadi tahanan lebih tinggi 12 – 14 Ohm-m. Degradasi nilai tahanan jenis tersebut semakin tegas dengan bertambahnya

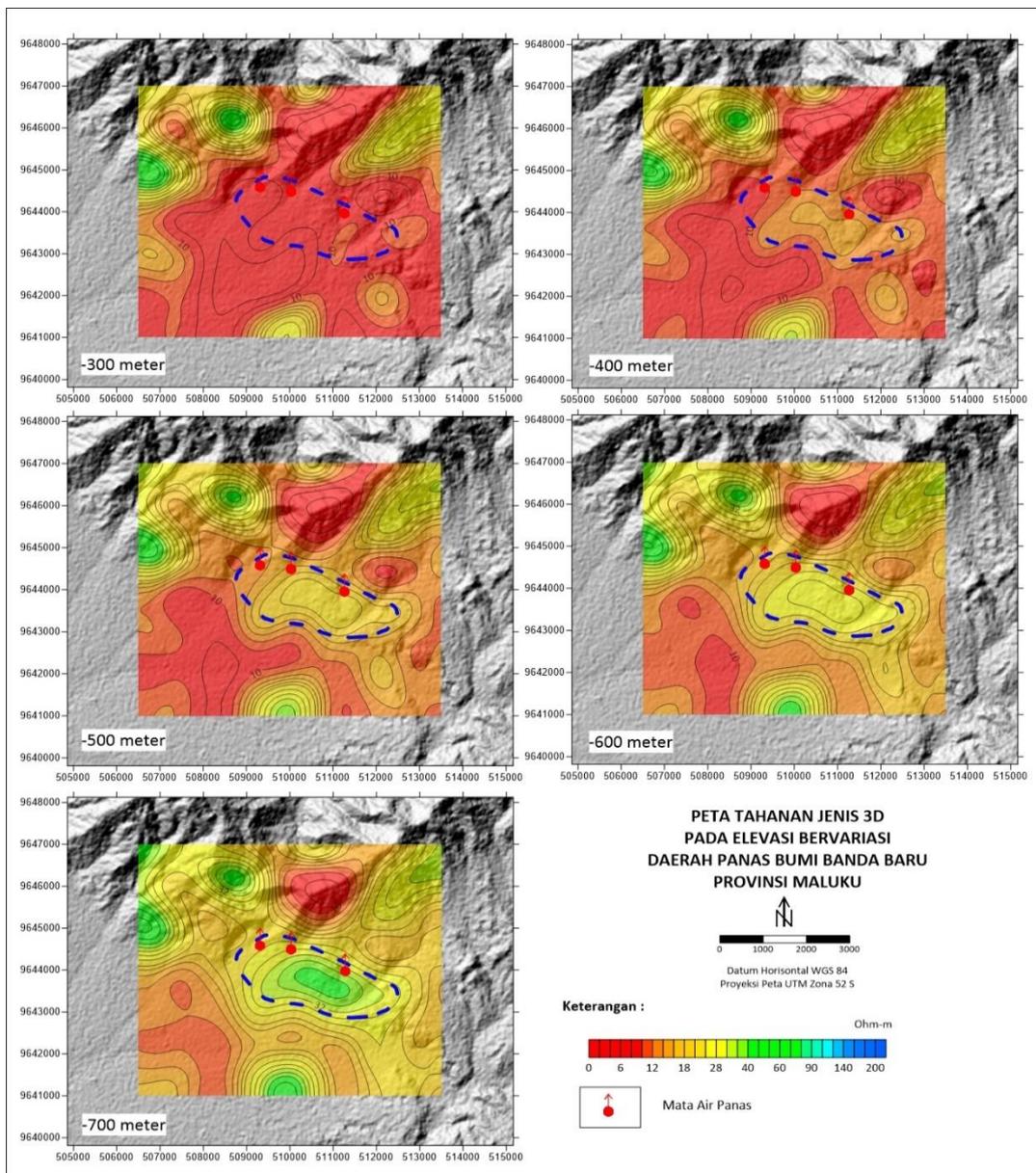
kedalaman dan diduga berkaitan dengan keberadaan batuan yang telah teralterasi oleh mata air panas yang muncul kepermukaan sehingga merubah sifat batuan disekitarnya dan berfungsi sebagai lapisan penudung dari sistem panas bumi Banda Baru pada lapisan tahanan jenis <10 Ohm-m di atasnya. Perubahan tahanan jenis tersebut menjadi lebih tinggi 24 – 40 Ohm-m pada elevasi -700 m dan diinterpretasikan sebagai top reservoir dari sistem panas bumi Banda Baru atau pada kedalaman 750 m hingga 800 m.

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 menggambarkan hasil model data MT secara padangan 3-Dimensi yang memotong luasan anomali yang diduga sebagai bagian dari sistem panas bumi Banda baru. Pada kedua penampang tahanan jenis tersebut dibawah mata air panas Banda Baru adanya lapisan bertahanan jenis rendah <10 Ohm-m diduga sebagai batuan yang telah teralterasi oleh fluida panas dengan formasi batuan aluvial dan malihan. Batuan yang telah teralterasi tersebut bersifat permeabel dan diinterpretasikan sebagai batuan penudung dari sistem panas bumi Banda Baru. Lapisan dibawahnya yang memiliki nilai tahanan jenis lebih tinggi 30 – 80 Ohm-m diperkirakan sebagai lapisan reservoir yang kaya akan rekahan-rekahan akibat aktifitas struktur sesar di daerah penyelidikan. Lapisan reservoir adalah wadah yang bersifat sarang dan berdaya

lulus terhadap fluida di daerah panas bumi Banda baru.

Daerah Banda Baru merupakan daerah yang terletak pada zona struktur yang kompleks, sehingga menjadikan daerah ini memiliki kemampuan yang baik untuk meloloskan air permukaan (*meteoric water*) yang mengalir dari dataran tinggi menuju dataran yang lebih rendah. Zona resapan berada di bagian utara pada

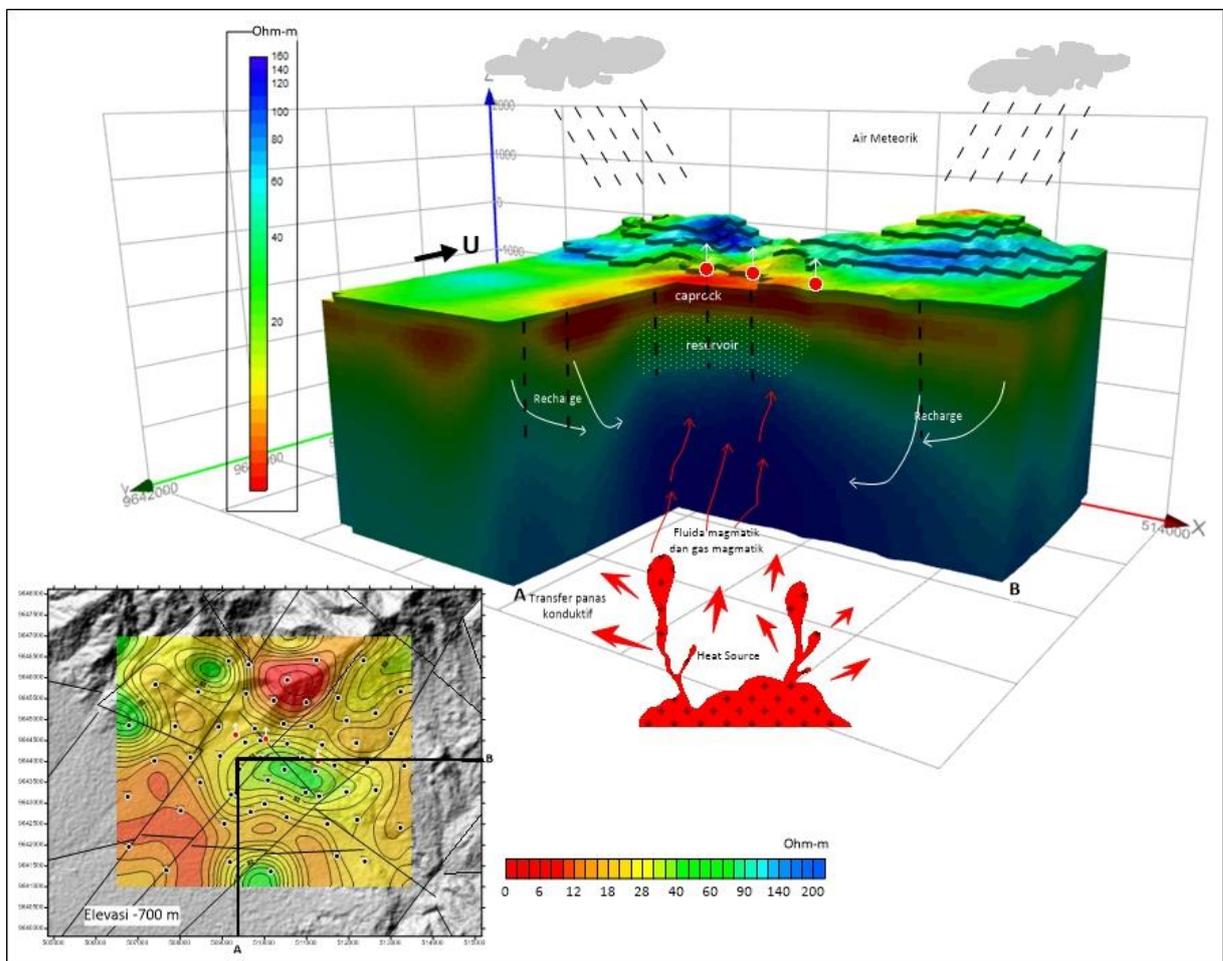
morfologi perbukitan yang dominan disusun oleh batuan malihan. Air meteorik masuk meresap ke dalam permukaan menuju kedalaman, kemudian terpanaskan oleh sumber panas dan masuk dalam zona reservoir dengan temperatur 210 °C. Fluida bermigrasi lagi menuju permukaan pada zona struktur membentuk manifestasi air panas Banda Baru



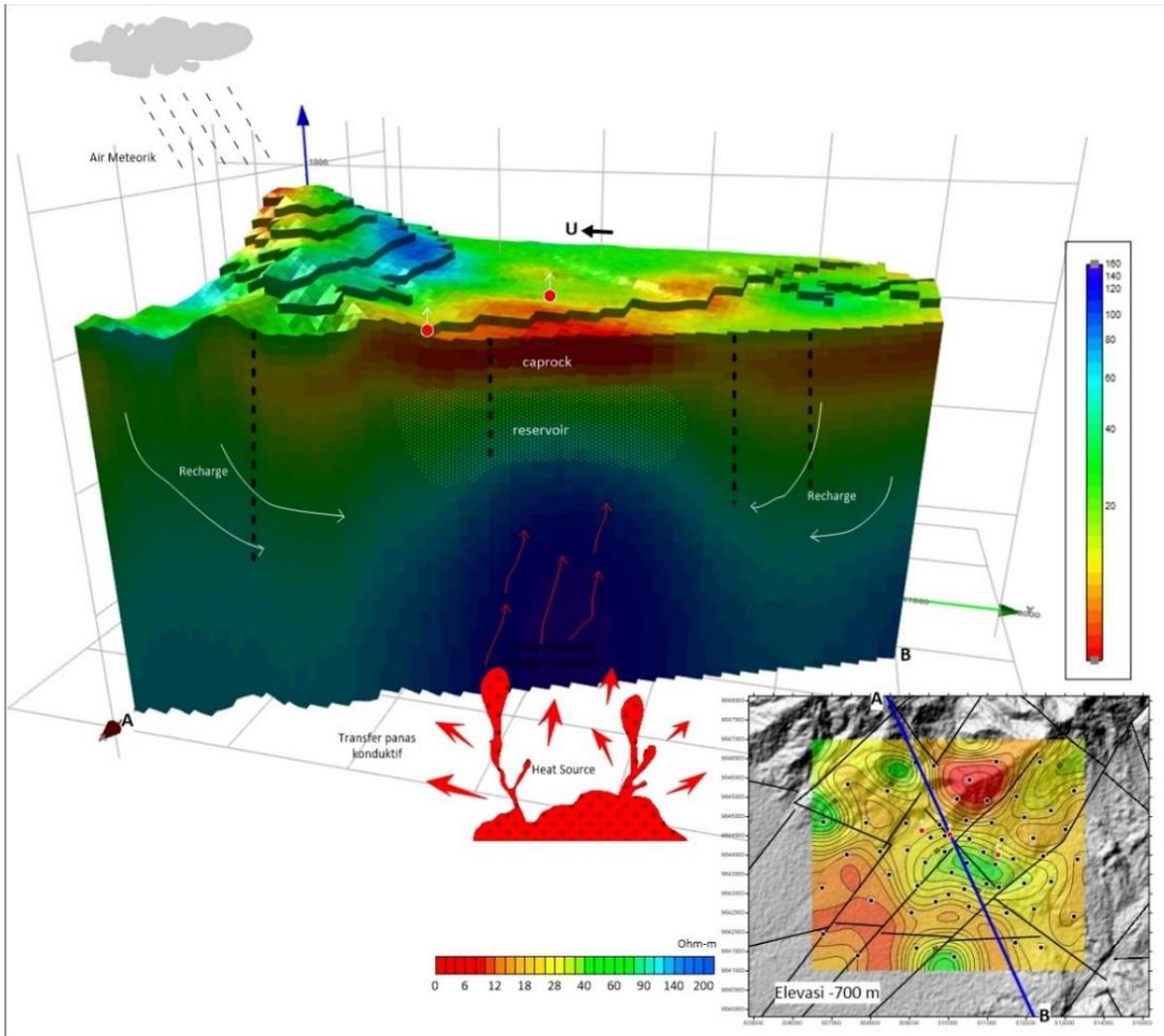
Gambar 7. Interpretasi peta tahanan jenis pada elevasi bervariasi

Lapisan penutup pada sistem panas bumi daerah Banda Baru diperkirakan terletak pada batuan alluvial dan malihan yang diduga telah mengalami ubahan. Keberadaan lapisan reservoir diperkirakan terletak pada batuan malihan yang kaya akan rekahan dan bersifat permeabel. Sifat permeabel tersebut disebabkan oleh rekahan-rekahan yang terbentuk akibat aktifitas struktur sesar yang terdapat di daerah Banda Baru.

Berdasarkan data MT, keberadaan top reservoir diperkirakan berada pada elevasi -700 m atau pada kedalaman sekitar 750 - 800 m. Sumber panas dari sistem panas bumi Banda Baru diperkirakan generasi magma baru yang berasal dari batuan granit yang telah termalihkan menjadi batuan Genis yang dibuktikan dijumpainya batuan tersebut disekitar keberadaan mata air panas Banda Baru.



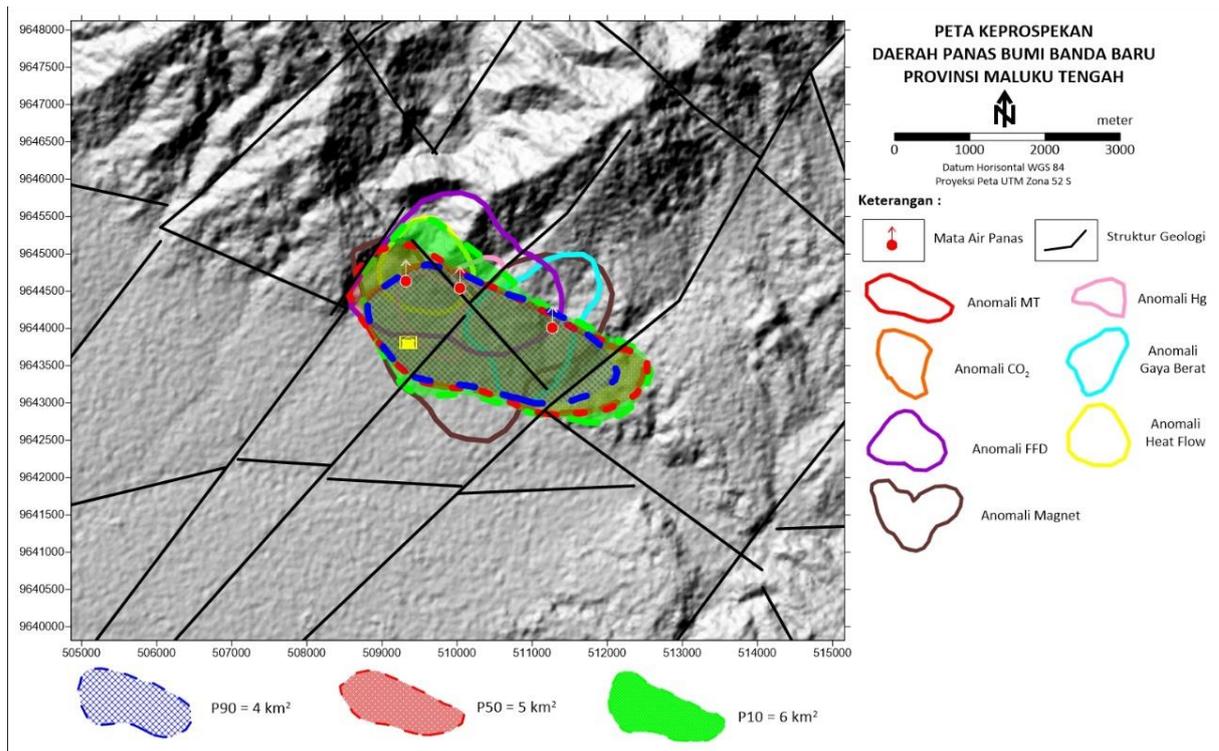
Gambar 8. Model 3-D tahanan jenis lintasan A



Gambar 9. Model 3-D tahanan jenis lintasan B

Hasil kompilasi anomali data MT, geologi (*FFD*), geokimia (CO_2 dan Hg), gaya berat, geomagnet, aliran panas (*heat flow*), dan keberadaan struktur geologi menghasilkan luasan prospek minimum P90 sekitar 4 km^2 , *most likely* P50 sekitar 5 km^2 dan luasan prospek maksimal P10 dengan luasan sekitar 6 km^2 . Hasil luasan prospek minimum P90 dihasilkan oleh anomali data MT, sedangkan luasan *most likely* P50 dihasilkan oleh luasan prospek data MT dan didukung oleh keberadaan

struktur geologi. Luasan prospek P90 dan P50 dari anomali data MT tersebut juga tumpang tindih dengan keberadaan anomali lainnya. Hasil luasan prospek maksimal P10 dihasilkan oleh anomali data MT dan perluasan anomali data aliran panas (*heat flow*), geokimia (CO_2 dan Hg), geologi (*FFD*), geomagnet ke arah utaranya. Hasil luasan prospek ketiga kategori tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



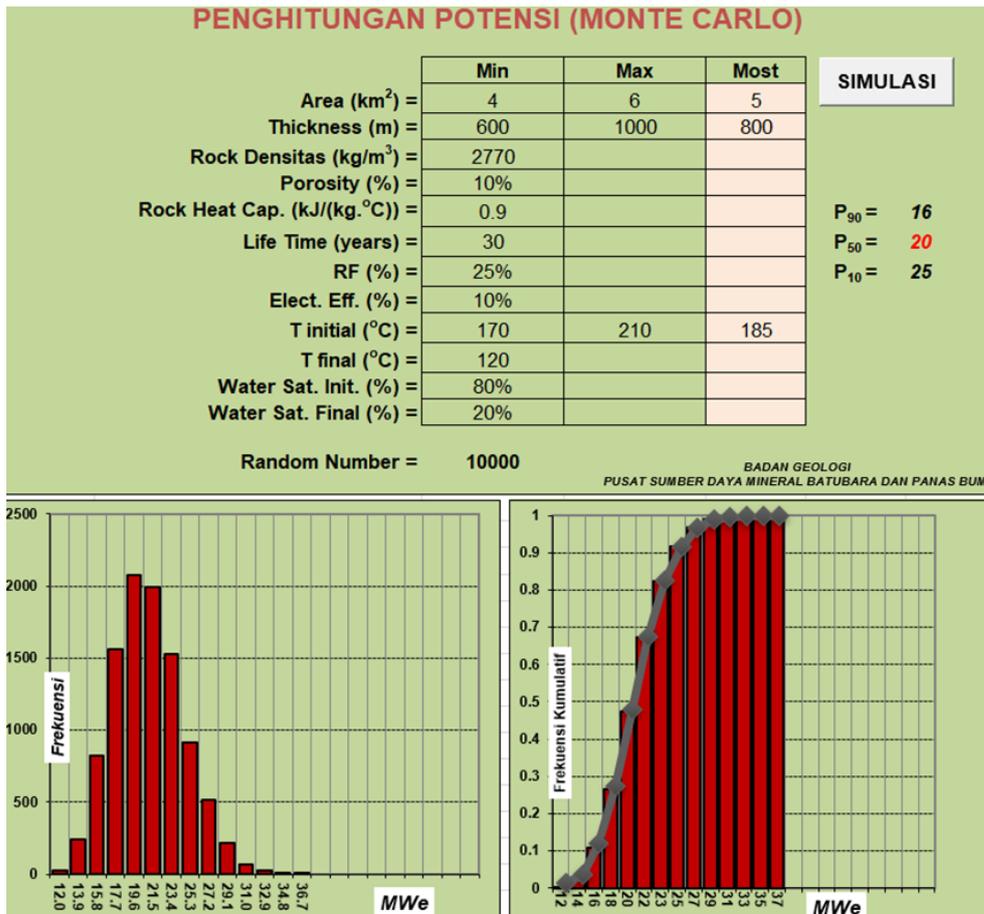
Gambar 10. Peta keprospection daerah panas bumi Banda Baru

Estimasi sumber daya panas bumi daerah Banda Baru dilakukan dengan metode volumetrik yaitu menggunakan simulasi Monte Carlo. Perhitungan menggunakan data sebagai berikut:

- Luas daerah prospek minimum (P90) sebesar 4 km², *most* (P50) sebesar 5 km², dan maksimum (P10) sebesar 6 km².
- Ketebalan reservoir : Minimum 600 meter dan *most* 800 meter, dan maksimum 1000 meter.
- $T_{initial}$: minimum 170°C, *most* 185°C dan maksimum 210°C, dan temperatur akhir adalah 120 °C

- Porositas batuan 10%, C_p (rock) = 900 J/ kg. °C, ρ_r (rock) = 2770 kg/m³, (R_f) adalah 25%, dan faktor konversi dari termal ke listrik (η) adalah 10%

Perhitungan dengan metode simulasi Monte Carlo (Gambar 11 **Error! Reference source not found.**) menunjukkan bahwa daerah panas bumi Banda Baru memiliki sumber daya panas bumi sekitar 20 MWe (P 50) pada kelas cadangan mungkin dengan kategori reservoir temperatur sedang.



Gambar 11. Perhitungan potensi panas bumi daerah Banda Baru

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data Magnetotellurik (MT), keberadaan lapisan konduktif yang diduga sebagai lapisan penudung dari sistem panas bumi Banda Baru menghasilkan luasan prospek di sekitar mata air panas banda Baru. Keprospekan menghasilkan luasan wilayah *most likely prospect* = 5 km². Dengan melakukan perhitungan Monte Carlo menghasilkan potensi cadangan mungkin pada daerah panas bumi Banda Baru sebesar **20 MWe**.

Keberadaan nilai tahanan jenis rendah <10 Ohm-m yang mengalami degradasi nilai tahanan jenis mulai elevasi -500 meter di sekitar mata air panas Banda

Baru. Pada elevasi -700 m degradasi nilai tahanan jenis tersebut berubah menjadi 24 – 40 Ohm-m yang diduga sebagai *top reservoir* pada sistem panas bumi Banda Baru atau berada pada kedalaman 750 hingga 800 m.

Metode Magnetotellurik sangat *powerfull* dapat mengkarakterisasi lapisan konduktif yang dapat diasumsikan sebagai lapisan penudung dari sebuah sistem panas bumi. Untuk memastikan adanya sistem panas bumi tersebut dapat dibuktikan oleh data bor. Pengeboran dapat dilakukan di dalam luasan prospek daerah Banda baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Cagniard, L., 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting: *Geophysics*, 18, 605-635.
- Cumming, W., dan Mackie, R., 2010, Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D, and 3D MT Inversion as TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History, *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 2529 April 2010.
- Eyþórsson, E., 2015, The Transient Electromagnetic method (TEM) in geothermal exploration. Processing and 1D inversion of a TEM sounding from Reykjanes, SW-Iceland, Faculty of Earth Sciences, University of Iceland
- Keller, G. V., dan Frischknecht, F. C., 1966, *Electrical methods in geophysical prospecting*, Pergamon Press Ltd., Oxford, 527 pp.
- Miensopust, M.P., Queralt, P., dan Jones, A.G., 2013, Magnetotelluric 3-D Inversion - a Review of Two Successful Workshops o Forward and Inversion Code Testing and Comparison, *Geophys. J. Int.* (2013) 193, 1216 - 1238, Advance Access Publication 2013 March 13.
- Petrick. W. R., Pelton, W. H., dan Ward, S. H., 1977, Ridge regression inversion applied to crustal resistivity sounding data from South Africa: *Geophysics*, 42, 995-1005.
- Rooney, D., dan Hutton, V. R., 1977, A magnetotelluric and magnetovariational study of the Gregory Rift Valley, Kenya: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 51, 91-119.
- Simpson, F., dan Bahr, K., 2005, *Practical Magnetotellurics*, Georg - August - Universitat, Gottingen, Cambridge University Press
- Stanley, W. D., Boehl, J. E., Bostick, F. X., Jr., dan Smith, H. W., 1977, Geothermal significance of magnetotelluric soundings in the Snake River Plain – Yellowstone region : *J. Geophys. Res.*, 82, 25012514.
- Stenberg, B.K., Washburne, J.C., dan Pellerin, L., 1988, Correction for the static shift in magnetotellurics using transient electromagnetic soundings, *Geophysics*, Vol 53 No 11
- Tietze, K., dan Ritter, O., 2013, 3D Magnetotelluric Inversion in Praticce - The electrical Conductivity Structure of the San Andreas Fault in Central California.

**EVALUASI DATA GEOSAINS PANAS BUMI
UNTUK PENGUSULAN WILAYAH KERJA PANAS BUMI
DAERAH PARIANGAN DAN LOMPPIO**

Wiwid Joni, Dudi Hermawan, dan Rina Wahyuningsih

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Dalam rangka percepatan pengembangan panas bumi di Indonesia, pemerintah telah melakukan penetapan Wilayah Kerja (WK) Panas Bumi pada daerah-daerah yang dianggap memiliki sumber daya panas bumi. Pada tahun anggaran 2022, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi telah menyiapkan usulan WK Panas Bumi dengan cara melakukan kegiatan evaluasi data geosains pada daerah prospek panas bumi terpilih sehingga dapat menghasilkan suatu usulan atau rekomendasi WK Panas Bumi baru.

Evaluasi data geosains panas bumi dilakukan pada dua daerah prospek terpilih yang dianggap telah memenuhi syarat untuk diusulkan menjadi Wilayah Kerja (WK) Panas Bumi. Kedua daerah prospek tersebut adalah daerah panas bumi Pariangan, Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat; dan daerah panas bumi Lompio, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah.

Berdasarkan hasil evaluasi data geosains, daerah panas bumi Pariangan memiliki luas prospek 8 km² dengan cadangan mungkin sebesar 27 MWe, dan luas usulan WK panas bumi 9800 Ha. Daerah panas bumi Lompio memiliki luas prospek 4,5 km² dengan cadangan mungkin sebesar 14 MWe, dan luas usulan WK panas bumi 8000 Ha.

Kata kunci: panas bumi, wilayah kerja, prospek, potensi

PENDAHULUAN

Kegiatan evaluasi geosains untuk pengusulan wilayah kerja panas bumi tahun 2022 dilakukan pada 2 daerah prospek panas bumi, yaitu: daerah panas bumi Pariangan, dan daerah panas bumi Lompio. Secara administratif, daerah panas bumi Pariangan termasuk ke dalam Kecamatan Pariangan, Kabupaten Tanah

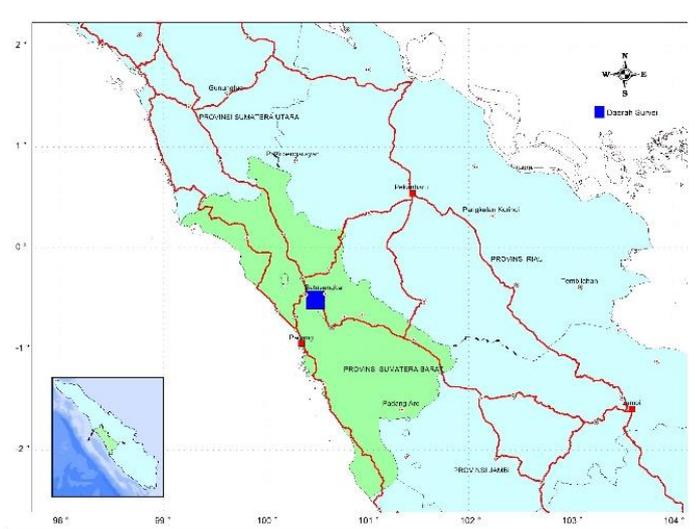
Datar, Provinsi Sumatera Barat. Sedangkan daerah panas bumi Lompio termasuk ke dalam Kecamatan Sirenja, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah.

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengumpulkan dan mengevaluasi data dan informasi kepanasbumian terutama

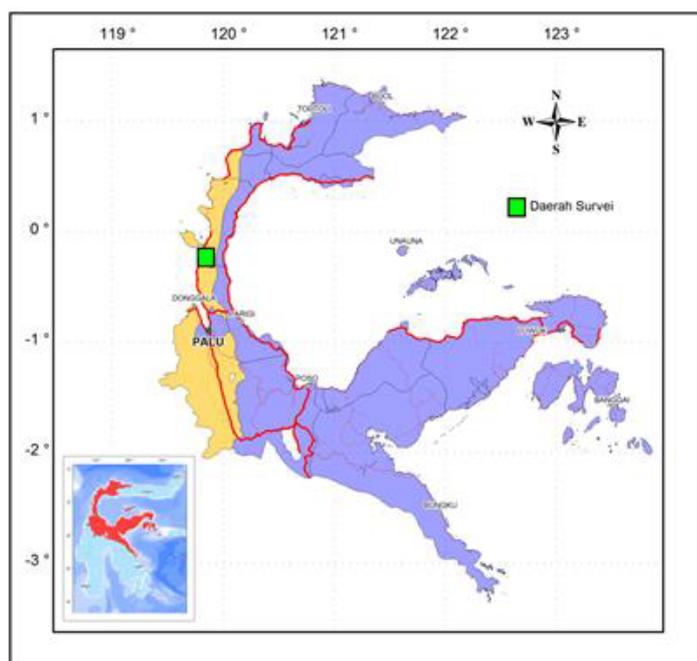
data geosain hasil survei pendahuluan dan eksplorasi serta kelayakan teknis sumber daya atau cadangannya secara menyeluruh dengan mempertimbangkan faktor potensi kebencanaan, informasi wilayah kehutanan, serta infrastrukturnya.

Tujuan kegiatan ini untuk tersedianya rekomendasi teknis Wilayah

Kerja Panas Bumi yang memuat wilayah keprospekan, estimasi sumberdaya, dan informasi potensi kebencanaan, kawasan kehutanan, serta infrastruktur untuk pertimbangan penilaian kelayakan teknis dalam pengembangan wilayah prospek panas bumi.



Gambar 1. Peta indeks lokasi daerah panas bumi Pariangan



Gambar 2. Peta indeks lokasi daerah panas bumi Lompio

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan evaluasi geosains daerah prospek panas bumi di wilayah Pariangan, dan Lompio merupakan metode yang menggabungkan kajian/studi geologi, geokimia, geofisika yang disesuaikan pada hasil kajian/studi data dan/atau informasi sekunder.

Evaluasi Keprospekan dilakukan untuk mengolah dan mengkaji keprospekan dan penilaian estimasi sumber daya dan pertimbangan kelayakan teknis dari informasi kebencanaan, kawasan hutan serta infrastruktur untuk penentuan batas-batas delineasi usulan Wilayah Kerja Panas Bumi dalam bentuk Peta Usulan WK Panas Bumi daerah kajian.

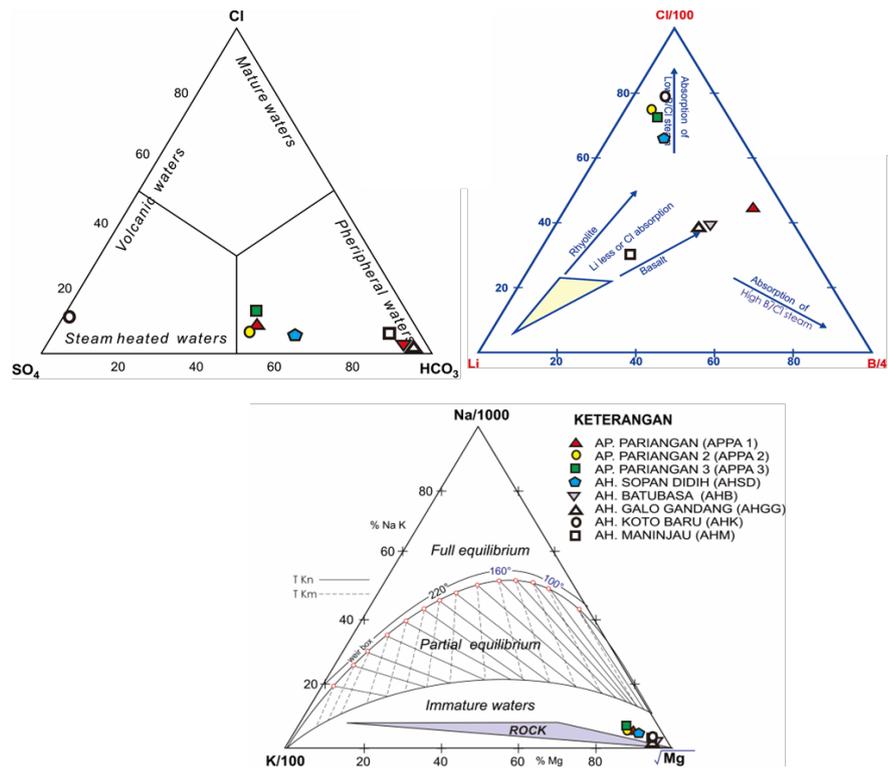
Laporan akhir evaluasi data geosains untuk usulan WK Panas Bumi ini menghasilkan revidi data geosains secara menyeluruh dan pertimbangan aspek kelayakan teknis untuk menjadi rekomendasi penentuan WK Panas Bumi dari Badan Geologi ke Menteri ESDM cq. Ditjen EBTKE.

GEOSAINS DAERAH PARIANGAN

Tatanan geologi daerah panas bumi Pariangan disusun berdasarkan satuan batuan dengan prinsip vulkanostratigrafi dan litostratigrafi. Penentuan satuan batuan didasarkan atas umur batuan tertua hingga produk erupsi dari kompleks Marapi dengan urutan

sebagai berikut: Satuan Batusabak, Satuan Metagamping, Satuan Metabatupasir, Granit, Satuan Batupasir Kuarsa, Satuan Konglomerat, Satuan Jatuhan Piroklastik Tua, Satuan Vulkanik Tua Raja, Satuan produk vulkanik Pra-Merapi, Satuan produk vulkanik Merapi, Satuan produk vulkanik Sibakaljawi, Satuan produk vulkanik Parapati, dan Satuan produk vulkanik Gantung. Struktur geologi yang berkembang di daerah Pariangan sangat dipengaruhi oleh kegiatan tektonik sesar Sumatera dan juga pola sesar radial mengikuti perkembangan vulkanisme kompleks Marapi berupa: sesar baratlaut-tenggara, sesar baratdaya-timurlaut, sesar utara-selatan, dan kawah vulkanik (Gambar 3).

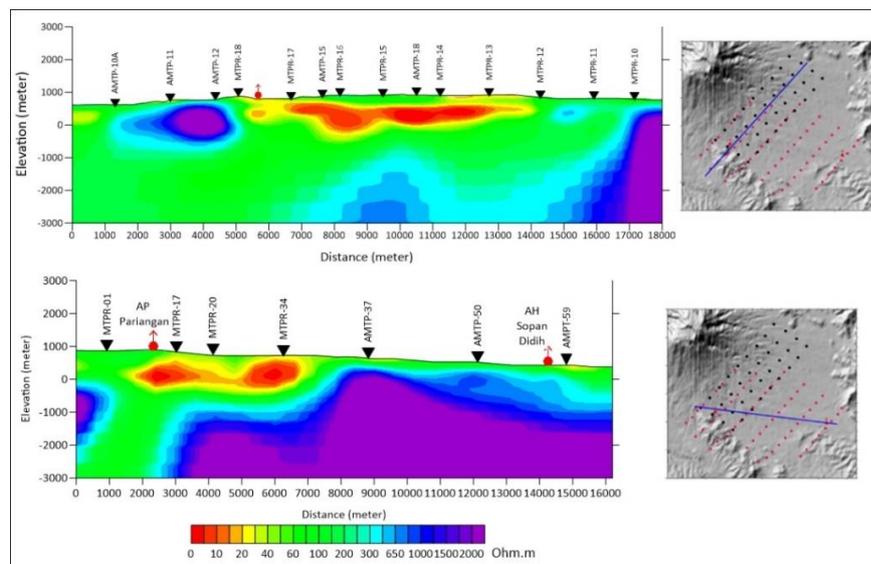
Berdasarkan hasil diagram Cl-SO₄-HCO₃, semua air panas di daerah Pariangan dan sekitarnya bertipe bikarbonat dengan konsentrasi SiO₂, HCO₃, SO₄, dan Cl cukup tinggi. Hasil diagram Cl-Li-B, air panas Pariangan 1-2-3 berada di pojok Cl yang mengarah ke tengah-tengah diagram. Hal ini mengindikasikan kecenderungan keseimbangan Cl-B. Pada diagram Na-K-Mg menunjukkan bahwa air panas Pariangan 1-2-3 berada pada zona *immature water*, mengindikasikan bahwa reaksi antara fluida dengan batuan reservoir telah tercampur oleh air dingin di permukaan, didukung di sekitar keberadaan pemunculan air panas terdapat sinter karbonat (Gambar 4).



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Cl-Li-B, dan Na-K-Mg (Tim Survei Terpadu, 2014)

Tabel 1. Hasil perhitungan pendugaan temperatur bawah permukaan sistem panas bumi Pariangan

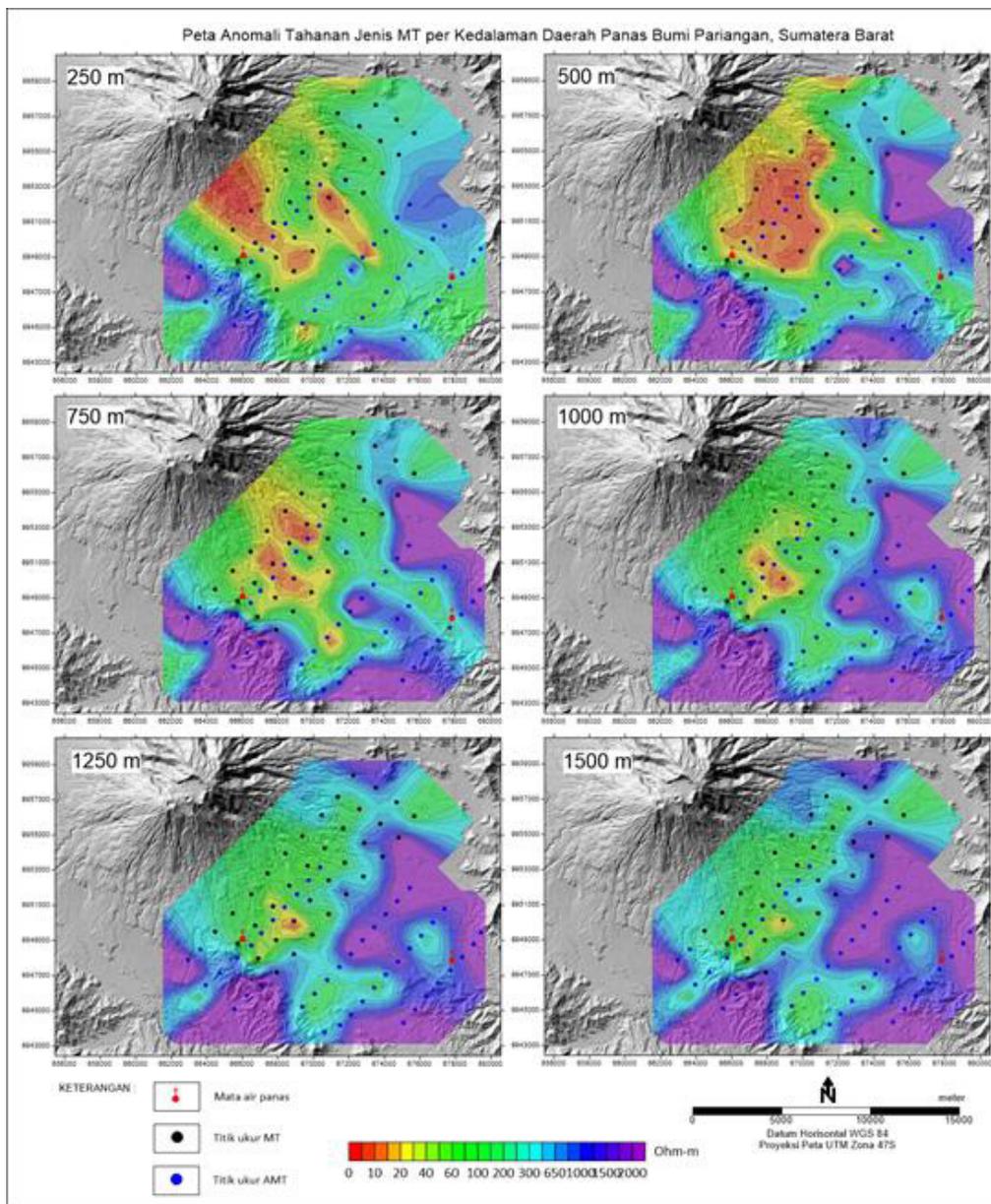
Jenis Geotermometer	AP. PARIANGAN-1 (APPA-1)	AP. PARIANGAN-2 (APPA-2)	AP. PARIANGAN-3 (APPA-3)	AH. SOPAN DIDIH (AHSD)
T SiO ₂ (cc)	167	167	165	70
T SiO ₂ (ac)	157	158	156	75
T NaK (F)	290	292	284	267
T NaK (G)	299	302	294	279



Gambar 5. Penampang tahanan jenis model MT 2D (modifikasi Tim Survei MT, 2015)

Hasil pemodelan 2D MT disajikan dalam bentuk peta tahanan jenis pada kedalaman 250 m, 500 m, 750 m, 1000 m, 1250 m, dan 1500 m memperlihatkan pola sebaran tahanan jenis yang bervariasi. Pada kedalaman 250 m, sebaran tahanan jenis rendah berada di kaki Gunung Marapi, mengarah ke tenggara. Sebaran tahanan jenis rendah ini konsisten melebar pada kedalaman 500 m lalu menyempit mulai

dari kedalaman 750 m dan hilang di kedalaman 1250 m. Mata air panas Pariangan berada di batas lapisan konduktif. Lapisan bertahanan jenis medium terlihat di sekitar mata air panas Pariangan mulai pada kedalaman 750 m. Zona inilah yang diperkirakan sebagai zona reservoir dari sistem panas bumi Pariangan (Gambar 6).



Gambar 6. Peta tahanan jenis MT 2D (modifikasi Tim Survei MT, 2015)

GEOSAINS DAERAH LOMPIO

Stratigrafi di daerah Lompio dibagi menjadi 6 satuan batuan dengan urutan - urutan dari tua ke muda sebagai berikut (Gambar 7): Satuan batuan Malihan (Km), Satuan batuan granit Tinjuawo (Tmgt), Satuan batuan granit Sitiau (Tmgs), Satuan batuan diorit (Qpd), Satuan batuan Gamping Terumbu (Qgt), dan Satuan Aluvium (Qal).

Berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ memperlihatkan bahwa air panas di Lompio merupakan air klorida. Pada diagram segitiga Na-K-Mg, air panas Lompio dalam kondisi *partial equilibrium*, yang mengindikasikan bahwa air panas Lompio adalah air yang berasal dari reservoir panas bumi. Kandungan Mg yang rendah merupakan indikasi bahwa pengaruh air meteorik tidak terlalu besar di dalam air panas ini. Berdasarkan diagram segitiga Cl- Li-B air panas di daerah Lompio berada di zona Cl, yang merupakan indikasi air reservoir dari kedalaman atau adanya pengaruh intrusi air laut. Fluida reservoir mengalami pencampuran/ pelarutan dengan air laut yang diindikasikan oleh tingginya nilai DHL (air panas 10.000 s.d 16 μ S/cm dan air laut 32.000 μ S/cm), komposisi Cl (air panas 3.600 s.d 5.800 ppm dan air laut 17.000 ppm). Air panas yang berasa asin merupakan salah satu indikasi tersebut (Gambar 8). Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah Lompio dengan menggunakan geotermometer air SiO₂

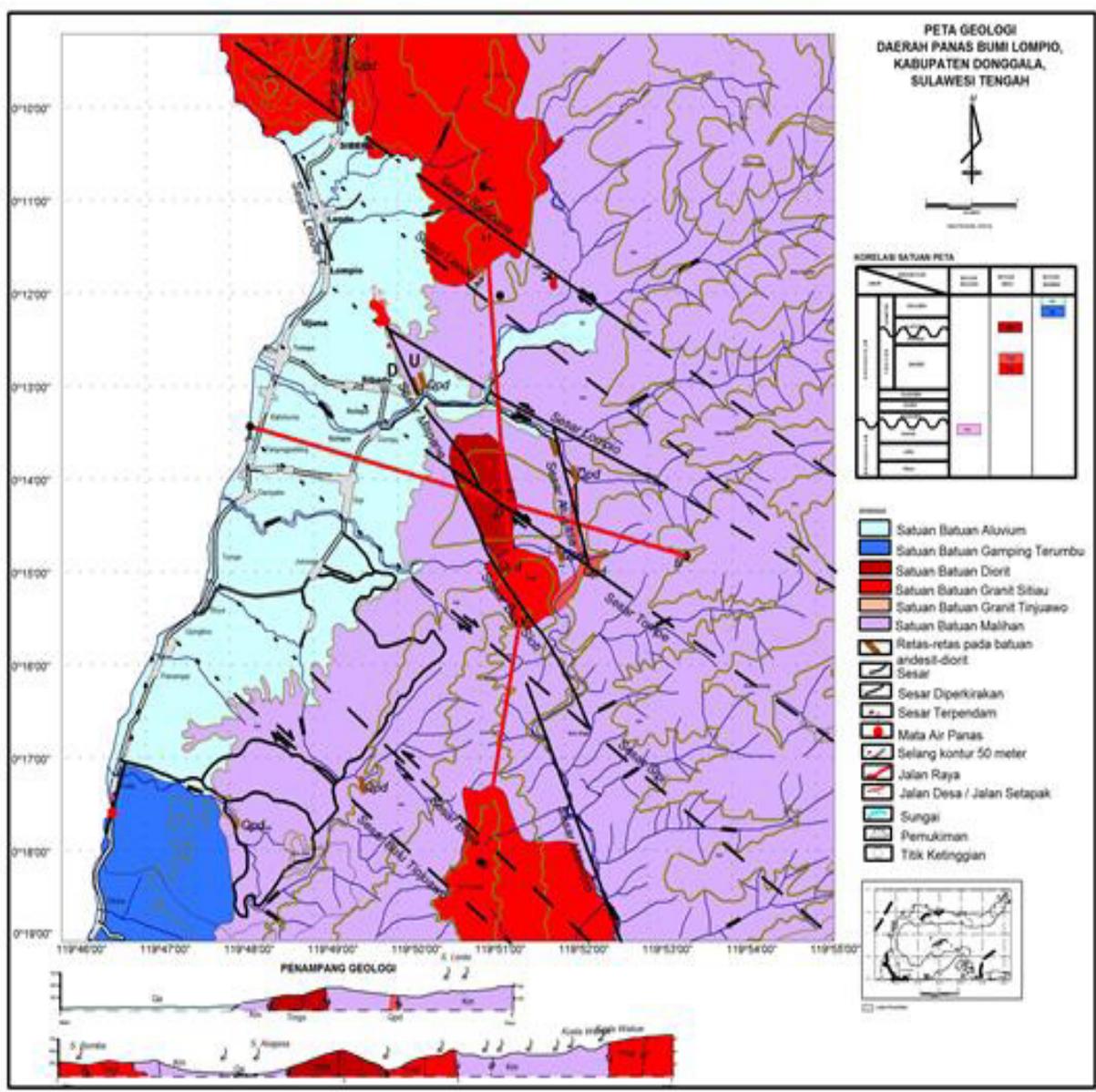
berkisar antara 140 s/d 160°C, geotermometer Na/K berkisar antara 170 s/d 220°C, dan Na-K-Ca sebesar 160 s/d 180°C (Tabel 2). Pada perkiraan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan grafik entalpi klorida, didapatkan perkiraan temperatur reservoir daerah panas bumi Lompio sebesar 185°C

Berdasarkan hasil pemodelan MT 2D, penampang yang menggambarkan sistem panas bumi di daerah Lompio ditunjukkan oleh model MT 2D lintasan 5 dan lintasan 9. Pada kedua lintasan ini terlihat adanya sebaran nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) dari dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 500 m. Sebaran nilai tahanan jenis rendah tersebut diduga berasosiasi dengan batuan ubahan yang terbentuk akibat adanya aktivitas hidrotermal. Di bawah zona tahanan jenis rendah tersebut, tersebar nilai tahanan jenis sedang (20 Ohm.m s.d. 125 Ohm.m) yang diduga sebagai zona reservoir. Di bagian bawah sebelah tenggara terlihat adanya sebaran nilai tahanan jenis tinggi (>125 Ohm.m). Nilai tahanan jenis tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai respon dari batuan metamorf dan/atau batuan intrusi yang umumnya bersifat resistif (Gambar 9).

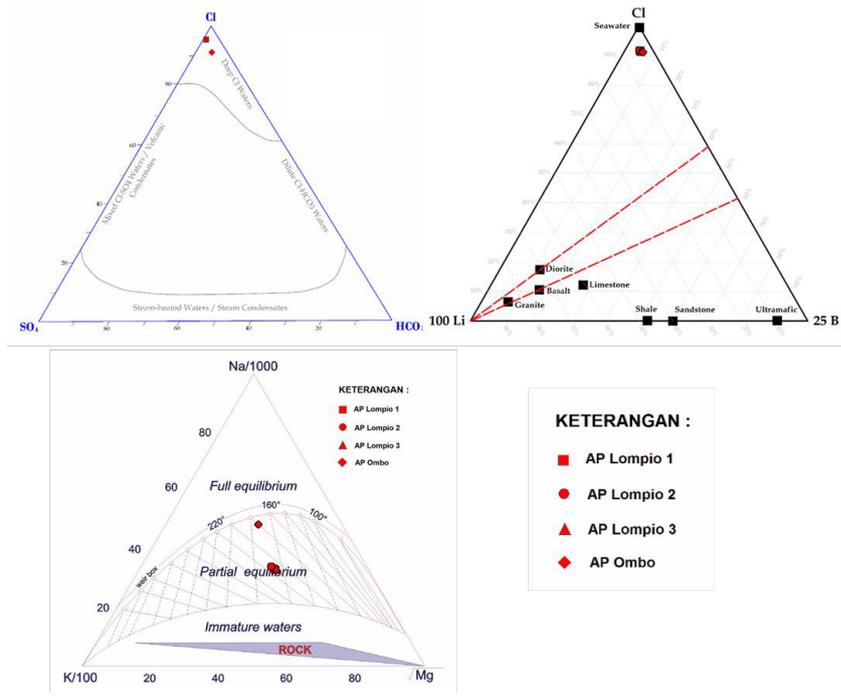
Hasil pemodelan data MT daerah Lompio disajikan dalam bentuk peta tahanan jenis pada elevasi -100 m, -500 m, -1000 m, dan -2000 m memperlihatkan pola sebaran tahanan jenis yang bervariasi. Nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m)

tersebar di sekitar mata air panas Lompio dengan pola membuka ke arah barat. Penyebaran nilai tahanan jenis rendah tersebut terlihat jelas pada elevasi -100 m dan -500 m. Nilai tahanan jenis rendah tersebut diduga berasosiasi dengan batuan ubahan di sekitar mata air panas Lompio dan batuan sedimen di sebelah barat dan selatannya. Nilai tahanan jenis rendah yang tersebar di sekitar mata air panas

Lompio mulai tidak terlihat pada elevasi - 500 m dan -1000 m. Di sekitar zona tersebut nilai tahanan jenis sedang (20 Ohm.m s.d. 125 Ohm.m). Sebaran nilai tahanan jenis sedang tersebut diinterpretasikan sebagai respon dari zona reservoir karena batuan reservoir umumnya memiliki nilai tahanan jenis yang lebih tinggi daripada batuan penutup (Gambar 10).



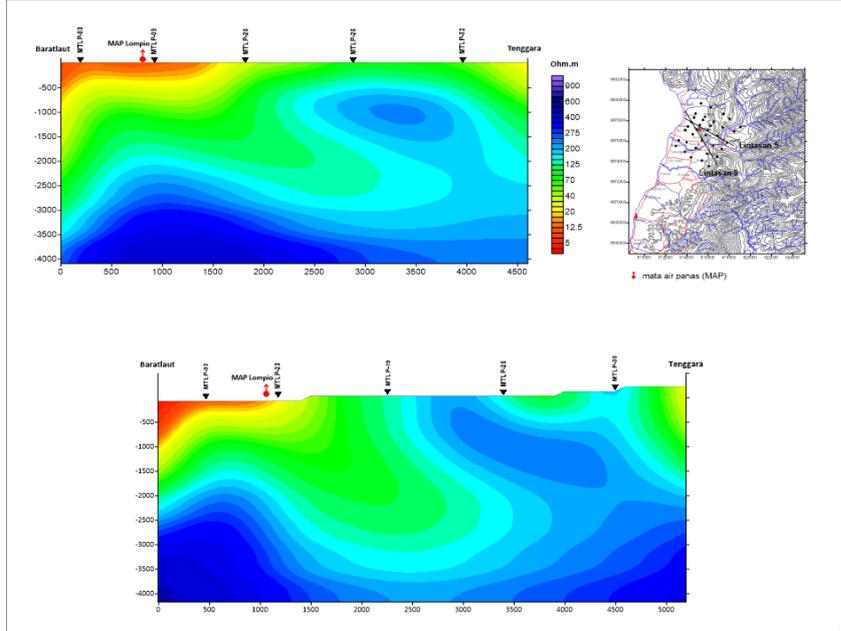
Gambar 7. Peta Geologi rinci daerah panas bumi Lompio (modifikasi Tim Survei Terpadu, 2005)



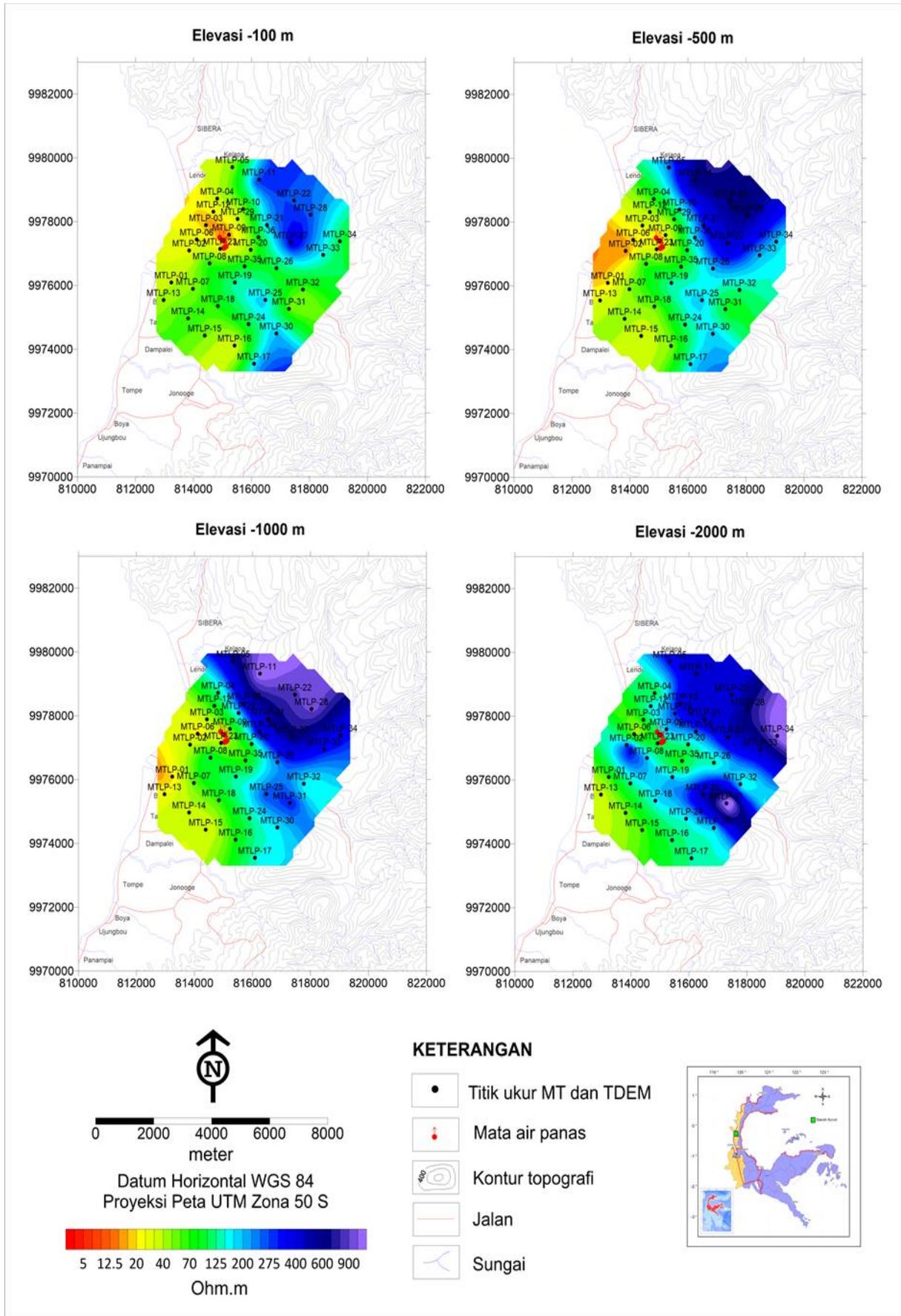
Gambar 8. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Cl-Li-B, dan Na-K-Mg (modifikasi Tim Survei Terpadu, 2005)

Tabel 2. Hasil perhitungan pendugaan temperatur bawah permukaan sistem panas bumi Lompio

Nama Conto	Quartz Conductive	Quartz Adiabatic	Na/K ⁽¹⁾	Na/K ⁽²⁾	Na/K ⁽³⁾	Na/K ⁽⁴⁾	Na/K ⁽⁵⁾	Na/K ⁽⁶⁾	Na-K-Ca	Na-K-Ca (Mg corr)
AP. Lompio 1	151	144	201	168	217	201	188	176	178	178
AP. Lompio 2	150	143	200	166	216	199	187	175	178	178
AP. Lompio 3	151	144	198	164	215	197	185	173	176	176
AP. Ombo	161	153	164	124	183	151	152	134	162	162



Gambar 9. Penampang tahanan jenis MT 2D lintasan 5 dan 9 (modifikasi Tim Survei MT, 2015)



Gambar 10. Peta tahanan jenis MT 2D (modifikasi Tim Survei MT, 2015)

SISTEM PANAS BUMI PARIANGAN

Daerah panas bumi Pariangan terletak di wilayah *high terrain* yang terkait dengan aktivitas vulkanik di lereng Gunung Marapi, Sumatera Barat. Gunung Marapi merupakan gunung api strato tipe A yang masih aktif hingga saat ini. Pembentukan sistem panas bumi di Pariangan dengan kaitan sumber panas yang berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Marapi memiliki sebaran manifestasi hingga 10 km. Hasil interpretasi geosains menunjukkan sistem panas bumi Pariangan terbentuk di lereng tenggara dengan jarak sekitar 5 km dari pusat erupsi Gunung Marapi. Pola *updoming* dari nilai tahanan jenis serta nilai rendah pada densitas batuan hasil gaya berat memperkuat hipotesa tersebut didukung anomali tinggi pada densitas rekahan dan sesar (FFD).

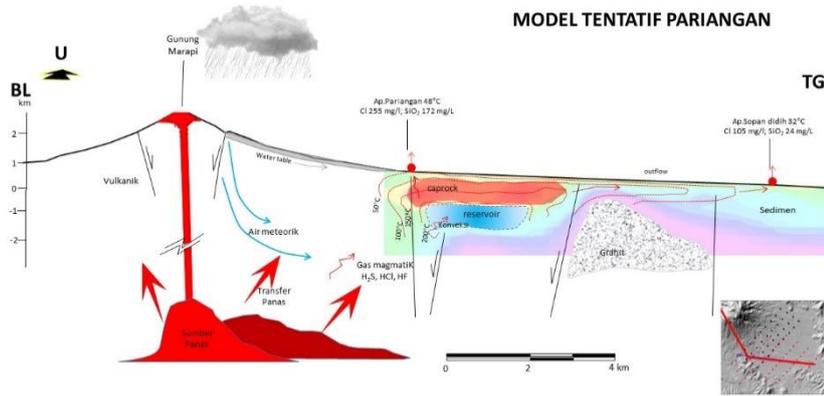
Air panas Pariangan dengan debit dan temperatur sekitar 49°C muncul ke permukaan melalui celah / rekahan yang berarah utara – selatan seperti ditunjukkan oleh sesar Pariangan bertipe bikarbonat dengan nilai SiO_2 dan daya hantar listrik yang tinggi serta berada di tepian nilai tahanan jenis rendah pada sistem panas bumi Pariangan, diduga merupakan tepian upflow dari sistem panas bumi Marapi dimana air dari dalam/ *deep water*. Batuan reservoir merupakan batuan sarang yang memiliki permeabilitas tinggi. Sistem panas bumi Pariangan yang didominasi oleh batuan vulkanik diduga memiliki kaitan sebagai batuan reservoir, terutama batuan

vulkanik produk pra – Marapi yang telah terkekarkan kuat dengan kedalaman 750 s.d 1250 m.

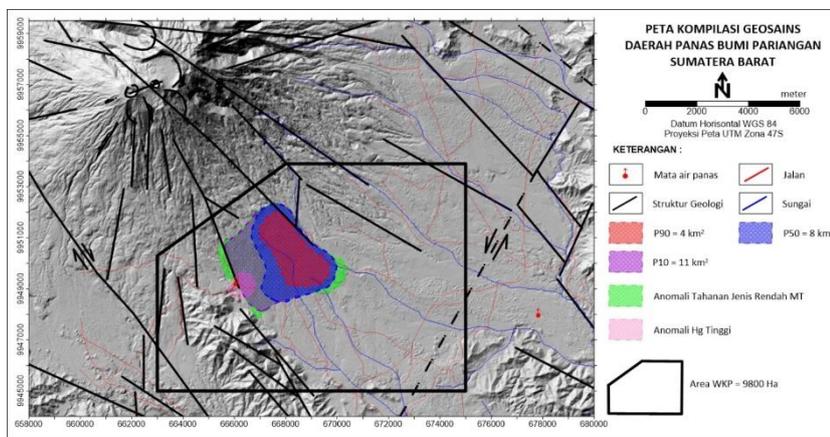
Temperatur reservoir secara kuantitatif diperkirakan sekitar 167°C berdasarkan perhitungan geotermometer SiO_2 dari manifestasi air panas Pariangan 1 dan air panas Pariangan 2. Nilai temperatur tersebut diperkirakan mewakili temperatur terendah dari reservoir di daerah Panas Bumi Pariangan. Sementara nilai maksimum temperatur reservoir dikaitkan dengan sistem panas bumi Pariangan dengan sumber panas berasal dari aktivitas vulkanik aktif Gunung Marapi secara kualitatif dibandingkan dengan angka 200°C untuk pendugaan temperatur reservoirnya.

Delineasi daerah prospek panas bumi Pariangan ditentukan berdasarkan kompilasi dari metode geologi, geokimia, dan geofisika. Hasil kompilasi menunjukkan bahwa area prospek melingkupi mata air panas Pariangan dan meluas ke arah timurlaut dibatasi sepanjang sesar berarah baratlaut-tenggara, dengan luas area prospek minimum 4 km², most likely 8 km² dan maksimum sebesar 11 km² (Gambar 12).

Perhitungan dengan metode simulasi Monte Carlo (Tabel 3) menunjukkan bahwa daerah panas bumi Pariangan memiliki sumber daya panas bumi sekitar 27 MWe (P50) pada kelas cadangan mungkin dengan kategori reservoir temperatur sedang.

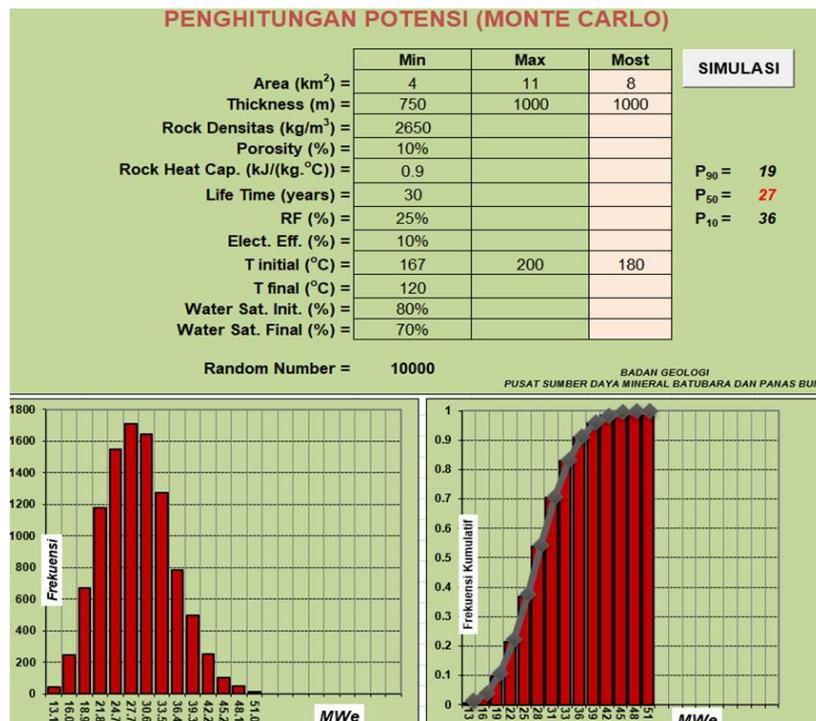


Gambar 11. Model konseptual sistem panas bumi Pariangan



Gambar 12. Peta Kompilasi Geosains daerah panas bumi Pariangan

Tabel 3. Perhitungan dengan metode simulasi Monte Carlo

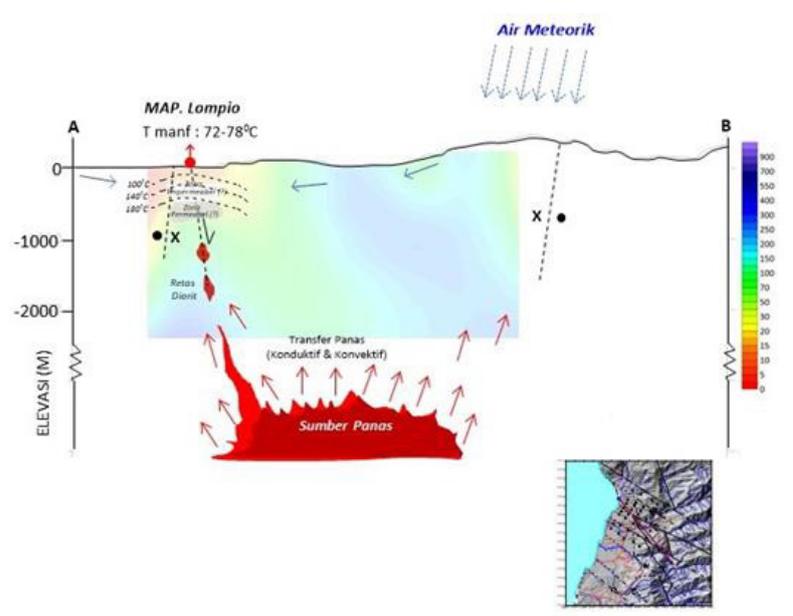


SISTEM PANAS BUMI LOMPPIO

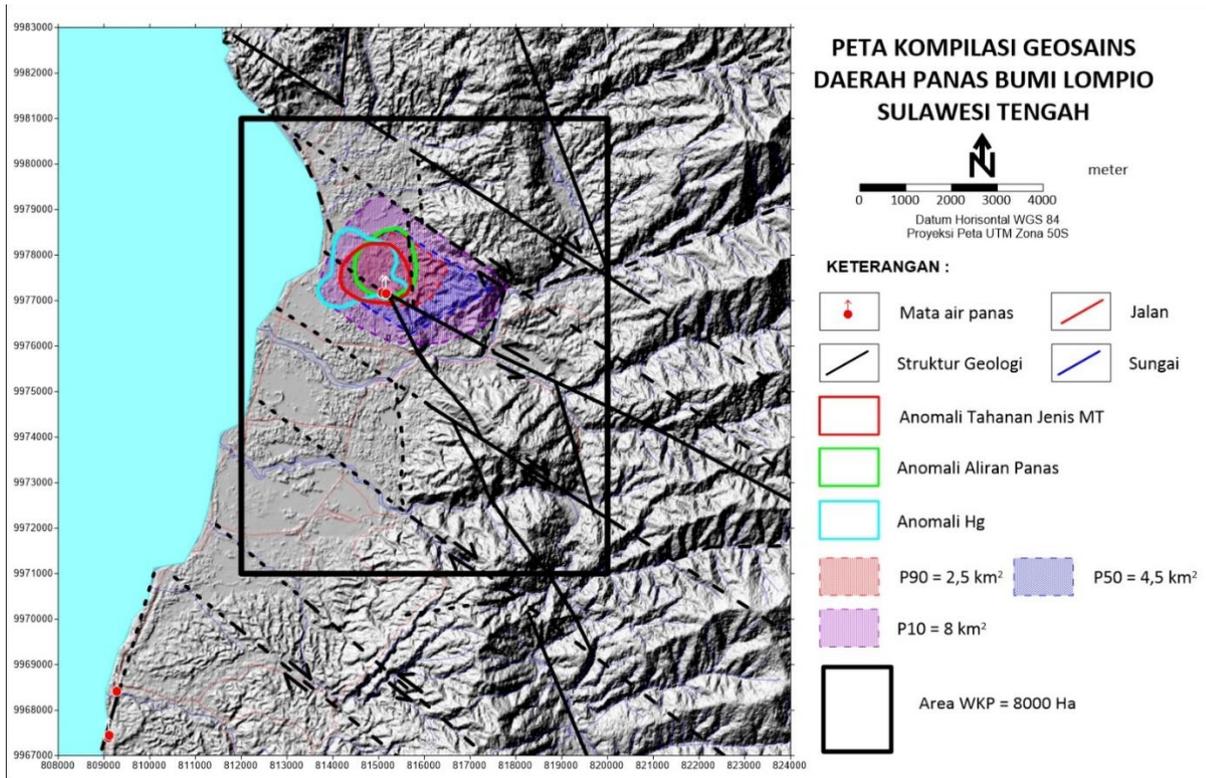
Indikasi terbentuknya sistem panas bumi di daerah Lompio dicirikan oleh kehadiran manifestasi yang muncul di permukaan yaitu berupa mata air panas dan batuan ubahan. Hasil pengukuran umur batuan dengan metode uji pentarikan jejak belah (*fission track dating analysis*) pada satuan retas diorit diperoleh umur sekitar $0,2 \pm 0,1$ Ma (juta tahun). Hal tersebut memperkuat dugaan bahwa adanya kemungkinan pengaruh retas diorit yang dapat berperan sebagai sumber panas. Litologi pembentuk reservoir daerah Lompio diduga berupa batuan yang berumur Tersier (Miosen Tengah - Atas) dan Kapur yang telah terkena proses tektonik. Berdasarkan data MT, puncak reservoir diduga mulai pada kedalaman 500 m dengan ketebalan sekitar 1000 m (Gambar 13).

Delineasi daerah prospek panas bumi Lompio ditentukan berdasarkan kompilasi dari metode geologi, geokimia, dan geofisika. Hasil kompilasi menunjukkan bahwa area prospek panas bumi Lompio terletak di sekitar mata air panas Lompio dan didukung oleh keberadaan anomali tahanan jenis rendah MT, anomali aliran panas (*heat flow*), anomali Hg tinggi dan didukung oleh keberadaan struktur geologi di permukaan, dengan luas area prospek minimum 2,5 km², *most likely* 4,5 km² dan maksimum sebesar 8 km² (Gambar 14).

Perhitungan dengan metode simulasi Monte Carlo (Tabel 4) menunjukkan bahwa daerah panas bumi Lompio memiliki sumber daya panas bumi sekitar 14 MWe (P 50) pada kelas cadangan mungkin dengan kategori reservoir temperatur sedang.

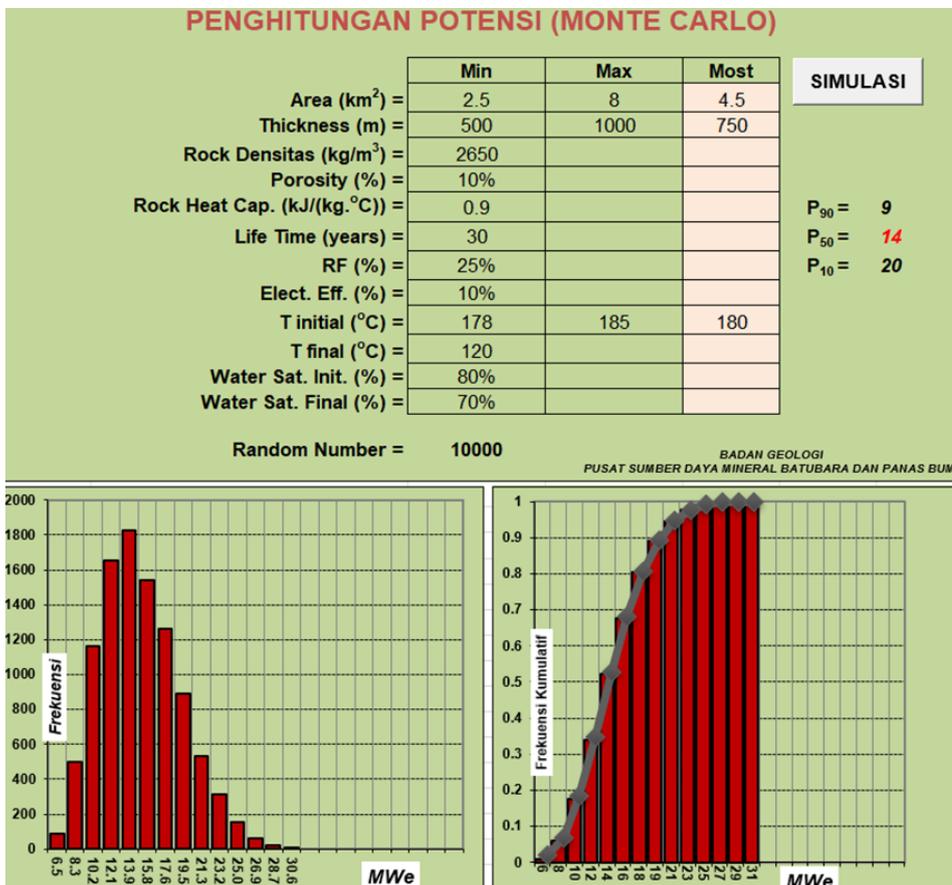


Gambar 13. Model konseptual sistem panas bumi Lompio



Gambar 14. Peta Kompilasi Geosains Daerah Panas Bumi Lompio, Sulawesi Tengah

Tabel 4. Parameter dan penghitungan potensi energi panas metode volumetrik

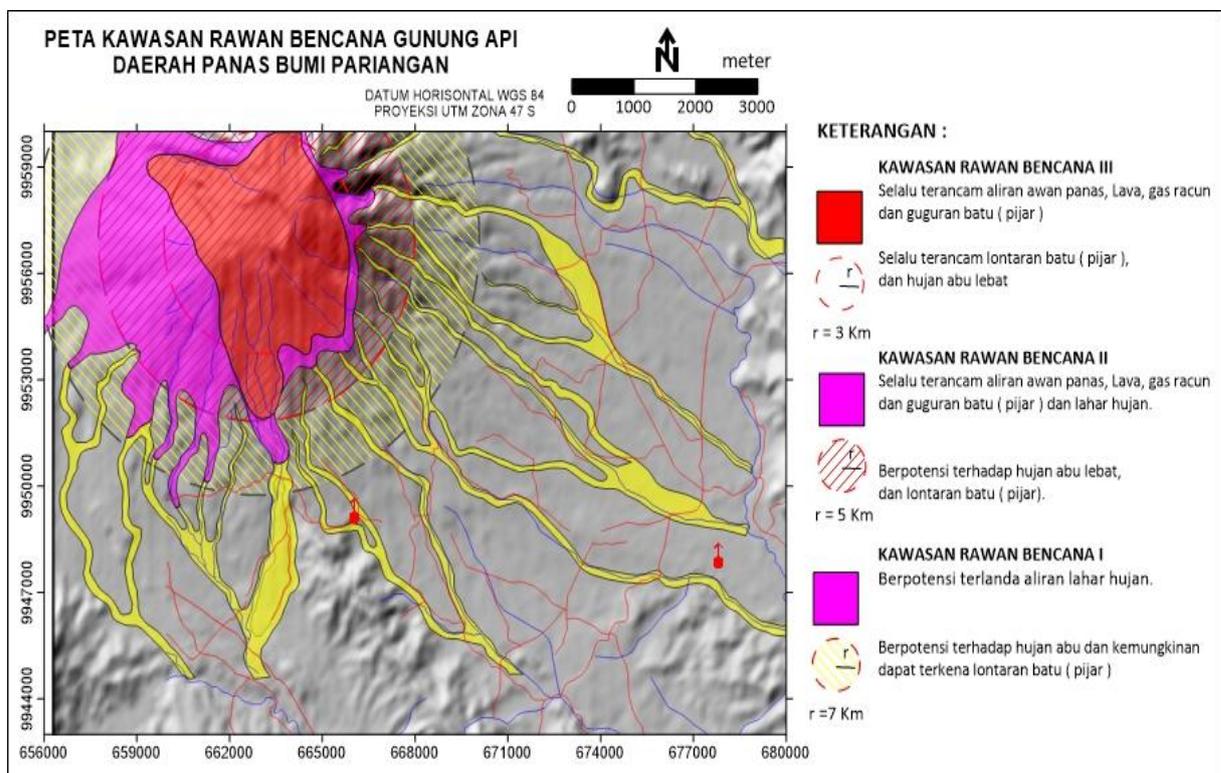


KEBENCANAAN GEOLOGI

Hasil Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Sumatera Barat tahun 2009 oleh PVMBG-Badan Geologi, daerah panas bumi Pariangan dapat dikategorikan kedalam dua kawasan zona kerentanan gerakan tanah rendah dan menengah. Pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Provinsi Sumatera Barat tahun 2016 oleh PVMBG-Badan Geologi, daerah panas bumi Pariangan hanya dikategorikan kedalam kawasan rawan bencana gempa bumi tinggi. Pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Marapi, Provinsi Sumatera Barat (skala 1 : 50.000) Tahun 2006 oleh PVMBG-Badan Geologi, daerah panas bumi Pariangan

dibagi dalam tiga tingkatan dari rendah ke tinggi berturut-turut yaitu: Kawasan Rawan Bencana I, II, dan III (Gambar 15).

Hasil Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Sulawesi Tengah tahun 2009 oleh PVMBG-Badan Geologi, daerah panas bumi Lompio hanya dikategorikan kedalam kawasan zona kerentanan gerakan tanah menengah. Pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Provinsi Sulawesi Tengah tahun 2012 oleh PVMBG-Badan Geologi, daerah panas bumi Lompio dapat dikategorikan kedalam dua kawasan rawan bencana gempa bumi menengah dan tinggi.



Gambar 15. Peta Kawasan rawan bencana gunungapi Marapi (PVMBG, 2006)

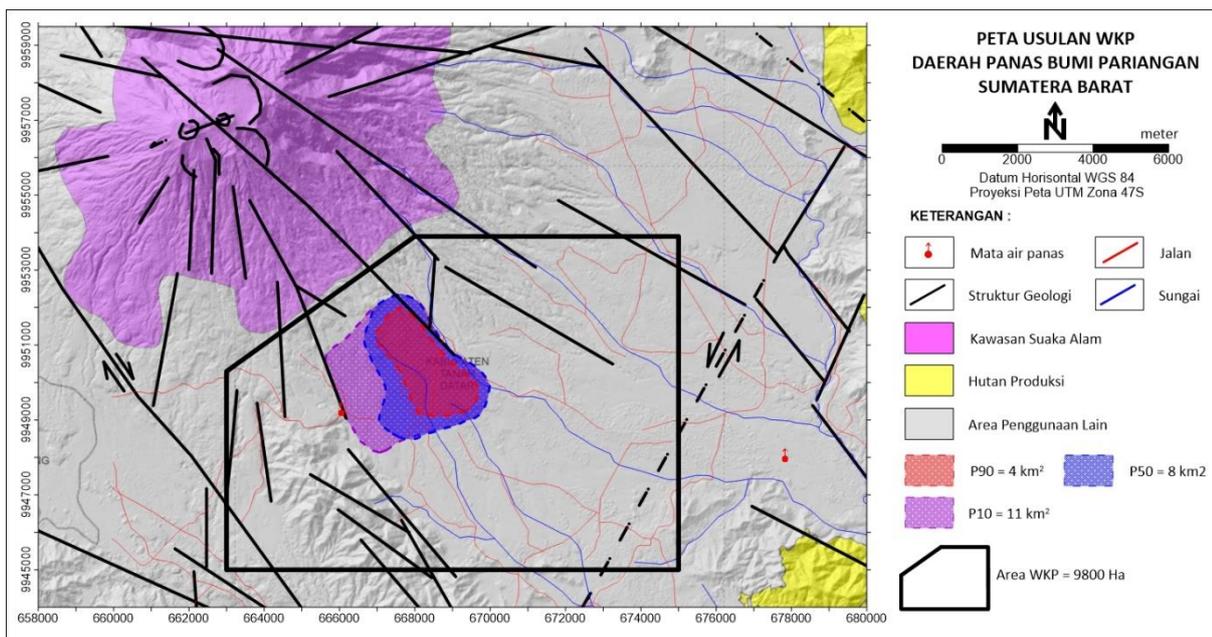
USULAN WILAYAH KERJA PANAS BUMI

Wilayah Kerja Panas Bumi (WK Panas Bumi) daerah panas bumi Pariangan, Provinsi Sumatera Barat diusulkan berada pada lokasi koordinat yang diperlihatkan oleh Tabel 5 dan

Gambar 16. Wilayah Kerja Panas Bumi (WK Panas Bumi) daerah panas bumi Lompio, Provinsi Sulawesi Tengah diusulkan berada pada lokasi koordinat yang diperlihatkan oleh Tabel 6 dan Gambar 17.

Tabel 5. Koordinat Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi Daerah Pariangan, Sumatera Barat

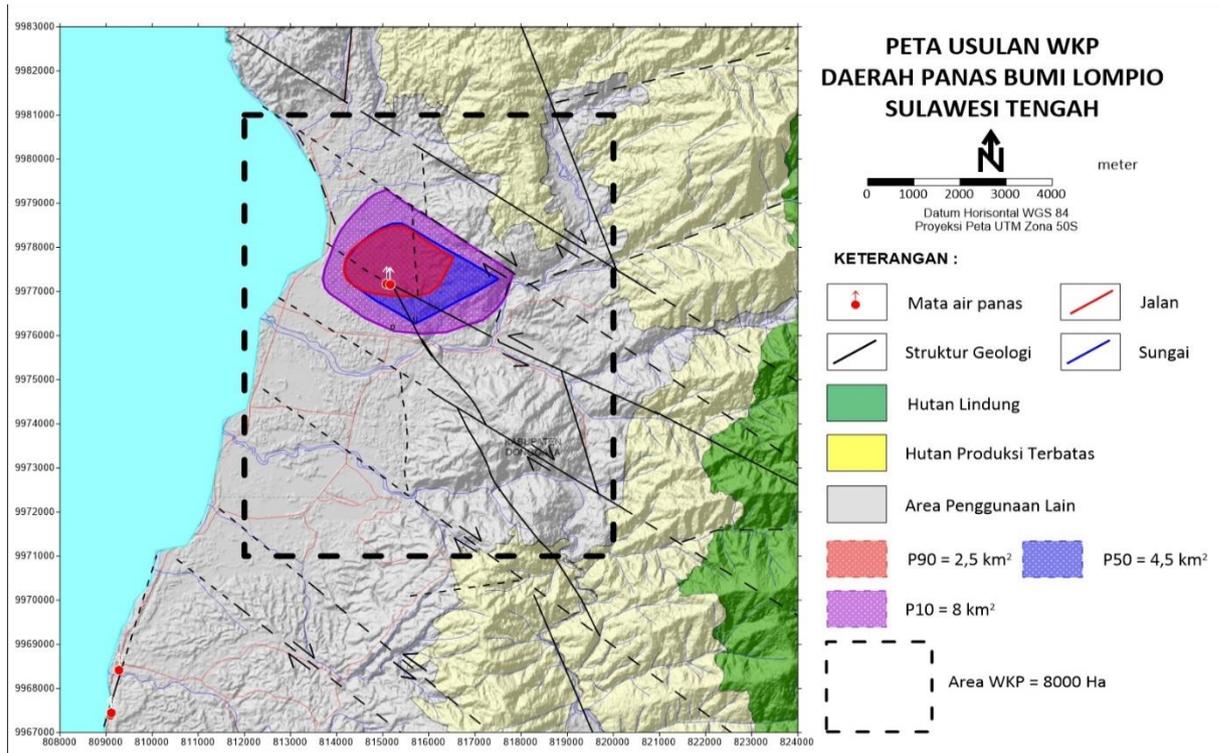
Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi			Keterangan
A	100° 27' 53,01" BT	0° 26' 58,21" LS	Luas daerah prospek <i>Most Likely</i> : 8 km ² . Luas Usulan Wilayah Kerja 98 km ² atau 9800 Ha
B	100° 30' 34,69" BT	0° 25' 0,97" LS	
C	100° 34' 21,15" BT	0° 25' 0,97" LS	
D	100° 34' 21,15" BT	0° 29' 50,69" LS	
E	100° 27' 53,01" BT	0° 29' 50,69" LS	



Gambar 16. Peta Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi Pariangan, Sumatera Barat

Tabel 6. Koordinat Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi Daerah Lompio, Sulawesi Tengah

Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi			Keterangan
A	119° 48' 9,91" BT	0° 10' 18,09" LS	Luas daerah prospek <i>Most Likely</i> : 4,5 km ² . Luas Usulan Wilayah Kerja : 80 km ² atau 8000 Ha
B	119° 52' 28,47" BT	0° 10' 18,09" LS	
C	119° 52' 28,47" BT	0° 15' 43,34" LS	
D	119° 48' 9,91" BT	0° 15' 43,34" LS	



Gambar 17. Peta Usulan Wilayah Kerja Panas Bumi Lompio, Sulawesi Tengah

KESIMPULAN DAN SARAN

Evaluasi data geosains panas bumi untuk pengusulan wilayah kerja panas bumi pada tahun 2022 menghasilkan dua wilayah prospek yang diusulkan sebagai Wilayah Kerja Panas Bumi, yaitu:

1. Daerah WK Panas Bumi Pariangan, Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat dengan estimasi sumberdaya sebesar 27 Mwe pada kelas cadangan mungkin. Luas daerah prospek minimum (P90) sebesar 4 km², *most* (P50) sebesar 8 km², dan maksimum (P10) sebesar 11 km². Luas area usulan WK Panas Bumi Pariangan adalah 9800 Ha (98 km²).
2. Daerah WK Panas Bumi Lompio, Kabupaten Donggala, Provinsi

Sulawesi Tengah dengan estimasi sumberdaya sebesar 14 MWe pada kelas cadangan mungkin. Luas daerah prospek minimum (P90) sebesar 2,5 km², *most* (P50) sebesar 4,5 km², dan maksimum (P10) sebesar 8 km². Luas area usulan WK Panas Bumi Lompio adalah 8000 Ha (80 km²).

Dalam pelaksanaan kegiatan evaluasi penyiapan usulan WK Panas Bumi perlu dilakukan koordinasi kembali antara instansi terkait dan Pemda yang berhubungan dengan rencana tata ruang wilayah, sehingga data yang akan dievaluasi untuk rekomendasi WK harus selaras dengan perencanaan tata ruang wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2006, Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Marapi. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2010, Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Provinsi Sumatera Barat. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2012, Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Provinsi Sulawesi Tengah. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2009, Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Sumatera Barat. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2009, Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Sulawesi Tengah. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Kastowo, Leo, G., Gafoer, S., & Amin, T. (1996). *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Peta Kawasan Hutan, 2015
- Kholid, M., dkk, 2014, Laporan Survei Magnetotellurik daerah panas Bumi Pariangan, Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi, 2006, Data Dasar Gunung Api Marapi, Badan Geologi, Bandung
- Silitonga, P., & Kastowo. (1995). *Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Simanjuntak, T.O., dkk, 1993, Geologi Lembar Poso, Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sugianto, A., Kholid, M., dkk, 2015, Laporan Survei Magnetotellurik daerah panas Bumi Lompio, Kabupaten Sulawesi Tengah, Provinsi Sulawesi Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Tim Survei Terpadu Geologi dan Geokimia, 2014, Laporan Survei Terpadu Geologi, dan Geokimia daerah panas Bumi Pariangan, Kabupaten Tanah datar, Provinsi Sumatera Barat, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Tim Survei Terpadu Geofisika, 2014, Laporan Survei Gaya Berat, dan Audio Magnetotellurik (AMT) daerah panas Bumi Pariangan, Kabupaten Tanah datar, Provinsi Sumatera Barat, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Tim Aliran Panas, 2012, Laporan Survei Aliran Panas (Heat Flow) daerah panas Bumi Lompio Tambu, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Tim Survei Terpadu, 2005, Laporan Survei Terpadu Geologi, Geokimia, dan Geofisika daerah panas Bumi Lompio Tambu, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

EVALUASI POTENSI PANAS BUMI *LOW TEMPERATURE* UNTUK PEMANFAATAN LANGSUNG DI WILAYAH PULAU KALIMANTAN BAGIAN TIMUR

Ratna Dewi, Husin Setia Nugraha, dan M. Nur Hadi

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Kegiatan evaluasi potensi panas bumi *low temperature* untuk pemanfaatan langsung di Kalimantan bagian timur merupakan langkah awal rencana pengembangan potensi sumber daya panas bumi untuk pemanfaatan langsung. Pada kegiatan evaluasi ini, sumber daya spekulatif suatu sumber daya panas bumi dihitung dengan pendekatan hilang panas alamiah. Selain itu, pada kegiatan ini juga dievaluasi mengenai potensi jenis pemanfaatan langsungnya dengan mempertimbangkan temperatur, debit, dan jenis fluida manifestasinya.

Dari total 19 lokasi daerah panas bumi di wilayah Pulau Kalimantan bagian Timur, 9 lokasi (53%) sudah dimanfaatkan secara langsung dan 10 lokasi (47%) belum dimanfaatkan secara langsung. Besar Potensi Panas Bumi untuk pemanfaatan langsung di Pulau Kalimantan bagian Timur status Desember 2022 sebesar 6,286 kWth, dengan rincian total potensi di Provinsi Kalimantan Utara adalah 793 kWth, di Provinsi Kalimantan Timur adalah 5,295 kWth dan di Provinsi Kalimantan Selatan adalah 198 kWth.

Berdasarkan jenis pemanfaatannya, panas bumi di Pulau Kalimantan bagian Timur hanya dimanfaatkan sebagai pemandian baik berupa kolam alami maupun buatan. Adapun yang belum dimanfaatkan, dapat dimanfaatkan sebagai wisata, akuakultur, pengeringan, dan balneoterapi.

Kata kunci: pemanfaatan langsung panas bumi, Kalimantan bagian timur.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan panas bumi secara langsung (*direct use*) merupakan salah satu dari pemanfaatan panas bumi yang paling tua, serbaguna, dan umum (Dickson & Fanelli, 2003) Pemanfaatan panas bumi

secara langsung sudah banyak dilakukan di seluruh benua di dunia, dengan jenis pemanfaatan yang paling besar adalah sebagai pompa pemanas (*heat pump*), dan pemandian. Adapun di Indonesia, pemanfaatan langsung panas bumi tidak

hanya untuk spa dan kolam renang, namun juga untuk pemandian, cuci, memasak dan lainnya, meliputi penyulingan minyak akar wangi, pasteurisasi jamur, pengolahan gula merah, peternakan ikan, dan pengeringan biji kopi serta daun teh (Lund & Toth, 2021)

Fluida panas bumi yang diekstraksi untuk *direct use*, dapat berasal dari manifestasi (berupa kolam atau mata air hangat sampai dengan mata air panas), uap yang keluar dari sumur panas bumi atau air panas sisa proses produksi uap dan listrik pada PLTP (*brine*). Pengalaman di beberapa daerah panas bumi, fluida manifestasi diaplikasikan sebagai salah satu bahan baku pokok pada alternatif perusahaan bagi masyarakat di sekitar daerah prospek panas bumi atau PLTP.

Kegiatan evaluasi potensi panas bumi *low temperature* untuk pemanfaatan langsung di Kalimantan bagian timur merupakan merupakan langkah awal rencana pengembangan potensi sumber daya panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Indonesia. Maksud dari kegiatan ini adalah untuk menghitung sebaran sumber daya panas bumi untuk pemanfaatan langsung serta memberikan saran pemanfaatan langsung panas bumi yang mungkin dikembangkan oleh pemerintah daerah setempat. Hasil evaluasi disajikan sebagai peta dan tabel distribusi pemanfaatan langsung panas bumi.

METODE

Perhitungan Sumber Daya

Sumber daya spekulatif suatu sumber daya panas bumi dapat dihitung dengan pendekatan hilang panas alamiah dan metode perbandingan (Nugraha, et al., 2015). Panas yang hilang ke permukaan dapat terjadi dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi. Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya panas yang hilang (*heat loss*) antara lain banyaknya panas yang masuk ke dalam reservoir, permeabilitas vertikal, parameter air (densitas, kecepatan, temperatur dll.) serta proses pendinginan air di bawah permukaan yang dikontrol oleh hidrologi dan penyerapan di daerah resapan. Pengukuran kehilangan panas biasanya dilakukan di lokasi-lokasi pemunculan gejala kenampakan panas bumi seperti: mata air panas, kolam air panas, tanah panas (*hot ground*), dengan menggunakan rumus-rumus berikut :

- 1) Untuk manifestasi berupa mata air panas (Hochstein, Bromley, & Ovens, 1996)

$$Q_{kolam} = Q_{konveksi}$$

$$Q_{kolam} = 4.2 \times V \times \rho \times (T_{man} - T_{ud})$$

- 2) Untuk manifestasi berupa kolam air panas (Dawson, 1964):

$$Q_{kolam} = Q_{konveksi} + Q_{evaporasi}$$

$$Q_{kolam} = 4.2 \times V \times \rho \times (T_{man} - T_{ud}) + A(Q_{T_{man}} - Q_{T_{ud}})$$

Keterangan

Q = kehilangan panas (Wth)

V = debit air panas (L/s)

ρ = densitas (kg/m^3)

T_{man} = temperatur manifestasi di permukaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ud} = temperatur udara bebas ($^{\circ}\text{C}$)

A = luas kenampakan (m^2)

$Q_{T_{man}}$ = kehilangan panas evaporasi pada temperatur manifestasi (Wth)

$Q_{T_{ud}}$ = kehilangan panas evaporasi pada temperatur udara (Wth)

Kehilangan panas evaporasi dan temperatur mempunyai kesebandingan empiris seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Kesebandingan empiris antara kehilangan panas evaporasi dan temperatur

T ($^{\circ}\text{C}$)	Q_r ($\text{kJ/m}^2\text{s}$)
20	0.35
40	1.3
60	3.7
80	9.2
98.5	22

Rekomendasi jenis pemanfaatan langsung

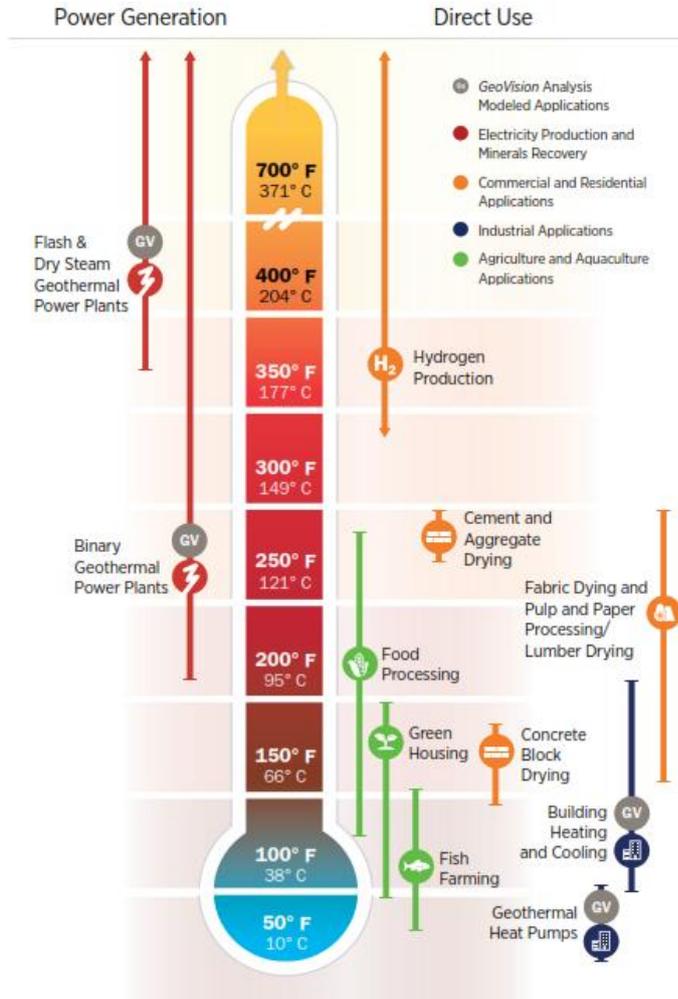
Jenis pemanfaatan panas bumi dapat ditentukan dari temperatur, jenis kandungan dan debit fluida. Diagram Lindal yang telah diperbaharui (Gambar 1) menunjukkan kemungkinan pemanfaatan

langsung fluida panas bumi pada temperatur tertentu.

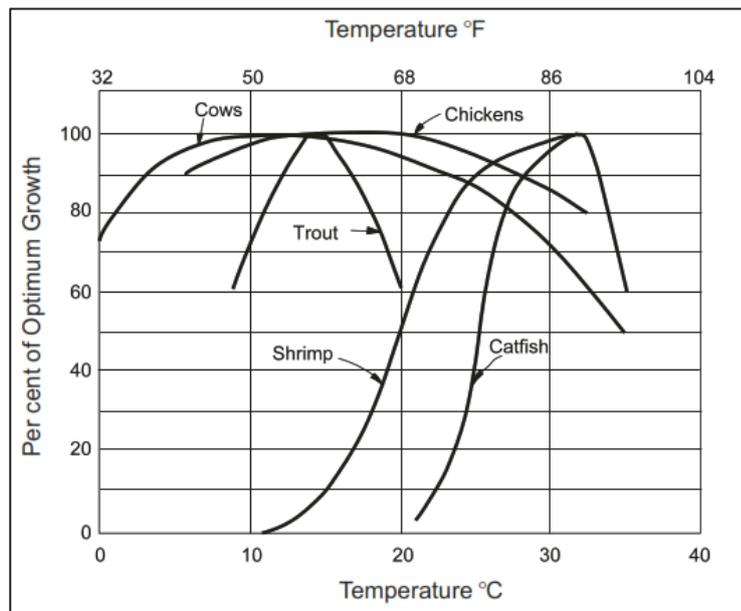
Pemanfaatan langsung panas bumi yang paling umum dilakukan adalah sebagai pemandian, baik berupa kolam alami maupun kolam buatan. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan pemanfaatan panas bumi sebagai pemandian adalah temperatur dan debit. Temperatur yang sesuai berkisar antara 40 hingga 60 $^{\circ}\text{C}$, dengan debit >1 L/s. Apabila temperatur lebih tinggi dapat diatasi dengan pencampuran dengan air dingin. Apabila debitnya kurang dari 1 L/s dapat diusahakan untuk dilakukan pengeboran.

Pada budidaya ikan, fluida panas bumi dapat digunakan untuk mengoptimalkan pertumbuhan ikan. Air panas tersebut digunakan untuk memanaskan air kolam melalui heat exchanger untuk mencapai temperatur yang diinginkan, ataupun dapat langsung dicampur dengan air kolam. Adapun keterkaitan temperatur dan jenis ikan yang dapat dibudidayakan secara optimal dapat dilihat pada Gambar 2.

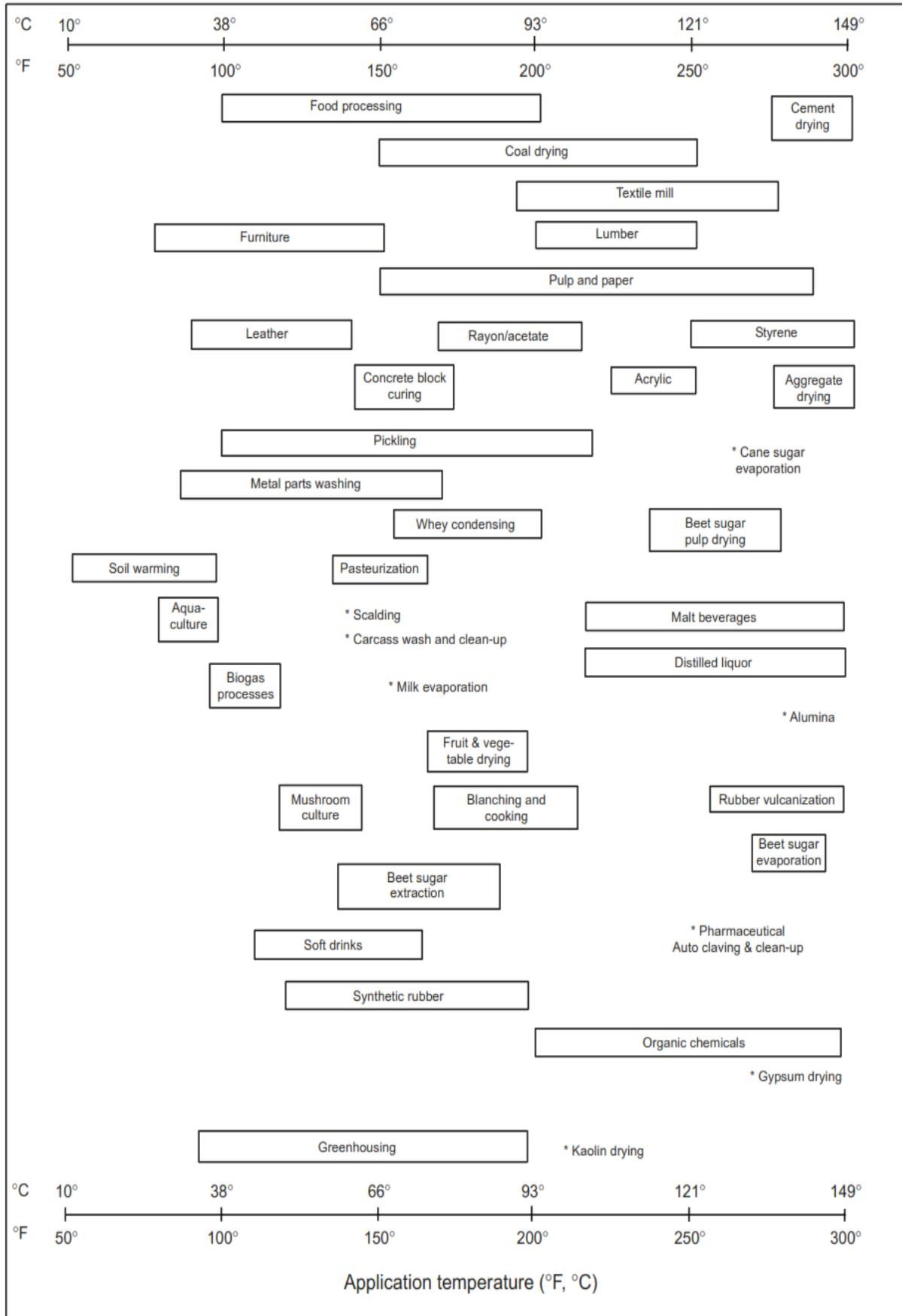
Untuk industri, ekstraksi panas dari fluida panas bumi dapat digunakan pada berbagai sektor. Adapun jenis sektor industri dan temperatur yang diperlukan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Modifikasi diagram Lindal (U.S. Department of Energy, 2019)



Gambar 2. Temperatur pertumbuhan optimal untuk budidaya hewan dan ikan (Modifikasi dari Beall dan Samuels, 1971 (Lund & Toth, 2021)



Gambar 3. Kisaran temperatur optimal proses industri dan agrikultur (Lund & Toth, 2021)

HASIL

Provinsi Kalimantan Utara dan Provinsi Kalimantan Timur

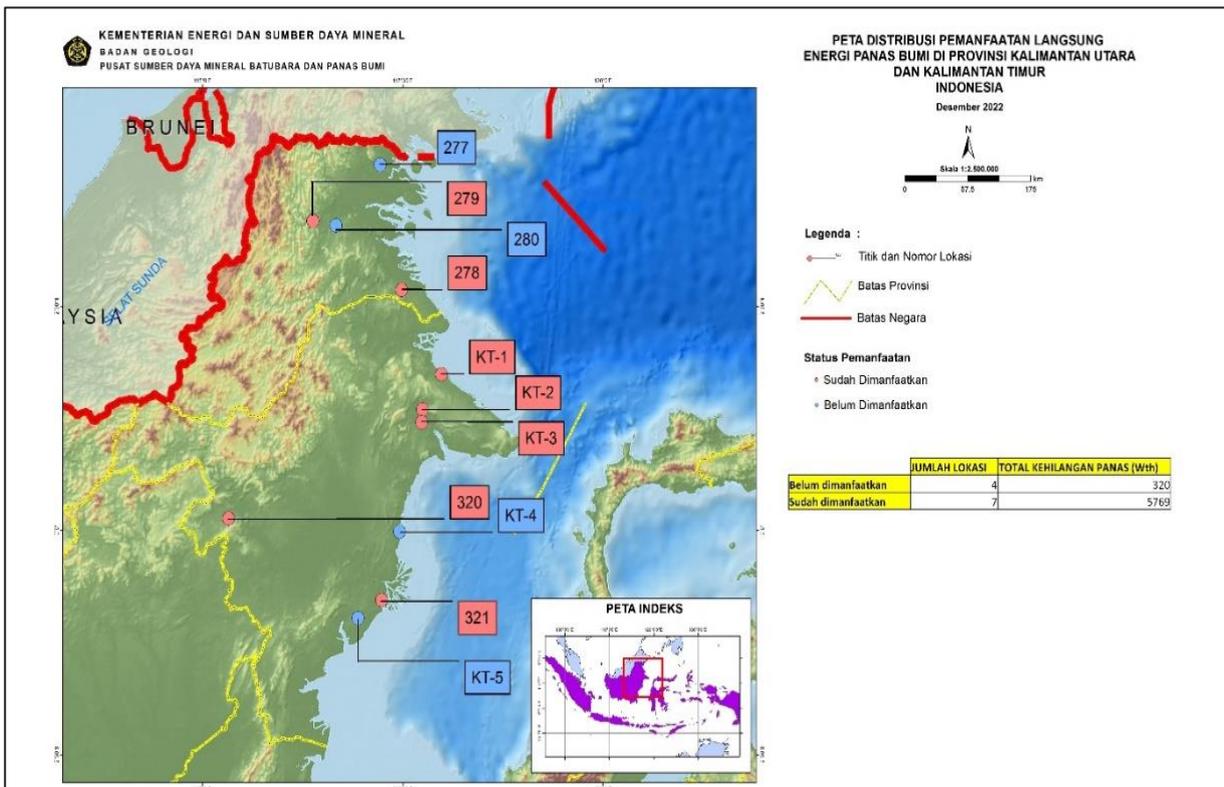
Provinsi Kalimantan Utara mempunyai 4 daerah prospek panas bumi dengan sebaran 1 lokasi terletak di Kabupaten Nunukan, 1 lokasi terletak di Kabupaten Bulungan dan 2 lokasi terletak di Kabupaten Malinau. Total potensi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Provinsi Kalimantan Utara sebesar 793 kWth.

Provinsi Kalimantan Timur mempunyai 7 daerah prospek panas bumi dengan sebaran 1 lokasi di Kabupaten

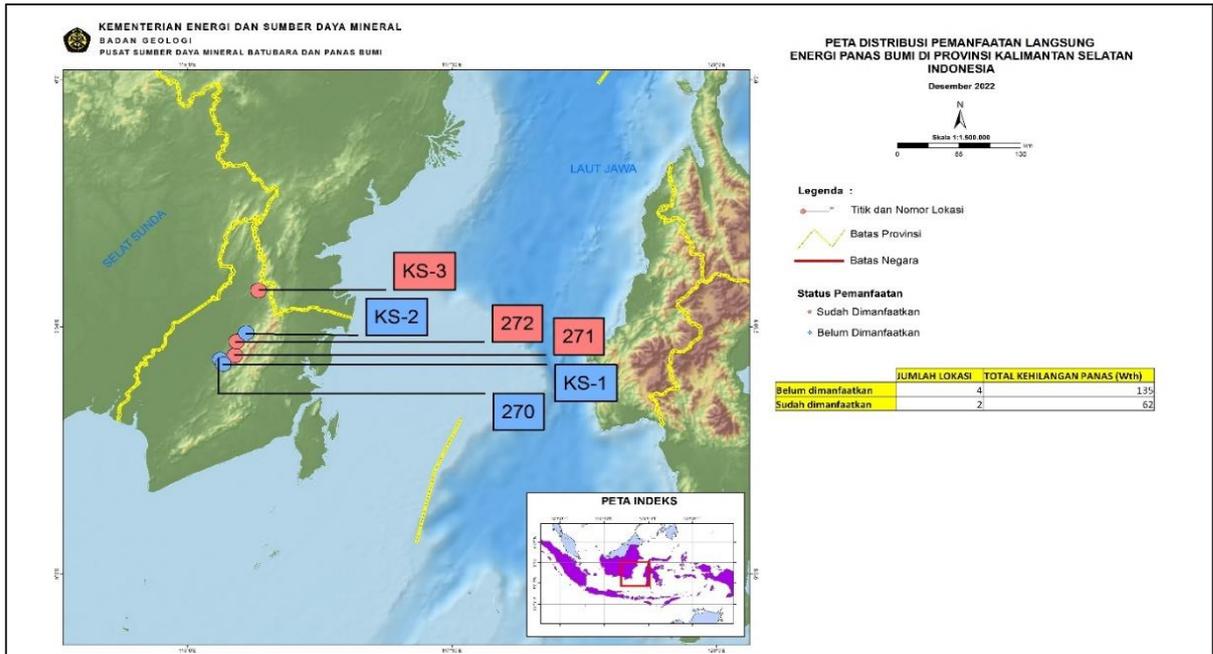
Mahakam Hulu, 3 lokasi di Kabupaten Kutai Kartanegara, 1 lokasi di Kabupaten Berau, dan 2 lokasi di Kabupaten Kutai Timur. Total potensi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Provinsi Kalimantan Timur sebesar 5.295 kWth.

Provinsi Kalimantan Selatan

Daerah panas bumi di Provinsi Kalimantan Selatan berjumlah 6 lokasi dengan sebaran masing-masing 3 lokasi di Kabupaten Hulu Sungai Selatan dan 3 lokasi di Kabupaten Hulu Sungai Tengah. Total potensi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 198 kWth.



Gambar 4a. Peta distribusi potensi pemanfaatan langsung panas bumi Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur



Gambar 4b. Peta distribusi potensi pemanfaatan langsung panas bumi Provinsi Kalimantan Selatan

PEMBAHASAN

Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur

Di Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur, 7 dari 11 lokasi panas bumi sudah dimanfaatkan (64%) sebagai pemandian, yaitu daerah Sajau, Semolon, Sungai Batuq, Dondang, Biatan Bapinang, dan Batu Lepoq. Adapun total potensi panas bumi yang sudah dimanfaatkan secara langsung sebesar 5.769 kWth (95%). Sedangkan 320 kWth (5%) potensi panas bumi yang lain belum termanfaatkan (Gambar 6)

Provinsi Kalimantan Utara mempunyai dua lokasi panas bumi yang sudah dimanfaatkan, yaitu Sajau dan Semolon, sebagai pemandian wisata pemandian air panas. Pemandian air panas masih berupa kolam alami dengan mata air panas alami. Apabila dikelola dengan baik

oleh pemerintah setempat, daerah tersebut dapat menjadi daerah wisata yang lebih ramai. Terlebih lagi, dengan kandungan mineral yang terdapat di dalam air panas alami, pemandian tersebut dapat digunakan untuk balneoterapi. Demikian juga dengan daerah Sebakis dan Mengkausar.

Balneoterapi (*balneum* dalam bahasa Latin berarti mandi) adalah praktik mandi, biasanya dalam mineral dan zat tambahan lainnya, sebagai modus terapi (Wilson, Jaros, & Shi, 2023). Prinsipnya adalah terserapnya unsur kimia mineral oleh tubuh melalui kulit. Berdasarkan penelitian kandungan sulfur pada air panas dapat mencegah timbulnya diabetes (Safar & Abdelsalam, 2015), kandungan bikarbonat dan kalsium dapat mengurangi rasa sakit osteoarthritis (Ortega, et al., 2017).

Tabel 2. Potensi Pemanfaatan Langsung Panas Bumi Provinsi Kalimantan Utara dan Provinsi Kalimantan Timur

NO.	NAMA LOKASI	KABUPATEN	TIPE AIR	TEMPERATUR MANIFESTASI (°C)	TEMPERATUR RESERVOIR (°C)	KEHILANGAN PANAS (kW _{th})	JENIS PEMANFAATAN	SARAN PEMANFAATAN
KALIMANTAN UTARA								
277	Sebakis	Nunukan	Bikarbonat	51.2	72	118	t.t.	wisata, pengeringan, Balnoterapi
278	Sajau	Bulungan	Klorida	74.5 s.d. 85.8	190	412	Pemandian	wisata, pengeringan, Balnoterapi
279	Semolon	Malinau	Bikarbonat	51.4 s.d. 60.2	122	196	Pemandian	wisata, pengeringan, Balnoterapi
280	Mengkauser	Malinau	Bikarbonat	60.5	88	67	t.t.	wisata, pengeringan, Balnoterapi
TOTAL KEHILANGAN PANAS (W_{th})						793		
KALIMANTAN TIMUR								
320	Sungai Batuq	Mahakam Hulu	Bikarbonat	47.7	114	81	Pemandian	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
321	Dondang	Kutai Kartanegara	Bikarbonat	41.6 s.d. 55.8	170	42	Pemandian	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
KT-1	Biatan Bapinang	Berau	Klorida	42.5	45	766	Pemandian	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
KT-2	Batu Lepoq	Kutai Timur	Bikarbonat	39.8	80	1584	Pemandian	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
KT-3	Pengadan	Kutai Timur	Bikarbonat	49.8	80	2687	Pemandian	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
KT-4	Santan Tengah	Kutai Kartanegara	Bikarbonat	44.8	140	120	t.t.	Wisata, akuakultur, pengeringan, balneoterapi
KT-5	Samboja	Kutai Kartanegara	Bikarbonat	47.1	150	15	t.t.	Wisata, pengeringan, balneoterapi
TOTAL KEHILANGAN PANAS (W_{th})						5,295		

Tabel 3. Potensi Pemanfaatan Langsung Panas Bumi di Provinsi Kalimantan Selatan

NO.	NAMA LOKASI	KABUPATEN	TIPE AIR	TEMPERATUR MANIFESTASI (°C)	TEMPERATUR RESERVOIR (°C)	KEHILANGAN PANAS (kW _{th})	JENIS PEMANFAATAN	SARAN PEMANFAATAN
KALIMANTAN SELATAN								
270	Batubini	Hulu Sungai Selatan	Bikarbonat	39.4	120	17	t.t.	Wisata, akuakultur, balneoterapi
271	Tanuhi	Hulu Sungai Selatan	Sulfat	47.2 s.d. 48.8	100	24	Pemandian	Wisata, pengeringan, akuakultur, balneoterapi
272	Hantakan	Hulu Sungai Tengah	Sulfat	44.3 s.d. 49.4	120	54	t.t.	Wisata, pengeringan, balneoterapi
KS-1	Lokbahan	Hulu Sungai Selatan	Sulfat	41.5 s.d. 41.7	113 s.d. 118	11	t.t.	Wisata, pengeringan, akuakultur, balneoterapi
KS-2	Pembakulan	Hulu Sungai Tengah	Sulfat	44.6 s.d. 44.8	110 s.d. 111	53	t.t.	Wisata, pengeringan, akuakultur, balneoterapi
KS-3	Liyu	Hulu Sungai Tengah	Sulfat	47.2	t.t.	38	Pemandian	Wisata, pengeringan, balneoterapi
TOTAL KEHILANGAN PANAS (kW_{th})						198		

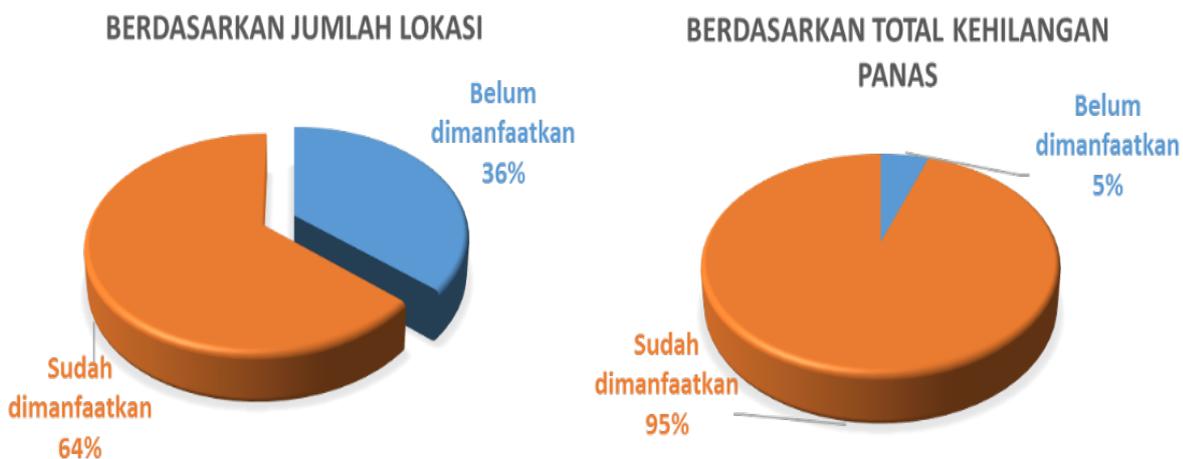
Dengan temperatur yang berkisar dari 51-85,8°C, panas yang bersumber dari air panas alami di Provinsi Kalimantan Utara dapat diekstraksi yang kemudian dapat digunakan untuk pengeringan komoditas perkebunan di daerah tersebut.

Provinsi Kalimantan Timur mempunyai 5 lokasi yang sudah dimanfaatkan sebagai pemandian, yaitu Sungai Batuq, Dondang, Biatan Bapinang, Pengadan dan Batu Lepoq. Di daerah Dondang, Biatan Bapinang dan Batu Lepoq, pemandian tersebut sudah berupa kolam buatan yang dikelola oleh masyarakat setempat. Apabila dikelola dengan lebih baik, daerah tersebut berpotensi menjadi wisata yang lebih ramai. Di Sungai Batuq dan Pengadan, air panas hanya digunakan oleh masyarakat lokal untuk pemandian, namun belum

dikelola dengan baik. Bahkan akses menuju ke lokasi pun tidak banyak diketahui. Jika dikelola dengan baik, maka daerah ini berpotensi menjadi wisata dan tempat balneoterapi yang ramai dikunjungi. Demikian pula di daerah Santan Tengah dan Samboja.

Dengan temperatur 40-58°C, energi panas dapat diekstraksi untuk pengeringan komoditas perkebunan di daerah sekitar lokasi air panas. Temperatur tersebut juga dapat digunakan untuk budidaya ikan (akuakultur) dengan catatan debit air yang tersedia cukup bagus, seperti di lokasi Sungai Batuq, Dondang, Biatan Bapinang, Batu Lepoq, Pengadan, dan Santan Tengah. Namun, khusus di daerah Biatan Bapinang, karena airnya bersifat payau, maka ikan yang dapat dibudidayakan adalah ikan air payau.

PERSENTASE PEMANFAATAN LANGSUNG PANAS BUMI PROVINSI KALIMANTAN UTARA DAN KALIMANTAN TIMUR



Gambar 5. Diagram persentase pemanfaatan langsung panas bumi di Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur

Provinsi Kalimantan Selatan

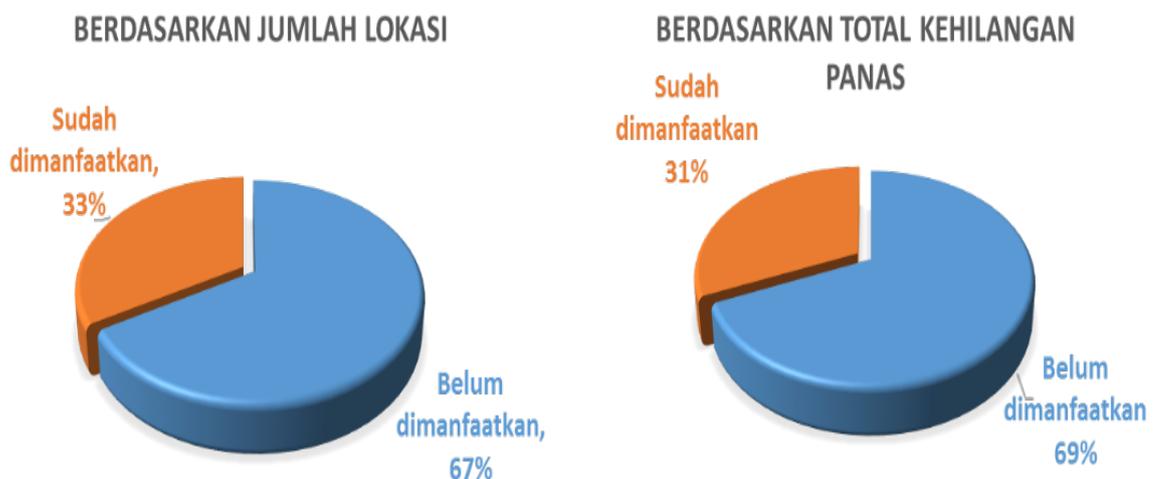
Di Provinsi Kalimantan Selatan, 2 dari 6 lokasi panas bumi sudah dimanfaatkan (33%) sebagai pemandian, yaitu daerah Tanuhi dan Liyu. Adapun total potensi panas bumi yang sudah dimanfaatkan secara langsung sebesar 62 kWth (31%). Sedangkan 135 kWth (69%) potensi panas bumi yang lain belum termanfaatkan (Gambar 7).

Provinsi Kalimantan Selatan mempunyai 2 lokasi yang sudah dimanfaatkan sebagai pemandian, yaitu Tanuhi dan Liyu. Air panas Tanuhi sudah berupa kolam pemandian buatan yang dikelola masyarakat setempat, sedangkan air panas Liyu berupa pemandian dengan

kolam alami yang belum banyak diketahui masyarakat. Apabila dikelola dengan lebih baik, daerah tersebut berpotensi menjadi wisata dan tempat balneoterapi yang lebih ramai. Demikian pula di daerah Batubini, Hantakan, Lokbahan dan Pembakulan.

Dengan temperatur 40-50°C, energi panas dapat diekstraksi untuk pengeringan komoditas perkebunan di daerah sekitar lokasi air panas, kecuali pada daerah Batubini yang temperaturnya hanya 39°C. Namun, temperatur tersebut cukup untuk digunakan pada akuakultur, dengan catatan debit air yang tersedia cukup bagus, seperti di lokasi Batubini, Tanuhi, Lokbahan, Pembakulan, dan Liyu.

PERSENTASE PEMANFAATAN LANGSUNG PANAS BUMI PROVINSI KALIMANTAN SELATAN



Gambar 6 Diagram persentase pemanfaatan langsung panas bumi di Provinsi Kalimantan Selatan

KESIMPULAN

Hal-hal yang dapat disimpulkan terkait dengan hasil evaluasi potensi panas bumi *low temperature* untuk pemanfaatan langsung di Kalimantan bagian timur antara lain:

1. Dari total 11 lokasi daerah panas bumi di Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur, 7 lokasi (64%) bumi sudah dimanfaatkan secara langsung dan 4 lokasi (36%) belum dimanfaatkan secara langsung. Potensi panas bumi yang sudah termanfaatkan secara langsung adalah dengan 5.769 kWth (95%) dan yang belum termanfaatkan adalah 320 kWth (5%).
2. Dari total 6 lokasi daerah panas bumi di Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur, 2 lokasi (33%) bumi sudah dimanfaatkan secara langsung dan 4 lokasi (67%) belum dimanfaatkan secara langsung. Potensi panas bumi yang sudah termanfaatkan secara langsung adalah dengan 62 kWth (31%) dan yang belum termanfaatkan adalah 162 kWth (69%).
3. Potensi panas bumi di Pulau Kalimantan bagian timur yang sudah dimanfaatkan semuanya dimanfaatkan sebagai pemandian, baik yang berupa kolam alami maupun kolam buatan.
4. Potensi panas bumi Pulau Kalimantan bagian timur dapat dimaksimalkan pemanfaatannya secara langsung, antara lain untuk wisata, pengeringan komoditas perkebunan, akuakultur (baik ikan air tawar maupun payau), dan balneoterapi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dawson, G. B. (1964). The Nature and Assessment of Heat Flow from Hydrothermal Areas. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 155-171.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2003). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Paris: UNESCO.
- Hochstein, M. P., Bromley, C. J., & Ovens, S. A. (1996). Thermal Springs at Hot Water Beach (Coromandel Peninsula, NZ). *18th New Zealand Geothermal Workshop*, (pp. 225-229).
- Lund, J. W., & Toth, A. N. (2021). Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Proceeding World Geothermal Congress 2020+1*. Reykjavik.

- Nugraha, H. S., Shoedarto, R. M., Sedyono, B., Aries, F. R., Irawan, D., & Perdana, F. (2015). An Update on Thermal Activities as Geothermal Direct Utilization in The Western Part of Java. *International Indonesia Geothermal Congress and Exhibition*. Jakarta.
- Ortega, E., Galvez, I., Hincando, M. D., Guerrero, J., Martin-Cordero, L., & Torres-Piles, S. (2017). Anti-inflammatory Effect as a Mechanism of Effectiveness Underlying The Clinical Benefits of Pelotherapy in Osteoarthritis Patients: Regulation of the Altered Inflammatory and Stress Feedback Response. *International Journal of Biometeorology*, 1777-1785.
- Safar, M. M., & Abdelsalam, R. M. (2015). H₂S Donors Attenuate Diabetic Nephropathy in Rats: Modulation of Oxidant Status and Polyol Pathway. *Pharmacol Rep*, 17-23.
- U.S. Department of Energy. (2019). *Geovision Harnessing the Heat Beneath Our Feet*.
- Wilson, C., Jaros, J., & Shi, V. Y. (2023). Complementary and Alternative Approaches I. In *Atopic Dermatitis: Inside Out or Outside In* (pp. 276-286). Elsevier.

PEMUTAKHIRAN DATA DAN NERACA SUMBER DAYA PANAS BUMI TAHUN 2022**Santia Ardi Mustofa, Dudi Hermawan, dan Winda Nirmala**

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Pemutakhiran data dan neraca sumber daya panas bumi dimaksudkan untuk menyediakan data sumber daya dan cadangan serta informasi panas bumi yang lebih baru dan lebih akurat. Data panas bumi yang termutakhirkan dan lebih akurat ini ditujukan sebagai informasi untuk para pemangku kepentingan dalam pengembangan panas bumi pada umumnya serta khususnya sebagai bahan dan masukan kepada pemerintah dalam menyusun kebijakan pengembangan energi panas bumi untuk pembangunan yang berkelanjutan.

Pemutakhiran data dan neraca panas bumi tahun 2022 mengacu pada SNI 6009-2017 tentang Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Panas Bumi Indonesia. Pemutakhiran data dan neraca ini menghasilkan penambahan lima lokasi panas bumi baru. Lokasi baru tersebut terdiri atas tiga lokasi hasil survei pendahuluan awal dan dua lokasi survei rinci. Hasil kegiatan pemutakhiran hingga Desember 2022 didapatkan data potensi energi panas bumi kelas sumber daya spekulatif sebesar 5.774,5 MWe, sumber daya hipotetik 3.444 MWe, cadangan mungkin 9.968 MWe, cadangan terduga sebesar 1.664 MWe, cadangan terbukti sebesar 3.209,9 MWe dan kapasitas terpasang 2.355,4 MWe.

Kata kunci: pemutakhiran, neraca, panas bumi, sumber daya, cadangan

PENDAHULUAN

Sektor energi memiliki peran yang sangat penting dalam pembangunan nasional, terutama dalam mendukung perekonomian nasional serta sebagai sumber penerimaan negara. Ketersediaan sumber daya energi mutlak diperlukan dalam seluruh kegiatan industri yang pada akhirnya akan meningkatkan penerimaan negara dan kesejahteraan masyarakat.

Seiring dengan menurunnya produksi minyak bumi Indonesia,

peningkatan kebutuhan energi dalam negeri membuat pemerintah Indonesia harus membuat kebijakan untuk mengembangkan energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Oleh karena itu pemerintah menetapkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) pada tanggal 17 Oktober 2014 melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, dan telah menyusun sasaran Program Bauran Energi untuk tahun 2015-2050. Pada tahun 2021 kontribusi Energi baru dan terbarukan

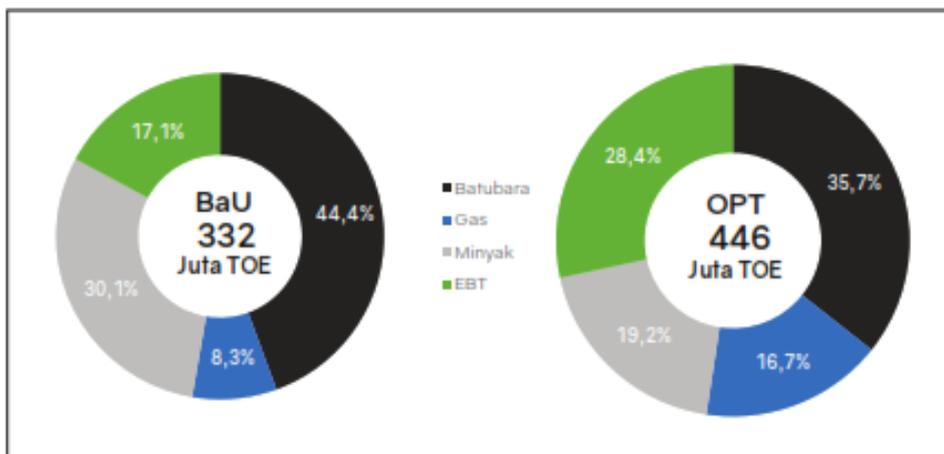
(EBT) baru mencapai 12%, sedangkan target II bauran energi tahun 2032 kontribusi EBT mencapai 17,1% dan 28,4% (Gambar 1).

Panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi berlimpah di Indonesia, tetapi pemanfaatannya masih minim. Berdasarkan Undang-undang No. 21 Tahun 20014 tentang Panas Bumi dijelaskan peran pemerintah untuk menyediakan data melalui kegiatan eksplorasi untuk mempercepat investasi di bidang panas bumi. Sesuai Peraturan Menteri ESDM No. 15 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian ESDM, diuraikan bahwa Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) memiliki salah satu tugas dan fungsi untuk menyelenggarakan penelitian, penyelidikan dan pelayanan di bidang sumber daya panas bumi dan menyusun neraca sumber daya panas bumi.

Pemutakhiran data dan neraca sumber daya energi ini dilakukan untuk

menyediakan data dan neraca sumber daya dan cadangan serta informasi panas bumi yang lebih baru dan lebih akurat. Pemutakhiran data dan informasi panas bumi dalam bentuk tekstual dan spasial yang terdapat di dalam sistem basis data panas bumi serta pemutakhiran sumber daya panas bumi, baik dari hasil dari kegiatan penyelidikan internal PSDMBP, hasil evaluasi geosains untuk pengusulan WKP, hasil pengeboran eksplorasi oleh pemerintah (*government drilling*), serta pemutakhiran oleh Badan Usaha (BU).

Tujuan pemutakhiran data dan neraca sumber daya panas bumi adalah untuk tersedianya data dan neraca sumber daya dan cadangan energi panas bumi yang termutakhirkan, yang dilengkapi dengan peta sebaran potensi panas bumi dan tabulasi data neraca sumber daya panas bumi yang diharapkan dapat dijadikan sebagai masukan kepada pemerintah dalam menyusun kebijakan pengembangan energi panas bumi untuk pembangunan yang berkelanjutan.



Gambar 1. Diagram Bauran Energi Primer Kedua Skenario Tahun 2032

METODE

Metode yang dilakukan dalam kegiatan pemutakhiran data neraca panas bumi ini dilakukan melalui proses pengisian formulir basis data panas bumi sebanyak 15 formulir basis serta pemutakhiran perhitungan potensi dari hasil penyelidikan PSDMBP tahun 2022, hasil evaluasi geosains untuk pengusulan WKP, hasil pengeboran eksplorasi oleh pemerintah (*government drilling*), serta pemutakhiran oleh Badan Usaha (BU).

Pekerjaan yang dilakukan meliputi: inventarisasi data, Pengolahan Data, Evaluasi data, integrasi data, verifikasi data dan penyusunan peta dan laporan. Secara rinci sebagai berikut (Gambar 2):

- a. Inventarisasi data mencakup: pengumpulan data dari laporan hasil kegiatan survei/eksplorasi Pemerintah maupun dari perusahaan panas bumi, terutama hasil penugasan survei pendahuluan dan pengawasan perusahaan energi panas bumi.
- b. Pengolahan data mencakup: analisis peta dasar bagi penyediaan informasi sumber daya panas bumi seluruh lokasi potensi panas bumi Indonesia beserta informasi data digital untuk setiap lokasi. Kemudian dilakukan pengisian formulir basis data, *editing* fitur, penentuan batas poligon dan titik, dan pembuatan *layout* peta digital. Di samping pengolahan peta, juga dilakukan pembuatan ringkasan geosain pada lokasi-lokasi survei/eksplorasi baru.
- c. Evaluasi data: pengolahan data kemudian dijadikan dasar untuk melakukan evaluasi, dimulai dari titik sebaran, keterdapatannya wilayah izin Panas Bumi dan izin pertambangan lainnya, hingga besaran sumber daya atau cadangannya.
- d. Integrasi data merupakan pekerjaan spasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG), berisi peta-peta digital tematik panas bumi, yang informasinya mencakup keterdapatannya, sumber daya dan cadangan sumber daya energi panas bumi
- e. Verifikasi data ini dilakukan agar pemutakhiran data terverifikasi secara baik.
- f. Penyusunan peta dan laporan

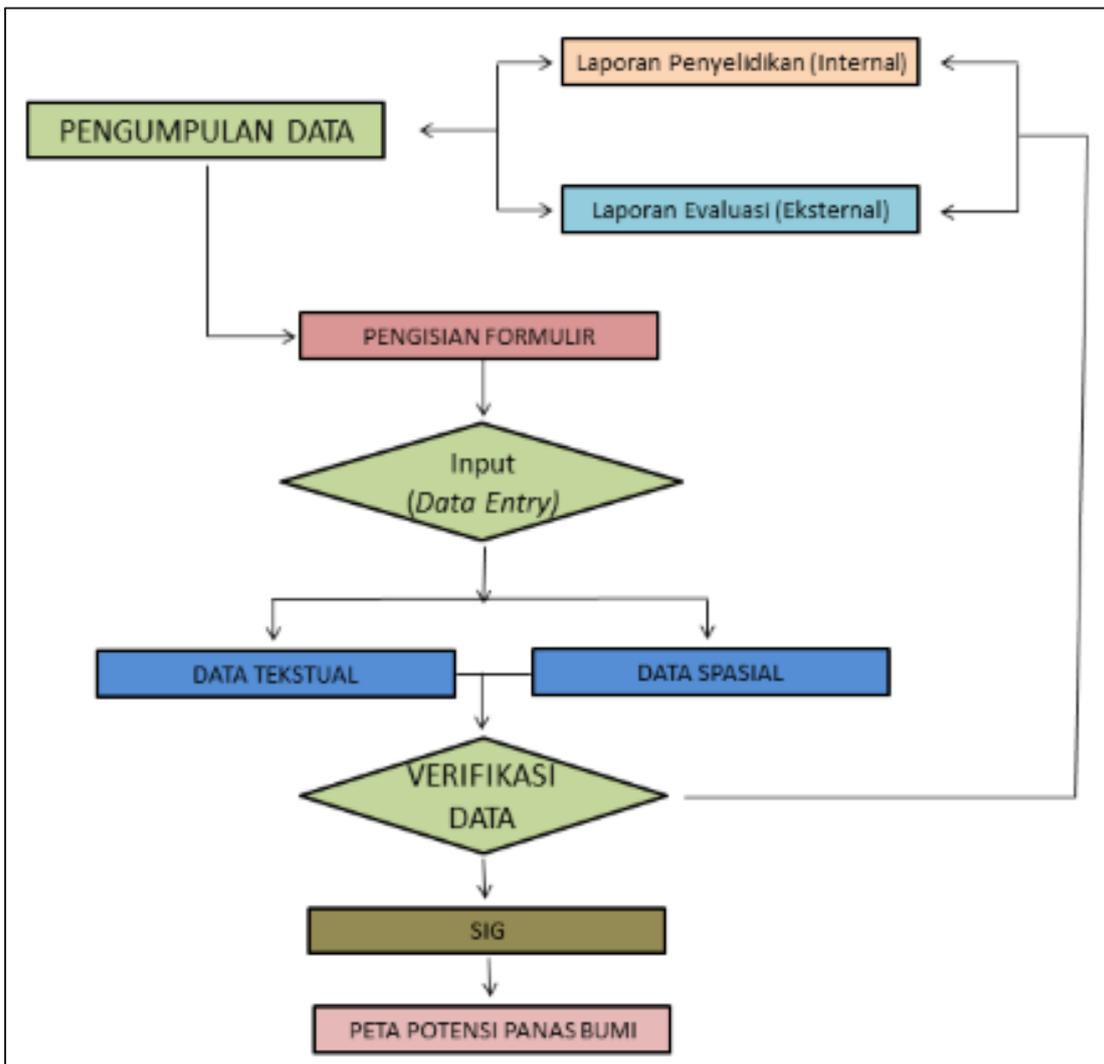
NERACA SUMBER DAYA DAN CADANGAN PANAS BUMI

Hasil pemutakhiran data panas bumi tahun 2022 menunjukkan terdapat penurunan nilai sumber daya spekulatif dibandingkan tahun 2021, peningkatan nilai sumber daya hipotetik, penurunan nilai cadangan mungkin dan cadangan terduga, serta kenaikan nilai cadangan terbukti. Pada tahun 2022 dilaksanakan survei panas bumi di beberapa daerah panas bumi sehingga merubah prosentase tingkat penyelidikan. Dengan adanya penambahan data, maka status

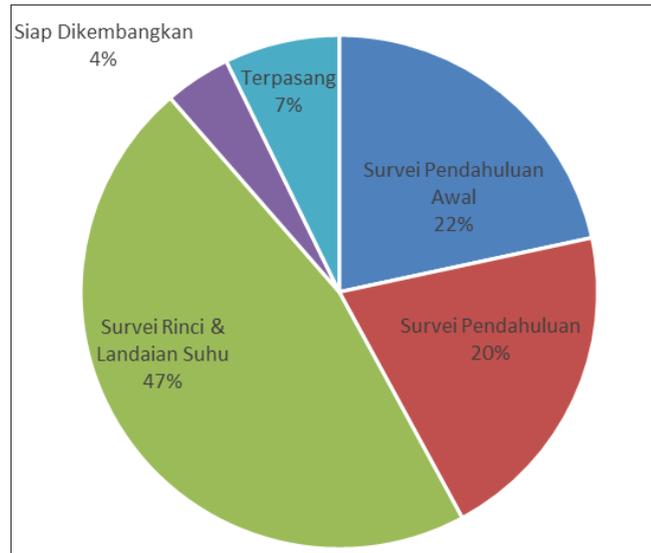
penyelidikan pendahuluan awal dan pendahuluan, mengalami kenaikan status menjadi survei rinci. Sehingga survei rinci dan landaian suhu menjadi prosentase terbanyak di antara tingkat penyelidikan lain (**Gambar 3**).

Berdasarkan pemutakhiran basis data dan potensi panas bumi tersebut, diperoleh status potensi panas bumi Indonesia hingga akhir Desember 2022 sebesar 9.218,5 MWe pada kelas sumber daya dan 13.841,9 MWe pada kelas cadangan, dengan jumlah lokasi panas

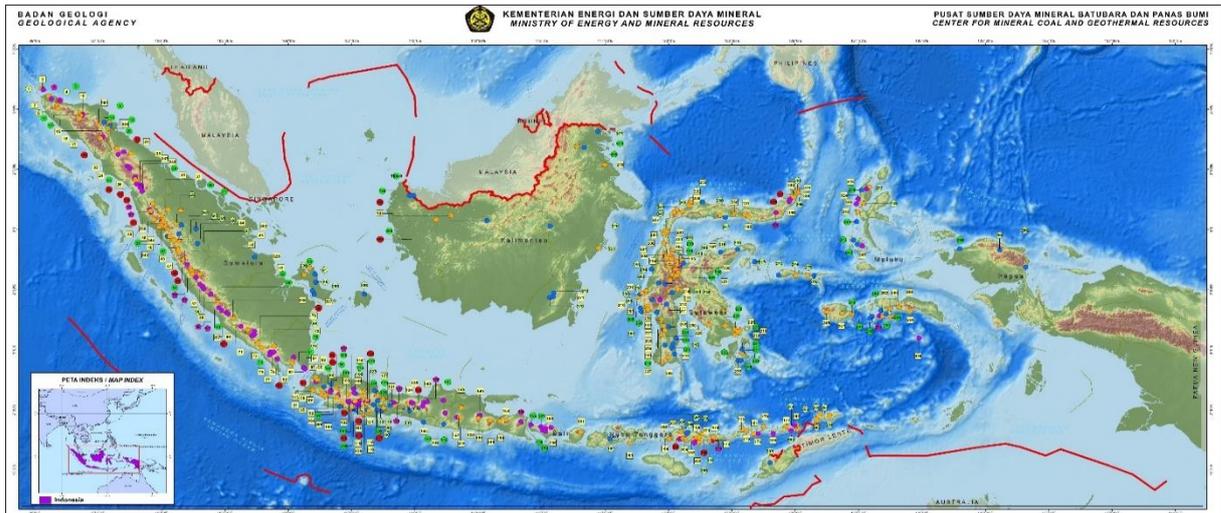
bumi sebanyak 361 lokasi hasil penambahan 5 lokasi baru dari 356 lokasi pada tahun 2021. Kapasitas terpasang energi panas bumi hingga akhir tahun 2022 sebesar 2.355,43 MWe atau 17% dari total cadangan. PLTP tersebut dibangkitkan dari 18 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang berada di 16 wilayah kerja panas bumi (WKP), dengan penambahan kapasitas terpasang sebesar 78,63 yang berasal dari PLTP Sorik Marapi, WKP Sokoria, dan Rantau Dedap (**Gambar 4**, **Tabel 1**, dan **Tabel 3**).



Gambar 2. Diagram alir pekerjaan pemutakhiran data dan neraca sumber daya panas bumi



Gambar 3. Tahapan Penyelidikan Potensi Panas Bumi Status 2022



Gambar 4. Peta Distribusi dan Sumber Daya Panas Bumi Status Tahun 2022

Tabel 1. Status Potensi Panas Bumi Tahun 2022

No	Pulau	Jumlah Lokasi	Sumber Daya (MWe)					Terpasang
			Spekulatif	Hipotesis	Cadangan			
					Mungkin	Terduga	Terbukti	
1	Sumatera	104	2187,5	1567	3514	867	1169,4	962,55
2	Jawa	77	1164	1270	3121	363	1855	1253,8
3	Bali	6	70	21	104	110	30	0
4	Nusa Tenggara	34	215	146	731	138	33,5	19,08
5	Kalimantan	14	151	18	6	0	0	0
6	Sulawesi	90	1352	342	996	180	120	120
7	Maluku	33	560	80	496	6	2	0
8	Papua	3	75	0	0	0	0	0
Total		361	5774,5	3444	8968	1664	3209,9	2355,43
							13841,9	
							23060,4	

Tabel 2. Perkembangan Status Potensi Energi Panas Bumi Tahun 2018 s.d. 2022

Tahun	Jumlah Lokasi	Spekulatif	Hipotetis	Mungkin	Terduga	Terbukti	Terpasang
2018	349	6.407	3.852	10.099	2.016,0	3.012,5	1.948,5
2019	351	5.952	3.387	9.696	1.875,7	3.054,8	2.130,6
2020	357	5.981	3.363	9.547	1.770,0	3.104,5	2.130,7
2021	356	5.849	3.376	9.251	1.770,0	3.110,9	2.276,90
2022	361	5.774,50	3.444,00	8.968,00	1.664,00	3.209,90	2.355,43

Tabel 3. Perubahan Sumber Daya Panas Bumi 2022

No	Nama Lapangan	Sumber Daya (MWe)					Kapasitas Terpasang	Keterangan
		Spekulatif	Hipotetis	Cadangan				
				Mungkin	Terduga	Terbukti		
154	Tiris-Gunung Lamongan	-	-	40	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
223	Massepe	-	-	20	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
193	Maranda-Kawende	20	-	26	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
204	Lompio	-	-	14	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
33	Pariangan	-	40	27				Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
332	Nage	-	-	-	46,00	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
361	Batubalang	5	-	-	-	-		Penambahan Lokasi Baru
362	Muara Paiti	10,5	-	-	-	-		Penambahan Lokasi Baru
363	Tanjung Balik	5	-	-	-	-		Penambahan Lokasi Baru
100	Tanggeung	-	1	-	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
364	Cibungur	-	3	-	-	-		Penambahan Lokasi Baru
365	Leles	5	-	-	-	-		Penambahan Lokasi Baru
133	Guci	-	-	20	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
262	Banda Baru	-	22	20	-	-		Pemutakhiran Nilai Sumber Daya

No	Nama Lapangan	Sumber Daya (MWe)					Kapasitas Terpasang	Keterangan
		Spekulatif	Hipotetis	Cadangan				
				Mungkin	Terduga	Terbukti		
31	Sorik Merapi-Sibangor	-	-	50	55,00	135	162,15	Pemutakhiran Nilai Sumber Daya dan Nilai Kapasitas Terpasang
32	Sampuraga	-	-	23	5,00	-	-	Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
33	Roburan	-	-	7	3,00	-	-	Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
172	Sokoria	-	-	8	10,00	21	6,58	Pemutakhiran Nilai Kapasitas Terpasang
155	Blawan-ljen	-	75	37	59,00	35	-	Pemutakhiran Nilai Sumber Daya
167	Rantau Dedap	-	160	49	119,00	98,4	98,4	Pemutakhiran Nilai Kapasitas Terpasang
136	Dieng	-	-	-	-	240	60	Pemutakhiran Nilai Kapasitas Terpasang
173	Jopu	-	-	5	-	-	-	Pemutakhiran Koordinat

Berdasarkan hasil evaluasi geosains untuk usulan WKP pada tahun 2021 dan 2022, terdapat lima daerah panas bumi yang mengalami perubahan nilai sumber daya pada kelas cadangan mungkin. Daerah panas bumi Tiris-Gunung Lamongan mengalami penyesuaian nilai yang semula 74 MWe menjadi 40 MWe. Daerah panas bumi Masepe mengalami penyesuaian nilai cadangan yang semula 15 MWe menjadi 20 MWe. Daerah panas bumi Maranda-Kawende mengalami penyesuaian nilai pada kelas cadangan mungkin, yang semula 30 MWe menjadi 26 MWe. Daerah panas bumi Lompio yang

semula memiliki nilai cadangan mungkin 8 MWe mengalami penyesuaian menjadi 14 MWe. Sementara itu daerah panas bumi Pariangan yang nilai cadangan mungkinnya 30 MWe mengalami penyesuaian menjadi 27 MWe.

Pengeboran *slim hole* NGE-01A daerah panas bumi Nage mengoreksi nilai temperatur reservoir yang digunakan dalam perhitungan sumber daya. Daerah panas bumi Nage yang semula memiliki nilai cadangan mungkin 19 MWe disesuaikan menjadi cadangan terduga dengan nilai 46 MWe.

Survei terpadu geologi, geokimia, dan geofisika di daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur menghasilkan beberapa perubahan terhadap pemutakhiran data dan neraca panas bumi tahun 2022. Daerah Tanggeung-Cibungur yang semula merupakan satu daerah, dipisah menjadi dua daerah, yaitu daerah panas bumi Tanggeung dan daerah panas bumi Cibungur, serta ditemukan satu daerah baru yaitu daerah panas bumi Leles. Daerah panas bumi Tanggeung-Cibungur yang semula memiliki nilai sumber daya spekulatif sebesar 100 MWe, disesuaikan menjadi 1 MWe untuk daerah panas bumi Tanggeung menjadi kelas sumber daya hipotetis, 3 MWe untuk daerah panas bumi Cibungur menjadi kelas sumber daya hipotetis, dan 5 MWe untuk daerah panas bumi Leles pada kelas sumber daya spekulatif.

Survei rinci di daerah Guci memutakhirkan cadangan mungkin menjadi 20 MWe. Sedangkan survei daerah Banda Baru menemutakhirkan sumber daya hipotetis menjadi 22 MWe dan cadangan mungkin menjadi 20 MWe.

Terdapat penyesuaian nilai kapasitas terpasang pada PLTP Dieng yang semula 70 MWe menjadi 60 MWe, serta PLTP Rantau Dedap yang semula 91,2 MWe menjadi 98,4 MWe. Penyesuaian dilakukan berdasarkan nilai Sertifikat Laik Operasi (SLO) pada masing-masing PLTP.

Pemutakhiran nilai sumber daya pada WKP Sokoria menghasilkan beberapa perubahan pada beberapa daerah panas bumi. Daerah panas bumi Sokoria pada tahun 2021 memiliki nilai cadangan mungkin dan terduga masing-masing sebesar 41 MWe dan 39 MWe, pada tahun 2022 setelah melakukan *Commercial Operation Date* (COD) pada PLTP Sokoria, mengalami penyesuaian cadangan mungkin sebesar 8 MWe, cadangan terduga sebesar 10 MWe, cadangan terbukti sebesar 21 MWe, dan kapasitas terpasang sesuai SLO sebesar 6,58 MWe. Sementara itu, terdapat penyesuaian koordinat untuk daerah panas bumi Jopu.

Pemutakhiran nilai sumber daya pada WKP Sorik Marapi menghasilkan beberapa perubahan pada beberapa daerah panas bumi. Daerah panas bumi Sorik Marapi-Sibanggor pada tahun 2021 memiliki nilai cadangan mungkin 88 MWe, cadangan terduga 54 MWe, cadangan terbukti 89 MWe, dan kapasitas terpasang PLTP Sorik Marapi sebesar 87,4 MWe, sedangkan pada tahun 2022 mengalami penyesuaian cadangan mungkin menjadi 50 MWe, cadangan terduga 55 MWe, cadangan terbukti 135 MWe, serta setelah COD, kapasitas terpasang PLTP Sorik Marapi menjadi 162,15 MWe. Daerah panas bumi Sampuraga pada tahun 2021 terdiri atas Sampuraga dengan nilai cadangan mungkin 36 MWe dan cadangan terduga sebesar 50 MWe, serta

Sampuraga Selatan dengan nilai cadangan mungkin 50 MWe dan cadangan terduga 60 MWe, pada tahun 2022 menjadi satu bagian, yaitu Sampuraga dengan nilai cadangan mungkin 23 MWe dan cadangan terduga sebesar 5 MWe. Daerah panas bumi Roburan pada tahun 2021 memiliki nilai cadangan mungkin, terduga, dan terbukti masing-masing sebesar 13, 8, dan 3 MWe, pada tahun 2022 dimutakhirkan menjadi cadangan mungkin sebesar 7 MWe dan cadangan terduga sebesar 3 MWe. Total sumber daya di WKP Sorik Marapi pada tahun 2022 lebih rendah 173 MWe dibandingkan tahun 2021.

Pemutakhiran nilai sumber daya pada WKP Blawan Ijen mengalami perubahan yang cukup signifikan pada tahun 2022. Pada Tahun 2021, daerah panas bumi Blawan-Ijen memiliki cadangan mungkin sebesar 84 MWe dan cadangan terduga sebesar 73 MWe. Sedangkan pada tahun 2022, memiliki sumber daya spekulatif sebesar 75 MWe, cadangan mungkin sebesar 37 MWe, cadangan terduga sebesar 59 MWe, dan cadangan terbukti sebesar 35 MWe. Total sumber daya di daerah panas bumi Blawan-Ijen mengalami peningkatan sebesar 49 MWe.

Perbandingan sumber daya spekulatif panas bumi tahun 2021 dan 2022 menunjukkan adanya penurunan sebesar 74,5 MWe, hal tersebut tampak dari data sumber daya spekulatif tahun 2021 sebesar 5.849 MWe kini di tahun 2022 menjadi 5.774,5 MWe. Sedangkan

untuk sumber daya hipotetis tahun 2021 3.376 MWe mengalami peningkatan sebesar 68 MWe di tahun 2022 menjadi 3.444 MWe.

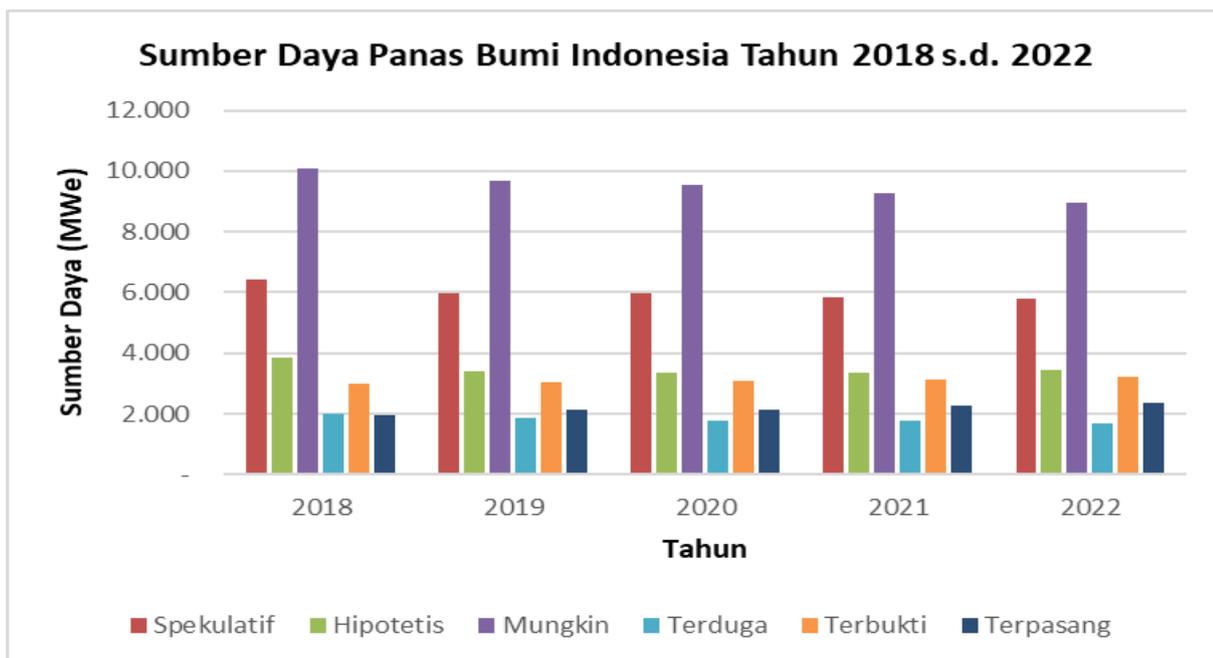
Perbandingan cadangan tahun 2021 dengan tahun 2022 terdapat penurunan nilai cadangan mungkin sebesar 283 MWe dan nilai cadangan terduga turun 106 MWe. Sedangkan nilai cadangan terbukti bertambah sebesar 99 MWe.

Penurunan nilai total sumber daya panas bumi disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah metode estimasi potensi energi panas bumi dan penyesuaian nilai parameter yang digunakan dalam penentuan nilai sumber daya. Pada tahun 2019 terbit SNI 6169-2018 mengenai "Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi" yang telah menggantikan SNI sebelumnya, yaitu SNI 13-6171-1999 dan kehadiran SNI 6482-2018 tentang "Parameter dalam Estimasi Potensi Energi Panas Bumi" yang telah merevisi SNI 13-6482-2000. Secara umum, penggunaan SNI terbaru memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap perhitungan sumber daya dan cadangan panas bumi hingga tahun 2022. Hasil perhitungan nilai sumber daya yang didapat, meskipun nilai yang dihasilkan lebih kecil, akan tetapi nilai tersebut lebih akurat dan lebih dapat dipercaya. Peningkatan status penyelidikan juga berpengaruh terhadap perubahan nilai sumber daya. Penyelidikan geosains yang

lebih rinci dan lengkap memungkinkan untuk mendapatkan nilai sumber daya yang lebih kecil. Hal tersebut didukung oleh majunya ilmu dan teknologi yang berkembang dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Sehingga, meskipun survei yang lebih detail menghasilkan nilai sumber daya yang lebih kecil, tetapi menghasilkan nilai sumber daya yang lebih presisi, lebih akurat, dan lebih dapat dipercaya. Selain itu, penurunan nilai sumber daya panas bumi juga disebabkan oleh adanya penghapusan daerah panas bumi. Hal tersebut disebabkan oleh nilai sumber daya yang dulunya ada menjadi hilang.

Selain data dan kajian internal Badan Geologi, data dari badan usaha juga memiliki andil dalam berubahnya nilai sumber daya panas bumi. Setiap tahun, Direktorat Panas Bumi Ditjen EBTKE

melakukan rekonsiliasi dengan badan usaha untuk memutakhirkan nilai sumber dayanya, utamanya pada kelas cadangan. Badan usaha melalui kegiatan Penugasan Survei Pendahuluan/Eksplorasi (PSP/PSPE) serta eksplorasi panas bumi lebih lanjut dengan dilengkapi data pengeboran juga akan mempengaruhi nilai sumber daya panas bumi, khususnya pada kelas cadangan. Terlihat penurunan nilai cadangan mungkin dan terduga dalam kurun tahun 2018 s.d. 2022. Namun, hasil pemutakhiran oleh badan usaha juga memperlihatkan naiknya nilai cadangan terbukti dari tahun 2018 s.d. 2022, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Cadangan terbukti merupakan kelas dengan data geosains terlengkap dan telah dilengkapi dengan simulasi reservoir, sehingga tingkat keterpercayaan datanya sangat tinggi.



Gambar 5. Perbandingan sumber daya dan cadangan panas bumi Tahun 2018 s.d. 2022

PENUTUP

Jumlah sumber daya panas bumi Indonesia status Desember tahun 2022 sebesar 23.060,4 MWe dengan cadangan panas bumi sebesar 13.841,9 MWe. Sedangkan, untuk kapasitas terpasang hingga Desember 2022 mencapai 2.355,43 MWe.

Perbandingan nilai sumber daya dan cadangan tahun 2022 dibandingkan dengan tahun 2021 mengalami perubahan, dimana sumber daya spekulatif mengalami penurunan nilai sebesar 74,50 MWe, sedangkan sumber daya hipotetis mengalami peningkatan nilai sebesar 68 MWe. Sementara itu, cadangan mungkin mengalami penurunan nilai sebesar 283 MWe. Sedangkan nilai cadangan terduga mengalami penurunan sebesar 106 MWe. Nilai cadangan terbukti mengalami peningkatan sebesar 99 MWe.

Terdapat penambahan lima (5) lokasi panas bumi, sehingga status Desember 2022 terdapat 361 lokasi panas bumi.

Perubahan nilai sumber daya dan cadangan panas bumi tahun 2022 berasal dari survei yang dilakukan oleh PSDMBP, hasil evaluasi geosains untuk pengusulan WKP yang dilakukan oleh PSDMBP, serta pemutakhiran nilai cadangan oleh badan usaha. Meskipun mengalami penurunan nilai sumber daya panas bumi, nilai sumber daya status 2022 diharapkan memberikan tingkat akurasi dan level kepercayaan terhadap data yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan Terima kasih kepada Kepala PSDMBP yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan neraca ini. Selain itu terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan Pemutakhiran data dan neraca sumber daya panas bumi dalam memberikan masukan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 13-6482-2000 Angka Parameter Dalam Estimasi Potensi Energi Panas Bumi*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 6009-2017 Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Energi Panas Bumi Indonesia*.
- Dewan Energi Nasional. (2022). *Energi Outlook 2022*.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2021 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.*

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. (2022). *Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Panas Bumi.* Bandung.

Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.*

Republik Indonesia. (2014). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi.* Jakarta: Sekretariat Negara.

**PERSIAPAN PENGEBORAN LANDAIAN SUHU TAHUN 2023
DI DAERAH GUNUNG ENDUT, KABUPATEN LEBAK, PROVINSI BANTEN**

Lano Adhitya P, Dikdik Risdianto, dan Asep Sugianto

Kelompok Kerja Panas Bumi

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

SARI

Kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu dilakukan pada tahun anggaran 2022 yang bertujuan untuk menyediakan data-data teknis dan non teknis yang terkait dengan kegiatan pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut.

Metode yang digunakan dalam kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut meliputi evaluasi data-data teknis dan non teknis, peninjauan lokasi usulan titik pengeboran dan koordinasi dengan semua pemangku kepentingan serta pendokumentasian kondisi rona awal lokasi usulan titik pengeboran melalui penggunaan pesawat nirawak (drone).

Hasil evaluasi data-data teknis dan non teknis serta peninjauan lapangan terkait penentuan lokasi titik pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut diperoleh dua lokasi yang diusulkan untuk dijadikan lokasi titik pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut, yaitu di Kampung Kapudang, Desa Jagaraksa, Kecamatan Muncang dan di Kampung Cirendeu, Desa Sobang, Kecamatan Sobang.

Kata kunci: peninjauan lokasi, landaian suhu, Gunung Endut.

PENDAHULUAN

Sumber daya panas bumi merupakan salah satu alternatif sumber energi yang berperan penting bagi pemenuhan kebutuhan energi nasional. Dalam rangka percepatan pengembangan panas bumi di Indonesia terutama untuk mengurangi resiko di sisi hulu, maka dilakukan kegiatan eksplorasi panas bumi yang dilaksanakan oleh Pemerintah, salah satunya yaitu daerah Gunung Endut.

Permana, dkk (2021) menyebutkan bahwa daerah Gunung Endut memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas dengan temperatur antara 52°C hingga 90°C dan batuan ubahan serta memiliki cadangan panas bumi sebesar 38 MWe pada kelas cadangan mungkin.

Hasil survei yang dilakukan oleh Badan Geologi di tahun 2021, memberikan rekomendasi bahwa pada bagian barat dari Gunung Endut perlu dilakukan pengeboran landaian suhu, mengingat terdapat lapisan

konduktif (<10 Ohm.m). dengan pelamparan yang luas pada bagian barat dari Gunung Endut yang mengindikasikan adanya *caprock* pada sistem panas bumi Gunung Endut (Taquadama,dkk., 2021). Sebagai tindak lanjut dari hasil survei tersebut, maka pada tahun 2022 dilakukan kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu melalui peninjauan lokasi untuk penempatan titik bor. Namun demikian, terkait rencana pelaksanaan pengeboran landaian suhu di tahun 2023 tetap memperhatikan kepastian anggaran kegiatan di tahun 2023.

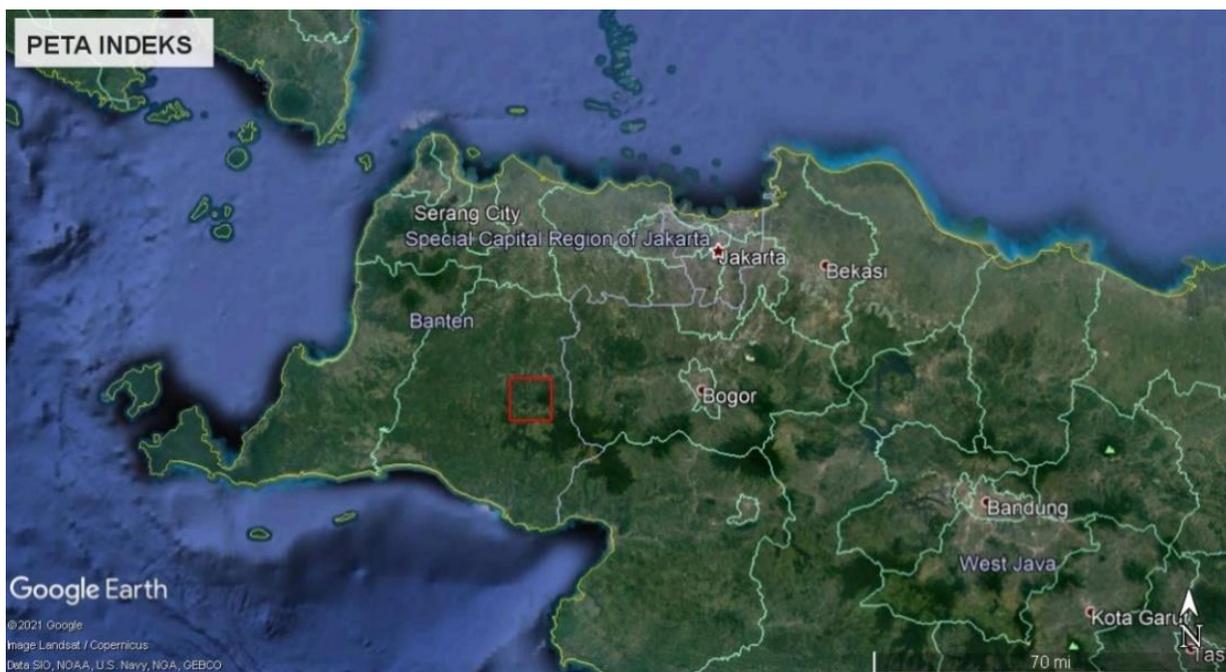
Tujuan kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut yaitu untuk menyediakan data - data teknis dan non teknis yang terkait dengan kegiatan pengeboran landaian suhu. Secara administratif, daerah Gunung Endut berada di

Kabupaten Lebak, Provinsi Kabupaten (Gambar 1).

METODE

Metode yang digunakan dalam kegiatan kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut meliputi evaluasi data-data teknis dan non teknis terkait kegiatan pengeboran landaian suhu yang mencakup kondisi geosaintifik (area prospek), status lahan, akses jalan dan tersedianya air untuk pengeboran

Selain itu, dilakukan koordinasi dengan semua pemangku kepentingan, terutama dengan pemerintah dan aparat daerah setempat serta dilakukan pendokumentasian kondisi rona awal lokasi usulan titik pengeboran dengan menggunakan pesawat nirawak (drone).



Gambar 1. Peta lokasi daerah Gunung Endut

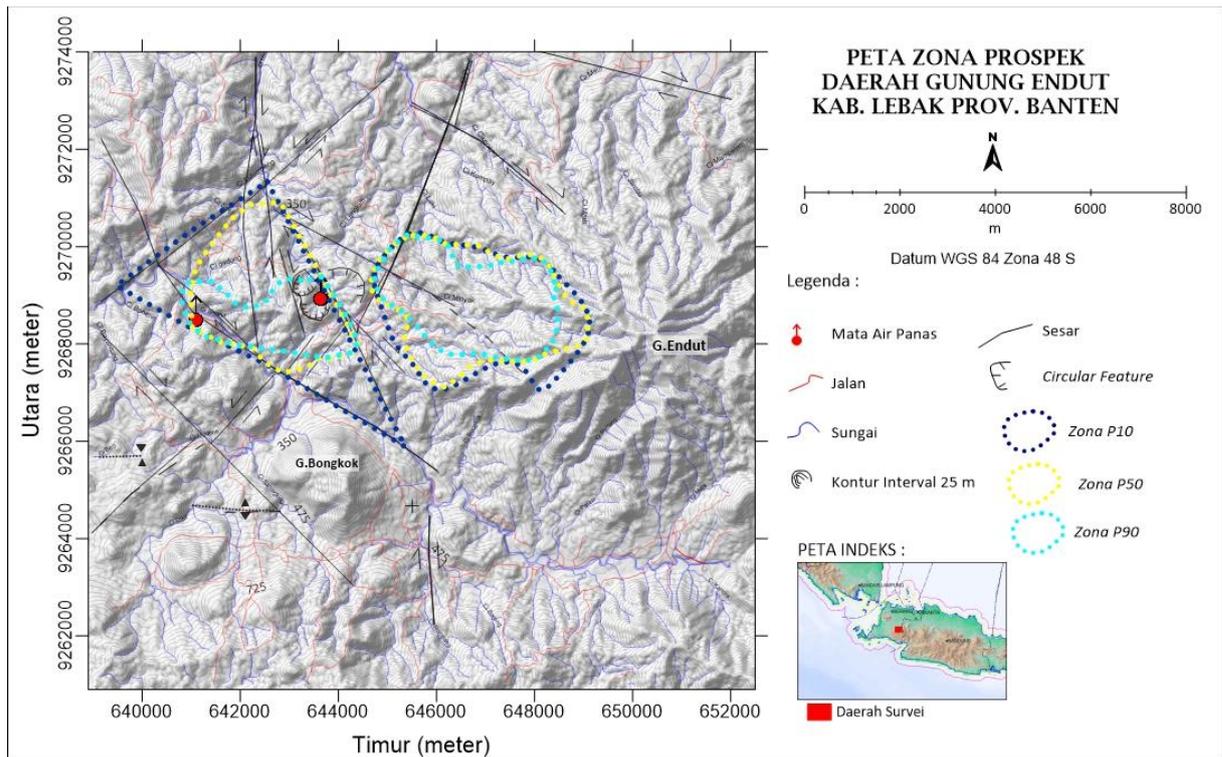
GEOSAINS DAERAH GUNUNG ENDUT

Geologi daerah Gunung Endut terdiri dari batuan vulkanik dan endapan permukaan yang berumur Tersier hingga Kuartar. Hasil analisis struktur geologi, kelurusan citra DEMNAS, LIDAR dan anomali densitas yang dilakukan di daerah Gunung Endut mengkonfirmasi keterdapatan *circular feature*, sesar geser, sesar normal dan lipatan berarah relatif baratlaut – tenggara dan timurlaut – baratdaya serta barat-timur (**Gambar 2**). Keberadaan sesar di daerah survei dapat menjadi jalur keluarnya fluida hidrotermal pada lapangan panasbumi Gunung Endut yang dibuktikan dari kehadiran manifestasi mata air panas dan alterasi batuan. Zonasi alterasi batuan yang hadir di daerah survei didominasi oleh mineral lempung hasil ubahan yang berada pada lingkungan yang dipengaruhi fluida (pH) asam hingga netral dengan temperatur rendah hingga tinggi.

Hasil survei geokimia menyebutkan bahwa karakteristik mata air panas Cikawah dan Handeuleum merupakan tipe klorida-bikarbonat dengan kandungan sulfat cukup signifikan yang terletak pada *partial equilibrium* dan memiliki kandungan Cl, Li, B, cukup seimbang serta kandungan Mg yang relatif rendah sekitar 0,2 ppm (Kusnadi, dkk., 2021). Hasil analisis isotop menunjukkan adanya pengayaan isotop ^{18}O yang berkorelasi dengan temperatur bawah permukaan berkisar 180 °C dan dapat berperan sebagai zona *upflow* di

Daerah Gunung Endut. Sedangkan, anomali temperatur CO_2 , Hg, H_2S , dan As, yang terletak pada mata air panas Cikawah dan di sebelah timurnya atau di sebelah barat dari lereng Gunung Endut, dapat berperan sebagai zona *upflow* yang kedua (*hidden geothermal system*) dengan perkiraan temperatur minimal 180°C.

Hasil survei gaya berat memperlihatkan bahwa pada zona batas struktur tubuh Gunung Endut teridentifikasi di sisi timur dengan nilai anomali bouguer dan residual yang rendah. Sedangkan, anomali densitas tinggi yang terdapat di sekitar mata air panas Cikawah dan Handeuleum dari data anomali bouguer dan residual, diduga sebagai indikasi adanya batuan beku berumur muda yang memungkinkan sebagai sumber panas pada sistem panas bumi Gunung Endut (Zarkasy, dkk., 2021). Sementara itu, hasil survei magnetotellurik (MT) menunjukkan bahwa reservoir berada 2 km sebelah timur mata air panas Cikawah hingga lereng barat dari Endut (*hidden geothermal system*) dengan dicirikan oleh nilai tahanan jenis tinggi (resistif) > 20-100 Ohm.m. Puncak reservoir diperkirakan berada pada kedalaman 500 – 700 meter dengan luas sekitar 7 km² dan memiliki sumber panas yang diperkirakan berasal dari sisa panas aktivitas vulkanik Gunung Endut. Sedangkan, puncak reservoir pada sistem Cikawah diperkirakan berada di kedalaman



Gambar 3. Peta zona prospek daerah Gunung Endut

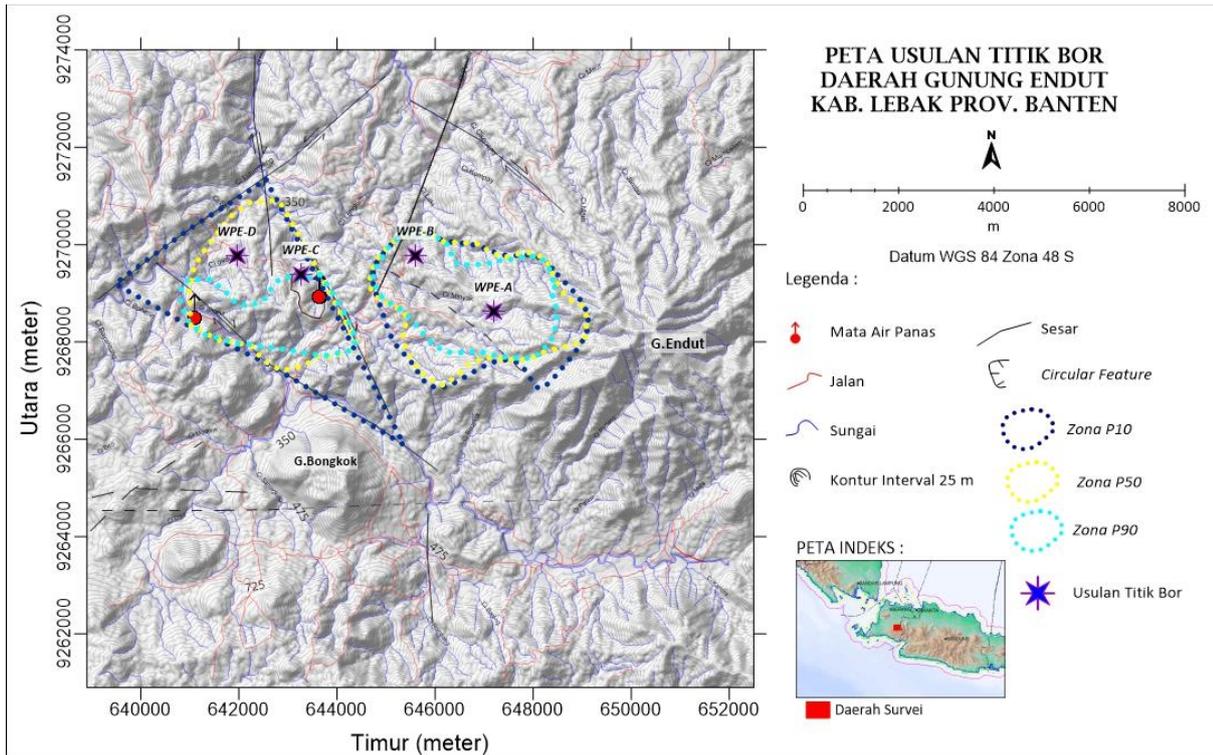
HASIL KEGIATAN

Evaluasi terhadap hasil kegiatan survei 3G yang telah dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) – Badan Geologi di daerah Gunung Endut merupakan tahap awal yang dilakukan dalam kegiatan persiapan pengeboran landaian suhu terutama dalam kaitannya untuk pemilihan lokasi titik pengeboran. Anonim (2021) menyebutkan bahwa terdapat dua prospek yang terdapat pada sistem panas bumi Gunung Endut, sehingga fokus pemilihan lokasi titik pengeboran didasarkan atas keberadaan dua lokasi tersebut.

Selanjutnya, dalam penentuan lokasi titik pengeboran perlu

mempertimbangkan aspek-aspek non teknis, seperti status lahan, akses jalan dan tersedianya air untuk pengeboran. Kombinasi antara aspek teknis dan non teknis yang baik diharapkan dapat memperoleh data-data litologi, mineral ubahan, temperatur dan permeabilitas yang menjadi target dalam pengeboran landaian suhu.

Setelah dilakukan evaluasi terhadap aspek teknis dan non teknis, diperoleh empat lokasi yang menjadi usulan dalam penentuan lokasi titik pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut (**Gambar 4**).



Gambar 4. Peta lokasi usulan titik pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut berdasarkan hasil evaluasi aspek teknis dan non teknis

Beberapa lokasi yang telah diusulkan menjadi tempat pengeboran landaian suhu, kemudian ditindaklanjuti melalui koordinasi dengan pemangku kepentingan terutama pemerintah dan aparat daerah setempat serta diikuti dengan peninjauan lokasi yang menjadi usulan dalam pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut.

Koordinasi dengan pemerintah dan aparat daerah setempat telah dilakukan (**Gambar 5**), diantaranya:

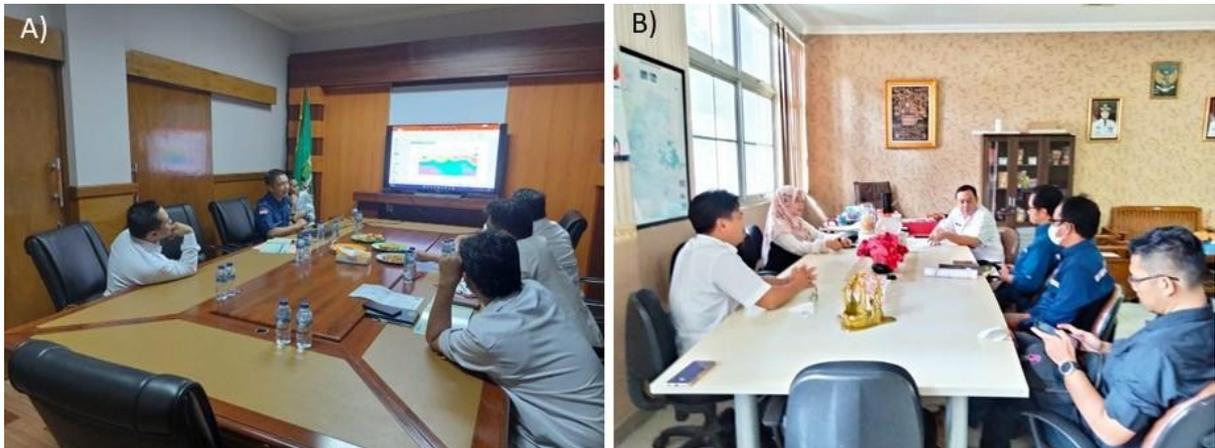
1. Koordinasi dengan perwakilan Pemerintah Provinsi melalui Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, dalam hal ini diwakili oleh Kepala Bidang Energi dan beberap staff Dinas ESDM Provinsi Banten.

2. Koordinasi dengan Pemerintah Kabupaten Lebak yang diwakili oleh Asisten Daerah II (Asda II) Bagian Ekonomi Pembangunan.
3. Koordinasi dengan Kepala Desa Sobang, Kecamatan Sobang, Kabupaten Lebak.
4. Koordinasi dengan pihak Kepala Desa Jagaraksa, Kecamatan Muncang, Kabupaten Lebak.

Peninjauan lokasi dilakukan sebagai upaya untuk memvalidasi data-data teknis dan non teknis yang telah dievaluasi. Dalam hal ini, data-data yang telah dievaluasi tersebut akan ditinjau terkait relevansi atau kesesuaian dengan kondisi lapangan yang ada. Beberapa kali

kegiatan peninjauan lokasi untuk penentuan lokasi bor telah dilakukan (**Gambar 6 dan Gambar 7**), dengan fokus pada dua area prospek yaitu di bagian

barat dari Lereng Gunung Endut dan area prospek disekitar mata air panas Cipanas dan mata air panas Handeuleum.



Gambar 5. A) Koordinasi dengan Dinas ESDM , Provinsi Banten; B) Koordinasi dengan Pemerintah Daerah Kabupaten Lebak



Gambar 6. A) Akses jalan menuju lokasi usulan titik pengeboran di Desa Jagaraksa; B) Akses jalan menuju lokasi usulan titik pengeboran di Desa Sobang



Gambar 7. A) Sungai Cilaki yang menjadi sumber air untuk lokasi pengeboran di Desa Jagaraksa;
B) Sungai Ciminyak yang menjadi sumber air untuk lokasi pengeboran di Desa Sobang

PEMBAHASAN

Setelah dilakukan peninjauan di beberapa lokasi yang menjadi usulan lokasi titik pengeboran dan mempertimbangkan beberapa faktor yang dijadikan sebagai unsur untuk pembuatan matriks penentuan lokasi titik pengeboran (**Gambar 8**), seperti kondisi geosains, status lahan, akses, lokasi sumber air, target dan prioritas, maka dari empat lokasi yang diusulkan hanya dua lokasi yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai lokasi pengeboran landaian suhu di daerah Gunung Endut (**Gambar 9**), yaitu di Desa Jagaraksa dan Desa Sobang, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.

Akses jalan dan air di Desa Jagaraksa yang mudah, maka menjadikan Desa Jagaraksa merupakan lokasi prioritas pertama untuk dijadikan sebagai lokasi pengeboran landaian suhu, sedangkan Desa Sobang merupakan prioritas kedua.

PENUTUP

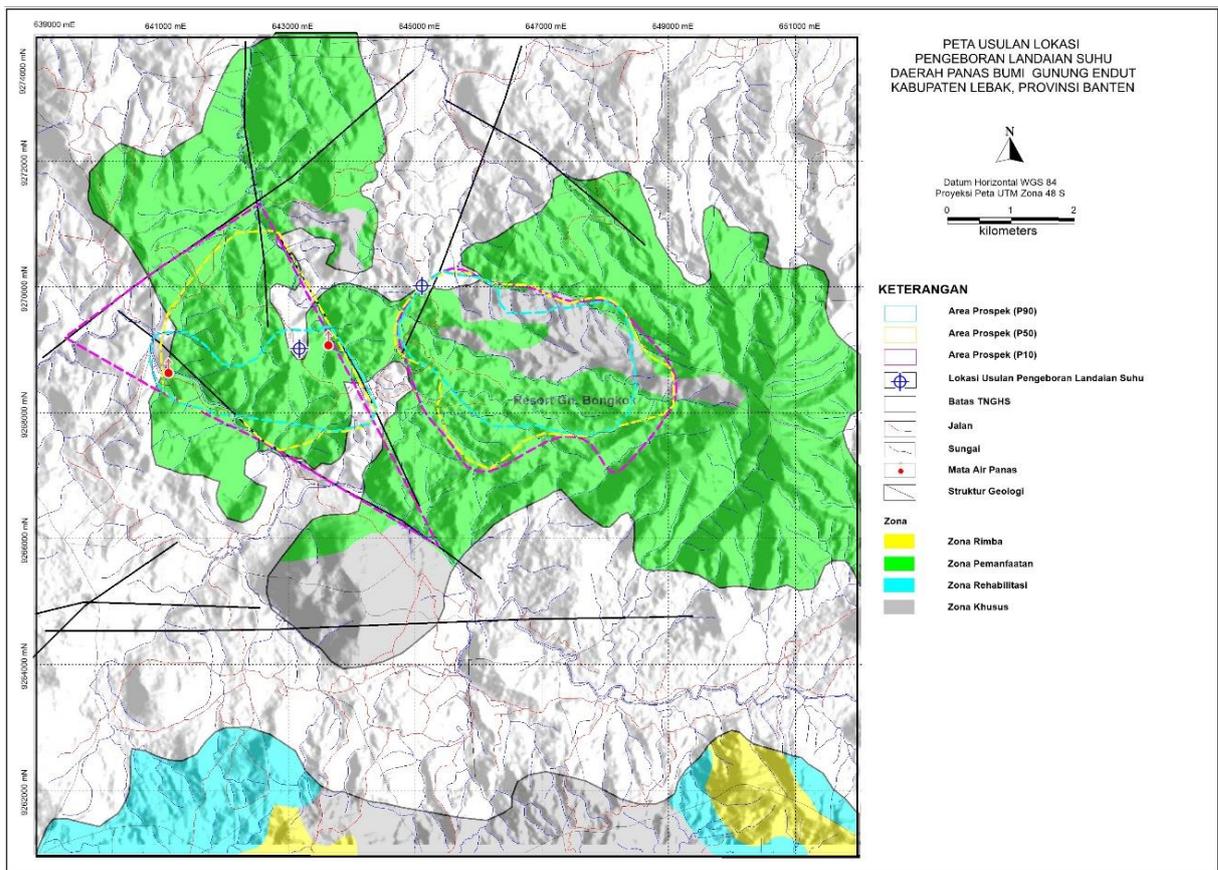
Hasil evaluasi data-data teknis dan non teknis serta peninjauan lapangan terkait penentuan lokasi titik pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut diperoleh dua lokasi yang diusulkan untuk dijadikan lokasi titik pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut, yaitu di Kampung Kapudang, Desa Jagaraksa, Kecamatan Muncang dan di Kampung Cirendeu, Desa Sobang, Kecamatan Sobang. Kedua lokasi tersebut dipilih setelah mempertimbangkan berbagai aspek seperti kondisi geosains, area prospek, tata guna lahan, sumber air dan akses jalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam kegiatan persiapan penentuan lokasi titik pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut, terutama dalam memberikan masukan dalam penulisan makalah ini.

Usulan Lokasi	Koordinat Titik Bor (UTM, 48-S)	Kondisi Geosaintifik	Status Lahan	Akses	Lokasi Air Untuk Bor	Target	Prioritas
Usulan 1. Sebelah Barat Gn. Endut (Kp. Kapudang, Ds. Jagaraksa, Kec. Muncang)	X= 645108 mT Y= 9270023 mU	Daerah <i>up-flow</i> (<i>tepi</i>)	Tanah milik penduduk	Mudah	Sekitar 1239 m dari Sungai Ciminyak.	Di daerah prospek (P50)	1
		Tahanan jenis rendah					
		Anomali Hg sedang					
		Anomali gaya berat dan magnetik (Pola Struktur Baratlaut -Tenggara)					
		Morfologi relatif landai-sedang					
		Satuan Aliran Piroklastik Endut (Qae)					
Anomali MT (terdapat tahanan jenis rendah dan Tahanan Jenis Sedang)							
Usulan 2. Sebelah Barat Mata Air Panas Cikawah (Kp. Cirendeu, Ds. Sobang, Kec. Sobang)	X= 643174 mT Y=9269020 mU	Daerah <i>up-flow</i>	Tanah milik penduduk	Mudah - Menengah	Sekitar 100 -150 m dari lokasi perairan yang terdapat di sawah Catatan: Perlu dibuat penampungan air terlebih dahulu	Di daerah prospek (P90)	2
		Tahanan jenis rendah					
		Anomali Hg menengah					
		Anomali gaya berat dan magnetik (Pola Struktur Baratlaut -Tenggara)					
		Morfologi relatif landai-menengah					
		Anomali MT (terdapat tahanan jenis rendah dan Tahanan Jenis Sedang)					

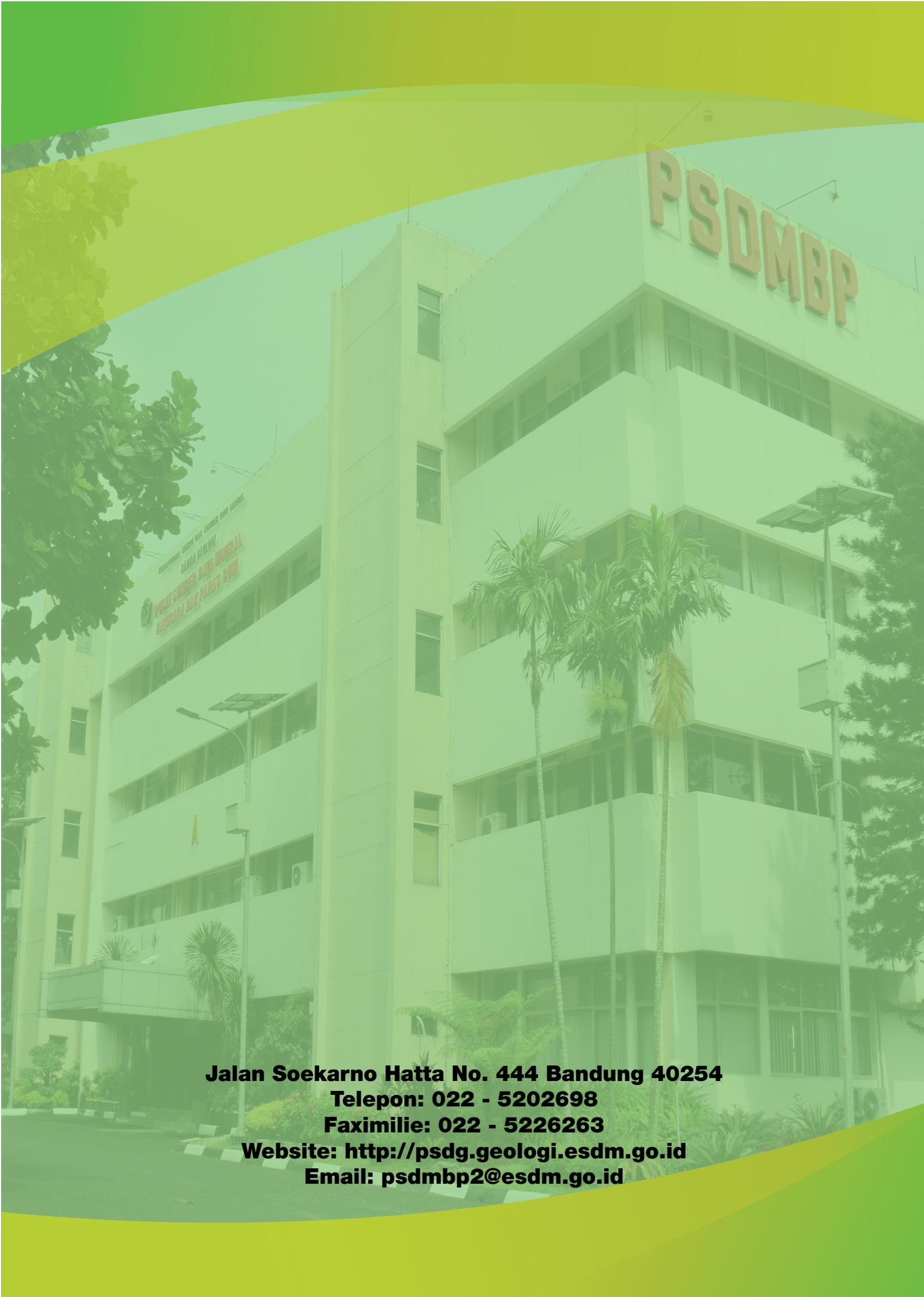
Gambar 8. Matriks penentuan lokasi titik bor landaian suhu di daerah Gunung Endut



Gambar 9. Peta lokasi usulan pengeboran landaian suhu di Daerah Gunung Endut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2021. Laporan Integrasi Survei Geosains Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2020, Peta Tata Guna Lahan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Balai Besar Taman Nasional Gunung Halimun Salak, 2021, Peta Zona Pengelolaan Taman Nasional Gunung Halimun Salak, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Sukabumi.
- Kusnaedi, D., 2021. Laporan Survei Rinci Geokimia dan Pertagastech Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Badan Geologi, Bandung.
- Permana, L.A., 2021. Laporan Survei Rinci Geologi Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Badan Geologi, Bandung.
- Taqodama, I., 2021. .Laporan Survei Magnetotellurik (MT) Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Badan Geologi, Bandung.
- Zarkasy, A., 2021. Laporan Survei Rinci Gaya Berat Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Badan Geologi, Bandung.



Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254

Telepon: 022 - 5202698

Faximilie: 022 - 5226263

Website: <http://psdg.geologi.esdm.go.id>

Email: psdmbp2@esdm.go.id