

MIPA

LAPORAN AKHIR TAHUN KEDUA

**HIBAH PENELITIAN KERJA SAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI
(HIBAH PEKERTI)**



**KAJIAN PROSPEK POTENSI ENERGI PANAS BUMI
DI PROVINSI GORONTALO SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
YANG RAMAH LINGKUNGAN**

TIM PENELITI :

**RAGHEL YUNGINGER, M.SI
DR. LA ODE NGKOIMANI, M.SI
AHMAD ZAINURI, MT**

**UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
2012**

I. PENDAHULUAN

1. Ruang Lingkup

Perkembangan pengetahuan dan teknologi di era globalisasi telah mempengaruhi gaya hidup dan tuntutan hidup manusia. Sebagian besar kegiatan manusia membutuhkan energi, terutama dari energi fosil berupa Bahan Bakar Minyak. Persoalan energi ini merupakan isu yang selalu ramai dibicarakan, karena menyangkut hajat hidup orang banyak. Energi merupakan salah satu barang publik (*public goods*) penting yang berasal dari sumber daya alam tak terbarukan (*non renewable*) maupun terbarukan (*renewable*) yang digunakan untuk menggerakkan semua segi kegiatan kehidupan manusia.

Di Indonesia sumberdaya energi yang penting, dan mempunyai peran strategi adalah minyak bumi, gas bumi, dan batu bara. Hakekatnya tiga sumber daya alam ini adalah sumber daya fosil yang digunakan sebagai energi pembangkit listrik yang mempengaruhi kelancaran aktivitas kehidupan manusia. Namun sebagai negara yang berada di ambang era industri, yang diikuti terus oleh bertambahnya jumlah penduduk dan aktivitas perekonomian, menyebabkan tingginya eksploitasi energi *non renewable*. Akibatnya kandungan energi fosil menipis, dan menjadi pemicu terjadinya krisis energi listrik seperti sekarang ini.

Krisis energi listrik yang menjadi permasalahan nasional, sangat terasa juga di Provinsi Gorontalo. Pada beberapa daerah di Gorontalo masih minim pasokan listrik, hal ini disebabkan oleh kurangnya infrastruktur dan sumber pembangkit energi listrik, yang sampai sekarang mengandalkan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), berbahan bakar minyak. Tingginya harga serta makin rendahnya cadangan minyak bumi ikut mempengaruhi kurangnya pemenuhan kebutuhan listrik bagi masyarakat Provinsi Gorontalo. Saat ini langkah antisipatif yang dilakukan oleh pemerintah selain mencari sumber energi listrik yang baru adalah dengan pemadaman listrik secara bergantian. Akibatnya aktivitas masyarakat dan industri, termasuk dunia pendidikan, pemerintahan dan bidang usaha lainnya yang bergantung pada penggunaan energi listrik menjadi terganggu. Dampak jangka panjang jika hal tersebut tidak segera diantisipasi adalah terganggunya sistem perekonomian daerah.

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sebagai tenaga pembangkit listrik harusnya dapat dijadikan acuan bagi pemerintah Gorontalo untuk mencari alternatif pengganti bahan bakar fosil. Keberlanjutan pembangunan dan aktivitas perekonomian di Provinsi Gorontalo merupakan sebuah keharusan untuk melakukan pencaharian sumber-sumber energi alternatif sebagai penopang kebutuhan pengelolaan energi di segala bidang. Hal ini sejalan dengan upaya pemerintah pusat menggalakkan pemenuhan kebutuhan dasar energi masyarakat, melalui Program Desa Mandiri Energi. Namun hingga saat ini belum nampak langkah konkrit yang ditempuh pemerintah memanfaatkan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang murah dan ramah lingkungan seperti panas bumi. Hal ini disebabkan kurangnya data yang akurat untuk mendukung upaya-upaya pemerintah.

Panas bumi selalu berasosiasi dengan jalur vulkanik dan berada pada daerah gunung api tidak aktif, yang masih menyimpan panas di bawah permukaan. Di Indonesia terdapat 217 prospek panas bumi, yaitu di sepanjang jalur vulkanik mulai dari bagian Barat Sumatera, Maluku, terus ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan kemudian membelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi. Survei yang dilakukan selanjutnya berhasil menemukan beberapa daerah prospek baru sehingga jumlahnya meningkat menjadi 256 prospek, yaitu 84 prospek di Sumatera, 76 prospek di Jawa, 51 prospek di Sulawesi, 21 prospek di Nusatenggara, 3 prospek di Irian, 15 prospek di Maluku dan 5 prospek di Kalimantan (Nenny Saptadji, 2001)).

Berdasarkan uraian ini menunjukkan bahwa Sulawesi yang berada pada jalur tumbukan lempeng (tiga lempeng besar yang bertemu di kepulauan Indonesia), adalah daerah yang memiliki potensi geothermal. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ngkoimani, dkk (2009) yang memperoleh informasi bahwa Sulawesi Tenggara memiliki potensi energi alamiah terbarukan dan sangat berpotensi untuk dimanfaatkan adalah energi panas bumi. Disamping itu terdapat juga sumberdaya alam geothermal di Sulawesi Utara, dan telah dimanfaatkan yang dikelola langsung oleh PT. Utama Pertamina Geothermal Energi, yaitu Lahendong Sulawesi Utara. Berdasarkan dari hasil penelitian, potensi panas bumi di Lahendong mampu menghasilkan daya listrik hingga 120 megawatt (Noorsalam, dkk : 2002 :6).

Penemuan ini menjadi rujukan dalam mencari sumber energi alternatif panas bumi yang ada di Provinsi Gorontalo. Sebagai provinsi yang berada di Bagian Utara Pulau Sulawesi, maka Provinsi Gorontalo berpotensi memiliki sumber air panas. Asumsi ini diperkuat oleh adanya beberapa wilayah yang ada di Provinsi Gorontalo memiliki sumber air panas, dan sudah digunakan sebagai tempat wisata seperti tempat wisata *Pentadio Resort*, *Wisata Pemandian Lombongo*. Keberadaan manifestasi geothermal berupa fluida panas di daerah Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango merupakan indikasi adanya potensi sumber geothermal di bawah permukaan bumi Provinsi Gorontalo.

Namun sampai sekarang belum ada informasi data yang jelas tentang prospek sumber panas bumi di Provinsi Gorontalo, dan potensi energi panasnya sebagai energi alternatif pembangkit listrik. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai prospek panas bumi sebagai energi alternatif pembangkit listrik di Provinsi Gorontalo. Hal ini penting dilakukan agar dapat diketahui dengan jelas titik-titik sumber panas bumi di Provinsi Gorontalo, dan potensi energi panas bumi tersebut, apakah dapat digunakan sebagai energi alternatif pembangkit listrik. Kontribusi hasil kajian ini sangat dibutuhkan informasinya bagi pemerintah daerah, karena kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan yang berkelanjutan dalam berbagai aktivitas masyarakat yang harus segera mendapatkan penanganan.

2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE – 2

2.1 TUJUAN PENELITIAN TAHUN KE - 2

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk mengetahui prospek potensi energi panas bumi di Provinsi Gorontalo yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik yang ramah lingkungan. Sedangkan tujuan khusus pada penelitian tahun ke-2 adalah untuk mengkaji besar potensi energi panas bumi di wilayah Provinsi Gorontalo yang dapat direkomendasikan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Melalui metode geolistrik diharapkan dapat diperoleh informasi tentang posisi sumber (*heat resource*) dan reservoir, suhu reservoir, pola aliran fluida geothermal, serta parameter kimia yang terkandung pada fluida geothermal tersebut.

2.2. MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE -2

Sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan krisis energi listrik di Provinsi Gorontalo, maka perlu dilakukan penelitian intensif terhadap potensi energi geothermal di wilayah ini. Akan tetapi prospek energi panas bumi terlebih dahulu dikaji terutama posisi sumber (*heat source*) dan reservoir, suhu reservoir, pola aliran fluida geothermal, wilayah resapan air (*recharger area*), serta beberapa parameter kimia yang dikandung oleh fluida geothermal tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan survei geofisika terpadu. Pemanfaatan energi geothermal juga tidak dapat dilakukan secara langsung khususnya sebagai tenaga pembangkit listrik, sehingga terlebih dahulu harus dilakukan konversi energi.

Data-data yang telah diperoleh peneliti pada tahun ke-2 ini dapat diketahui prospek panas bumi di Provinsi Gorontalo, dan potensi energi panasnya sebagai sumber energi alternatif. Dengan data yang ada menjadi informasi awal atau studi pendahuluan untuk melakukan penelitian-penelitian yang lebih lanjut. Informasi awal tentang prospek potensi energi geothermal di dua lokasi penelitian menjadi data pendukung dalam melakukan kajian yang lebih mendalam tentang potensi geothermal di Provinsi Gorontalo. Kontribusi lain yang diharapkan dari penelitian ini adalah adanya pementapan pengetahuan dan pengayaan wawasan penelitian sehubungan dengan metodologi dan analisis energi geothermal. Selain memberikan pengetahuan dan keterampilan dalam pengembangan ilmu pengetahuan peneliti, tetapi juga pengembangan energi alternative yang dapat mendukung pertumbuhan ekonomi daerah Gorontalo.

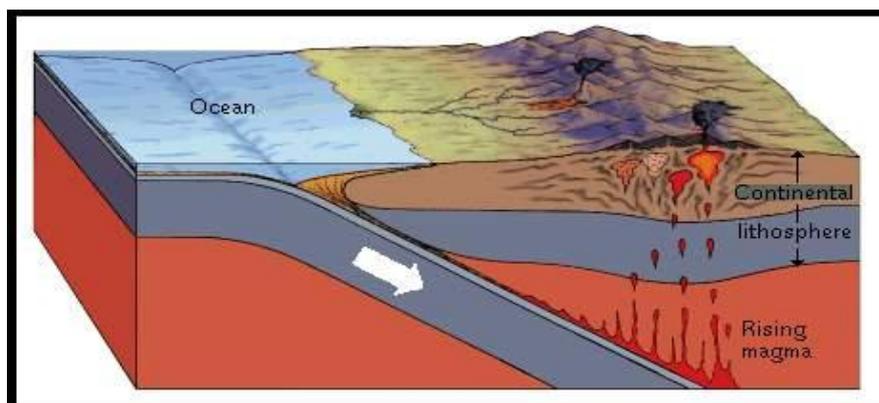
Identifikasi dan inventarisasi data, serta informasi mengenai panas bumi di wilayah Provinsi Gorontalo. dapat membantu untuk mengetahui apakah sumber panas bumi yang terdapat di Provinsi Gorontalo dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Data dari penelitian ini juga menjadi data rujukan untuk melakukan penelitian lanjutan tentang pemanfaatan energi panas bumi. Disamping itu kajian prospek potensi sumber energi panas bumi sebagai energi alternatif dapat dikembangkan dalam lahan yang sempit. Dengan demikian sangatlah penting untuk melakukan kajian ini, karena menjadi informasi utama bagi pemerintah daerah dalam mengatasi krisis energi listrik, dan terwujudkan Program Desa Mandiri Energi.

Keseriusan peneliti TPP dalam melakukan kajian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan di Provinsi Gorontalo, ditunjukkan dengan adanya penelitian mandiri yang sedang berjalan yaitu mengkaji potensi energi panas bumi di kawasan wisata air panas *Pentadio Resort* Kabupaten Gorontalo Provinsi Gorontalo. Beberapa penelitian yang telah dilakukan ataupun sementara berjalan memberikan pengalaman dan kontribusi bagi peneliti untuk melakukan penelitian ini, yaitu peneliti mendapatkan informasi awal sebagai rujukan dalam penelitian ini.

III. TINJAUAN PUSTAKA

III.1 Tinjauan Sistem Geothermal

Kerak bumi dan mantel atas yang bersifat padat disebut litosfera (*lithosphere*), ketebalan litosfer tidak sama di setiap tempat. Lapisan di bawah litosfera adalah astenosfera (*asthenosphere*) merupakan lapisan plastis (tidak kaku), lapisan ini mencapai kedalaman 500 km di dalam selubung. Tumbukan (*subduction*) kerak benua dan kerak samudera menyebabkan litosfera akan menyusup masuk ke astenosfera yang bersuhu tinggi, sehingga dapat meleburkan kerak samudera yang berada di atas litosfera. Hasil peleburan kerak samudera tersebut akan menghasilkan magma (Neny Septiadji : 2001).



Gambar.1 Subdaksi, gunung api dan sumber geothermal)
(website *International Geothermal Association*, 2010).

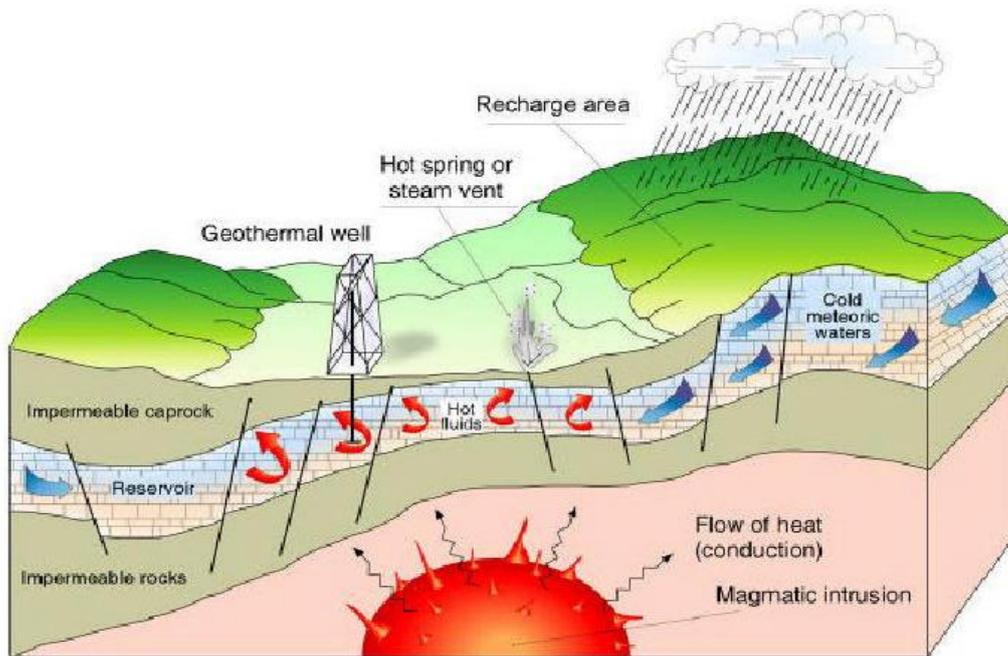
Magma yang merupakan lelehan material yang bercampur dengan mineral-mineral dan gas-gas tertentu yang terjadi ketika suhu naik cukup tinggi. Ketika magma mencapai permukaan bumi melalui pipa-pipa gunung api, hancuran (*debris*) batuan, gas

serta material-material lainnya akan disemburkan keluar. Magma yang mencapai permukaan bumi, keluar dan meleleh disebut lava. Lava tersebut mengalir sebagai aliran yang panas dan akan mengalami pendinginan dengan cepat.

Setelah terbentuk, magma dengan densitas rendah akan berusaha mendorong ke atas pada batuan yang menutupinya dan perlahan-lahan bergerak keatas. Proses pergerakan ini sepenuhnya dikontrol oleh tekanan yang dihasilkan oleh suhu magma tersebut. Tekanan pada magma akan sebanding dengan kedalaman, sehingga saat magma mengintrusi batuan di atasnya maka tekanan perlahan-lahan akan berkurang. Magma yang sampai ke permukaan akan mengalami pendinginan dengan cepat sehingga terbentuklah kerak batuan di permukaan, sedang bagian bawahnya yang tetap cair panas bila tekanannya sudah tidak begitu besar maka magma cair tersebut tidak bisa menerobos lagi sampai kepermukaan. Magma yang terperangkap pada kedalaman tertentu akan mengalami proses pendinginan yang sangat lambat, ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga panas dari magma tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas bumi.

Suhu mempunyai peranan yang sangat besar dalam proses pergerakan magma (dioritik). Penambahan panas akan menghasilkan tekanan pada magma yang biasanya sebanding dengan kedalaman, sehingga saat magma mengintrusi batuan di atasnya maka tekanan perlahan-lahan akan berkurang. Magma yang sampai ke permukaan akan mengalami pendinginan dengan cepat sehingga terbentuklah kerak batuan di permukaan, sedang bagian bawahnya tetap cair dan panas. Bila tekanan yang dihasilkan sudah tidak begitu besar maka magma cair tersebut tidak bisa menerobos lagi sampai ke permukaan. Magma yang terperangkap pada kedalaman tertentu akan mengalami proses pendinginan dengan sangat lambat, ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga panas dari magma tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas bumi (Skinner, 1989). Sistem panas bumi dikontrol oleh adanya :

- a) Sumber panas (*heat source*) berupa plutonik.
- b) Batuan berporos (*reservoir*) tempat uap panas terjebak di dalamnya.
- c) Lapisan penutup, berupa batu lempung.
- d) Keberadaan struktur geologi (patahan, perlipatan atau *collapse*).
- e) Daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).



Gambar. 2 Resapan (*recharge area*), kemudian mengalir pada reservoir yang mengalami pemanasan dari sumber panas (*magmatic intrusion*). Air panas tersebut ada yang secara alami keluar ke permukaan melalui zona lemah, menjadi mata air panas (*hot spring*), ada pula yang keluar melalui sumur panas bumi (*geothermal well*) (*website International Geothermal Association, 2010*).

Secara singkat geothermal didefinisikan sebagai panas yang berasal dari dalam bumi yang menghasilkan energi yang bersih (dari polusi) dan berkesinambungan atau dapat diperbarui. Energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di Italy dan New Zealand sejak tahun 1958. Di Indonesia usaha pencarian sumber energi panas bumi pertama kali dilakukan di daerah Kawah Kamojang pada tahun 1918 (Nenny Septadji, 2001 :1). Energi panas bumi dapat menghasilkan listrik yang reliabel dan hampir tidak mengeluarkan gas rumah kaca. Panas bumi sebagaimana didefinisikan dalam undang-undang Nomor 27 tahun 2003 tentang panas bumi, adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan. Panas bumi mengalir secara kontinyu dari dalam bumi menuju ke permukaan yang manifestasinya dapat berupa: gunung berapi, mata air panas, dan geyser (Wahyudi Citrosiswoyo, 2008:2).

Panas bumi didefinisikan sebagai sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk

pemanfaatannya diperlukan proses pengembangan (Citrosiswoyo, 2008). Setiap penurunan 1 km secara vertikal ke perut bumi temperatur naik sebesar $25^{\circ} - 30^{\circ} \text{ C}$, atau setiap bertambahnya kedalaman sebesar 100 meter temperatur naik sekitar $2,5^{\circ}$ sampai 3° C (Santoso, 2002). Pertambahan panas tersebut dikenal sebagai gradien geotermal. Untuk tempat-tempat tertentu di sekitar daerah vulkanik memiliki gradien geotermal dapat lebih besar antara $1^{\circ} - 25^{\circ} \text{ C} / 100\text{m}$ (Fajar Rakhmanto; 2011 :95).

Energi panas bumi dapat menyediakan sumber tenaga yang bersih dan terbarukan, serta dapat memberikan keuntungan yang signifikan. Emisi energi panas bumi tak mengandung polutan kimiawi atau tak mengeluarkan limbah, dan hanya mengandung sebagian besar air yang di injeksikan kembali ke dalam bumi. Energi panas bumi adalah sumber tenaga yang andal yang dapat mengurangi kebutuhan impor bahan bakar fosil. Panas bumi juga dapat diperbarukan karena praktis sumber panas alami dari dalam bumi tidak ada batasnya. Beberapa keunggulan sumber energi panas bumi adalah: 1) Menyediakan tenaga listrik yang andal dengan pembangkit yang tidak memakan tempat; 2) Terbaru dan berkesinambungan; 3) Memberikan tenaga beban dasar yang konstan; 4) Dapat mengkonfersi bahan bakar fosil; 5) Memberikan keuntungan ekonomi secara local; 6) Dapat dikontrol secara jarak jauh; 7) Mengurangi polusi dari penggunaan bahan bakar fosil. (Wahyudi Citrosiswoyo, 2008:6)

III.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Listrik Geothermal

Faktor penting yang sangat mempengaruhi keberhasilan produksi tenaga listrik dari energi panas bumi adalah besarnya gradient dan besarnya panas yang dihasilkan. Semakin besar gradient geothermal maka akan semakin dangkal sumur produksi yang dibutuhkan. Semakin tinggi temperatur yang dapat ditangkap sampai ke permukaan akan semakin mengurangi biaya produksi dipermukaan (Wahyudi Citrosiswoyo, 2008:6).

Selain temperatur faktor-faktor lain yang biasanya dipertimbangkan dalam memutuskan apakah suatu sumber daya panas bumi layak untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik adalah: 1) mempunyai kandungan panas atau cadangan yang besar sehingga mampu memproduksi uap untuk jangka waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 25-30 tahun. 2) menghasilkan fluida yang mempunyai pH hampir netral agar laju korosinya relatif rendah, sehingga fasilitas produksi tidak cepat terkorosi; 3) kedalaman

reservoir tidak terlalu besar, biasanya tidak lebih dari 300 m dibawah permukaan tanah, 4) berada di daerah yang relative tidak sulit dicapai (Wahyudi Citrosiswoyo,2008:6).

III.3 Analisis Geolistrik

Geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode geolistrik yang terkenal antara lain metode potensial diri (SP), arus telluric, magnetotelluric, elektromagnetik, IP (Induced Polarization), dan resistivitas (tahanan jenis). Umumnya metode geolistrik hanya baik untuk eksplorasi dangkal. sekitar 100 meter. Jika kedalaman lapisan lebih dari harga tersebut, informasi yang diperoleh kurang akurat. Hal ini disebabkan melemahnya arus listrik untuk jarak bentangan yang semakin besar.

III.4 Parameter Energi Panas Bumi

Pemanfaatan energi geothermal tidak dapat dilakukan secara langsung khususnya untuk pembangkit listrik, sehingga harus dilakukan konversi energi terlebih dahulu. Namun untuk mengawali analisis ini terlebih dahulu dilakukan kajian awal sebagai studi pendahuluan. Selain itu jika energi geothermal akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik maka harus diketahui posisi sumber (*heat source*) dan reservoir, suhu reservoir, pola aliran fluida geothermal, wilayah resapan air (*recharger area*), serta beberapa parameter kimia yang dikandung oleh fluida geothermal tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan survey geofisika terpadu.

Prinsip dasar survey geofisika khususnya dalam penelitian ini adalah Geokimia dan geolistrik. Pada tahun ke dua ini metode yang dilakukan geolistrik untuk melakukan pengukuran besaran fisis di atas permukaan bumi yang diakibatkan oleh respon batuan yang ada di bawah permukaan. Sehingga dapat ditentukan posisi, kedalaman di bawah permukaan tersebut. Selain itu untuk mendukung survey geofisika dilakukan pengukuran posisi dengan GPS, survey geologi dan analisis kimia terhadap fluida geothermal.

III.5. Gambaran Umum Provinsi Gorontalo

Letak geografis Provinsi Gorontalo sebagai Provinsi termuda di bagian utara pulau Sulawesi adalah berada diantara 121,23'-123,43' Bujur Timur dan 0,19'-1,15' lintang utara. Provinsi Gorontalo mempunyai batas-batas wilayah sebagai berikut: sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Buol dan Laut Sulawesi (Provinsi Sulawesi Tengah), sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Parigi Moutong (Provinsi Sulawesi Tengah), sebelah selatan berbatasan dengan Teluk Tomini, sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Bolaang Mongondow (Provinsi Sulawesi Utara). Selain itu provinsi Gorontalo secara topografis sebagian besar didominasi oleh perbukitan dan pegunungan yang pada umumnya berada di wilayah kabupaten Boalemo, Pohuwato, Bone Bolango dan Gorontalo Utara.



Gambar 3. Peta Provinsi Gorontalo

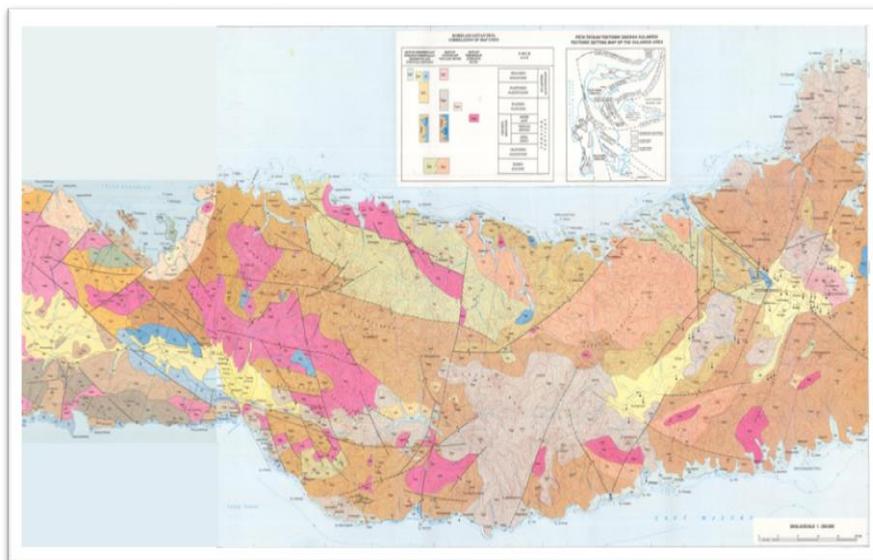
Secara fisiografis, yaitu pembagian zona benatang alam yang merupakan representasi batuan dan struktur geologinya, Gorontalo dapat dibedakan ke dalam empat zona fisiografis utama, yaitu Zona Pegunungan Utara Tilongkabila-Boliohuto, Zona Dataran Interior Paguyaman-Limboto, Zona Pegunungan Selatan Bone-Tilamuta-Modello, dan Zona Dataran Pantai Pohuwato. Dilihat dari kondisi geologis, Gorontalo berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng yang ada di sekitar wilayah Sulawesi.

Lempeng tersebut antara lain Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia.

III.6. Struktur Geologi dan Aktivitas Tektonik

Daerah Sulawesi secara geologi berada dalam daerah yang kompleks secara tektonik yang berada diantara tiga lempeng utama (Eurasia, Indo-Australia dan Samudera Pasifik/ Filipina). Daerah Gorontalo merupakan bagian dari lajur volkano-plutonik Sulawesi Utara yang dikuasai oleh batuan gunung api berumur Eosen sampai Pliosen, batuan plutonik Neogen, serta batuan sedimen yang umumnya materialnya berasal dari gunung api (Moss & Wilson, 1998).

Berdasarkan peta geologi lembar Tilamuta (S. Bachri, dkk, 1993) dan lembar Kotamobagu (T. Apandi, dkk, 1997) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (Gambar 4), wilayah Gorontalo berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.



Gambar 4. Peta Geologi Gorontalo (Bakri, dkk., 1993 & Apandi, dkk, 1997)

Geologi Daerah Cekungan Limboto

Susunan batuan di daerah Cekungan Limboto disusun oleh beberapa satuan batuan yang berumur muda hingga tua , terdiri dari:

1. Endapan Danau (Qpl), terdiri dari: batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh oleh batu lempung yang berwarna abu-abu kecoklatan, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batu pasir secara setempat terdapat struktur sedimen silang siur bersekala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati daerah dataran yang terhampar di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan diorit (Trail, 1974).
2. Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping korat. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan.
3. Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari : kalkarenit, kalsirudit dan batu gamping koral: Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di bagian utara cekungan yaitu sebelah barat Danau Limboto.
4. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari : perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini! diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah selatan dan sebelah barat Cekungan Limboto dan di beberapa tempat membentuk bukit bukit terpisah.
5. Formasi Tinombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sebelah selatan Tolotio (bagian timur).

6. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur Gorontalo, yaitu di daerah Tolotio menerus ke arah timur.

Geomorfologi

Wilayah Gorontalo yang ditempati oleh Cekungan Air Tanah Limboto berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.

Wilayah Cekungan Limboto dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu: satuan morfologi satuan pegunungan berlereng terjal, satuan morfologi perbukitan bergelombang dan satuan morfologi dataran rendah.

Satuan morfologi pegunungan berlereng terjal, terutama menempati wilayah bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yang menjadi pembatas sebelah timur dan sebelah utara dari Cekungan Air Tanah Limboto yaitu dengan beberapa puncaknya berada di Pegunungan Tilongkabila, antara lain : G. Gambut (1954 m), G. Tihengo (1310 m), G. Pombolu (520 m) dan G. Alumolingo (377 m), satuan morfologi ini terutama dibentuk oleh satuan batuan Gunung api tersier dan batuan Plutonik.

Satuan morfologi perbukitan bergelombang, terutama dijumpai di daerah bagian selatan dan bagian barat dan menjadi batas cekungan di sebelah selatan dan sebelah utara. Satuan morfologi ini umumnya menunjukkan bentuk puncak membulat dengan lereng relatif landai dan berjulung kurang dari 200 meter yang terutama ditempati oleh satuan batuan Gunungapi dan batuan sedimen berumur Tersier hingga Kuartar.

Satuan morfologi dataran, merupakan daerah dataran rendah yang berada di bagian tengah wilayah Cekungan Limboto yaitu di sekitar Danau Limboto. Pada umumnya daerah ini ditempati oleh satuan aluvium dan endapan danau. Aliran sungai di wilayah ini umumnya mempunyai pola 'sub dendritic dan 'sub parallel'".

Stratigrafi

Stratigrafi wilayah Gorontalo disusun oleh formasi/satuan batuan sebagai berikut:

a. *Endapan Permukaan*

- Alwium (Qal), terdiri dari : pasir, lempung, lanau, lumpur, kerikil dan kerakal yang bersifat lepas. Satuan batuan ini menempati daerah dataran rendah, terutama di daerah dataran, lembah sungai dan daerah rawa-rawa. Pelamparan dari satuan batuan ini terbatas pada daerah aliran sungai (DAS) seperti yang terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
- Endapan Danau (Qpl), terdiri dari : batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh batu lempung yang berwarna abu - abu kecoklatan, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batupasir secara setempat terdapat struktur sedimen silang siur berskala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati lembah di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan Diorit (Trail, 1974).

b. *Satuan Batuan Sedimen dan Gunungapi*

- Formasi 'Anombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sekitar G. Tahupo (828 m) di sebelah selatan.
- Formasi Dolokapa (fmd), terdiri dari : batu pasir wake, batu lanau, batu lumpur, konglomerat, tuf, tuf lapili, aglomerat, breksi gunungapi dan lava bersusunan andesit sampai basal. Umur dari formasi ini diperkirakan Miosen Tengah hingga Awal. Miosen Akhir dengan lingkungan lingkungan pengendapan “inner sublitoral” dengan tebal diperkirakan lebih dari 2.000 meter. Sebaran dari satuan batuan di daerah ini menempati bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yaitu

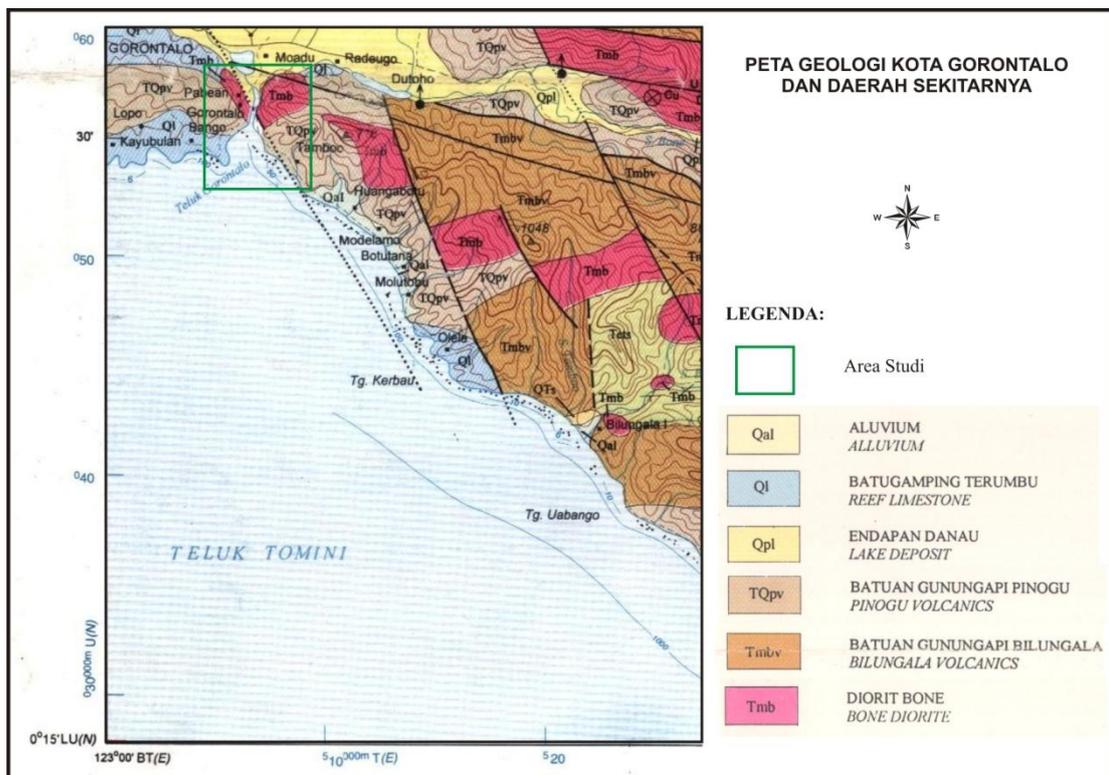
di sebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah Paleleh hingga sekitar daerah daerah Kuandang).

- Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur wilayah Gorontalo, di daerah Tolotio menerus ke timur.
- Satuan Breksi Wobudu (Tpww), terdiri dari : breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuf lapili, lava andesit dan lava basal. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Awal dengan ketebalan diperkirakan 1.000 hingga 1.500 meter. satuan batuan ini tersingkap di bagian utara wilayah Cekungan Limboto, mulai dari Pegunungan Paleleh hingga sebelah barat Teluk Kuandang.
- Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari: perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah selatan wilayah Cekungan Limboto dan daerah Teluk Kuandang serta di beberapa tempat yang membentuk bukit - bukit terpisah.
- Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari: kalkarenit, kalsirudif dan batu gamping koral. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
- Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping koral. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan bagian timur.

c. *Satuan Batuan Terobosan*

- Diorit Bone (Tmb), terdiri dari : diorit, diorit kuarsa, granodiorit dan adamelit. Satuan batuan ini diduga berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir (Trail, 1974), dan terdapat di daerah sebelah timur sesar Gorontalo, juga di sebelah barat sesar disebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah dekat Kuandang dan Paleleh).

- Diorit Boliohuto (Tmbo), terdiri dari : diorit dan granodiorit Satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan mempunyai sebaran di daerah G. Boiiohuto.
- Satuan Batuan Retas, terdiri dari : Andesit (Ta) dan Basal (fb). Satuan batuan ini menerobos satuan batuan dari Formasi Tinombo, Dolokapa, dan breksi Wobudu, sehingga umumnya dianggap Miosen hingga Pliosen.



Gambar 5. Peta Geologi Lembar Kota Gorontalo (dimodifikasi dari T. Apandi dan S. Bachri, 1997)

Khusus stratigrafi geologi wilayah studi terdiri dari lapisan batuan, berturut-turut mulai dari muda ke yang lebih tua, yaitu satuan batuan: aluvium, batugamping terumbu, endapan danau, batuan gunung api Pinogu, batuan gunung api Bilungala, dan Diorit Bone.

IV. METODOLOGI

IV.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan dan laboratorium, oleh karena itu akan dilakukan studi literatur, studi lapangan, dan analisa laboratorium yang akan dilaksanakan dalam waktu dua tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prospek panas bumi di Provinsi Gorontalo yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Sehingga tujuan penelitian tahun pertama difokuskan untuk memperoleh data awal tentang titik-titik sumber panas bumi di Provinsi Gorontalo, yang dilakukan dengan survey geolistrik, dan geologi, serta pengukuran posisi dengan GPS.

Penelitian tahun pertama telah selesai dilakukan dan telah menghasilkan titik sumber panas bumi yang memiliki prospek energi yang dapat digunakan sebagai energi alternative. Adanya data posisi sumber (*heat source*) dan reservoir, serta bentuk geometri batuan, menjadi data penting dalam mendukung penelitian tahun ke-2.

Pada tahun ke-2 penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar potensi energi panas bumi di wilayah Provinsi Gorontalo yang dapat direkomendasikan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Oleh karena itu akan dilakukan pengukuran parameter geofisika dan analisis kimia terhadap fluida geothermal, serta pengukuran besaran fisis titik-titik sumber panas bumi di Provinsi Gorontalo.

Secara garis besar rencana kegiatan penelitian bertujuan untuk menentukan prospek panas bumi di Provinsi Gorontalo, dengan melakukan kajian lokasi reservoir sumber geothermal, serta besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan dari potensi geothermal tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan survey geofisika terpadu, yaitu survey metode geomagnetik, geolistrik, pengukuran kimia fluida geothermal dan analisis geologi. Pengukuran geomagnetik dilakukan secara grid dan random di sekitar manifestasi geothermal.

Hasil pengolahan data pengukuran geomagnetik pada tahun pertama telah menghasilkan harga anomali batuan sumber dan reservoir geothermal di bawah permukaan. Selanjutnya untuk mengetahui pola sebaran resistivitas yang akan mencitrakan sumber geothermal di bawah permukaan bumi dengan dua dimensi, maka pada tahun ke-2 ini dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode pengukuran

geolistrik. Selain itu akan dilakukan pengukuran kimia air pada fluida geothermal untuk memperoleh parameter kimia yang akan digunakan untuk perhitungan suhu reservoir.

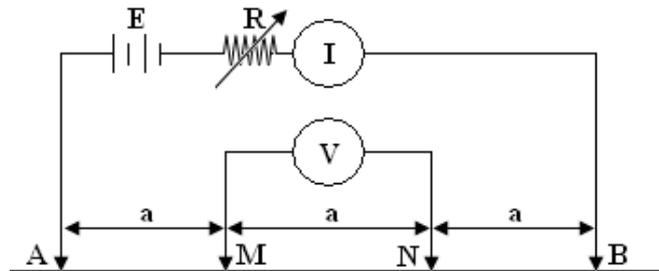
Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika eksplorasi yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial dan pengukuran arus listrik. Metode geolistrik yang umum dipakai adalah metode geolistrik resistivitas. Metode ini mempelajari sifat resistivitas (tahanan jenis) listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Dimana pengukurannya menggunakan empat buah elektroda yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial. Pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan arus ke bumi dan mengukur beda potensial yang terjadi melalui elektroda potensial. Metode resistivitas dibagi menjadi 2 kelompok besar (Telford, 1990) yaitu :

1. Metode resistivitas mapping, yaitu mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi secara horizontal.
2. Metode resistivitas sounding, yaitu mempelajari variasi resistivitas batuan bumi secara vertikal.

Pada metode geolistrik tahanan jenis, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Pengaturan elektroda-elektroda arus dan elektroda potensial dikenal sebagai konfigurasi elektroda. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk tiap jarak elektroda tertentu dalam suatu konfigurasi dapat ditentukan variasi harga resistivitas masing-masing lapisan di bawah titik ukur (titik sounding).

Aliran konduksi arus listrik di dalam batuan/mineral digolongkan atas tiga macam yaitu konduksi dielektrik, konduksi elektrolitik, dan konduksi elektronik. Konduksi dielektrik terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik (terjadi polarisasi muatan saat bahan dialiri listrik). Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi cairancairan elektrolitik. Pada kondisi ini arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit. Konduksi elektronik terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan/mineral oleh elektron bebas.

Salah satu konfigurasi elektroda yang paling banyak digunakan baik untuk metode resistivitas mapping maupun sounding adalah konfigurasi Wenner. Dalam konfigurasi elektroda ini, empat elektroda mempunyai jarak (spasi elektroda) yang sama.



Gambar 6. Konfigurasi elektroda Wenner (Telford, 1990)

Faktor geometri konfigurasi elektroda Wenner dinyatakan dengan :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} = 2\pi a \quad (1)$$

Jika arus dialirkan melalui elektroda arus (titik A dan B), maka potensial yang terukur pada titik M dan N adalah :

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\} \quad (2)$$

Bila $AM = MN = NB = a$ dan $BM = AN = 2a$, maka nilai resistivitas yang diperoleh diberikan oleh :

$$\rho_w = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

$$K_w = 2\pi a \quad (4)$$

Dengan ρ_w adalah nilai resistivitas semu, a adalah jarak antar elektroda, dan K_w adalah faktor geometris Wenner yang timbul akibat adanya variasi pengaturan elektroda dan juga berpengaruh pada penentuan resistivitas bumi.

Estimasi Potensi Energi Listrik

Estimasi potensi energi geotermal yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dilakukan dengan menggunakan parameter kimia fluida (*geothermometer*) geotermal. Besarnya potensi energi suatu daerah prospek panas bumi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H = A \times Q \quad (5)$$

Keterangan:

H : Besarnya sumber daya (MW)

A : Luas daerah prospek panas bumi (km²)

Q : Daya listrik persatuan luas (MW/km²)

(Nicholson, 1993)

Asumsi besarnya daya listrik dapat dilihat berdasarkan temperatur air panas pada daerah penelitian yang telah ditentukan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 13-6171-1999) seperti yang telah dikemukakan oleh Noorsalam, dkk 2002, maupun Ngkoimani, 2009 yaitu :

Tabel 1. Klasifikasi *reservoir* dan asumsi daya persatuan luas yang digunakan dalam estimasi potensi energi panas bumi

<i>Reservoir</i>	Batas Temperatur (°C)	Daya persatuan luas (MW/km ²)
Temperatur rendah	<125	10
Temperatur sedang	125 sampai 225	12,5
Temperatur tinggi	>225	15

Pengukuran Sifat Fisik-Kimia pada Fluida Geotermal

Penelitian geokimia sangat berguna pada tahap eksplorasi panas bumi, terutama sebelum adanya pemboran eksplorasi. Penelitian geokimia meliputi analisis kimia air yang diambil dari manifestasi panas bumi di permukaan. Dalam penelitian ini analisis kimia air panas bumi yang dilakukan masih survey awal saja sehingga yang dapat

dianalisis hanya meliputi pH, SiO₂, dan Cl. Penyelidikan geologi dan geokimia pendahuluan bertujuan untuk mengetahui karakteristik batuan.

IV.2 Proses Pengukuran

Berdasarkan hasil penelitian pada tahun pertama, maka tim peneliti kembali melakukan survei lapangan dilakukan untuk menyusun desain pengukuran lapangan dalam mendapatkan data terbaru berupa pengukuran geolistrik atau metode resistivitas yang menggunakan konfigurasi elektroda Shlumberger dan atau Wenner.



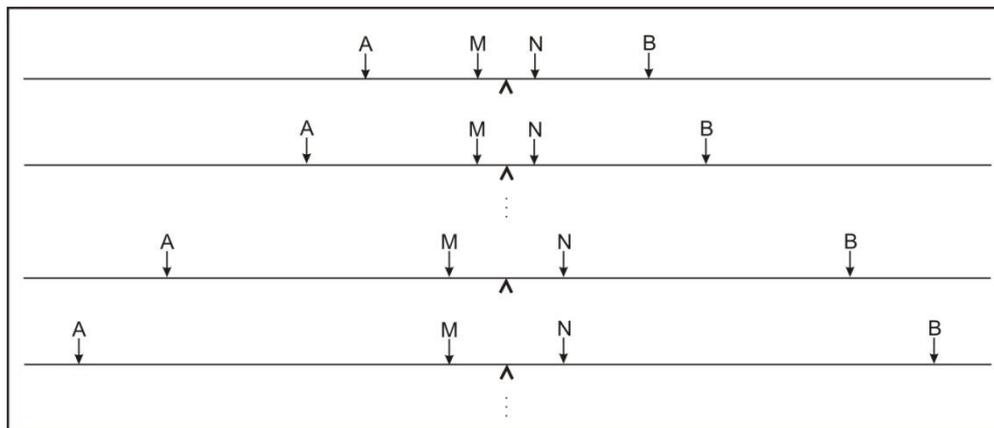
Gambar 7. Alat Geolistrik Untuk Pengukuran Resistivitas Daerah Geotermal

Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang diinjeksikan ke dalam permukaan bumi. Model yang digunakan adalah mapin dan sounding dengan cara konfigurasi Shlumberger dan Wenner.

Pengukuran *resistivity sounding* dilakukan di sekitar lokasi panas bumi Suwawa dan Pentadio dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger. Pengukuran *sounding* di Suwawa (Gambar 1a) terdiri dari 2 titik pengukuran yakni S1 dan S2. Sedangkan pengukuran di Pentadio (Gambar 1b) terdiri dari 2 titik *sounding* yakni P1 dan P2. Akuisisi dari pengukuran *resistivity sounding* dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger ini, dilakukan menurut skema yang ditunjukkan pada Gambar 2. Seluruh pengukuran *sounding* dimulai dari panjang $AB/2 = 1$ meter pada $MN/2 = 0,25$ meter sampai dengan panjang bentangan ($AB/2$) maksimum, 100 meter. Pengolahan data *resistivity sounding* dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IPI2Win versi 2.0.



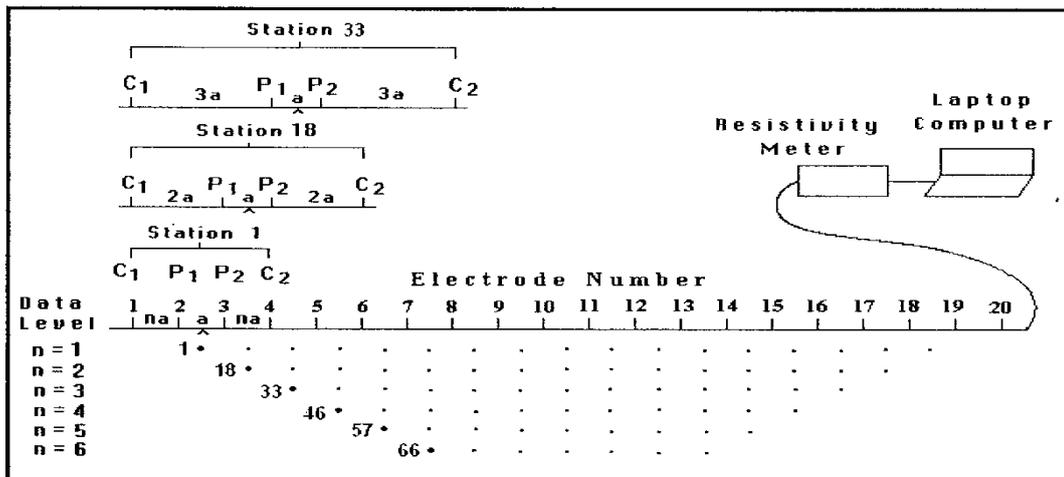
Gambar 8. Lokasi pengukuran geolistrik, (a) Suwawa dan (b) Pentadio



Gambar 9. Skema akuisisi *resistivity sounding* menggunakan konfigurasi Schlumberger

Pengukuran *resistivity imaging* hanya dilakukan di Suwawa (Gambar 8b) dengan menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger, sebanyak 1 lintasan pengukuran, yaitu A-B. Akuisisi dari pengukuran *resistivity imaging* dengan menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger ini, dilakukan menurut skema yang ditunjukkan pada Gambar 3, dengan panjang bentangan 120 meter.

Pengolahan data *resistivity imaging* dilakukan dengan menggunakan *software* komputer RES2DINV.



Gambar 10. Skema akuisisi *resistivity imaging* menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger

Disamping itu dilakukan pengukuran sifat fisik-kimia pada fluida geotermal. Proses pengukuran diharapkan memperoleh peta anomali unsur-unsur kimia yang terkandung di dalam air.



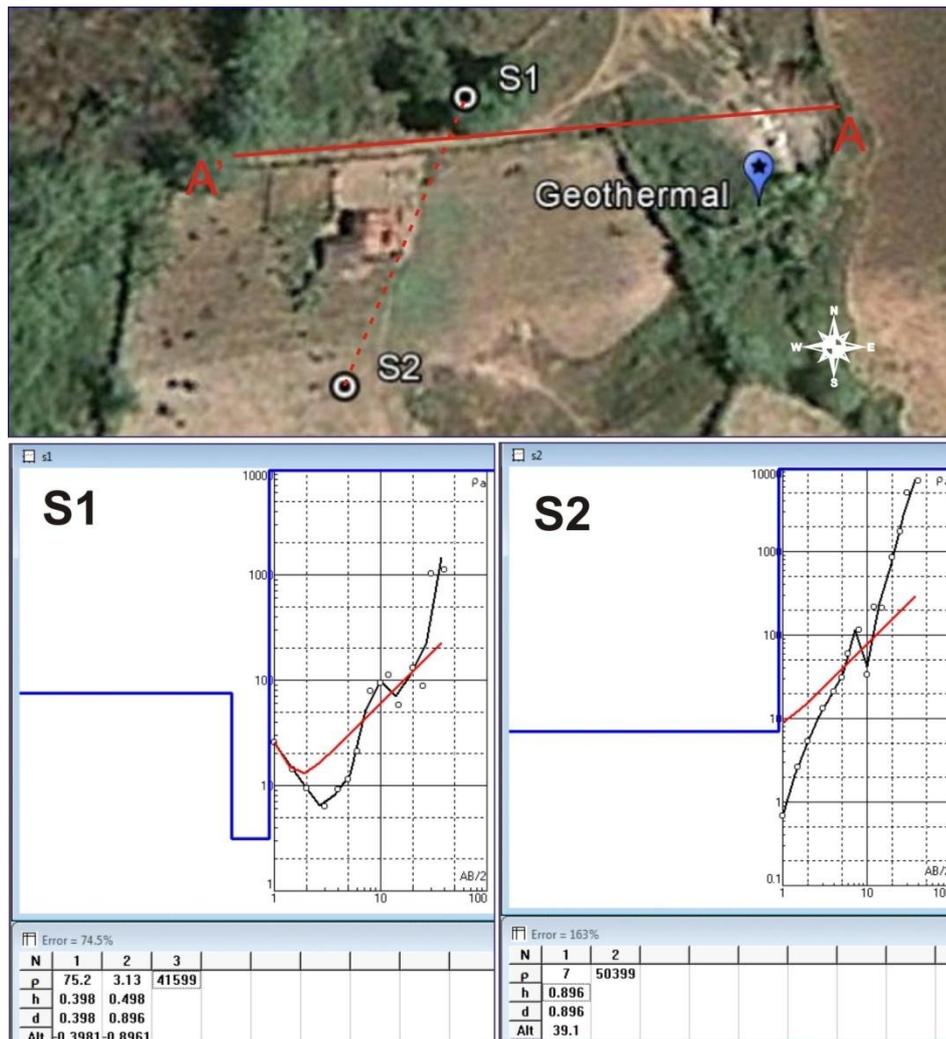
Gambar 11. Proses Pengukuran Dengan Metode Geolistrik

Penyelidikan geofisika dengan metode resistivitas menghasilkan peta geofisika dengan interval yang memungkinkan untuk dibuat kontur. Perhitungan konversi uap air panas menjadi energi listrik dilakukan pada tahap ini. Informasi besarnya uap air panas terhadap waktu diperoleh dari perhitungan tahapan sebelumnya. Pada tahapan ini akan diestimasi jumlah panas yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.

V. Hasil Penelitian

V.1 Nilai Resistivitas Sebagai Potensi Energi Geotermal

Hasil inversi data *resistivity sounding* di Suwawa (S1, S2), diperoleh kurva *sounding* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Hasil inversi dari data pengukuran *resistivity sounding* di Suwawa untuk titik *sounding* S1 dan S2.

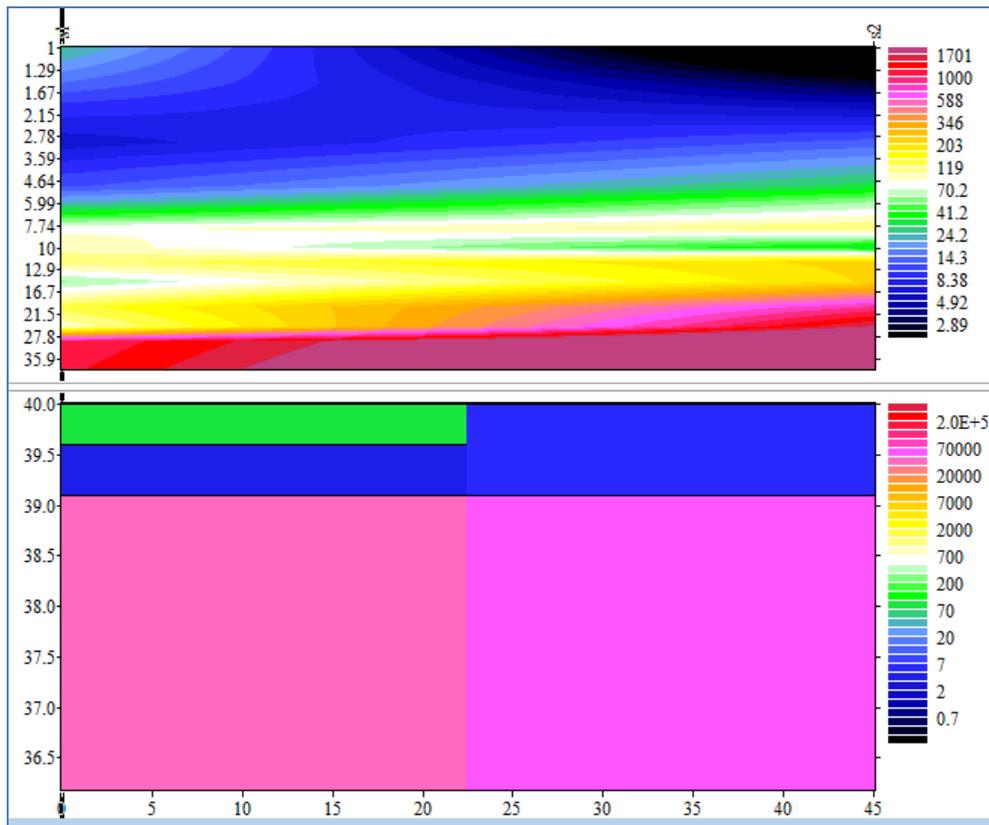
Dari Gambar 12, terlihat bahwa kurva *sounding* S1 (timur) menunjukkan pola kurva tiga lapis dimana pada lapisan pertama dengan ketebalan sekitar 0,4 m memiliki resistivitas rendah ($75,2 \Omega\text{m}$), lapisan kedua dengan ketebalan sekitar 0,5 m memiliki resistivitas lebih rendah ($75,2\text{-}3,1 \Omega\text{m}$), dan lapisan terakhir yang teridentifikasi secara

gradual resistivitasnya meningkat hingga sekitar 40.000 Ωm dengan bertambahnya kedalaman (0,9 m keatas). Sedangkan dilihat dari kurva *sounding* S2 (barat) yang terdiri dari kurva 2 lapis, menunjukkan pola yang relatif sama dengan kurva S1, yakni lapisan atas memiliki nilai resistivitas rendah dan selanjutnya meningkat dengan tajam hingga resistivitasnya mencapai 50.000 Ωm . Lebih jelasnya penjelasan ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Hasil inversi data *resistivity sounding* di Suwawa (S1, S2)

Tebal Lapisan	Nilai Resistivitas		

Hasil inversi titik-titik *sounding* pada Gambar 12, selanjutnya dapat dikorelasikan untuk menghasilkan penampang resistivitas bawah permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 13 berikut:

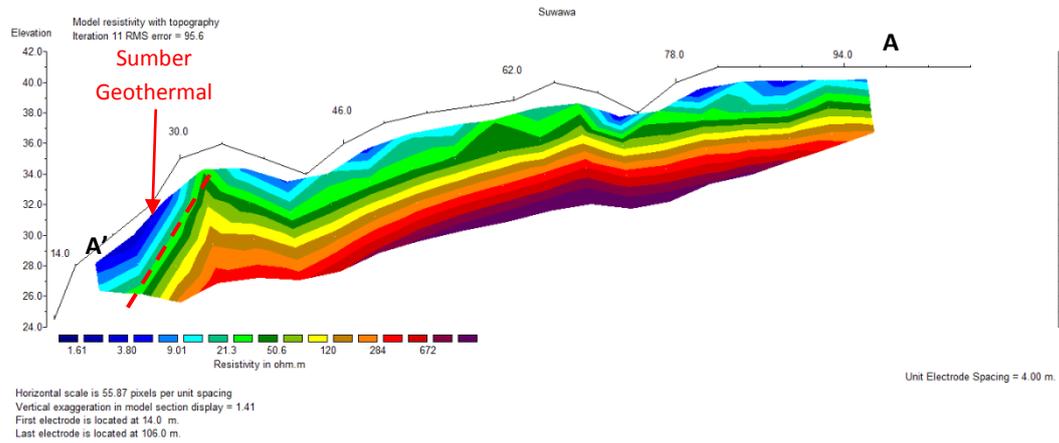


Gambar 13. Penampang *vertikal electrical sounding (VES)* di Suwawa menggunakan program IPI2Win; atas, *pseudo cross-section* dan bawah, *resistivity section*.

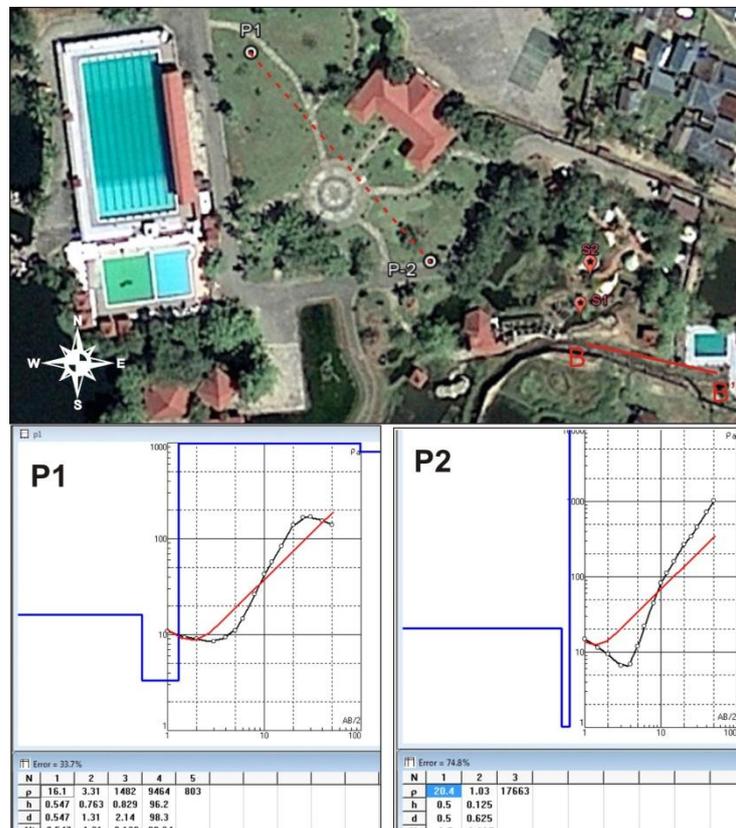
Hasil korelasi titik *sounding* S1 dan S2 (Gambar 13) terlihat bahwa lapisan atas dengan ketebalan sekitar 1 meter memiliki resistivitas rendah (10-200 Ωm) yang diestimasi sebagai lapisan soil dan batu gamping lapuk. Sedangkan lapisan bawahnya memiliki resistivitas yang tinggi (2.000-7.000 Ωm) yang diestimasi sebagai lapisan batu gamping masif .

Hasil-hasil inversi 2D *resistivity imaging* di Suwawa untuk lintasan A-A' ditunjukkan pada Gambar 14. Pola perlapisan dari penampang *imaging* ini juga menunjukkan pola perlapisan yang sama dengan hasil interpretasi *sounding* S1 dan S2. Lapisan atas dengan ketebalan sekitar 1 meter memiliki resistivitas rendah yang diestimasi sebagai lapisan soil dan batugamping lapuk. Sedangkan lapisan bawahnya memiliki resistivitas yang tinggi yang diestimasi sebagai lapisan batugamping masif.

Dari penampang imaging di atas menunjukkan adanya kontras resistivitas antara resistivitas tinggi dan rendah yang terletak di sebelah barat (di dekat titik A') yang diduga sebagai rekahan yang terisi air, dalam hal ini sebagai saluran air panas.



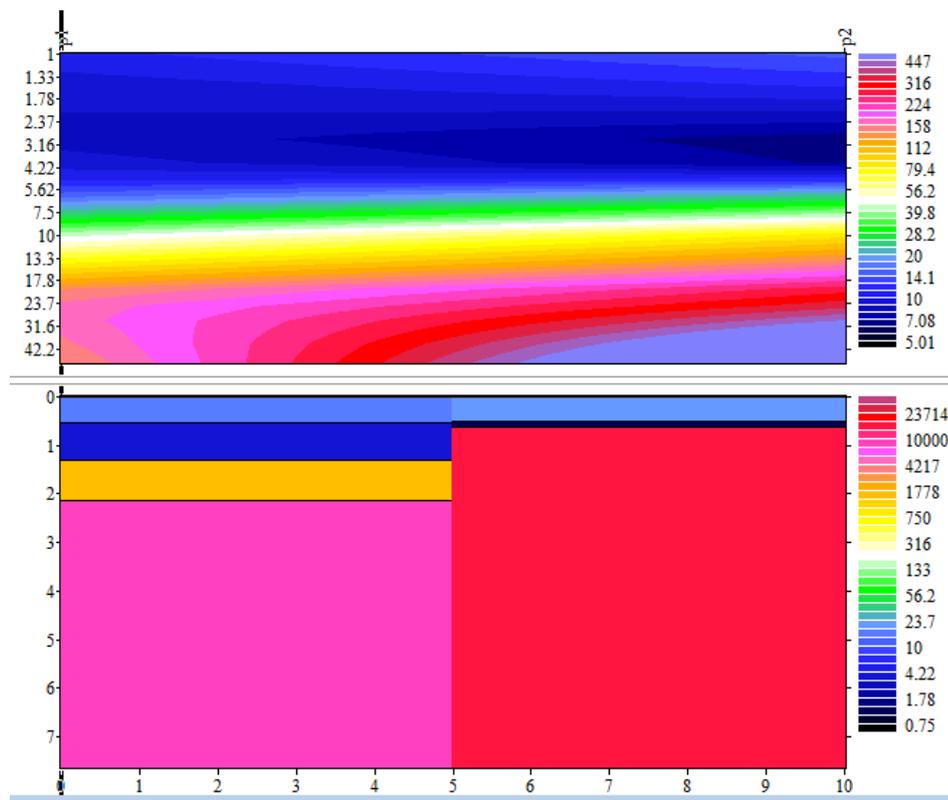
Gambar 14. Hasil-hasil penampang *resistivity imaging* pada lintasan A-A' di Suwawa



Gambar 8. Hasil inversi dari data pengukuran *resistivity sounding* di Pentadio untuk titik- titik *sounding* P1 dan P2.

Dari Gambar 15, terlihat bahwa kurva *sounding* P1 (utara) menunjukkan pola kurva tiga lapis dimana pada lapisan pertama dengan ketebalan sekitar 0,5 m memiliki resistivitas rendah ($16,1 \Omega\text{m}$), lapisan kedua dengan ketebalan sekitar 0,75 m memiliki resistivitas lebih rendah ($16,1-3,31 \Omega\text{m}$), dan lapisan terakhir yang teridentifikasi secara gradual resistivitasnya meningkat hingga sekitar $9.000 \Omega\text{m}$ dengan bertambahnya kedalaman (1 m ke atas). Sedangkan dilihat dari kurva *sounding* P2 (selatan) yang terdiri dari kurva 3 lapis, menunjukkan pola yang relatif sama dengan kurva P1, yakni lapisan pertama dengan ketebalan sekitar 0,5 m memiliki resistivitas rendah ($20,4 \Omega\text{m}$), lapisan kedua dengan ketebalan sekitar 0,5 m memiliki resistivitas lebih rendah ($20,4-1,03 \Omega\text{m}$), dan lapisan terakhir yang teridentifikasi secara gradual resistivitasnya meningkat hingga sekitar $17.000 \Omega\text{m}$ dengan bertambahnya kedalaman (1 m keatas).

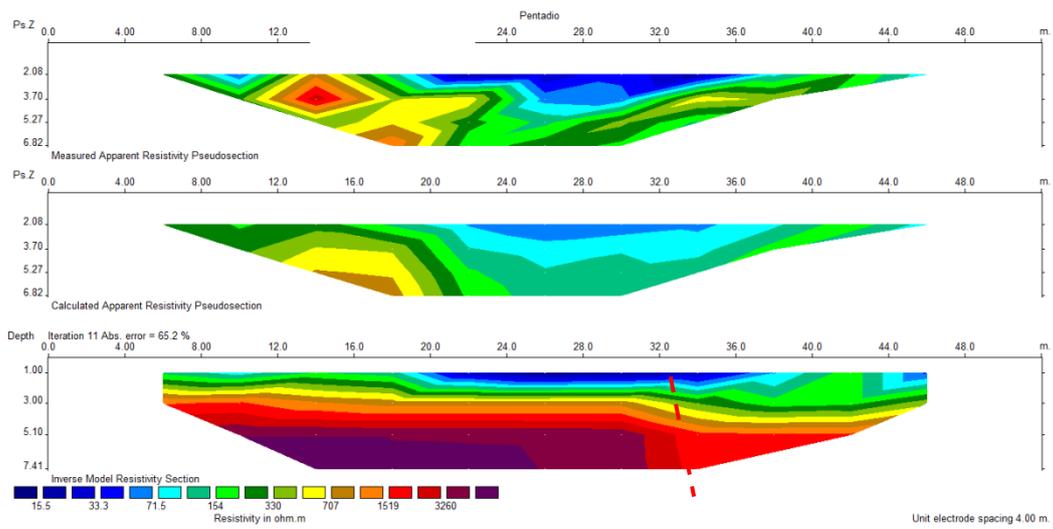
Hasil inversi titik-titik *sounding* pada Gambar 12, selanjutnya dapat dikorelasikan untuk menghasilkan penampang resistivitas bawah permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 16 berikut:



Gambar 16. Penampang *vertical electrical sounding (VES)* dari korelasi *sounding* P1 dan P2 di lokasi Pentadio

Hasil korelasi titik *sounding* P1 dan P2 (Gambar 16) terlihat bahwa lapisan atas dengan ketebalan sekitar 2 meter di P1 yang makin menipis hingga P2 (0,5 meter), memiliki resistivitas rendah (10-700 Ωm) yang diestimasi sebagai lapisan soil dan batugamping lapuk. Sedangkan lapisan bawahnya memiliki resistivitas yang tinggi (5.000-25.000 Ωm) yang diestimasi sebagai lapisan batugamping masif.

Hasil-hasil inversi *2D resistivity imaging* di Pentadio untuk lintasan B-B' ditunjukkan pada Gambar 17. Pola perlapisan dari penampang *imaging* ini juga menunjukkan pola perlapisan yang sama dengan hasil interpretasi *sounding* S1 dan S2. Lapisan atas dengan ketebalan sekitar 1 meter memiliki resistivitas rendah yang diestimasi sebagai lapisan soil dan batugamping lapuk. Sedangkan lapisan bawahnya memiliki resistivitas yang tinggi yang diestimasi sebagai lapisan batugamping masif.



Gambar 17. Hasil-hasil penampang *resistivity imaging* pada lintasan B-B' di Pentadio.

Dari penampang imaging di atas menunjukkan adanya kontras resistivitas antara resistivitas tinggi dan rendah yang terletak di sebelah timur (di sekitar jarak horizontal 32,0 m) yang diduga sebagai rekahan yang terisi air, dalam hal ini sebagai saluran air panas.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, ICS 07.060, Standar Nasional Indonesia Untuk Geothermal, SNI 13-6482-2000
- Benson A.K., Payne K.L., and Stubben M., 1997, *Mapping Groundwater Contamination Using DC Resistivity and VLF Geophysical Methods-A Case Study*, Geophysics, 62.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- Claproth, R., 1989, *Magmatic Affinities of Volcanic Rocks from Ungaran Central*
- Citrosiswoyo wahyudi, 2008., *Geothermal Dapat Mengurangi Kebutuhan Bahan Bakar Fosil Dalam Menyediakan Listrik Negara*. Surabaya : Pusat Studi Kebumihan dan Bencana LPPM.
- Ngkoimani La Ode, dkk. 2009., *Kajian potensi energi panas bumi, energi air, energi arus laut, energi angin, dan energi surya sebagai sumber energi alternatif di Sulawesi Tenggara*. Kendari : Laporan Penelitian Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Bekerjasama dengan Pusat Penelitian Kebumihan, Energi dan Sumber Daya Mineral Universitas Haluoleo.
- Nicholson, K., 1993., *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Technique*, Springer-Verlag, Berlin.
- Noorsalam R. Nganro, dkk., 2002. *Laporan Penelitian Valuasi Pemanfaatan Sumber Daya Migas dan Panas Bumi Se-jawa Barat di Kota Bandung*. Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat ITB : Bandung
- Meju M.A., Fontes S.L., Oliveira M.F.B., Lima J.P.R., Ulugergerli E.U. and Carrasquilla A.A., 1999, *Regional Aquifer Mapping Using Combined VES-TEM-AMT/EMAP Methods in the Semiarid Eastern Margin of Parnaiba Basin, Brazil*, Geophysics, 64.
- Milsom, J., 1996, *Field Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.
- Saptadji Nenny , 2007., *Sumber Daya Panas Bumi, Energi Andalan yang masih Tertinggalkan*, ITB Press : Bandung
- Susandi Armi , 2006., *Indonesia's Geothermal: Development And Cdm Potential* , Jakarta : Proceedings International Geosciences Conference and Exhibition.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.

Wahyudi, 2006., *Kajian Potensi Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prosepek Gunung Api Ungaran Jawa Tengah*, Yogyakarta : Berkala MIPA UGM volume 16(1),

U.S. Geological Survey Information Service, *World IGRF Magnetic Chart*, web page <http://geomag.usgs.gov>

US/UK World Magnetic Field Model Epoch 2000-2005, web page <http://www.ngdc.noaa.gov/>

VII. ANGGARAN

1. Rekapitulasi Anggaran Tahun Kedua

Biaya yang dibutuhkan dalam penelitian ini khususnya untuk tahun kedua, didasarkan pada metodologi penelitian, dan tujuan penelitian tahun kedua yang telah dirancang bersama oleh TPP dan TPM. Adapun tujuan penelitian adalah mengkaji besar potensi energi panas bumi di wilayah Provinsi Gorontalo yang dapat direkomendasikan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Estimasi biaya yang dibutuhkan meliputi; biaya pelaksana, biaya operasional penelitian, biaya perjalanan/transportasi, dan biaya lainnya. Keseluruhan biaya yang diperlukan pada penelitian tahun pertama sebesar Rp.74.914.000 (Tujuh Puluh Empat Juta Sembilan Ratus Empat Belas Ribu Rupiah). Lebih lengkapnya justifikasi anggaran kegiatan penelitian ini terdapat pada Lampiran 2. Sedangkan rekapitulasi keseluruhan biaya yang diperlukan pada penelitian tahun kedua adalah ;

Tabel 4. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Penelitian Tahun Kedua

REKAPITULASI RENCANA ANGGARA BIAYA PENELITIAN		
NO	JENIS PENGELUARAN	RINCIAN ANGGARAN (Rp)
1	PELAKSANA (Gaji dan Upah)	Rp 20,464,000
2	BIAYA OPERASIONAL PENELITIAN	Rp. 26,000,000

3	BIAYA PERJALANAN/TRANSPORTASI	Rp. 17,800,000
4	LAIN-LAIN	Rp. 10,650,000
	TOTAL BIAYA	Rp. 74.914.000.-

VIII. RENCANA PENELITIAN SELANJUTNYA

Hasil penelitian tahun ke-1 dan tahun ke-2 ini merupakan satu kesatuan kegiatan penelitian yang diharapkan menjadi rujukan dalam merencanakan kegiatan penelitian pada tahun berikutnya. Jika hasil penelitian ini menemukan adanya titik-titik reservoir panas bumi yang energinya dapat digunakan sebagai energi alternatif pembangkit tenaga listrik, maka akan dilakukan rencana kelanjutan penelitian 3 tahun berikutnya.

Rencana kegiatan penelitian tahun ke-3 adalah studi kelayakan pengembangan lapangan (*steam field development*). Tahapan kegiatan difokuskan pada pencarian informasi secara rinci seluruh aspek yang berkaitan dengan kelayakan usaha pertambangan panas bumi. Disamping itu diperlukan juga penyelidikan atau studi jumlah cadangan geothermal yang dapat dieksploitasi untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Selanjutnya rencana kegiatan tahun ke-4 adalah melakukan simulasi reservoir untuk memperkirakan kinerja reservoir. Hasil pemodelan digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk mengambil keputusan dalam menetapkan strategi pengembangan lapangan. Dari model reservoir yang dibuat dapat diperoleh gambaran mengenai kondisi di bawah permukaan yang meliputi distribusi sebaran permeabilitas, tekanan, temperatur, dan konduktivitas. Hasil simulasi juga dapat memberikan perkiraan tentang kontinuitas energi panas yang terkandung di dalamnya sebelum reservoir diproduksi. Kontribusi data yang diperoleh sangat membantu pemerintah daerah untuk memanfaatkan sumber energi ini. Selanjutnya rencana tahun ke-5 adalah melakukan valuasi pemanfaatan energi panas bumi, tidak hanya sebagai energi pembangkit listrik, tetapi juga pada sector-sektor lain, baik untuk kepentingan umum maupun untuk kepentingan kelompok masyarakat tertentu.

Uraian rencana kegiatan tiga tahun terakhir adalah rencana penelitian yang akan dilakukan setelah hibah pekerti selesai. Berdasarkan hasil penelitian tahun pertama dan kedua, memberikan kontribusi informasi data penting kepada pemerintah daerah. Dengan demikian pemerintah turut terbantuan dalam mencari sumber-sumber energi alternatif di Provinsi Gorontalo, demi kepentingan kelangsungan pembangunan daerah. Adanya respon pemerintah untuk secara bersama-sama mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan, menjadi motivasi bagi peneliti untuk mengajukan usulan rencana pendanaan kegiatan kepada pemerintah daerah dalam bentuk kerjasama.

Disamping itu rencana usulan pendanaan akan tetap dilakukan pada kegiatan penelitian maupun pengabdian melalui hibah-hibah yang dibiayai oleh Dikti.

IX. DESKRIPSI TIM PENELITI MITRA (TPM)

Nama : Dr. La Ode Ngkoimani, M.Si
 Bidang Keahlian : Fisika / Fisika Bumi
 Jabatan Sekarang : Kepala Pusat Peneltian Kebumian, Energi dan Sumber Daya Mineral Universitas Haluoleo
 Kantor/Unit Kerja : Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Haluoleo
 Laboratorium : Laboraotorium Fisika Bumi Universitas Haluoleo
 Alamat Kantor/Unit Kerja : Kampus Bumi Tridharma, Anduonohu, Jl. Malaka, Kendari 93232, Faks : 0401-319576
 Mobile Phone/E-mail : [0811409951](tel:0811409951) / ngkoi@sains.fisika.net

A. PENGALAMAN DALAM PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

NO.	JUDUL	TAHUN	TEMPAT
1.	Rekonstruksi Iklim Asia Pasifik, Kerjasama Proyek Lintas Negara (Amerika Serikat, Australia, China, Mongol, Tahiland, Filipina, Indonesia , Bhutan, India, Pakistan dan Selandia Baru) (Tahun 2000 – 2008). (Sebagai Anggota Kolaborasi).	2000 - 2008	National Science Foundation (NSF) Amerika Serikat
2.	Ketua kajian Karakterisasi dan Analisa Sifat Magnetik Limbah Tambang Ferronikel PT. Aneka Tambang, Pomalaa-Sulawesi Tenggara (Riset Sains Dasar Bidang MIPA KNRT)	2005 – 2006	Lemlit Unhalu
3.	Ketua Peneliti Survei Potensi Energi Angin, Surya dan Arus Laut dalam Rangka Pengembangan Energi Hybrid di Pulau Wawonii (Islamic Development Bank – Unhalu)	2008	Pulau Wawoni Provinsi Sultra

4.	Peneliti Utama Kajian Potensi Energi Alternatif Sulawesi Tenggara (Badan Riset Daerah Sulawesi Tenggara)	2008	Prov. Sultra
5.	Ketua peneliti Eksplorasi Detail Potensi Panas Bumi Di Lainya Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Panas Bumi Di Sulawesi Tenggara (Kerjasama Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Sultra).	2009	Provinsi Sultra
6.	Ketua kajian Potensi Daerah Rawan Bencana Alam Sebagai Acuan Dalam Mitigasi dan Manajemen Bencana di Sulawesi Tenggara (Insentif Riset Unggulan Strategis Nasional)	2009	Provinsi Sultra

B. DAFTAR PUBLIKASI YANG RELEVAN (5 TAHUN TERAKHIR)

NO	Judul	Tahun	Dipublikasikan Melalui
1.	Analisa Pola Anisotropy Magnetic Suseptibility (AMS) Batuan Beku dari Daerah Ngrayun Kabupaten Ponorogo–Jawa Timur	Sept. 2005	Jurnal Aplikasi Fisika (JAF) Vol. 1 No. 1 September 2005 ISSN 1858-4020 hal. 1 – 4
2.	4D Seismic and Rocks Physics Modeling Responses to Reservoir Steam Flood	Augst. 2005	Thirtieth Annual Convention & Exhibition Indonesian Petroleum Association, Jakarta Agustus 2005
3.	Magnetic properties and the clasification of igneous rocks; a case study of the Old Andesite from Java, Indonesia	Des. 2005	Seminar Internasional pada American Gophysical Union Fall Meeting 2005, Sanfransisco USA, December 2005
4.	Reconstructed Indonesian Warm Pool SSTs from Tree Rings and Corals: Linkages to Asian Monsoon Drought and ENSO	2006	Paleoceanography, 21 (3), PA300510.1029/2005PA001256, 2006
5.	Pacific and Indian Ocean Climate Signals in tree-ring Records of Java Mansoon Drought	2008	International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc, 2008

X. LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Jadwal Kerja
2. Justifikasi Anggaran
3. Daftar Riwayat Hidup TPP dan TPM