

KAJIAN POTENSI PANAS BUMI DAN REKOMENDASI PEMANFAATANNYA PADA DAERAH PROSPEK GUNUNGAPI UNGERAN JAWA TENGAH

**(Geothermal Investigation and Its Application Recommendation in The Ungaran
Geothermal Prospect Area, Central Java)**

Wahyudi

Jurusan Fisika, FMIPA-UGM, Yogyakarta
Sekip Utara, UGM, Yogyakarta

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian tentang potensi energi panas bumi dan rekomendasi pemanfaatannya di daerah prospek G. Ungaran, Jawa Tengah. Penelitian bertujuan untuk memperkirakan potensi panas bumi G. Ungaran, serta membuat skema pemanfaatan untuk digunakan sebagai dasar rekomendasi utilisasi potensi panas bumi di daerah tersebut.

Penelitian yang dilakukan terdiri dari bidang-bidang geologi, geokimia, dan geofisika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah prospek panas bumi berada di lereng selatan G. Ungaran, yaitu di daerah Gedongsongo. Estimasi potensi energi panas bumi G. Ungaran dapat diperkirakan berdasarkan Metode Perbandingan. Berdasarkan hasil geothermometri gas G. Ungaran diperoleh suhu reservoir sebesar 230 °C, dengan daya per satuan luas diperkirakan sebesar 15 MW_e/km². Bila faktor konversi energi panas ke energi listrik sebesar 15%, maka besarnya daya listrik per satuan luas adalah 2,25 MW_e/km². Bila luas daerah prospek panas bumi G. Ungaran diperkirakan sebesar 5 km², maka daya listrik yang dapat dimanfaatkan sebesar 11,25 MW_e.

Kata kunci : Panas bumi, Gunung api, Energi

ABSTRACT

A geothermal investigation has been carried out in the Ungaran geothermal prospect area, Central Java. The aim is to estimate the power and to perform a scheme of the use of the geothermal energy in this area.

Geology, geochemistry, and geophysics surveys were deployed over the surface manifestations, which are more focused on Gedongsongo area where the estimated up flow area was located. Based on the gas geothermometry, we estimate temperature of the reservoir is about 230 °C and the power is 15 MW_e/km². If the thermal to electricity conversion factor is 15%, so that the electricity power is 2,25 MW_e/km². If the area of the prospect is about 5 km², so that the realistic power can be used is 11,25 MW_e.

Keywords : Geothermal, Volcano, Energy

Makalah diterima 1 Nopember 2005

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini merupakan bagian dari riset yang bertujuan untuk membuat karakterisasi *geoscientific* terpadu sistem panas bumi di

daerah prospek G. Ungaran, dengan target memperkirakan potensi panas bumi, serta membuat skema pemanfaatan untuk digunakan sebagai dasar rekomendasi utilisasi potensi panas bumi di daerah tersebut.

Daerah prospek panas bumi G. Ungaran terletak kira-kira 30 km sebelah barat daya ibukota Jawa Tengah, Semarang. Daerah tersebut secara fisiografis terletak pada Pegunungan Serayu Utara yang terbentuk oleh pengangkatan pada kala Miosen. Menurut Claproth (1989), G. Ungaran merupakan bagian dari siklus vulkanisme yang kedua di P. Jawa, yang aktif antara kala Pliosen Akhir hingga Pleistosen Akhir. Produk-produk G. Ungaran dapat dikelompokkan menjadi empat unit, yaitu produk-produk Ungaran Tertua, Ungaran Tua, Kerucut Parasitik, dan Ungaran Muda. Pada daerah tersebut terdapat prospek panas bumi yang terletak pada lereng selatan G. Ungaran, yaitu di daerah Gedongsongo.

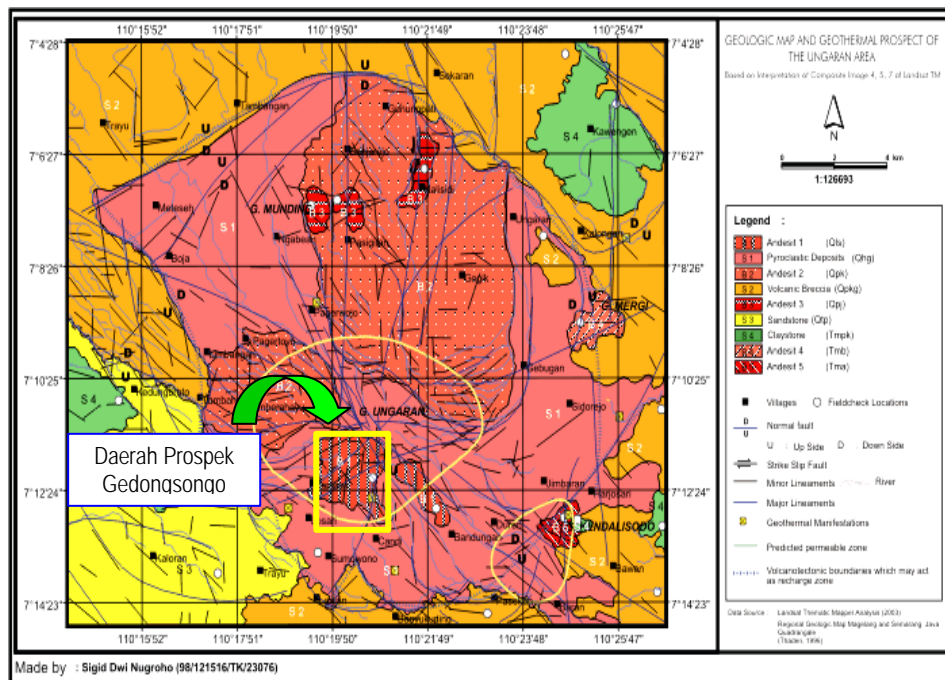
Beberapa manifestasi panas bumi yang ada di sekitar G. Ungaran, antara lain: fumarola di daerah Gedongsongo, mata air panas di daerah-daerah Banaran, Diwak, Kaliulo, dan Nglimut (Budihardjo dkk, 1997), serta batuan teralterasi terdapat di Gedongsongo dan Kendalisodo. Menurut perkiraan, prospek panas bumi di daerah ini bersistem dominansi air, yang secara struktural dikontrol oleh struktur kaldera Ungaran. Sumber panas diperkirakan berupa

intrusi dioritik. Batuan vulkanik yang retak-retak yang berumur Kuartar Bawah dan Tersier diperkirakan berfungsi sebagai batuan reservoir. Batuan-batuan vulkanik yang berumur Kuartar Atas yang bersifat *impermeable* diperkirakan berfungsi sebagai batuan penudung (*cap rocks*). Berdasarkan geothermometri pada fumarola yang terdapat di daerah Gedongsongo, temperatur reservoir diperkirakan mencapai 230⁰ C.

2. HASIL PENELITIAN GEOLOGI

Penelitian geologi diawali dengan mengadakan identifikasi, yang dilakukan dengan memetakan luasan dari lokasi yang menarik secara geothermal, dengan mengamati kenampakan permukaan hasil dari interpretasi Landsat dan foto udara (geologi citra penginderaan jauh, lihat Gambar 1). Hal ini dilakukan sebagai tahap awal pendugaan keberadaan komponen sistem panas bumi yang meliputi adanya manifestasi panas pada daerah permeabel dan adanya sumber panas.

Peta pada Gambar 1 memperlihatkan secara garis besar stratigrafi, struktur geologi, dan beberapa manifestasi panas bumi yang



Gambar 1. Peta geologi daerah Gunung Ungaran dan sekitarnya berdasarkan analisis citra Landsat TM.

ada di kawasan G. Ungaran dan sekitarnya. Dari analisis geologi dapat ditetapkan bahwa daerah Gedongsongo (lereng selatan G. Ungaran) sebagai daerah prospek panas bumi. Fumarola yang masih aktif, mata air panas, dan batuan teralterasi hidrothermal dijumpai di kawasan ini. Oleh sebab itu, pada kawasan ini telah dilakukan secara detail pemetaan geologi permukaan dan pemetaan daerah-daerah alterasi. Satu patahan besar membujur dari utara ke selatan melewati kawasan Gedongsongo ini diperkirakan merupakan struktur yang mengontrol keberadaan manifestasi panas bumi di kawasan ini.

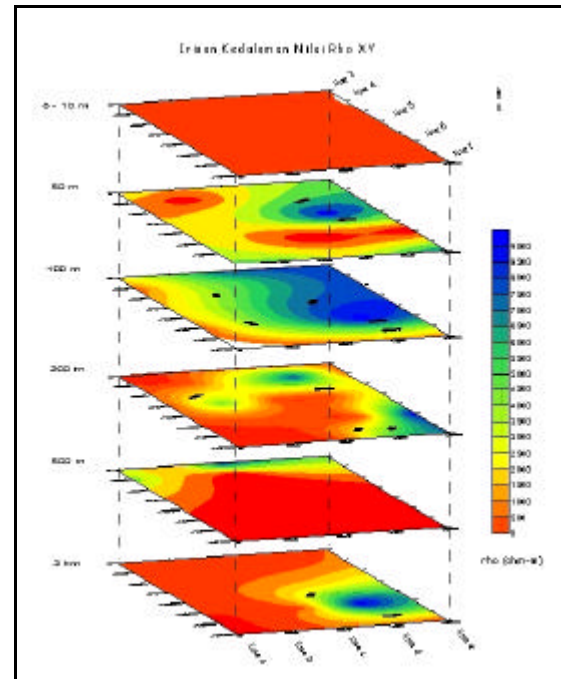
3. HASIL SURVEI CSAMT (CONTROLLED SOURCE AUDIO-FREQUENCY MAGNETO-TELLURIC)

Salah satu metode geofisika yang telah digunakan secara luas dalam peran awal eksplorasi panas bumi adalah metode CSAMT (*Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric*) atau magnetotellurik terkontrol. Sinyal dari medan elektromagnet alam yang biasanya lemah dapat digantikan dengan suatu sumber (pemancar gelombang elektromagnetik) dengan frekuensi yang dapat dikontrol.

Dalam metode ini parameter yang digunakan untuk mengamati atau mencari sumber energi panas adalah harga resistivitas batuan sebagai fungsi frekuensi atau kedalaman, yang ditandai dengan harga yang semakin rendah untuk batuan yang suhunya makin tinggi (Hochstein, 1996). Harga resistivitas yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi di bawah permukaan, baik ke arah lateral maupun vertikal.

Tujuan dilakukannya survei CSAMT ini adalah untuk memetakan penyebaran resistivitas atau konduktivitas batuan, baik secara lateral maupun vertikal. Adapun salah satu hasil interpretasi yang telah diperoleh dari survei CSAMT di daerah Gedongsongo dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan distribusi nilai resistivitas batuan di daerah Gedongsongo (Gambar 2), dapat diperkirakan keberadaan sumber panas



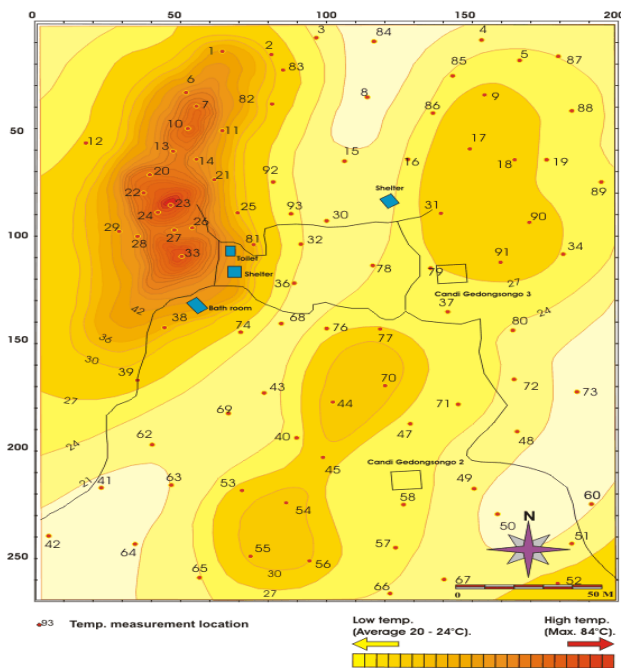
Gambar 2. Penampang irisan resistivitas sebagai fungsi kedalaman di daerah Gedongsongo

berada pada kedalaman 500 m hingga 2000 m. Hal ini dapat dilihat dari nilai resistivitas batuan yang rendah terdapat pada kedalaman-kedalaman tersebut.

4. HASIL SURVEI SUHU PERMUKAAN

Untuk mengetahui distribusi suhu permukaan di daerah prospek, maka dilakukan pemetaan suhu permukaan pada kedalaman 75 cm. Dari peta anomali suhu dan peta batuan teralterasi dapat ditafsirkan sejarah penyebaran panasnya, dan dapat pula diperkirakan daerah *up-flow*, yaitu kawasan tempat keluarnya fluida panas dari reservoir ke permukaan. Hasil pemetaan anomali suhu permukaan di kawasan Gedongsongo dapat dilihat pada Gambar 3.

Terdapat tiga klosur anomali suhu yang ditemukan di daerah Gedongsongo, satu klosur berada di dekat fumarola dan bersuhu cukup tinggi, sedang dua klosur lainnya berada di sebelah timurnya dan bersuhu tidak terlalu tinggi. Meskipun anomali suhu di permukaan terdapat di daerah ini, namun daerah *up-flow* bisa terdapat di daerah lain. Hal ini disebabkan karena fluida panas dapat mengalir melalui struktur yang ada.



Gambar 3. Peta suhu bawah permukaan daerah Gedongsongo.

5. HASIL PENELITIAN GEOKIMIA

Penelitian geokimia sangat berguna pada tahap eksplorasi panas bumi, terutama sebelum adanya pemboran eksplorasi. Penelitian geokimia meliputi analisis kimia air dan gas, yang diambil dari manifestasi panas bumi di permukaan. Dalam penelitian ini analisis kimia air panas bumi yang dilakukan meliputi pH, SiO₂, B, Na, K, Ca, Mg, CO₂, SO₄, H₂S, Cl, F, dan Li.

5.1. Distribusi Air Panas Bumi

Berdasarkan observasi lapangan, diketahui bahwa secara umum manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan berada pada sisi selatan dan utara G. Ungaran. Di sisi utara, manifestasi panas bumi muncul di daerah Nglimut, berupa mata air panas. Komposisi kimia air dari mata air panas di Nglimut menunjukkan tipe air bikarbonat – klorida yang berasosiasi dengan endapan-endapan karbonatan (*travertine*). Berdasarkan data kimia ditambah suhu air yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan suhu air mendidih, maka ditafsirkan bahwa pembentuk mata air panas di Nglimut adalah suatu *out*

flow, sedangkan daerah aliran utama air panas bumi tidak diketahui.

Di sisi selatan G. Ungaran ada beberapa daerah yang mempunyai manifestasi permukaan berupa mata air panas. Daerah yang mempunyai aktifitas hydrothermal paling besar adalah daerah Gedongsongo yang berada tepat di bawah G. Ungaran. Di daerah ini dapat dijumpai manifestasi panas bumi yang terbentuk karena aktifitas uap, yaitu fumarola dan beberapa *steaming ground*. Manifestasi ini terletak pada dua jalur lembah yang saling berdekatan dan sejajar. Dengan adanya beberapa manifestasi sepanjang jalur lembah tersebut, maka lembah tersebut diduga sebagai suatu jalur patahan, sehingga fluida hydrothermal lebih mudah untuk naik ke permukaan.

Dengan adanya fumarola dan mata air panas yang airnya diinterpretasikan sebagai hasil dari pemanasan uap (*steam heated water*), maka diperkirakan bahwa di bawah fumarola tersebut terdapat suatu pemisahan fase dari cair ke uap. Implikasinya, dapat diperkirakan bahwa di bawah fumarola Gedongsongo terdapat suatu aliran air panas bumi dalam kondisi saturasi. Akan tetapi adanya air panas bumi yang saturasi ini, masih belum cukup untuk mengatakan bahwa aliran tersebut merupakan *up flow*.

Daerah lain di sisi selatan G. Ungaran yang mempunyai manifestasi mata air panas adalah Banaran dan Kali Ulo. Mata air panas di kedua daerah tersebut mempunyai suhu yang tidak terlalu tinggi dengan tipe air bikarbonat – klorida. Pembentukan mata air panas di daerah tersebut diperkirakan merupakan suatu *out flow* dari sistem panas bumi G. Ungaran.

5.2. Klasifikasi Tipe Air Panas Bumi

Dalam tahapan penelitian eksplorasi, klasifikasi jenis air panas bumi dilakukan berdasarkan konsentrasi anion-anion klorida (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) yang diplotkan pada diagram segitiga. Plot ini bertujuan untuk mengetahui sample air panas bumi yang mempunyai komposisi kimia mewakili air panas bumi di reservoir. Untuk mengetahui apakah sample air itu air panas bumi atau bukan, dilakukan dengan cara membandingkan suhu air tersebut dengan

suhu udara di sekitar, dan juga kandungan beberapa elemen seperti Cl, Na, K, dan Ca dengan air yang diambil dari sumur penduduk atau dari mata air dingin. Dengan membandingkan dua kriteria tersebut di atas, suhu dan komposisi kimia, sample air dari Gedongsongo, Diwak, Kendalisodo, Prumasan dan Kaliulo dapat dinyatakan sebagai air panas bumi.

Hasil plot dalam diagram segitiga menggambarkan bahwa semua sample air dari Gedongsongo adalah air sulfat dengan pH yang sangat rendah (0.2 – 4.0). Air jenis ini dapat diinterpretasikan sebagai air hasil pemanasan oleh uap (*steam heated water*). Dengan posisinya yang berada di dekat fumarola, maka kemungkinan terjadinya *steam heated water* sangatlah besar. Air jenis ini dicirikan dengan pH yang sangat asam, sehingga sangat reaktif dan bisa melarutkan batuan sampling. Tingginya kandungan alumina (Al) dan besi (Fe) dalam empat sample air dari Gedongsongo memperkuat dugaan bahwa ke-empat sample air tersebut adalah *steam heated water*.

Oleh karena air jenis sulfat yang dihasilkan oleh proses pemanasan uap ini sudah melarutkan batuan sampling selama perjalanannya sampai keluar sebagai mata air, maka air jenis ini tidak mewakili komposisi air reservoir. Konsekuensinya air jenis ini tidak bisa dipakai dalam perhitungan geothermometri untuk memprediksi suhu reservoir.

Sampel air panas dari daerah manifestasi yang lain, seperti Prumasan, Kendalisodo, Kaliulo, Banaran dan Nglimit memperlihatkan bahwa air tersebut termasuk air jenis bikarbonat – klorida. Tingginya konsentrasi ion bikarbonat di daerah tersebut menunjukkan bahwa air panas bumi sudah bercampur dengan air permukaan yang kaya

akan komponen karbonat. Dugaan adanya pencampuran dengan air permukaan diperkuat dengan rendahnya kandungan klorida (Cl) pada sampel air tersebut, kecuali sample air dari Kaliulo. Namun tingginya kandungan klorida dari air Kaliulo juga diimbangi dengan tingginya kandungan soda (Na).

Fenomena ini dapat diinterpretasikan bahwa pencampur air panas bumi di Kaliulo bukanlah air permukaan biasa, akan tetapi air yang mengandung garam yang tinggi. Kemungkinan air pencampur tersebut adalah air fosil atau sisa air laut yang masih tersimpan atau terjebak di batuan sedimen tersier yang menjadi batuan dasar dari batuan vulkanik di daerah tersebut. Dengan adanya penambahan/ pencampuran dengan air permukaan ataupun air fosil, maka sample air yang diambil dari ketiga lokasi tersebut di atas sudah tidak mewakili kondisi air reservoir. Dengan demikian sample air tersebut tidak bisa dipakai untuk perhitungan geothermometri untuk memprediksi suhu di reservoir.

5.3. Suhu Reservoir

Sebelum diadakan suatu pemboran eksplorasi, maka suhu reservoir panas bumi dapat diperkirakan dengan menggunakan perhitungan geothermometri. Geothermometri dilakukan berdasarkan analisis komposisi kimia dari air panas bumi maupun dari gas-gas panas bumi. Dalam penelitian ini ternyata tipe air panas bumi yang muncul di manifestasi permukaan tidak memenuhi syarat untuk menghitung suhu reservoir menggunakan geothermometer. Untuk itu, perkiraan suhu reservoir hanya berdasarkan perhitungan geothermometri gas, walaupun hanya ada satu data kandungan gas panas bumi dari fumarole di Gedongsongo.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Geothermometri Gas

| No. | Geothermometer | Sampel | | |
|-----|---|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | Fumarola Gedongsongo | Bubble Gedongsongo | Bubble Diwak |
| 1. | CO ₂ -H ₂ S-H ₂ -CH ₄ | 231,33 | Tidak bisa (H ₂ S=0) | Tidak bisa (H ₂ =0) |
| 2. | H ₂ -Ar | 231,11 | 238,63 | Tidak bisa (Ar=0) |

Geothermometri gas sudah banyak dikembangkan untuk memperkirakan suhu reservoir terutama pada daerah yang tidak dijumpai mata air panas. Salah satu geothermometri gas yang sering dipakai adalah Geothermometri D'Amore & Panichi. Dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh D'Amore & Panichi, maka suhu reservoir diperkirakan sekitar 231°C.

6. PEMANFAATAN POTENSI ENERGI PANAS BUMI

Sejak jaman dahulu manusia telah memanfaatkan air panas yang muncul ke permukaan melalui mata air panas. Mata air panas pada awalnya hanya dimanfaatkan untuk bersantai dalam air hangat, namun pada perkembangannya air tersebut dimanfaatkan secara lebih kreatif. Masyarakat Romawi menggunakan mata air panas untuk mengobati mata dan kulit, serta memanaskan bangunan. Penduduk asli Amerika sejak jaman dahulu telah memanfaatkan air ini untuk kebutuhan memasak dan pengobatan. Berabad-abad suku Maori di New Zealand memasak makanan dengan memanfaatkan air panas yang dihasilkan dari mata air, dan masyarakat di Perancis telah memanfaatkan air panas untuk menghangatkan rumah.

Panas bumi merupakan sumber energi yang terbarukan, di samping merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan dan bersih, karena sebagian besar gas buang adalah karbon dioksida (CO₂), serta air kondensat yang telah diambil dapat diinjeksikan kembali ke reservoir untuk menjaga kelangsungan reservoir.

Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, energi panas bumi dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Dalam rangka optimalisasi pemanfaatan energi panas bumi, pemanfaatan langsung (*direct use*) dapat dikembangkan bersamaan dengan pengembangan panas bumi untuk tenaga listrik.

Air panas atau uap yang dihasilkan dari manifestasi mata air panas dan fumarola yang ada di daerah Gedongsongo dapat dimanfaatkan secara langsung, misalnya :

- 1). Pemandian air panas

Air yang muncul dari mata air panas memiliki temperatur sekitar 30⁰ C. Air tersebut dapat langsung dimanfaatkan untuk pemandian, atau dialirkan langsung ke rumah-rumah penduduk. Hal ini dimungkinkan karena daerah tersebut merupakan daerah yang berhawa dingin. Di samping itu, dengan adanya kandungan mineral yang ada dalam air atau uap, dapat dimanfaatkan untuk menyembuhkan penyakit kulit, melegakan otot-otot yang kaku dan bahkan untuk spa kesehatan (*balneologi*).

- 2). Kolam renang
Daerah prospek panas bumi berada di kawasan wisata Candi Gedongsongo. Akan lebih baik jika pada daerah tersebut dibangun kolam renang air hangat, dengan memanfaatkan air yang ada di sekitar mata air. Hal ini dapat meningkatkan minat wisatawan sekaligus menambah nilai tambah bagi perkembangan wisata di daerah tersebut.
- 3). Pengerinan produk pertanian
Banyaknya produk pertanian yang dihasilkan oleh para petani di sekitar daerah prospek, memungkinkan untuk mengembangkan potensi energi panas bumi untuk mengolah produk pertanian terutama paska panen, baik itu berupa pengerinan atau yang lainnya sehingga dapat meningkatkan mutu dan daya simpan.
- 4). Budidaya perikanan
Keberadaan air panas yang ada di daerah Gedongsongo memungkinkan masyarakat sekitar untuk mengembangkan perikanan, dengan cara mengalirkan air panas ke dalam kolam penakaran yang digunakan untuk menjaga kestabilan suhu sehingga pertumbuhan ikan dapat optimal.
- 5). Pemanas ruangan
Banyaknya rumah penduduk dan bangunan hotel yang ada di sekitar daerah prospek serta suhu udara yang relatif dingin, memungkinkan fluida panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai penganhang ruangan.

7. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian geologi, geofisika, dan geokimia yang telah dilakukan, maka potensi panas bumi daerah prospek G. Ungaran dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

- a). Daerah prospek panas bumi berada di lereng selatan G. Ungaran, yaitu di kawasan wilayah Gedongsongo.
- b). Beberapa parameter yang telah dihasilkan dari penelitian-penelitian secara geologi, geokimia, dan geofisika merupakan unsur-unsur yang menentukan karakterisasi *geoscientific* sistem panas bumi G. Ungaran. Model tentative sistem panas bumi G. Ungaran dapat dibuat dengan melakukan penelitian lebih lanjut, terutama dengan sumur eksplorasi yang berguna untuk mempelajari karakterisasi secara lebih rinci.
- c). Manifestasi panas bumi yang berupa mata air panas yang muncul di daerah sekitar G. Ungaran (Banaran, Diwak, Kaliulo, Nglimut) merupakan aliran pinggir (*out flow*), sedangkan posisi aliran utama (*up flow*) belum bisa ditentukan secara pasti. Keberadaan fumarola mengindikasikan adanya pemisahan fase dari air panas bumi dibawahnya. Akan tetapi, hal ini belum bisa dipakai untuk menentukan bahwa di bawah fumarola tersebut terdapat aliran utama (*up flow*). Untuk menginterpretasikan keberadaan aliran utama diperlukan penelitian yang lebih lengkap di daerah ini, misalnya dengan sumur eksplorasi.
- d). Suhu reservoir tidak bisa diinterpretasikan dengan menggunakan geothermometri kimia air, karena jenis air yang ada tidak mewakili kondisi reservoir. Suhu reservoir diinterpretasikan dengan menggunakan geothermometri gas dari D'Amore & Panichi (1980), yaitu sebesar 230°C.
- e). Berdasarkan klasifikasi dari Standarisasi Nasional Indonesia untuk Panas Bumi, maka besarnya sumber daya panas bumi G. Ungaran baru dapat diklasifikasikan dalam Sumber Daya Spekulatif, yang diidentifikasi oleh manifestasi panas bumi aktif (Gedongsongo), serta semua

data dasar yang telah diperoleh adalah hasil survei regional secara geologi, geokimia dan geofisika. Luas daerah prospek ditentukan berdasarkan hasil-hasil

penyelidikan geologi/geofisika/geokimia, dan temperatur diperkirakan berdasarkan data geothermometri gas. Sampai dengan tahap ini, daya per satuan luas baru ditentukan berdasarkan asumsi.

- f). Cadangan panas bumi G. Ungaran termasuk dalam klasifikasi Cadangan Terduga, dengan kriteria luas dan ketebalan reservoir serta parameter fisik batuan dan fluida diestimasi berdasarkan data ilmu kebumian detail terpadu. Namun demikian, posisi daerah *up flow* maupun dimensi reservoir, dalam penelitian ini belum bisa ditentukan dengan baik, sehingga estimasi potensi energi panas bumi belum bisa ditentukan dengan Metode Volumetrik, dan baru bisa ditentukan dengan Metode Perbandingan. Beberapa parameter penting seperti luas daerah prospek, tebal reservoir, porositas batuan, dan lain-lain harus ditentukan dengan mengadakan penelitian lagi disertai dengan analisis lubang bor (sumur eksplorasi). Dengan demikian model tentative system panas bumi G. Ungaran dapat digambarkan dengan baik.
- g). Estimasi potensi energi panas bumi G. Ungaran dapat diperkirakan berdasarkan Metode Perbandingan. Berdasarkan hasil geothermometri gas G. Ungaran diperoleh suhu reservoir sebesar 230 °C, dengan demikian daya per satuan luas diperkirakan sebesar 15 MW_e/km². Bila faktor konversi energi panas ke energi listrik sebesar 15%, maka besarnya daya listrik per satuan luas adalah 2,25 MW_e/km². Bila luas daerah prospek panas bumi G. Ungaran diperkirakan sebesar 5 km², maka daya listrik yang dapat dimanfaatkan sebesar 11,25 MW_e.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiardjo, B., Nugroho dan Budihardi, M., 1997, *Resource Characteristics of the Ungaran Field, Central Java, Indonesia*, Proceeding of National

Seminar of Human Resources Indonesian Geologist, Yogyakarta.

Claproth, R., 1989, *Geologi Indonesia*, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Vol. Khusus 60 th. Prof. Dr. J.A. Katili, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, hal. 511-562.

Dampney, C.N.G., 1969, *The Equivalent Source Technique*, *Geophysics* V.34, no.1, p39-53.

Hochstein, M.P., Ovens, S. A., dan Bromley, C., 1996, *Thermal Springs at Hot Water Beach (Coromandel Peninsula, NZ)*, Proceedings of the 18th NZ Geothermal Workshop, New Zealand.