

TIPE SISTEM PANAS BUMI DI INDONESIA DAN ESTIMASI POTENSI ENERGINYA

Oleh:

Kasbani

Penyelidik Bumi Madya

Kelompok Program Penelitian Panas Bumi,
Pusat Sumber Daya Geologi

SARI

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang sangat besar, sekitar 28 GWe, yang berada dalam berbagai tipe system panas bumi. Berdasarkan asosiasi lingkungan geologinya, Sistem panas bumi di Indonesia dapat di kelompokkan menjadi tiga tipe utama : vulkanik, vulkano tektonik dan non vulkanik. Tipe vulkanik dapat dibedakan lagi menjadi sistem tubuh gunung api strato, sistem kompleks gunung api dan sistem kaldera sedangkan tipe vulkano tektonik pada umumnya merupakan perpaduan antara struktur depresi (graben) dan kerucut vulkanik. Pengelompokan sistem ini dapat memberikan gambaran atau estimasi awal besarnya potensi energinya. Tipe kompleks vulkanik ataupun kaldera pada umumnya mempunyai potensi energi panas bumi yang jauh lebih besar daripada tipe-tipe lainnya.

ABSTRACT

Geothermal energy potential in Indonesia is very large of about 28 Gwe which are distributed in various geothermal systems. Based on their geologic settings, geothermal systems in Indonesia can be classified in three main types: vulcanics, vulcano-tectonics and non vulcanics. The vulcanic type geothermal system may consist of single strato volcano, vulcanic complex, and caldera systems, whereas, the vulcano-tectonic type generally occurs both in depression structures (graben) and vulcanic cones. This classification of the systems may be used for preliminary estimation of their geothermal energy potentials. Vulcanic complex or caldera types generally have much larger geothermal energy potentials than other types.

PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi nasional saat ini masih mengandalkan energi yang berasal dari sumber daya energi fosil seperti bahan bakar minyak dan gas; dan hanya sebagian kecil atau kurang dari 5 % berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT), termasuk panas bumi.

Energi panas bumi ini sebenarnya mempunyai banyak kelebihan antara lain bersifat ramah lingkungan bila dibandingkan dengan jenis energi lainnya terutama yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (fossil fuel), emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari panas bumi jauh lebih kecil, sehingga bila dikembangkan akan mengurangi bahaya efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Sumber energi panas bumi ini juga cenderung tidak akan habis, karena proses pembentukannya yang terus menerus selama kondisi lingkungannya (geologi dan hidrologi) dapat terjaga keseimbangannya. Mengingat energi panas bumi ini tidak dapat diekspor, maka pemanfaatannya diarahkan untuk mencukupi kebutuhan energi domestik, dengan demikian energi panas bumi akan menjadi energi alternatif andalan dan vital karena dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap

sumber energi fosil yang kian menipis dan dapat memberikan nilai tambah dalam rangka optimalisasi pemanfaatan aneka ragam sumber energi di Indonesia.

Potensi panas bumi di Indonesia saat ini mencapai sekitar 28 GWe (Badan Geologi, 2009) atau setara dengan sembilan milyar barel minyak bumi untuk masa pengoperasian 30 tahun, menempatkan sebagai salah satu negara terkaya akan potensi energi panas bumi. Potensi yang besar ini terkandung di dalam berbagai tipe system panas bumi sesuai dengan tatanan geologinya.

Tulisan ini membahas tentang pengelompokan tipe system panas bumi yang ada di Indonesia serta implikasinya terhadap estimasi awal besarnya potensi yang terkandung di dalamnya. Estimasi awal ini tentunya sangat berguna baik bagi pemerintah untuk membuat skala prioritas dalam merencanakan penyelidikan selanjutnya, maupun bagi pengembang untuk memberikan penilaian awal terhadap potensi yang terkandung dalam suatu lapangan panasbumi yang terkait dengan kepentingan bisnisnya, seperti persiapan dalam pelelangan wilayah kerja.

PERSYARATAN TATANAN GEOLOGI

Sumberdaya panasbumi pada umumnya berkaitan dengan mekanisme pembentukan magma dan kegiatan vulkanisme. Sistem panas bumi dengan suhu yang tinggi, umumnya terletak di sepanjang zona vulkanik punggung pemekaran benua, di atas zona subduksi seperti di Indonesia, dan anomali pelelehan di dalam lempeng. Batas-batas pertemuan lempeng yang bergerak merupakan pusat lokasi untuk munculnya sistem hidrotermal magma. Transfer energi panas secara konduktif pada lingkungan tektonik lempeng diperbesar oleh gerakan magma dan sirkulasi hidrotermal.

Persyaratan utama untuk pembentukan sistem panas bumi (hidrotermal) adalah sumber panas yang besar (*heat source*), reservoir untuk mengakumulasi panas, dan lapisan penudung terakumulasinya panas (*cap rock*). Dalam system hidrotermal ini, panas dapat berpindah secara konduksi dan konveksi. Menurut Hochstein dan Muffler (1995), transfer panas dari kerak dapat berasal dari busur vulkanik, *plume*, pelelehan *subcrustal* oleh *underplating*, pemekaran kerak, atau akibat deformasi plastis.

Reservoir panasbumi yang produktif harus memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi, ukuran cukup besar, suhu tinggi dan kandungan fluida yang cukup. Permeabilitas dihasilkan oleh karakteristik stratigrafi (misal porositas intergranular pada lapilli, atau lapisan bongkah-bongkah lava) dan unsur struktur (misalnya sesar, kekar, dan rekahan). Geometri reservoir hidrotermal di daerah vulkanik merupakan hasil interaksi yang kompleks dari proses vulkanotektonik aktif antara lain stratigrafi yang lebih tua dan struktur geologi.

Batuan penudung yang *impermeable* atau memiliki permeabilitas rendah menutupi reservoir sangat diperlukan untuk mencegah jalan keluar akumulasi fluida panas dalam reservoir. Pada lingkungan vulkanik yang berasosiasi dengan pergerakan tektonik yang menyebabkan terbentuknya celah, batuan penudung impermeabel tanpa celah yang ideal seharusnya jarang ditemukan. Akan tetapi, proses geokimia yang menyebabkan terjadinya ubahan-ubahan hidrotermal dan deposisi mineral sangat membantu dalam menutup celah-celah yang terbentuk, contohnya kalsit dan silika yang berperan sebagai penyegel celah-celah tersebut.

DISTRIBUSI DAN POTENSI PANAS BUMI INDONESIA

Sesuai dengan yang telah diamanatkan di dalam UU No 27/2003, Pemerintah, dalam hal ini Badan Geologi, mempunyai tugas untuk melakukan survei pendahuluan dan eksplorasi panas bumi di wilayah hukum Indonesia.

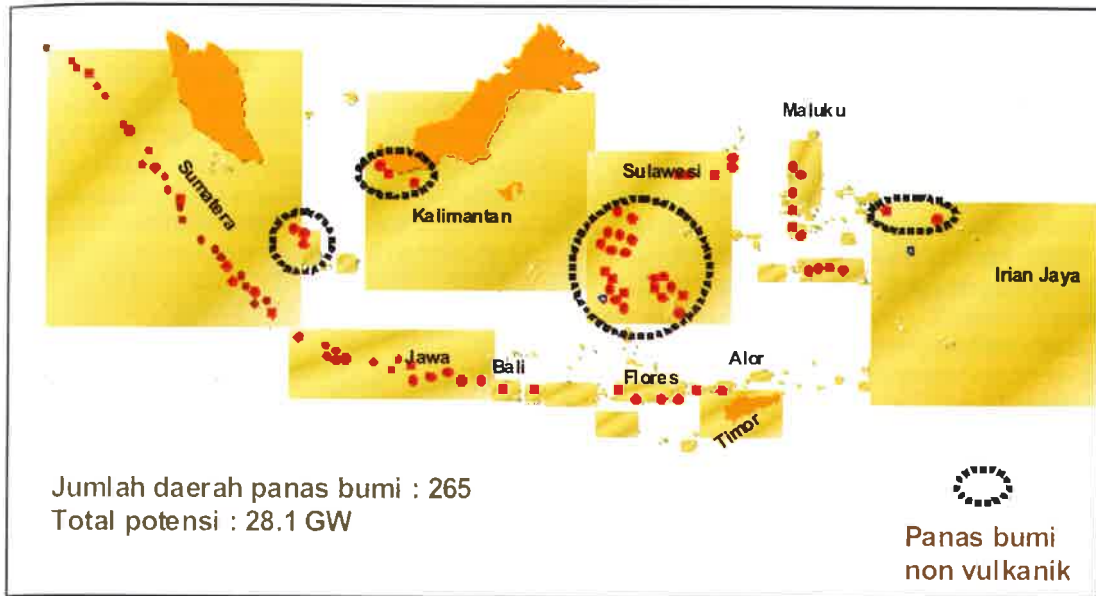
Kegiatan survei dan eksplorasi ini akan digunakan sebagai bahan masukan untuk penetapan wilayah kerja pertambangan panas bumi (WKP). Untuk mendukung kegiatan tersebut, pemerintah dalam hal ini Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral telah merumuskan beberapa pedoman yang telah disahkan sebagai standar nasional, antara lain Standar Nasional "Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia", SNI 18-6009-1999.

Berdasarkan SNI ini, ada beberapa tahapan penyelidikan dalam pengembangan panas bumi yang terkait dengan pengklasifikasian potensi energi panas bumi. Setiap tahapan memiliki tingkat akurasi dan teknik yang berbeda-beda. Tahapan eksplorasi yang lebih rinci dan terpadu akan memberikan tingkat kepastian yang lebih tinggi dalam penentuan dan penghitungan potensi energi panas bumi pada suatu daerah tertentu.

Badan Geologi telah menyusun Neraca Potensi Panas Bumi Indonesia yang statusnya selalu diperbarui. Klasifikasi potensi di dalam Neraca ini disusun mengikuti Standar Nasional "Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia", SNI 18-6009-1999. Sumber data potensi berasal baik dari hasil penyelidikan yang dilakukan sendiri oleh Badan Geologi maupun yang berasal dari instansi lain dan para pengembang.

Sampai saat ini di Indonesia terdapat 265 lokasi panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang membentang dari P. Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku serta daerah-daerah non vulkanik seperti Kalimantan dan Papua (Gambar 1). Sebagian besar lokasi panas bumi (~80%) merupakan daerah panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan busur vulkanik Kuartar, dan sisanya adalah berasosiasi dengan lingkungan non vulkanik yang berada diluar busur vulkanik tersebut. Perkiraan total potensi energi panas bumi di Indonesia sekitar 28 GWe atau setara dengan 8 ~ 10 milyar barel minyak bumi. Dengan total potensi sebesar ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara terkaya akan energi panas bumi.

Apabila dilihat dari status penyelidikannya, dari 265 daerah panas bumi yang ada, sekitar 62% daerah panas bumi masih berada pada tahap penyelidikan pendahuluan atau inventarisasi dengan potensi pada kelas sumber daya spekulatif. Daerah yang telah disurvei secara rinci melalui eksplorasi permukaan dengan atau tanpa pengeboran landaian suhu bsru sebanyak 82 lokasi (32%). Dari sisi pemanfaatan untuk energi listrik, saat ini baru 7 lokasi atau 2,73 % lapangan panas bumi yang telah berproduksi dengan kapasitas total terpasang 1189 MW.



Gambar 1: Distribusi lokasi panas bumi di Indonesia.

Tabel 1:
 Tabel potensi panas bumi di Indonesia tiap pulau

| Pulau | Sumber Daya | | Cadangan | | | |
|---------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| | Spekulatif (MWe) | Hipotetis (MWe) | Terduga (MWe) | Mungkin (MWe) | Terbukti (MWe) | Terpasang (MWe) |
| Sumatra | 4975 | 2121 | 5845 | 15 | 380 | 12 |
| Jawa | 1960 | 1771 | 3265 | 885 | 1815 | 1117 |
| Bali | 70 | - | 226 | - | - | - |
| Nusa Tenggara | 340 | 359 | 747 | - | 15 | - |
| Kalimantan | 45 | - | - | - | - | - |
| Sulawesi | 1025 | 32 | 959 | 150 | 78 | 60 |
| Maluku | 595 | 37 | 327 | - | - | - |
| Papua | 75 | - | - | - | - | - |
| <i>Total</i> | 9085 | 4320 | 11369 | 1050 | 2288 | 1189 |
| 265 Lokasi | 13405 | | 14707 | | | |
| 28.112 MWe | | | | | | |

Dengan adanya kegiatan inventarisasi dan eksplorasi baik yang dilakukan oleh pemerintah maupun oleh swasta, maka data potensi energi panas bumi di Indonesia akan berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan tingkat penyelidikan yang telah dilakukan. Potensi energi panas bumi untuk status tahun 2009 disajikan pada Tabel 1.

SISTEM DAN POTENSI PANAS BUMI DI INDONESIA

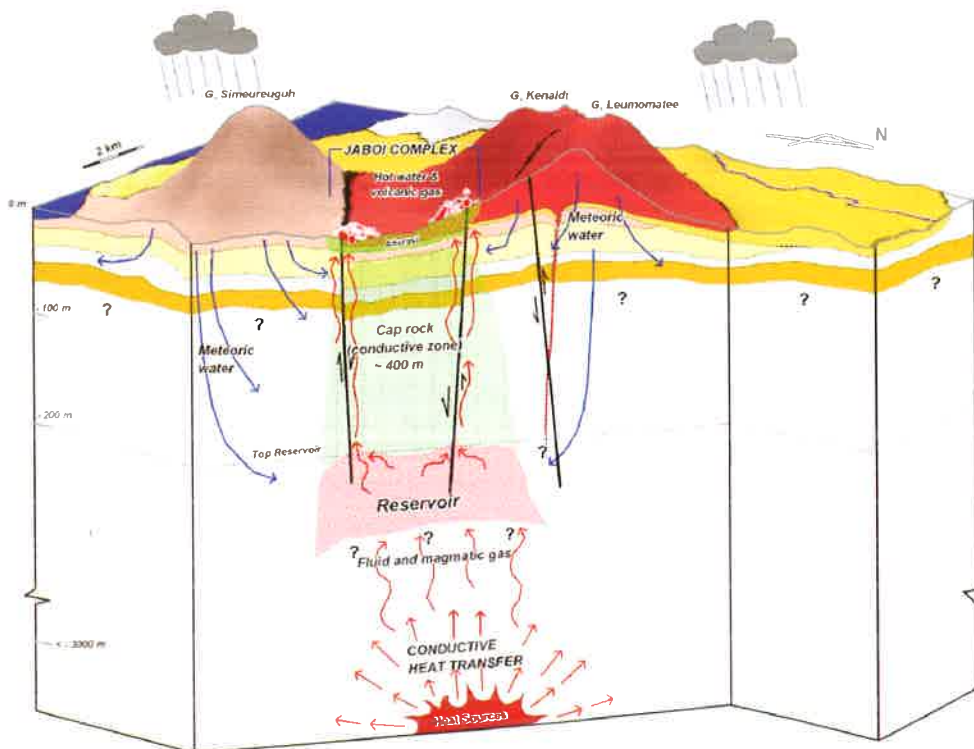
Posisi Kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia Australia, Pasifik) menjadikannya memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Subduksi antar lempeng benua dan samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma

dalam bentuk partial melting batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan proses tersebut membentuk kantong kantong magma (silicic / basaltic) yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api (*ring of fire*). Munculnya rentetan gunung api Pasifik di sebagian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya dijadikan sebagai model konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia.

Di dalam tulisan ini hanya akan dibahas tentang sistem panas bumi hidrotermal yaitu sistem panas bumi yang mempunyai satu kesatuan antara sumber panas, reservoir dan batuan penudung seperti dibahas tersebut diatas. Pada panas bumi sistem ini pada umumnya mempunyai indikasi permukaan yang biasa disebut sebagai manifestasi panas bumi seperti mata air panas, fumarole, tanah panas, batuan ubahan dan sebagainya. Sehingga suatu lapangan panas bumi akan selalu menghasilkan fluida panas bumi apakah itu uap, air panas ataupun kombinasinya. Yang jadi masalah hanyalah tentang kualitas dan kuantitas fluidanya.

Berdasarkan asosiasi terhadap tatanan geologinya, sistem panas bumi di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu : vulkanik, vulkano tektonik dan Non-vulkanik. Sistem panas bumi vulkanik adalah sistem panas

bumi yang berasosiasi dengan gunungapi api Kuarter yang umumnya terletak pada busur vulkanik Kuarter yang memanjang dari Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, sebagian Maluku dan Sulawesi Utara. Pembentukan sistem panas bumi ini biasanya tersusun oleh batuan vulkanik menengah (andesit-basaltis) hingga asam dan umumnya memiliki karakteristik reservoir sekitar 1,5 km dengan temperature reservoir tinggi (~250 - ≤ 370°C). Pada daerah vulkanik aktif biasanya memiliki umur batuan yang relatif muda dengan kondisi temperatur yang sangat tinggi dan kandungan gas magmatik besar. Ruang antar batuan (permeabilitas) relatif kecil karena faktor aktivitas tektonik yang belum terlalu dominan dalam membentuk celah-celah / rekahan yang intensif sebagai batuan reservoir. Daerah vulkanik yang tidak aktif biasanya berumur relatif lebih tua dan telah mengalami aktivitas tektonik yang cukup kuat untuk membentuk permeabilitas batuan melalui rekahan dan celah yang intensif. Pada kondisi tersebut biasanya terbentuk temperatur menengah - tinggi dengan konsentrasi gas magmatik yang lebih sedikit. Sistem vulkanik dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa tipe, misal : sistem tubuh gunung api strato jika hanya terdiri dari satu gunungapi utama, sistem kompleks gunung api jika terdiri dari beberapa gunungapi, sistem kaldera jika sudah terbentuk kaldera dan sebagainya. Gambar 2 adalah contoh tipe sistem kompleks gunung api di lingkungan pulau-pulau



Gambar 2: Model tentatif sistem panas bumi Jaboi, Aceh (Badan Geologi, 2006)
(Contoh tipe sistem panas bumi kompleks vulkanik di pulau kecil)

kecil seperti Pulau Weh, sedangkan Gambar 3 merupakan contoh tipe sistem kompleks gunung api di lingkungan pulau-pulau besar seperti di Pulau Jawa. Hal ini untuk menunjukkan bahwa tipe yang sama akan memberikan potensi yang jauh berbeda jika lingkungannya berbeda. Gambar 4 adalah salah satu contoh tipe sistem kaldera.

Sistem panas bumi vulkano tektonik, sistem yang berasosisasi antara struktur graben dan kerucut vulkanik, umumnya ditemukan di daerah Sumatera pada jalur sistem sesar sumatera (Sesar Semangko). Contoh disini ditunjukkan pada Gambar 5. Sistem panas bumi Non vulkanik adalah sistem panas bumi yang tidak berkaitan langsung dengan vulkanisme dan umumnya berada di luar jalur vulkanik Kuartar (Gambar 6). Lingkungan non-vulkanik di Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur *sundaland* (paparan sunda) karena pada daerah tersebut didominasi oleh batuan yang merupakan penyusun kerak benua

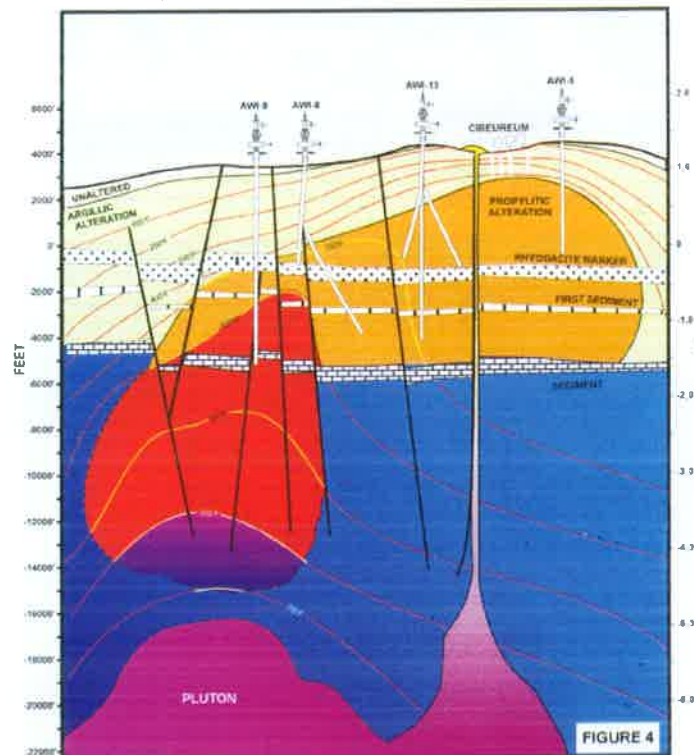
Asia seperti batuan metamorf dan sedimen. Di Indonesia bagian timur lingkungan non-vulkanik berada di daerah ligan dan kaki Sulawesi serta daerah Kepulauan Maluku hingga Irian didominasi oleh batuan granitik, metamorf dan sedimen laut.

Pengelompokan sistem ini juga akan memberikan gambaran atau estimasi awal besarnya potensi energinya. Sistem kompleks gunung api dan sistem kaldera, karena telah mengalami proses geologi yang panjang dan lama, memungkinkan potensi energinya akan jauh lebih besar dibandingkan dengan sistem tubuh gunung api tunggal. Perkiraan awal mengenai besar potensi panas bumi suatu daerah berdasarkan lingkungan geologinya dapat menjadi panduan dalam menentukan prioritas penyelidikan pendahuluan panas bumi oleh Pemerintah, dalam hal ini Badan Geologi. Tabel 2 memberikan gambaran tentang berbagai sistem panas bumi tersebut dan perkiraan awal potensi energinya.

PENYIAPAN WILAYAH KERJA (WKP)

Menurut UU No. 27/2003, dari hasil survei pendahuluan (geologi, geokimia dan geofisika) sudah dapat ditetapkan sebagai WKP dan selanjutnya untuk dilelangkan. Karena didalam pelelangan menyangkut harga uap atau listrik (PP No 59/2007), tentunya dari hasil survei pendahuluan ini masih terdapat banyak kelemahan karena hasil survei tersebut baru bisa memberikan gambaran awal sistem panas bumi. Gambaran awal sistem panas bumi ini baru menyangkut perkiraan tentang: geometri

AWIBENGGOK CROSS SECTION



Gambar 3. Model hidrotermal Lapangan Awibengkok, Komplek Gunung Salak (CGI, 2002) (Contoh tipe sistem panas bumi kompleks vulkanik di pulau besar)

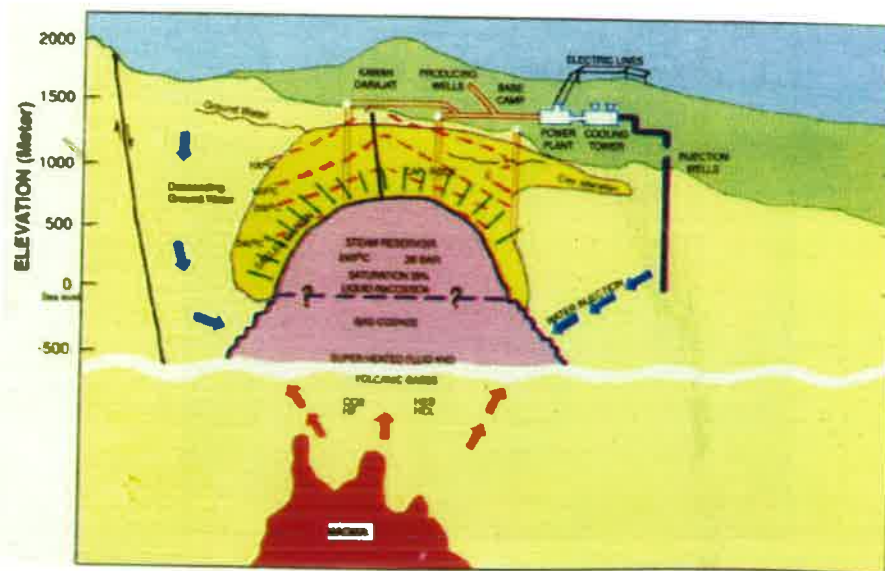
Reservoir, kedalaman, temperatur, potensi energi, yang diperoleh melalui survei permukaan. Didalam membuat perkiraan gambaran sistem panas bumi ini masih banyak parameter-parameter diasumsikan. Salah satu parameter yang sangat mempengaruhi di dalam penentuan harga listrik adalah kapasitas sumur (*output/well*), yang tentunya tidak akan didapatkan dari hasil survei pendahuluan. Sehingga tingkat ketidakpastian dalam penentuan harga listrik atau resiko penawaran harga lelang masih sangat besar.

Untuk mengurangi tingkat ketidakpastian tersebut di atas dapat dilakukan dengan menaikkan tingkat penyelidikan melalui pengeboran eksplorasi sebelum WKP ditetapkan.

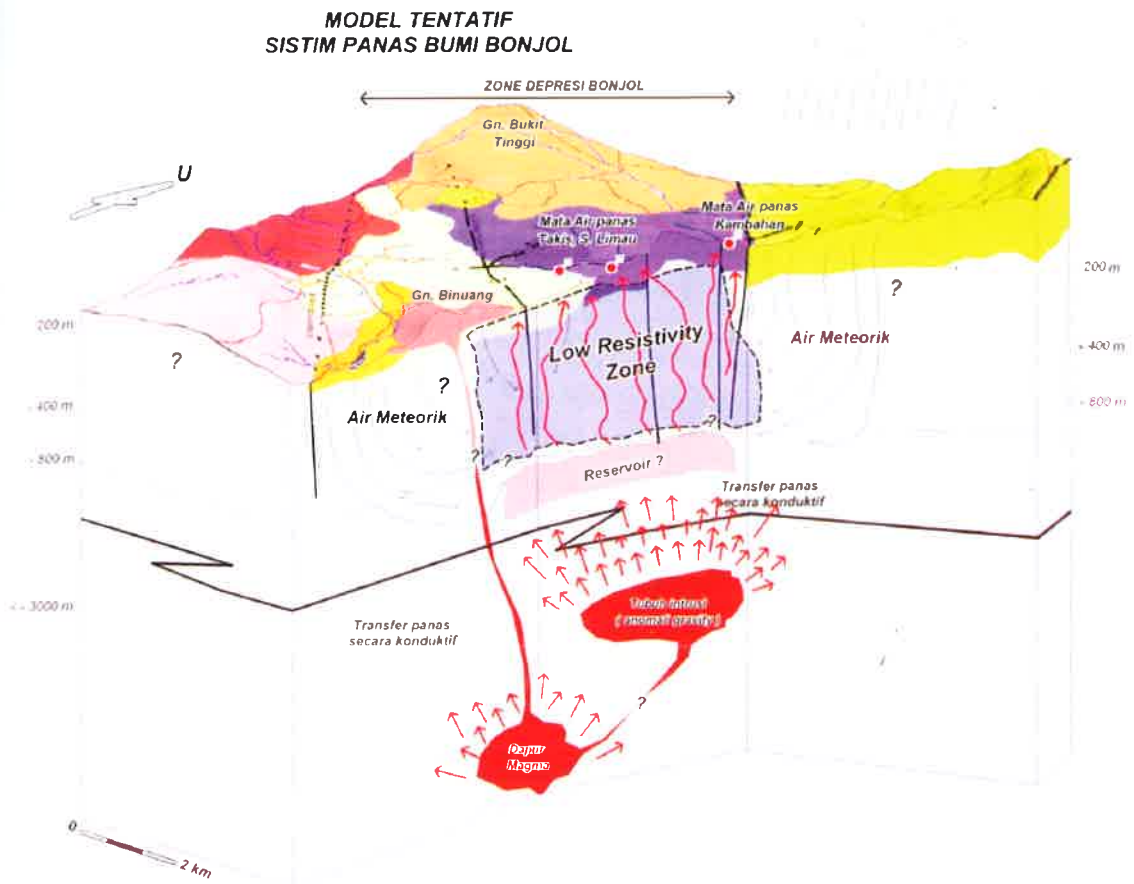
Kegiatan ini menurut undang-undang dapat dilakukan oleh pemerintah (Badan Geologi) namun ketersediaan anggaran pemerintah sangat terbatas. Sebagai salah satu solusi karena keterbatasan anggaran pemerintah, maka untuk menyiapkan WKP pemerintah dapat memberikan penugasan kebadan usaha untuk melaksanakan kegiatan eksplorasi dengan mekanisme lelang. Namun demikian, hal ini belum diatur dalam undang-undang. Pengelompokan tipe sistem panas bumi yang kami sampaikan ini, barangkali dapat digunakan sebagai pedoman awal dalam memilih lokasi-lokasi panas bumi untuk dilakukan penyelidikan selanjutnya bagi pemangku kepentingan.

Tabel 2 :
Hubungan antara tipe sistem panas bumi di Indonesia dan estimasi awal potensi energinya

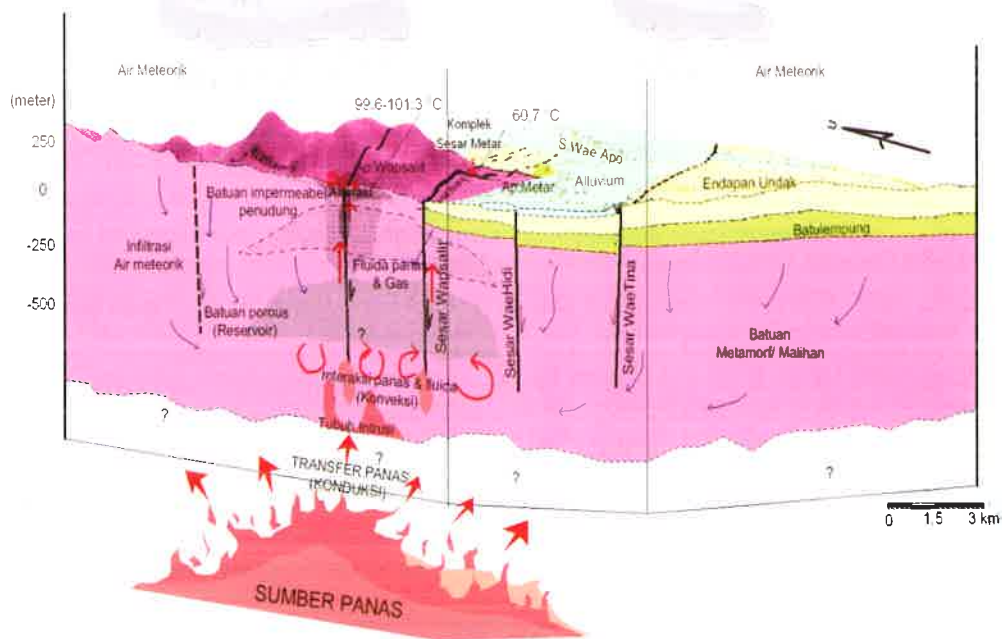
| Tipe | | Temperatur/ Entalpi | Potensi Energi | Contoh |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| Vulkanik | Gunungapi Strato- tunggal | Tinggi ~ 250°C | Sedang 50 - 100 MW | G. Lawu, G. Tampomas, G. Endut, dsb. |
| | Komplek Gunungapi | Tinggi ~ 250°C | Besar > 100 MW | G. Salak, G. Wayang Windu, G. Arjuno Welirang, dsb. |
| | Kaldera | Tinggi ~ 250°C | Besar > 100 MW | Kamojang, Darajat, Ulumbu, Sibayak, dsb. |
| Vulkano - Tektonik | (graben- kerucut vulkanik) | Sedang-tinggi 200 - 250°C | Sedang- Besar 50 - >100 MW | Sarula, Bonjol, Danau Rano, Sipahoton, dsb. |
| Non - Vulkanik | Intrusi | Rendah- sedang ~ 200°C | Kecil- sedang ~ 50 MW | Lapangan-lapangan di Sulsel, Sulteng, dan Sultra, P. Bumi |



Gambar 4. Model sistem panas bumi dan fasilitas produksi Darajat, Kabupaten Garut. (CGI,1998). (Contoh tipe sistem panas bumi kaldera)



Gambar 5: Model tentatif sistem panas bumi Bonjol, Sumatera Barat (Badan Geologi, 2007)
(Contoh tipe sistem panas bumi vulkano-tekonik : graben-kerucut vulkanik)



Gambar 6 : Model tentatif panas bumi Wapsalit, Buru (Badan Geologi, 2007)
(Contoh tipe sistem panas bumi Non Vulkanik).

KESIMPULAN

Berdasarkan tatanan geologinya, sistem panas bumi di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi beberapa tipe, misal : sistem tubuh gunung api strato, sistem kompleks gunung api, sistem kaldera, sistem graben - kerucut vulkanik, sistem panas bumi Non vulkanik.

Pengelompokan tipe sistem panas bumi ini dapat memberikan estimasi awal besarnya potensi energi yang terkandung dalam suatu daerah panas bumi, dan barangkali dapat digunakan sebagai pedoman awal dalam memilih lokasi-lokasi panas bumi untuk dilakukan penyelidikan selanjutnya bagi pemangku kepentingan

ACUAN

- Badan Beologi, 2008. Potensi Energi Panas Bumi Indonesia
- Ballard, R.D., 2000. Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, United State.
- Bodvarsson, G.S and Whitherspoon, P.A., 1989. Geothermal Reservoir Engineering Part 1, Journal of Geothermal Sci. & Tech., Volume 2(1) pp. 1-68.
- Bogie L, Lawless J.V, Rychagov S. And Belousov V. 2005. Magmatic-Related Hydrothermal Systems: Classification of the Types of Geothermal Systems and Their Ore Mineralization, World Geothermal Congress.
- Edwards, L.M. 1982, Handbook of Geothermal Energy, Gulf Publishing Company, Houston, United State.
- Henley, RW and Ellis, AJ, 1983. Geothermal systems, ancient and modern. Earth Science Reviews 19: 1-50
- Hochstein and Browne, 2000. Surface Manifestations of Geothermal System with Volcanic Heat Sources, in Encyclopedia of Volcanoes.
- Lawless, J.V., White, P.J., and Bogie, I., 1995. Tectonic features of Sumatra and New Zealand in relation to active and fossil hidrothermal systems: a comparison. Proceedings International Congress on Earth Science, Exploration and mining around Pacific Rim. *AIMM.*, p. 311-1316.
- Peraturan Pemerintah No. 59 tahun 2007 Tentang Kegiatan Usaha Panas Bumi
- Standar Nasional SNI 18-6009-1999. Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia, Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional SNI 13-6171-1999 Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi, Badan Standarisasi Nasional.
- Tim BATM, 2003 , Kajian Penentuan Tarif Royalti Pengusahaan Sumberdaya Panas Bumi, Direktorat Pengusahaan Mineral dan Batubara, ESDM.
- Tim Survei Terpadu, 2007. Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Wapsalit, Pulau Buru, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi (Tidak dipublikasikan)
- Tim Survei Terpadu, 2007. Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Bonjol, Sumatera Barat, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi (Tidak dipublikasikan)
- Tim Survei Terpadu, 2005. Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Jaboi, Aceh, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi (Tidak dipublikasikan)
- Tim Pemboran Landaian Suhu, 2006. Pemboran Sumur Landaian Suhu Jaboi Daerah Panas Bumi Jaboi, Aceh, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi (Tidak dipublikasikan)
- Undang-Undang No. 27 Tahun 2003 Tentang Panas Bumi
- Wohletz K. and Heiken G., 1992, Volcanology and Geothermal Energy, University of California Press Oxford, Los Angeles, England..