

Pendahuluan

Secara sederhana, energi panasbumi adalah energi panas yang dipindahkan dari bagian dalam bumi. Energi tersebut dapat diambil dalam bentuk uap atau air panas. Sumber panasbumi didefinisikan sebagai suatu reservoir di mana energi panasbumi dapat diekstraksi secara ekonomis dan dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik atau untuk keperluan industri, pertanian, atau keperluan-keperluan domestik yang sesuai (Armstead, 1978, Gupta, 1980). Tulisan ini mengemukakan gambaran umum tentang energi panasbumi, meliputi asal-usulnya, macam-macam sistem panasbumi, sifat keterbaruannya, serta sekilas mengenai keterdapatannya di Indonesia.

Asal-usul energi panasbumi

Menurut Hamblin (1992) bumi pada awal terbentuknya diyakini berupa material lelehan (*molten material*). Dengan mendinginnya lelehan tersebut, yaitu dengan hilangnya panas di bagian permukaan, terbentuklah kulit luar (kerak) yang padat. Di bawah kerak tersebut terdapat mantel bumi. Bagian luar mantel disebut astenosfer, tersusun atas material lelehan panas bersifat plastis yang disebut magma. Di bawah astenosfer terdapat mesosfer yang tersusun atas batuan yang lebih kuat dan padat dibandingkan astenosfer. Bagian tengah bumi adalah inti bumi, yang tersusun atas inti luar dan inti dalam. Inti dalam bersifat padat, dan inti luar bersifat likuid. Panas awal pada saat pembentukan bumi serta panas akibat peluruhan unsur-unsur radioaktif merupakan sumber panas tubuh bumi dan pengontrol aliran panas di permukaan bumi.

Proses-proses pada bagian dalam bumi dapat menyebabkan lempeng-lempeng kerak bumi bergerak saling menjauhi, saling bertumbukan, maupun saling menggeser satu terhadap yang lain. Daerah-daerah batas antar lempeng yang saling menjauhi dan yang saling bertumbukan umumnya berasosiasi dengan aktivitas magmatisme. Sumber energi panasbumi pada umumnya terkonsentrasi pada daerah-daerah sepanjang batas antar lempeng yang aktif.

Gambar 1 menunjukkan model sederhana sebuah sistem

ENERGI PANASBUMI

(SEBUAH GAMBARAN UMUM)

Oleh: Pri Utami

panasbumi yang bersifat tipikal, yakni yang berasosiasi dengan magmatisme. Magma yang merobos kerak bumi mendingin menjadi tubuh batuan beku intrusif. Panas dari batuan beku intrusif tersebut dipindahkan ke batuan-batuan di sekitarnya. Pada kondisi geologi yang sesuai, airtanah yang terkandung pada batuan reservoir yang bersifat porus dan permeabel terpanasi oleh tubuh batuan intrusif tersebut.

Batuan reservoir biasanya tertutup oleh batuan penudung yang bersifat impermeabel yang berfungsi sebagai perangkap fluida reservoir. Retak-retak pada batuan penudung menjadi saluran keluar bagi uap atau air panas, sehingga muncul manifestasi energi panasbumi seperti fumarol dan mataair panas. Sistem panasbumi semacam ini banyak dijumpai di Indonesia, Filipina, Jepang, New Zealand, Afrika, dan Amerika.

Fluida merupakan komponen yang penting dalam sistem panasbumi. Ada 4 macam fluida panasbumi menurut asal-usulnya (Nicholson, 1993), yaitu (1) airtanah yang berasal dari air hujan (*meteoric water*), (2) fluida yang berasal dari magma itu sendiri, yang disebut sebagai *magmatic fluid*, (3) air "fosil" atau air yang terperangkap pada saat pengendapan batuan-batuan sedimen, dan (4) air metamorfik atau air yang dikeluarkan pada proses metamorfisme batuan. *Meteoric water* merupakan sumber fluida yang utama untuk produksi energi panasbumi.

Macam-macam sistem panasbumi

Menurut jenis sumber panas.

Berdasarkan jenis sumber panasnya sistem panasbumi dapat dikelompokkan kedalam: (1) Sistem yang berasosiasi dengan intrusi batuan beku, dan (2) Sistem yang tidak berasosiasi dengan intrusi batuan beku. Pada sistem yang berasosiasi dengan intrusi batuan beku, perlu diingat bahwa hanya tubuh magma yang terdapat pada kedalaman yang besar, serta mengalami proses pendinginan secara konduktif dengan batuan di sekitarnya yang dapat menjadi sumber panas ideal bagi suatu sistem panasbumi.

Bila magma terlalu cepat mencapai permukaan bumi, ia akan kehilangan panasnya tanpa dapat membentuk sumber

panasbumi (Gupta, 1980). Sistem panasbumi di daerah gunungapi aktif hingga saat ini belum dieksploitasi.

Pemboran eksplorasi dengan kedalaman besar di Pinatubo dan Biliran (Filipina), Tatun (Taiwan), dan St. Lucia (Karibia) serta penelitian geokimia di gunungapi Nevado del Ruiz (Kolombia) menunjukkan bahwa fluida reservoir pada gunungapi-gunung api aktif tersebut mengandung gas-gas vulkanik yang sangat reaktif seperti HF dan HCl (Hochstein, 1992).

Bila tidak ada airtanah yang bersirkulasi di dalam reservoir yang porus dan permeabel seperti diuraikan di depan, yang ada hanyalah batuan kering yang panas (*hot dry rock*). Untuk mengekstraksi energi panas dari padanya, air (ataupun fluida lain, tetapi air adalah yang paling memungkinkan) harus dipompakan ke dalam sistem tersebut dan dipompa balik ke permukaan.

Adalah sangat penting dalam mekanisme transportasi panas bahwa harus ditemukan cara untuk membuat batuan yang semula bersifat impermeabel menjadi berstruktur permeabel dengan permukaan transfer panas yang luas, dan agar struktur permeabilitas yang dihasilkan juga memungkinkan fluida dipompakan balik ke permukaan (Gupta, 1980, Armstead, 1983).

Penelitian tentang cara-cara ekstraksi energi panas dari sumber *hot dry rock* tengah dilakukan di Amerika Serikat, Jepang, Inggris, Perancis, dan Jerman (Carella, dkk. 1995).

Sumber panas dari sistem yang tidak ada sangkut pautnya dengan intrusi batuan beku biasanya berasosiasi dengan gradien geotermal dan gradien tekanan yang besar atau berasosiasi dengan daerah aliran panas yang besar. Sumber ini kurang umum dijumpai. Sebagai contoh antara lain Hungaria Basin di Hongaria, di mana gradien geotermal mencapai 50-70 oC/km (Gupta, 1980), dan di Basin and Range Province, Amerika Serikat (Hochstein, 1992).

Menurut jenis fluida reservoir

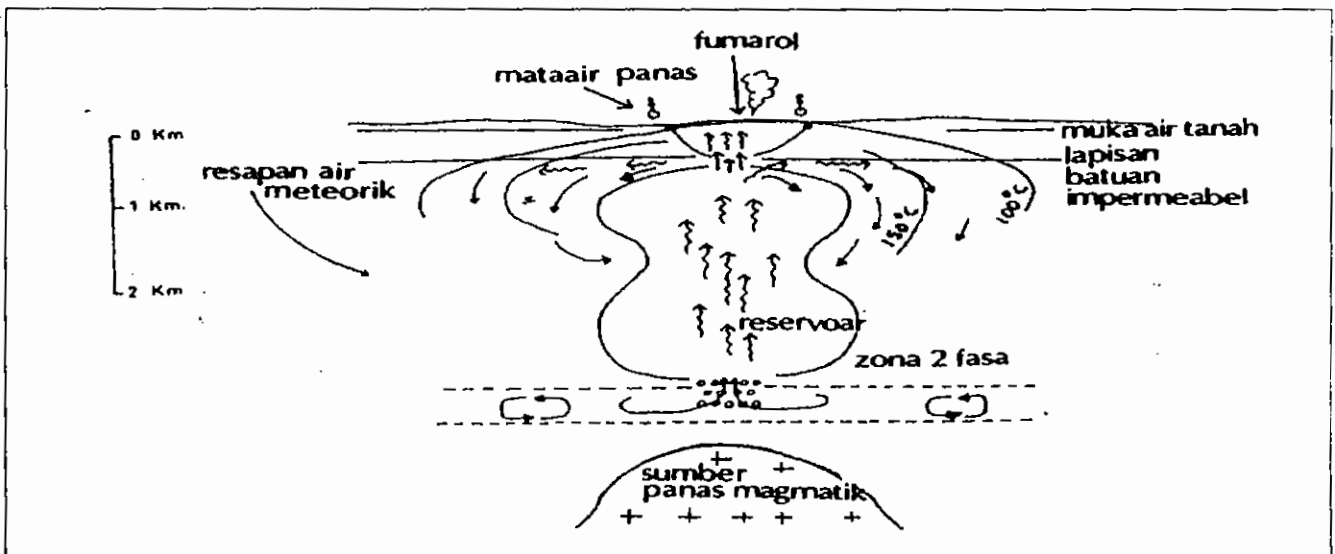
Berdasarkan fluida yang terkandung di dalam reservoir, sistem panasbumi dikelompokkan ke dalam (1) sistem dominan uap, (2) sistem air panas, dan (3) sistem dua-fasa.

(1) Sistem dominan uap.

Dalam sistem ini air yang terpanasi oleh batuan panas menguap, sehingga mencapai permukaan dalam keadaan relatif kering pada suhu sekitar 200 °C dan tekanan sekitar 8 bar. Uap semacam ini cocok untuk menggerakkan turbin pembangkit listrik. Sistem panasbumi dominan uap sangat jarang dijumpai di dunia, dan hingga saat ini ada 5 lapangan besar yang telah dikembangkan untuk pembangkit listrik, yaitu lapangan-lapangan Larderello (Italia), The Geysir (Kalifornia), Matsukawa (Jepang), Kamojang, dan Darajat (Indonesia).

(2) Sistem air panas.

Pada sistem ini air panas bersirkulasi dalam reservoir. Bila terperangkap pada sumur pemboran, air akan mengalir secara alamiah atau harus dipompa. Penurunan tekanan, yang besarnya sekitar 8 bar atau kurang, menyebabkan air panas tersebut sebagian berubah menjadi campuran dua-fasa yang dominan air. Campuran tersebut mengandung padatan terlarut seperti silika, karbonat dan sulfat. Padatan terlarut ini dalam beberapa hal dapat mempengaruhi produksi energi sebab padatan tersebut akan mengendap dan membentuk kerak atau sisik (*scale*) di dalam pipa-pipa dan pada permukaan-permukaan tempat terjadinya proses pertukaran panas, sehingga mengurangi aliran fluida dan perpindahan panas. Sistem dominan air lebih banyak dijumpai dibanding sistem dominan uap. Sebagai contoh antara lain lapangan Gunung Salak (Indonesia), Wairakei-Tauhara dan Waiotapu (New Zealand), Palinpinon (Filipina).



Gambar 1. Model konseptual sistem panasbumi yang berasosiasi dengan sumber panas magmatik. Garis-garis lengkung dengan anak panah menunjukkan pergerakan fluida. Garis-garis lengkung dengan angka-angka menunjukkan daerah dengan kesamaan suhu.

Onikobe (Jepang), Coso, Long Valey (Amerika Serikat).

(3) Sistem dua-fasa.

Pada sistem ini, fluida di dalam reservoir terdiri atas dua fasa, yaitu uap dan air dengan proporsi yang bervariasi. Contoh lapangan bersistem dua-fasa adalah Tongonan (Filipina), Dieng dan Lahendong (Indonesia), Broadlands-Ohaaki dan Kawerau (New Zealand), Hatchobaru dan Otake (Jepang), Aluto (Ethiopia), Olkaria (Kenya), dan Krafla (Iceland).

Energi Panasbumi Sebagai Energi Alternatif Yang Terbarukan

Panas diambil dari reservoir panasbumi dengan cara memproduksi fluida reservoir. Di permukaan, panas tersebut dapat dipakai untuk berbagai keperluan, tergantung pada entalpi (kandungan panas per satuan massa) dan tekanan fluida. Fluida bertemperatur tinggi ($>225\text{ }^{\circ}\text{C}$) umumnya dipakai untuk membangkitkan tenaga listrik. Fluida dengan temperatur sedang ($125\text{-}225\text{ }^{\circ}\text{C}$) dapat menghasilkan *bulk heat* untuk *processing* dalam industri. Bila temperatur $> 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, dapat diterapkan pembangkitan tenaga listrik dengan memakai *flash plant*.

Tenaga listrik juga dapat dihasilkan dari air panas dengan suhu $110\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan jalan mengekstraksi panas melalui permukaan *heat exchanger* dan memakai fluida sekunder, seperti yang telah diterapkan pada pembangkit listrik siklus biner di New Zealand. Air panas dengan suhu $<125\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dimanfaatkan secara langsung, untuk berbagai keperluan kecuali pembangkitan tenaga listrik.

Contoh pemakaian fluida panasbumi secara langsung antara lain untuk pemanasan kolam renang dan tambak udang dengan sistem *heat exchange* (New Zealand), pemanas ruangan

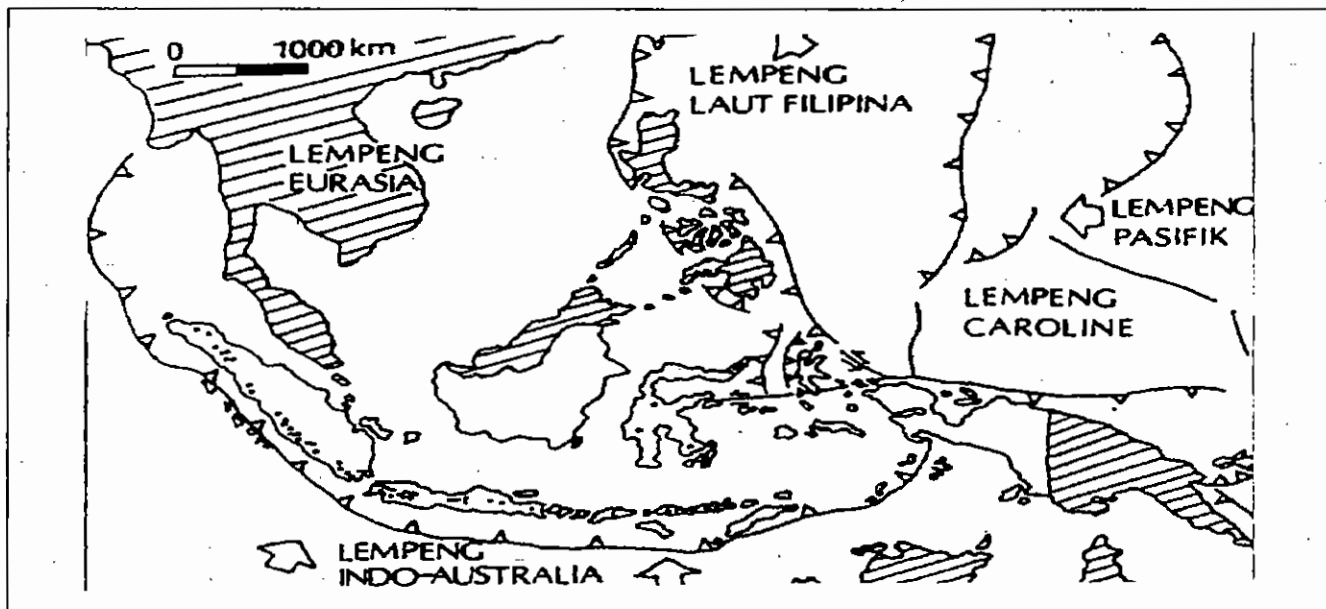
(Iceland, Jepang, dan Amerika), untuk pemanas dalam industri kertas (New Zealand), serta pemanas dalam kebun budidaya tanaman pertanian (Iceland, New Zealand, Cina dan Amerika Serikat).

Secara global, dari segi sumber panas, *World Energy Conference Organization* dalam publikasinya yang berjudul *World Energy Resources: 1985-2020* menyebutkan bahwa potensi energi panas dunia sangat melimpah; di antaranya yang dapat dikonversi menjadi tenaga listrik dengan kemampuan teknologi yang ada pada saat ini adalah 3.6×10^{21} joule, atau ekuivalen dengan 1.14×10^8 MWe, atau kurang lebih 120 kali produksi listrik dunia saat ini (Armstead, 1983).

Secara lokal, suatu sistem panasbumi pada umumnya berupa siklus, di mana air meteorik (air hujan) dalam perjalanannya mengikuti siklus hidrologi masuk ke dalam reservoir, terpanasi oleh sumber panas, dan diproduksi. Air meteorik yang mengalir secara alamiah ke sekitar batuan sumber panas akan menggantikan fluida yang telah diproduksi dari reservoir (Wright, 1995). Di samping itu, air yang telah diekstraksi panasnya dapat diinjeksikan kembali ke dalam reservoir, seperti yang telah dilakukan di berbagai lapangan panasbumi yang telah beroperasi. Oleh karenanya energi panasbumi dapat dikatakan terbarukan (*renewable*).

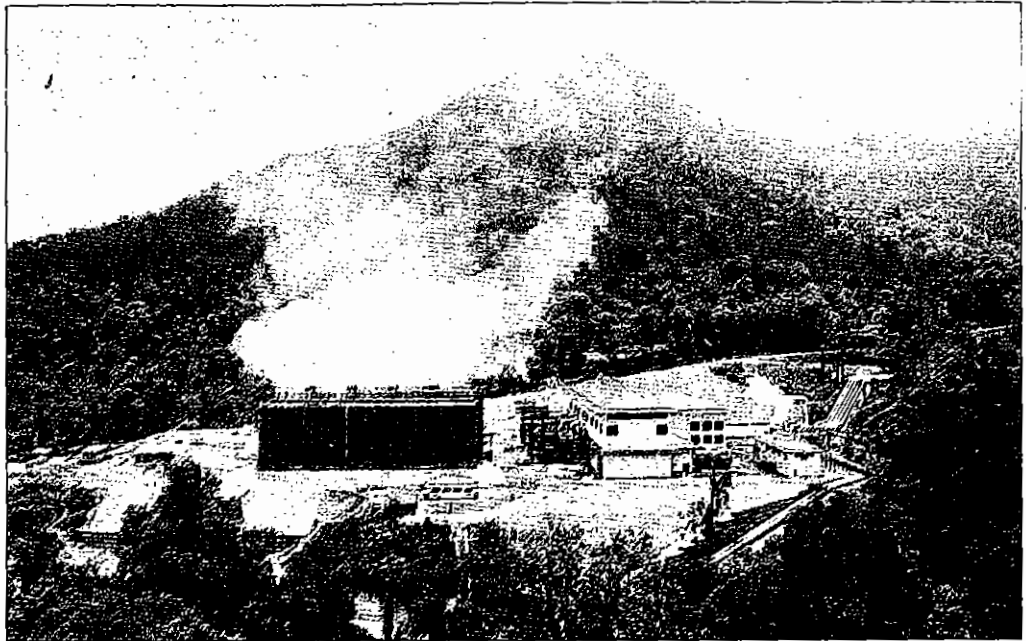
Namun demikian bila eksploitasi energi dari suatu reservoir panasbumi melebihi total input panas dan fluida ke dalam reservoir, atau dengan kata lain laju ekstraksi energi lebih besar dari laju pemulihan panas dan fluida, maka reservoir panasbumi tersebut akan mengalami "kematian" (McLeod, 1995).

Energi panasbumi sebenarnya tidak dapat dikatakan benar-benar "bersih", efek polutif dapat timbul dari sisa fluida yang bersifat asam dan mengandung padatan terlarut (misalnya



Gambar 2. Elemen-elemen tektonik Indonesia masa kini (digambar ulang dari Hall & Blundell, 1996). Kurva-kurva bergerigi menunjukkan zona-zona tumbukan antar lempeng. Anak-anak panah menunjukkan arah pergerakan lempeng. Lokasi potensi panasbumi (diambil dari Rachman dkk, 1995) ditunjukkan dengan titik-titik hitam.

dari separator air-uap), serta dari *non-condensable* gas yang dilepaskan ke atmosfer dari kondenser dan menara pendingin pada pembangkit listrik tenaga panasbumi; akan tetapi efek tersebut lebih kecil dan lebih mudah ditangani daripada efek yang ditimbulkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (minyak dan gas bumi, serta batubara). Salah satu cara meminimalkan efek polutif produksi fluida panasbumi adalah dengan menginjeksikan kembali fluida yang telah diekstraksi panasnya ke dalam reservoir.



Energi panas bumi sebagai energi alternatif (dok.)

Melihat kelebihan-kelebihan energi panasbumi yang antara lain relatif "bersih" (ramah terhadap lingkungan), dan dalam batas-batas tertentu bersifat terbarukan, energi panasbumi merupakan energi alternatif yang menarik.

Potensi Panasbumi Di Indonesia

Indonesia yang terletak pada pertemuan 3 lempeng kerak bumi yang besar (Hall & Blundell, 1996), yaitu lempeng-lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (**Gambar 2**) kaya akan sumber energi panasbumi.

Potensi panasbumi di Indonesia telah diinventarisasi oleh Direktorat Vulkanologi dan PERTAMINA. Hasil survei menunjukkan adanya 217 daerah prospek panas-bumi, 70 di antaranya masuk kategori entalpi tinggi dengan perkiraan suhu reservoir di atas 200 °C; dari 70 prospek tersebut 8 berupa daerah yang

telah di bor dan dikembangkan, dan 24 daerah telah siap untuk pemboran eksplorasi (Rachman, dkk. 1995).

Tabel 1 menyajikan daerah-daerah prospek panasbumi berentalpi tinggi di Indonesia beserta jumlah serta besarnya cadangan.

Penelitian ilmiah yang difokuskan pada 70 daerah prospek menunjukkan adanya cadangan potensi sebesar 9,000 MW atau sekitar 45% dari total cadangan yang diperkirakan yaitu 19,000 MW. Dari kapasitas tersebut pada tahun 1995 baru 309.5 MW yang terpasang, diproduksi dari 4 lapangan di Jawa serta dari sebuah lapangan di Sulawesi Utara (Rachman, dkk., 1995).

Penutup

Mengingat sifat keterbaruannya dan keramahannya terhadap lingkungan dibandingkan dengan energi fosil, serta ke-

anekaragaman kemungkinan pemanfaatannya, energi panasbumi merupakan energi alternatif. Masa depan energi panasbumi sangat tergantung kepada kemajuan teknologi, baik di bidang produksi dan pemanfaatan, serta nilai ekonomisnya dibandingkan dengan sumber energi yang lain.*** *Ir. Pri Utami, M.Sc.* adalah Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Geologi, dan Asisten Peneliti pada Pusat Studi Panas Bumi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. ■

Tabel 1:
Daerah prospek panasbumi berentalpi tinggi di Indonesia beserta potensinya*)

	Jumlah prospek	Potensi (MW)
SUMATRA	31	9,562
JAWA-BALI	22	5,681
SULAWESI	6	1,565
DAERAH LAIN	11	2,850
TOTAL	70	19,658

*) diambil dari Rachman, dkk. 1995