

## **POLA SISTIM PANAS DAN JENIS GEOTHERMAL DALAM ESTIMASI CADANGAN DAERAH KAMOJANG**

**Nur Suhartono**

Mahasiswa Magister Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta

### **ABSTRACT**

*Under the crust there is a thick layer called the sheath of the earth (mantle) which is estimated to have a thickness of about 2900 km. The top part of the sheath is*

*also a rock hard earth. The deepest part of the earth is the earth's core (core) having a thickness of about 3450 kilometers. This layer has a temperature and pressure are very high that this layer of hot melt is expected to have density of about 10.2 - 11.5 gr/cm<sup>3</sup>. It is estimated that the temperature at the center of the earth can reach about 57 270 C.*

*To estimate the potential of geothermal energy, required physical parameters are then used in the existing formulas. These parameters are divided into two, namely fixed and variable parameters. Fixed parameters can be determined by assumptions based on statistical data of investigations in various fields / geothermal area, while the variable is determined based on direct measurements or the data processing field. There are two methods commonly in estimating geothermal potential, namely: the comparison and the volumetric method. Comparison method is a special method used to estimate the potential for speculative resource with a simple statistical way, while the volumetric method is the estimation of geothermal energy potential in the class of hypotheses resources to proved reserves. In the volumetric method used two approaches, namely: a model approach by assuming the parameters reservoir uniform (lumped parameter model) and model of approach with regard reservoir parameters of heterogeneous (distributed parameter model) used in reservoir simulation method. Reservoir simulation methods are used to help estimate the potential of proven reserves at existing geothermal wells have been producing.*

### **ABSTRAK**

Di bawah kulit bumi terdapat suatu lapisan tebal yang disebut selubung bumi (mantel) yang diperkirakan mempunyai ketebalan sekitar 2900 km. Bagian teratas dari selubung bumi juga merupakan batuan keras.

Bagian terdalam dari bumi adalah inti bumi (core) yang mempunyai ketebalan sekitar 3450 kilometer. Lapisan ini mempunyai temperatur dan tekanan yang sangat tinggi sehingga lapisan ini berupa lelehan yang sangat panas yang diperkirakan mempunyai density sekitar 10.2 - 11.5 gr/cm<sup>3</sup>. Diperkirakan temperatur pada pusat bumi dapat mencapai sekitar 57270 C.

Untuk melakukan estimasi potensi energi panas bumi, dibutuhkan parameter-parameter fisis yang selanjutnya digunakan dalam rumus-rumus yang ada. Parameter-parameter ini dibagi menjadi dua yaitu parameter tetap dan variabel. Parameter tetap dapat ditentukan dengan asumsi berdasarkan statistik data hasil penyelidikan di berbagai lapangan/daerah panas bumi, sedangkan variable ditentukan berdasarkan pengukuran langsung dan atau hasil pengolahan data

lapangan. Ada 2 metode yang umum dalam mengetimasi potensi geothermal yaitu: metode perbandingan dan volumetrik. Metode perbandingan merupakan metode yang khusus digunakan untuk estimasi potensi sumber daya spekulatif dengan cara statistik sederhana, sedangkan metode volumetrik adalah estimasi potensi energi panas bumi pada kelas sumber daya hipotesis sampai dengan cadangan terbukti. Dalam metode volumetric digunakan 2 pendekatan, yaitu : model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoarnya seragam (lumped parameter model) dan model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoarnya heterogen (distributed parameter model) yang digunakan dalam metoda simulasi reservoir. Metode simulasi reservoir digunakan untuk membantu estimasi potensi cadangan terbukti pada panas bumi yang sudah mempunyai sumur telah berproduksi.

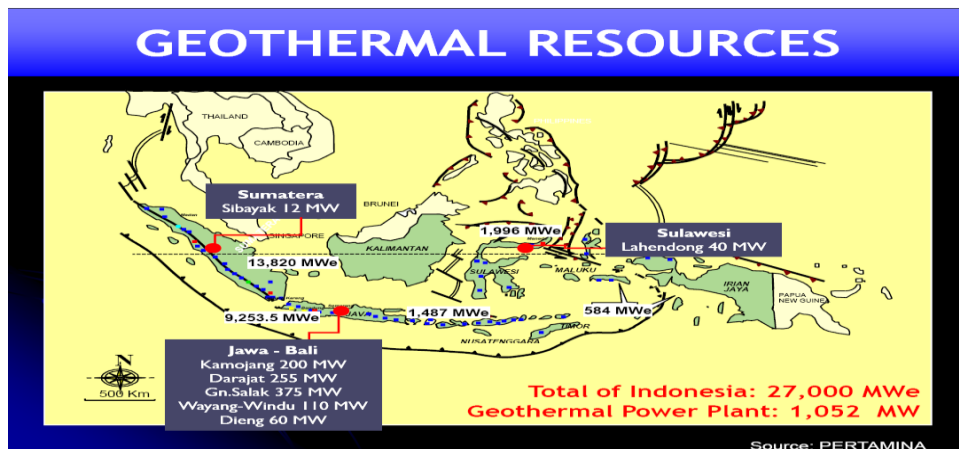
## **PENDAHULUAN**

Indonesia dilalui sabuk vulkanik yang membentang dari Pulau Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku dan Sulawesi. Di dalam sabuk vulkanik itu terdapat sekitar 117 pusat gunung berapi aktif yang membentuk jalur gunung api sepanjang kurang lebih 7.000 km. Indonesia memiliki 40 persen potensi panas bumi di dunia karena Indonesia memiliki 265 lokasi panas bumi dengan total potensi energi mencapai 28.100 MWe. Tahun 2009, beberapa lokasi panas bumi baru ditemukan seperti Kebar di Manokwari, Papua Barat, Tehoru, Banda Baru, Pohon Batu, Pohon Batu dan Kelapa Dua di Maluku, Lili, mapili dan Alu di Mandar, Sulawesi Barat. Ironisnya, baru 4 persen saja (1.189 KWe) dari potensi panas bumi tersebut yang telah dimanfaatkan. Bandingkan dengan Filipina yang telah memanfaatkan 44,5 % potensi energi panas buminya. Minimnya pemanfaatan energi panas bumi ini tergambar dari komposisi sumber listrik di Tanah Air. Listrik yang digunakan di Indonesia sebagian besar memanfaatkan energi konvensional. Baru 3 % saja dari tenaga listrik yang ada di Indonesia yang memanfaatkan energi panas bumi. Sementara, BBM 20,6 %, batubara 32,7 %, dan gas alam 32,7 %.

Sebagian potensi panas bumi yang telah dimanfaatkan di provinsi Jawa Barat, diantaranya lapangan panas bumi Darajat, Wayang Windu, Salak, dan Kamojang. Lapangan panas bumi Kamojang, Jawa Barat, yang dikelola Pertamina sejak 1983 merupakan yang terbaik di dunia karena uap yang dikeluarkan sangat kering (very dry) dan kelembabannya sangat rendah. Pertamina Geothermal Energy (PGE), pun terus akan mengembangkan potensi panas bumi di Kamojang dari kapasitas saat ini yang sebesar 200 MW menjadi 1.000 MW di masa datang. Kondisi uap yang sangat kering dan kelembabannya sangat rendah tersebut memungkinkan uap untuk langsung masuk ke turbin dan tidak perlu chemical treatment demi mendapatkan kualitas uap yang bagus. Terdiri atas empat unit yakni PLTP Unit 1 dengan produksi 30 MW, unit 2 dan 3 masing-masing kapasitas 55 MW, yang dimiliki dan dioperasikan oleh PLN. Sebanyak 200 MW yang dipasok dari PLTP Kamojang itu 140 MW di antaranya berupa uap yang dipasok ke Indonesia Power (anak perusahaan PT PLN) dan 60 MW berupa listrik yang langsung dipasok kepada PLN. Tapi yang masih menjadi kendala adalah jangkauan jaringan dari PLN untuk mencapai titik-titik PLTP yang letaknya tidak bisa terlalu jauh dari sumber panas bumi.

Selain potensi uap yang dikeluarkan oleh lapangan Geothermal Kamojang sangat baik dan ditunjang dengan jumlah cadangan yang melimpah (Gambar1). Ada beberapa hal yang melatarbelakangi pemanfaatan lapangan bumi Kamojang dan

lapangan panas bumi lainnya sebagai PLTP, yaitu: Pemanfaatan Geothermal dapat mengurangi ketergantungan terhadap minyak, Geothermal merupakan energi yang bersih dan ramah lingkungan, Geothermal bersifat berkelanjutan (sustainable), pemanfaatan Geothermal relatif aman, geothermal dapat juga dimanfaatkan di daerah pedesaan terpencil dengan menggunakan unit pembangkit yang kecil, pemanfaatan lahan untuk pengembangan geothermal lebih kecil jika dibandingkan dengan PLTU dan unit pembangkit lainnya, geothermal dapat digunakan untuk pemenuhan beban dasar listrik secara terus-menerus.

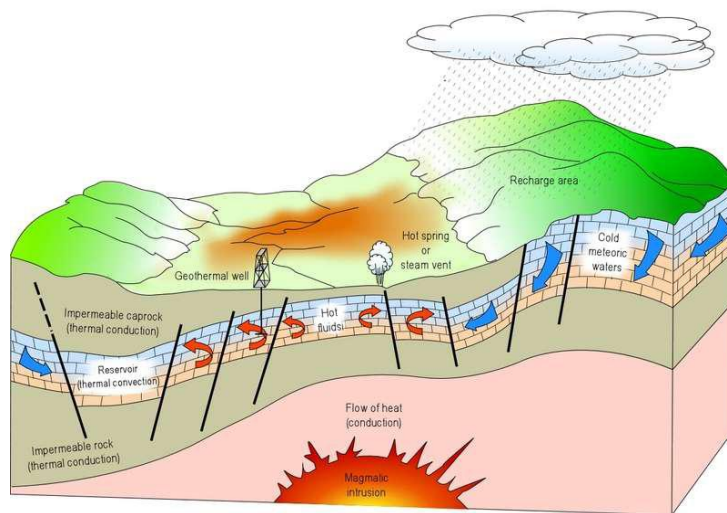


Gambar 1. Cadangan Geothermal di Indonesia

## PENGERTIAN GEOTHERMAL

Menurut bahasa geothermal terdiri dari 2 kata, yaitu geo dan thermal. Geo adalah bumi sedangkan thermal adalah panas, jadi jika digabungkan berarti panas bumi. Secara istilah, geothermal dapat diartikan sebagai energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung didalamnya yang dapat ditemukan di kawasan jalur vulkanis. Tapi tidak semua sumber panas dapat kita katakan sebagai geothermal (Gambar 2.) Setidaknya ada 6 syarat sumber panas bisa dikategorikan kedalam energi geothermal, diantaranya :

1. Adanya batuan panas bumi berupa magma.
2. Adanya persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma agar dapat terbentuk uap air panas.
3. Adanya batuan reservoir yang mampu menyimpan uap dan air panas.
4. Adanya batuan keras yang menahan hilangnya uap dan air panas (cap rock).

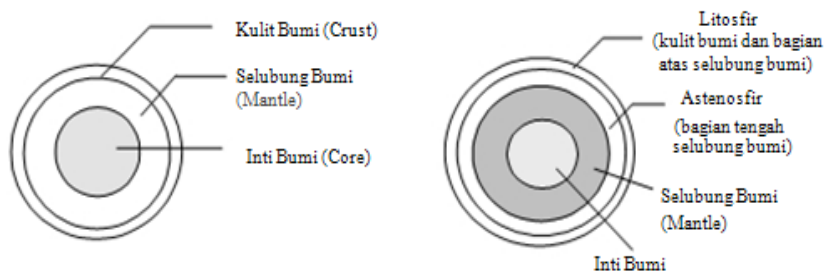


Gambar 2. Penampang Geothermal

5. Adanya gejala-gejala tektonik, dimana dapat terbentuk rekahan-rekahan di kulit bumi yang memberikan jalan kepada uap dan air panas bergerak ke permukaan bumi.
6. Panasnya harus mencapai suhu tertentu minimum sekitar  $180^{\circ} - 250^{\circ}$  celcius.

## PROSES TERJADINYA GEOTHERMAL

Secara garis besar bumi ini terdiri dari tiga lapisan utama (Gambar 2), yaitu kulit bumi (crust), selubung bumi (mantle) dan inti bumi (core). Kulit bumi adalah bagian terluar dari bumi. Ketebalan dari kulit bumi bervariasi, tetapi umumnya kulit bumi di bawah suatu daratan (continent) lebih tebal dari yang terdapat di bawah suatu lautan. Di bawah suatu daratan ketebalan kulit bumi umumnya sekitar 35 kilometer sedangkan di bawah lautan hanya sekitar 5 kilometer. Batuan yang terdapat pada lapisan ini adalah batuan keras yang mempunyai density sekitar  $2.7 - 3 \text{ gr/cm}^3$ .



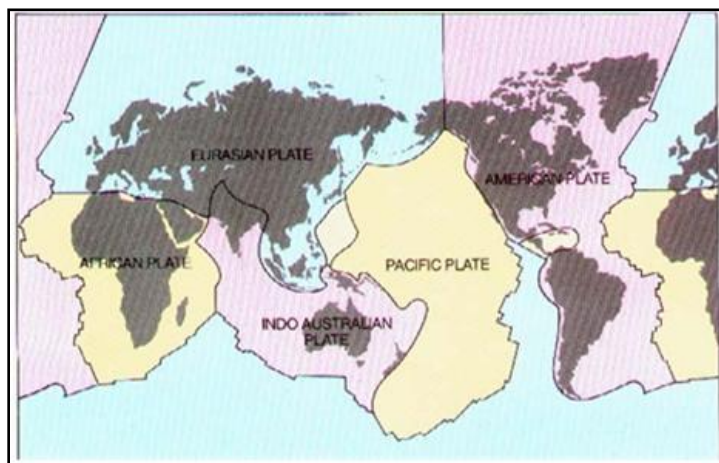
Gambar 3. Susunan Lapisan Bumi

Di bawah kulit bumi terdapat suatu lapisan tebal yang disebut selubung bumi (mantel) yang diperkirakan mempunyai ketebalan sekitar 2900 km. Bagian teratas dari selubung bumi juga merupakan batuan keras.

Bagian terdalam dari bumi adalah inti bumi (core) yang mempunyai ketebalan sekitar 3450 kilometer. Lapisan ini mempunyai temperatur dan tekanan yang sangat tinggi sehingga lapisan ini berupa lelehan yang sangat panas yang diperkirakan mempunyai density sekitar 10.2 - 11.5 gr/cm<sup>3</sup>. Diperkirakan temperatur pada pusat bumi dapat mencapai sekitar 57270 C.

Kulit bumi dan bagian teratas dari selubung bumi kemudian dinamakan litosfir (80 - 200 km). Bagian selubung bumi yang terletak tepat di bawah litosfir merupakan batuan lunak tapi pekat dan jauh lebih panas. Bagian dari selubung bumi ini kemudian dinamakan astenosfer (200 - 300 km). Di bawah lapisan ini, yaitu bagian bawah dari selubung bumi terdiri dari material-material cair, pekat dan panas, dengan density sekitar 3.3 - 5.7 gr/cm<sup>3</sup>.

Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa litosfer sebenarnya bukan merupakan permukaan yang utuh, tetapi terdiri dari sejumlah lempeng-lempeng tipis dan kaku (Gambar 4).

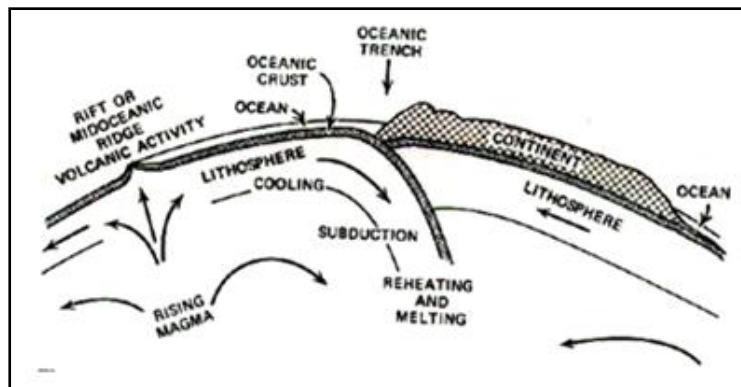


Gambar 4. Lempeng-lempeng Tektonik

Lempeng-lempeng tersebut merupakan bentangan batuan setebal 64 – 145 km yang mengapung di atas astenosfer. Lempeng-lempeng ini bergerak secara perlahan-lahan dan menerus. Di beberapa tempat lempeng-lempeng bergerak memisah sementara di beberapa tempat lainnya lempeng-lempeng saling mendorong dan salah satu diantaranya akan menujam di bawah lempeng lainnya (lihat Gambar 5). Karena panas di dalam astenosfere dan panas akibat gesekan, ujung dari lempengan tersebut hancur meleleh dan mempunyai temperatur tinggi (proses magmatisasi).

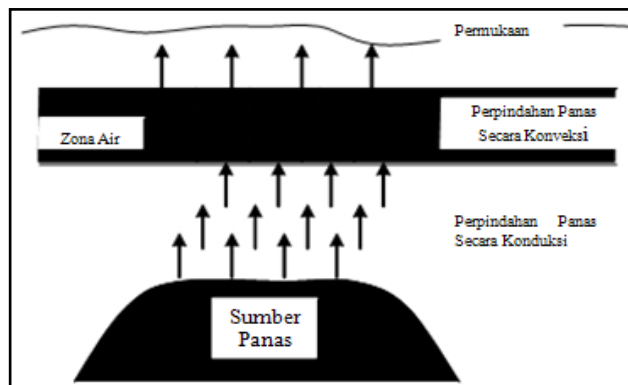
Adanya material panas pada kedalaman beberapa ribu kilometer di bawah permukaan bumi menyebabkan terjadinya aliran panas dari sumber panas tersebut hingga ke permukaan. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan temperatur dari bawah hingga ke permukaan, dengan gradien temperatur rata-rata sebesar

300C/km. Di perbatasan antara dua lempeng (di daerah penujaman) harga laju aliran panas umumnya lebih besar dari harga rata-rata tersebut. Hal ini menyebabkan gradien temperatur di daerah tersebut menjadi lebih besar dari gradien tempetatur rata-rata, sehingga dapat mencapai 70-800C/km, bahkan di suatu tempat di Lanzarote (Canary Island) besarnya gradien temperatur sangat tinggi sekali hingga besarnya tidak lagi dinyatakan dalam 0C/km tetapi dalam 0C/cm.



Gambar 5. Pergerakan Lempengan-lempengan Tektonik (Wahl, 1977)

Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi (Gambar 6). Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (bouyancy). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.

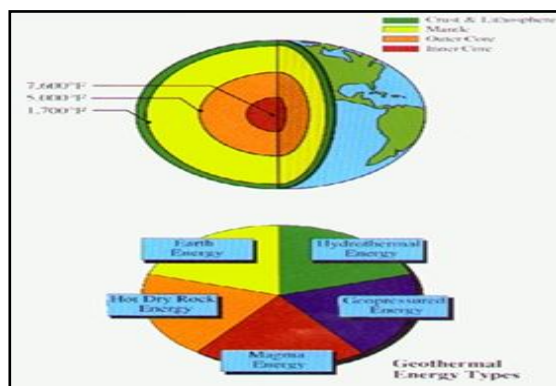


Gambar 6. Perpindahan Panas Di Bawah Permukaan

Terjadinya sumber energi panasbumi di Indonesia serta karakteristiknya dijelaskan oleh Budihardi (1998) sebagai berikut. Ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia. Tumbukan antara lempeng India-Australia di sebelah selatan dan lempeng Eurasia di sebelah utara menghasilkan zona penunjaman (subduksi) di kedalaman 160 - 210 km di bawah Pulau Jawa-Nusatenggara dan di kedalaman sekitar 100 km (Rocks et. al, 1982) di bawah Pulau Sumatera. Hal ini menyebabkan proses magmatisasi di bawah Pulau Sumatera lebih dangkal dibandingkan dengan di bawah Pulau Jawa atau Nusatenggara. Karena perbedaan kedalaman jenis magma yang dihasilkannya berbeda. Pada kedalaman yang lebih besar jenis magma yang dihasilkan akan lebih bersifat basa dan lebih cair dengan kandungan gas magmatik yang lebih tinggi sehingga menghasilkan erupsi gunung api yang lebih kuat yang pada akhirnya akan menghasilkan endapan vulkanik yang lebih tebal dan terhampar luas. Oleh karena itu, reservoir panas bumi di Pulau Jawa umumnya lebih dalam dan menempati batuan vulkanik, sedangkan reservoir panas bumi di Sumatera terdapat di dalam batuan sedimen dan ditemukan pada kedalaman yang lebih dangkal.

## **JENIS-JENIS ENERGI DAN SISTIM GEOTHERMAL**

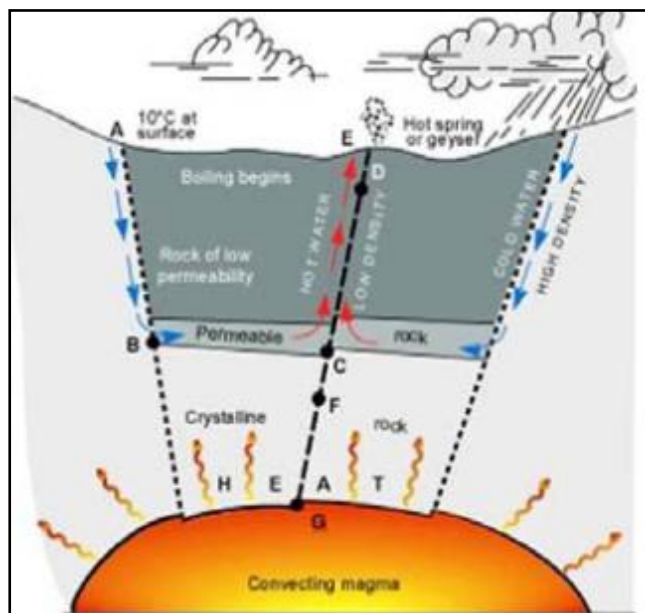
Energi geothermal diklasifikasikan kedalam lima kategori (Gambar 7.), diantaranya : earth energy (energi bumi), hot dry rock energy (energi batuan panas kering), magma energy (energi magma), geopressured energy (energi tekanan bumi), dan hydrothermal energy (energi air panas), namun dari semua energi tersebut di atas, energi dari sistem hidrotermal (hydrothermal system) yang paling banyak dimanfaatkan. Hal ini dikarenakan pada sistem hidrotermal, pori-pori batuan mengandung air atau uap, atau keduanya, dan reservoir umumnya letaknya tidak terlalu dalam sehingga masih ekonomis untuk diusahakan.



Gambar 7. Jenis-jenis Energi Panas Bumi



Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrothermal (Gambar 8.) yang mempunyai temperatur tinggi ( $>225^{\circ}\text{C}$ ), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperature sedang ( $150 - 225^{\circ}\text{C}$ ). Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (bouyancy). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan.



Gambar 8. Sistem Hidrotermal

Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Adanya suatu sistem hidrothermal di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panasbumi di permukaan (geothermal surface manifestation), seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (mud pools), geyser dan manifestasi panas bumi lainnya, dimana beberapa diantaranya, yaitu mata air panas, kolam air panas sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk mandi, berendam, mencuci, masak dll.

Manifestasi panas bumi (Gambar 9.) di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.





Gambar 9. Manifestasi Panas Bumi di Permukaan

Berdasarkan pada jenis fluida produksi dan jenis kandungan fluida utamanya, sistim hidrotermal dibedakan menjadi dua, yaitu sistim satu fasa atau sistim dua fasa. Pada sistim satu fasa, sistim umumnya berisi air yang mempunyai temperatur 90 - 1800C dan tidak terjadi pendidihan bahkan selama eksploitasi.

Ada dua jenis sistim dua fasa, yaitu:

- **Sistim dominasi uap** atau vapour dominated system, yaitu sistim panasbumi di mana sumur-sumurnya memproduksi uap kering atau uap basah karena rongga-rongga batuan reservoirnya sebagian besar berisi uap panas. Dalam sistim dominasi uap, diperkirakan uap mengisi rongga-rongga, saluran terbuka atau rekahan-rekahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan. Karena jumlah air yang terkandung di dalam pori-pori relatif sedikit, maka saturasi air mungkin sama atau hanya sedikit lebih besar dari saturasi air konat (Swc) sehingga air terperangkap dalam pori-pori batuan dan tidak bergerak
- **Sistim dominasi air** atau water dominated system yaitu sistim panas bumi dimana sumur-sumurnya menghasilkan fluida dua fasa berupa campuran uap air. Dalam sistim dominasi air, diperkirakan air mengisi rongga-rongga, saluran terbuka atau rekahan-rekahan. Pada sistim dominasi air, baik tekanan maupun temperatur tidak konstant terhadap kedalaman.

Dibandingkan dengan temperatur reservoir minyak, temperatur reservoir panas bumi relatif sangat tinggi, bisa mencapai 3500C. Berdasarkan pada besarnya temperatur, Hochstein (1990) membedakan sistim panas bumi menjadi tiga, yaitu:

- Sistim panas bumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistim yang reservoirnya mengandung fluida dengan temperatur lebih kecil dari 1250C.
- Sistim reservoir bertemperatur sedang, yaitu suatu sistim yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 1250C dan 2250C.
- Sistim reservoir bertemperatur tinggi, yaitu suatu sistim yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur diatas 2250C.

Sistim panas bumi seringkali juga diklasifikasikan berdasarkan entalpi fluida yaitu sistim entalpi rendah, sedang dan tinggi. Kriteria yang digunakan sebagai dasar klasifikasi pada kenyataannya tidak berdasarkan pada harga entalphi, akan tetapi berdasarkan pada temperatur mengingat entalphi adalah fungsi dari temperatur. Pada Tabel dibawah ini ditunjukkan klasifikasi sistim panas bumi yang biasa digunakan.

Tabel 1. Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur

	Muffer & Cataldi (1978)	Benderiter & Cormy (1990)	Haenel, Rybach & Stegna (1988)	Hochstein (1990)
Sistim panasbumi entalphi rendah	<90°C	<100°C	<150°C	<125°C
Sistim panasbumi entalphi sedang	90-150°C	100-200°C	-	125-225°C
Sistim panasbumi entalphi tinggi	>150°C	>200°C	>150°C	>225°C

## METODE PENGESTIMASIAN GEOTHERMAL YANG DIPAKAI DI WILAYAH KAMOJANG

Ada beberapa metode di dalam mengestimasi besarnya potensi energi panas bumi. Metode yang paling umum digunakan adalah metode perbandingan dan volumetrik. Metode perbandingan merupakan metode yang khusus digunakan untuk estimasi potensi sumber daya spekulatif dengan cara statistik sederhana, sedangkan metode volumetric adalah estimasi potensi energi panas bumi pada kelas sumber daya hipotesis sampai dengan cadangan terbukti. Adapun dua model pendekatan yang dapat digunakan dalam metode volumetrik, yaitu :

- Model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoirnya seragam (lumped parameter model).
- Model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoirnya heterogen (distributed parameter model) yang digunakan dalam metoda simulasi reservoir .

Metode simulasi reservoir digunakan untuk membantu estimasi potensi cadangan terbukti pada panas bumi yang sudah mempunyai sumur telah berproduksi.

### 1. Metode Perbandingan

#### Prinsip Metode Perbandingan

Prinsip dasar metode perbandingan adalah menyetarakan besar potensi energi suatu daerah panas bumi baru (belum diketahui potensinya) dengan lapangan lain (diketahui potensinya) yang memiliki kemiripan kondisi geologinya.

Besarnya potensi energi suatu daerah prospek panas bumi dapat diperkirakan dengan cara sebagai berikut :

$$H_{el} = A \times Q_{el}$$

dengan catatan :

$H_{el}$  = Besarnya sumber daya (MWe)

$A$  = Luas daerah prospek panas bumi (km<sup>2</sup>)

$Q_{el}$  = Daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas (MWe/km<sup>2</sup>)

Luas prospek pada tahapan ini dapat diperkirakan dari penyebaran manifestasi permukaan dan pelamparan struktur geologinya secara global.

#### Penerapan Metode Perbandingan

Metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya potensi energi sumber daya panas bumi kelas spekulatif dengan persyaratan bahwa penyelidikan ilmu kebumihan yang dilakukan baru sampai pada tahap penyelidikan penyebaran manifestasi permukaan dan pelamparan struktur geologinya secara global (permulaan eksplorasi). Pada tahap ini belum ada data yang dapat dipergunakan untuk mengestimasi besarnya sumber daya dengan menggunakan metode lain (secara matematis atau numerik). Oleh karena itu potensi energi sumber daya panas bumi diperkirakan berdasarkan potensi lapangan lain yang memiliki kemiripan kondisi geologi.

## **2. Metode Volumetrik**

### **Prinsip Metode Volumetrik**

Prinsip dasar metode volumetrik adalah menganggap reservoir panas bumi sebagai suatu bentuk kotak yang volumenya dapat dihitung dengan mengalikan luas sebaran dan ketebalannya. Dalam metoda volumetrik besarnya potensi energi sumber daya atau cadangan diperkirakan berdasarkan kandungan energi panas di dalam reservoir.

Kandungan energi panas di dalam reservoir adalah jumlah keseluruhan dari kandungan panas di dalam batuan dan fluida.

### **Penerapan Metode Volumetrik**

Metode volumetrik digunakan pada kelas sumberdaya hipotetis sampai dengan terbukti. Beberapa asumsi dibutuhkan untuk estimasi kesetaraan energi panas dengan energi listrik.

Persamaan dasar

Kandungan panas yang terdapat di dalam reservoir adalah :

$$He = A h \{ (1-\Phi) \rho_r c_r T + \Phi (\rho_L U_L SL + \rho_v U_v S_v) \}$$

dimana :

He = Kandungan energi panas (kJ)

A = Luas area panas bumi (m<sup>2</sup>)

h = Tabel reservoir (m)

T = Temperatur reservoir (oC)

SL = Saturasi air (fraksi)

Sv = Saturasi uap (fraksi)

UL = Energi dalam air (kJ/kg)

Uv = Energi dalam uap (kJ/kg)

Φ = Porositas batuan reservoir (fraksi)

Cr = kapasitas panas batuan (kJ/kg°C)

ρ<sub>r</sub> = density batuan (kg/m<sup>3</sup>)

ρ<sub>L</sub> = density air (kg/m<sup>3</sup>)

ρ<sub>v</sub> = density uap (kg/m<sup>3</sup>)

### **Prosedur Perhitungan**

Estimasi potensi energi panas bumi metode volumetrik dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Menghitung kandungan energi di dalam reservoir pada keadaan awal ( $T_i$ ) :
$$He_i = A h \{ (1 - \Phi) \rho_r c_r T_i + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v) \}$$
2. Menghitung kandungan energi dalam reservoir pada keadaan akhir ( $T_f$ ) :
$$He_f = A h \{ (1 - \Phi) \rho_r c_r T_f + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v) \}$$
3. Menghitung maximum energi yang dapat dimanfaatkan (sumber daya) :
$$H_{th} = He_i - He_f$$
4. Menghitung energi panas yang pada kenyataannya dapat diambil (cadangan panas bumi). Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan kJ, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :
$$H_{de} = R_f \cdot H_{th}$$
5. Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan MW<sub>th</sub>, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :
$$H_{re} = H_{de} \cdot t \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 1000$$
6. Menghitung besarnya potensi listrik panas bumi yaitu besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan selama periode waktu  $t$  tahun (dalam satuan MWe).
$$H_{el} = H_{re} \cdot \eta \cdot t \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 1000$$

Dimana :

$T_i$  = temperature reservoir pada keadaan awal, oC

$T_f$  = temperature reservoir pada keadaan akhir, oC

$He_i$  = Kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan awal, kJ

$He_f$  = Kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan akhir, kJ

$H_{th}$  = energi panas bumi maksimum yang dapat dimanfaatkan, kJ

$H_{de}$  = energi panas bumi maksimum yang dapat diambil ke permukaan (cadangan panas bumi), kJ

$H_{re}$  = energi panas bumi maksimum yang dapat diambil ke permukaan selama periode waktu tertentu (cadangan panas bumi), MW<sub>th</sub>

$He_l$  = potensi listrik panas bumi, MWe

$R_f$  = faktor perolehan, fraksi

$t$  = lama waktu (umur) pembangkit listrik, tahun

$\eta$  = faktor konversi listrik, fraksi

### **3. Metode Simulasi Reservoir**

#### **Prinsip Metode Simulasi Reservoir**

Dalam metode ini digunakan model pendekatan parameter heterogen (distributed parameter approach). Kegiatan pemodelan dapat dilakukan dengan membagi sistem reservoir menjadi sejumlah blok atau grid yang satu sama lain saling berhubungan. Pembagian blok dilakukan dengan mempertimbangkan

beberapa faktor diantaranya adalah jenis dan karakteristik batuan, struktur batuan dan lokasi sumur. Dengan cara ini maka keanekaragaman permeabilitas, porositas, kandungan air dan kandungan uap di dalam reservoir serta sifat fluidanya, baik secara lateral maupun secara vertikal dapat diperhitungkan.

### **Penerapan Metode Simulasi Reservoir**

Metode ini umumnya digunakan pada lapangan panas bumi yang mempunyai sumur telah berproduksi, sehingga keanekaragaman sifat batuan dapat diketahui dari data sumur bor. Dengan metode ini reservoir dimodelkan sebagai suatu sistem yang terdiri dari sejumlah blok dan masing-masing saling berhubungan. Dalam proses perhitungan, diperlukan simulator reservoir yang harganya relatif mahal dan diperlukan keahlian khusus untuk mengoperasikannya. Metode ini juga memberikan gambaran yang lebih baik mengenai penyebaran permeabilitas di dalam reservoir dan perubahan-perubahan yang terjadi di dalamnya pada saat diproduksi.

Dengan menggunakan simulator kemudian dihitung besarnya tekanan, temperatur, saturasi air dan saturasi uap di tiap blok serta laju alir masa dan laju alir uap dari blok yang satu ke blok lainnya untuk berbagai variasi waktu. Hasil perhitungan yang didapat berupa :

- Perubahan tekanan dan temperatur terhadap kedalaman, baik di sumur maupun di tempat-tempat lainnya.
- Perubahan tekanan, temperatur, laju alir masa dan entalpi fluida terhadap waktu.

Untuk mendapatkan kondisi awal reservoir (natural state), perlu dilakukan perhitungan dengan waktu yang lama sehingga diperoleh kondisi setimbang (steady), yaitu kondisi reservoir, yang tekanan dan temperaturnya tidak berubah terhadap waktu. Model ini diuji validitasnya dengan cara membandingkan hasil perhitungan dengan data sebenarnya, yaitu hasil pengukuran di lapangan pada keadaan awal (sebelum reservoir diproduksi). Kalibrasi dilakukan dengan mengubah-ubah parameter batuan dan aliran panas ke dalam reservoir yang mempunyai tingkat ketidak pastian tinggi.

Setelah dibuat model reservoir pada kondisi awal, kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui kondisi reservoir pada tahap produksi. Penyelarasan hasil simulasi dengan data lapangan (history matching) dilakukan dengan mengubah-ubah harga aliran panas yang masuk ke dalam reservoir dan parameter batuan, khususnya di daerah sekitar sumur. Model tersebut dinilai telah merepresentasikan kondisi reservoir sebenarnya, apabila telah tercapai keselarasan antara hasil simulasi dengan data lapangan. Peramalan kinerja sumur dan reservoir dilakukan dengan menggunakan model tersebut diatas dengan berbagai skenario produksi dan injeksi.

Secara garis besar tahapan kegiatan yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

- Pengkajian keseluruhan data yang mencakup data manifestasi permukaan (data geologi, geofisika, geokimia), fluida reservoir dan semua data sumur lainnya serta hasil-hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya.
- Interpretasi dengan mengintegrasikan semua data ilmu kebumih dan semua data sumur dengan data yang baru diperoleh.

- Pengkajian konsep model yang ada dan melakukan revisi (apabila diperlukan) dengan mengikut sertakan hasil interpretasi data ilmu kebumian serta data sumur baru.
- Penetapan bagian dari reservoir yang akan dimodelkan.
- Simulasi model komputer (grid system)
- Persiapan data masukan komputer, mengenai ukuran dan parameter-parameter reservoir di masing-masing blok seperti permeabilitas, porositas, panas spesifik, konduktivitas batuan, dll.
- Simulasi model yang merepresentasikan kondisi reservoir sebenarnya pada keadaan awal.
- Simulasi untuk memperoleh model yang merepresentasikan kinerja semua sumur dan reservoir pada saat diproduksi.
- Peramalan kinerja semua sumur dan reservoir dengan berbagai skenario produksi dan injeksi (selama jangka waktu 20-30 tahun).

## **KESIMPULAN**

1. Dalam melakukan optimasi metode pendekatan perbandingan, metode volumetric dan metode simulasi keakuratannya dalam mendapatkan potensi panas bumi mencapai 75 %.
2. Sistem pola aliran akan sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi regionalnya.
3. Pola struktur dan rekahan merupakan bagian utama dalam mengestimasi sistem perambatan panasnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Standarisasi Nasional, Angka Parameter Dalam Estimasi Potensi Energi Panas Bumi.
- Badan Standarisasi Nasional, Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi.
- Badan Standarisasi Nasional, Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia
- Chris Timotius KK : Paper “ Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia “.
- Harian Indopos Edisi 31 Agustus 2010 “ Lapangan Panas Bumi Kamojang terbaik di Dunia “.
- I G. B. Wijaya Kusuma .Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Udayana : Karya Tulis Ilmiah “ Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi “.
- Moeljanto: Geothermal Training Module “Evaluation of The Environment Impact at The kamojang Geothermal Fields in Indonesia Applying The EMS of ISO 14001 “.
- Nenny Miryani Saptadji, PhD : Seminar “ Sekilas Tentang Panas Bumi ”.
- Sugeng Triyono: Module of Geothermal Training “ Thermodynamic and Economic Assessment of Power Plant Expansion From 140 to 200 MWe in Kamojang-Indonesia “