

**SNI**

STANDAR NASIONAL INDONESIA

SNI 13-6171-1999

ICS 73.020

---

## **Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi**

## **LATAR BELAKANG**

Estimasi besarnya potensi energi panas bumi di Indonesia sangat beraneka ragam yang disebabkan oleh perbedaan di dalam penggunaan metoda perhitungan, perkiraan besarnya parameter reservoir dan penggunaan asumsi-asumsi.

Bertitik tolak dari keanekaragaman estimasi tersebut, maka Direktur Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral berdasarkan Surat Keputusan No. 087.K/70.08/DJG/1998, tentang pembentukan Panitia Teknik Perumusan Rancangan Standar Nasional Indonesia di Bidang Pertambangan Sub Bidang Geologi dan Sumber daya Mineral tahun anggaran 1998/1999 membentuk Panitia Teknik Standar GSM untuk menyusun standar Metode Estimasi Potensi Panas Bumi.

## DAFTAR ISI

LATAR BELAKANG .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
1. Ruang lingkup .....	1
2. Acuan .....	1
3. Definisi .....	2
4. Peristilahan .....	2
5. Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi .....	3
5.1 Umum .....	3
5.2 Metode Perbandingan .....	4
5.3 Metode Volumetrik .....	5
5.4 Metode Simulasi Reservoar .....	7
LAMPIRAN .....	10

# METODE ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI

## 1. RUANG LINGKUP

Standar ini merupakan pedoman untuk menentukan potensi energi panas bumi di Indonesia berdasarkan hasil-hasil penyelidikan geologi, geokimia dan geofisika, karakteristik reservoir serta estimasi kesetaraan listrik. Metode yang digunakan dalam standar ini adalah metode perbandingan, volumetrik dan simulasi reservoir. Standar ini belum mencakup harga/besaran nilai dari masing-masing parameter.

## 2. ACUAN

Acuan yang digunakan dalam penyusunan Standar Nasional Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi adalah sebagai berikut :

Castanier, L.M., Sanyal, S.K., and Brigham, M.E., 1980. *A Practical Analytical Model For Geothermal Reservoir Simulation*, 50<sup>th</sup> Ann. Calif. Reg. Meet. SPE-AIME, Paper SPE-8887.

Gomaa E. E., 1990. *Correlation For Estimating Geothermal Reserves Of Vapor Dominated Fractured Reservoirs*, Proc. of 19<sup>th</sup> Annual Convention of Indonesian Petroleum Association, Jakarta, Oktober 1990, hal . 427 – 456.

*Seminar on Geothermal Reservoir Engineering*, 1989. New Zealand Geothermal Institute, The New Zealand Ministry of External Relations and Trade, Development Assistance for Indonesia.

“Hasil Kerja Tim Kecil Kelompok Kerja Panitia Teknis Panas Bumi” Departemen Pertambangan dan Energi, tahun 1994.

Hochstein, M.P., 1992. *Geothermal Reservoir Engineering, Short Course*, New Zealand Geothermal Institute.

O’Sullivan, M.J., 1987. *Geothermal Reservoir Engineering*, a Manual for Geothermal Reservoir Engineering Course at the Geothermal Institute – University of Auckland.

Pruess, K., 1983. *Development of the general purpose simulator* MULKOM, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Report LBL-15500.

“Rancangan Standar Nasional Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia”, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral, Konsensus Nasional, tahun 1998.

### 3. DEFINISI

Metode estimasi potensi energi panas bumi adalah cara untuk memperkirakan besarnya potensi energi listrik di suatu daerah/lapangan panas bumi berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia dan geofisika, karakteristik reservoir, serta estimasi kesetaraan listrik.

### 4. PERISTILAHAN

- Cadangan panas bumi : jumlah kandungan panas yang tersimpan di bawah permukaan dan diestimasi dengan ilmu-ilmu kebumihan, kelistrikan serta ekonomi yang dapat dimanfaatkan dalam waktu tertentu.
- Faktor konversi energi : faktor/besaran yang dibutuhkan untuk merubah satuan energi panas ( $MW_{th}$ ) menjadi energi listrik ( $MW_e$ ).
- Faktor perolehan (*Recovery factor*) : Bilangan yang menyatakan perbandingan antara energi yang dapat dimanfaatkan dengan energi yang terkandung dalam reservoir.
- Kapasitas pembangkit listrik : Besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh sarana konversi pembangkit listrik dalam suatu lapangan panas bumi ( $ME_e$ )
- Model parameter seragam (*lumped parameter*) : model yang menggunakan anggapan bahwa sifat batuan dan fluida serta ketebalan, tekanan dan temperatur reservoir adalah sama di semua tempat (homogen).
- Potensi energi panas bumi : Besarnya energi yang tersimpan pada suatu daerah/lapangan panas bumi setelah diestimasi dengan ilmu-ilmu kebumihan dan atau pengujian sumur.

- Reservoir panas bumi : wadah di bawah permukaan yang bersifat sarang dan berdaya lulus terhadap fluida, dapat menyimpan fluida panas serta mempunyai temperatur dan tekanan dari sistim panas bumi.
- Sumber daya panas bumi : besarnya potensi panas bumi yang ditentukan dengan dasar estimasi parameter terbatas, untuk dibuktikan menjadi potensi cadangan.
- Temperatur akhir (*cut off*) : temperatur reservoir yang ditetapkan berdasarkan aspek teknologi dan ekonomi sebagai batas akhir pemanfaatan energi panas bumi apabila energi tersebut digunakan untuk pembangkit listrik.
- Usia ekonomis (*Life time*) pembangkit listrik : masa pakai dari suatu pembangkit listrik yang terpasang selama dalam kondisi baik menurut kaidah-kaidah teknik, ekonomi, finansial dan lingkungan yang besar.

## **5. METODE ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI**

### **5.1 Umum**

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 volumetrik 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 :

1. Model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoirnya seragam (*lumped parameter model*).
2. 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.

## **5.2 Metode Perbandingan**

### **5.2.1 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 ( $MW_e$ )

$A$  = Luas daerah prospek panas bumi ( $km^2$ )

$Q_{el}$  = Daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas ( $MW_e/km^2$ )

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

Asumsi besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas ( $km^2$ ) dapat dilihat pada lampiran 2.

### **5.2.2 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.

## **5.3 Metode Volumetrik**

### **5.3.1 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.

### 5.3.2. Penerapan Metode Volumetrik

Metode volumetrik digunakan pada kelas sumberdaya hipotetis sampai dengan terbukti (lihat lampiran 1). Beberapa asumsi dibutuhkan untuk estimasi kesetaraan energi panas dengan energi listrik (lihat lampiran 2).

#### 5.3.2.1 Persamaan dasar

Kandungan panas yang terdapat di dalam reservoir adalah :

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

dimana :

$H_e$  = Kandungan energi panas (kJ)

$A$  = Luas area panas bumi ( $m^2$ )

$h$  = Tabel reservoir (m)

$T$  = Temperatur reservoir ( $^{\circ}C$ )

$S_L$  = Saturasi air (fraksi)

$S_v$  = Saturasi uap (fraksi)

$U_L$  = Energi dalam air (kJ/kg)

$U_v$  = Energi dalam uap (kJ/kg)

$\Phi$  = Porositas batuan reservoir (fraksi)

$C_r$  = kapasitas panas batuan (kJ/kg $^{\circ}C$ )

$\rho_r$  = density batuan (kg/m $^3$ )

$\rho_L$  = density air (kg/m $^3$ )

$\rho_v$  = density uap (kg/m $^3$ )

#### 5.3.2.2 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 ( $T_i$ ) :

$$H_{ei} = A h \{(1 - \Phi) \rho_r c_r T_i + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v)_i\}$$

2. Menghitung kandungan energi dalam reservoir pada keadaan akhir ( $T_f$ ) :

$$H_{ef} = A h \{(1 - \Phi) \rho_r c_r T_f + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v)_f\}$$

3. Menghitung maximum energi yang dapat dimanfaatkan (sumber daya) :

$$H_{th} = H_{ei} - H_{ef}$$

4. Menghitung energi panas yang pada kenyataannya dapat diambil (cadangan panas bumi). Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan kJ, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :

$$H_{de} = R_f \cdot H_{th}$$

Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan  $MW_{th}$ , maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :

$$H_{re} = \frac{H_{de}}{t \times 365 \times 24 \times 3600 \times 1000}$$

6. Menghitung besarnya potensi listrik panas bumi yaitu besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan selama periode waktu  $t$  tahun (dalam satuan  $MW_e$ )

$$H_{el} = \frac{H_{de} \eta}{t \times 365 \times 24 \times 3600 \times 1000}$$

Dimana :

$T_i$  = temperature reservoir pada keadaan awal, °C

$T_f$  = temperature reservoir pada keadaan akhir, °C

$H_{ei}$  = Kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan awal, kJ

$H_{ef}$  = 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),  $MW_{th}$

$H_{el}$  = potensi listrik panas bumi,  $MW_e$

$R_f$  = faktor perolehan, fraksi

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

$\eta$  = faktor konversi listrik, fraksi

## **5.4 Metode Simulasi Reservoir**

### **5.4.1 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.

### **5.4.2 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 :

1. 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.
2. Interpretasi dengan mengintegrasikan semua data ilmu kebumihan dan semua data sumur dengan data yang baru diperoleh.

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

**LAMPIRAN 1**  
**MATRIKS KLASIFIKASI DAN ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI**

<b>KLASIFIKASI</b>	<b>DATA DASAR DAN KRITERIA</b>	<b>RUMUSAN ESTIMASI POTENSI ENERGI (MWe)</b>
<b>SUMBER DAYA :</b> Spekulatif	Dicitrakan oleh manifestasi panas bumi aktif. Luas reservoir dihitung dari penyebaran manifestasi dan batasan geologi, sedangkan temperatur dihitung dengan geotermometer. Daya per satuan luas ditentukan dengan asumsi	Metode Perbandingan
Hipotetis	Diindikasikan oleh manifestasi panas bumi aktif, data dasar adalah hasil survei regional geologi, geokimia dan geofisika. Luas daerah prospek ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan geologi/geokimia/geofisika sedangkan temperatur diperkirakan berdasarkan data geotermometer (air, gas atau isotop)	Metode volumetrik. Ketebalan reservoir diasumsikan 2 km
<b>CADANGAN :</b> - Terduga	Luas dan ketebalan reservoir serta parameter fisik batuan dan fluida diestimasi berdasarkan data ilmu kebumihian detail terpadu yang digambarkan dalam model tentatif	Metode volumetrik
- Mungkin	Dibuktikan oleh satu sumur eksplorasi yang berhasil menyemburkan uap/air panas. Luas dan ketebalan reservoir didapat dari data sumur dan hasil penyelidikan ilmu kebumihian detail terpadu. Parameter batuan dan fluida serta temperatur reservoir diperoleh dari data pengukuran langsung dalam sumur dan/atau data analisis laboratorium	Metode volumetrik
- Terbukti	Dibuktikan oleh lebih dari satu sumur eksplorasi yang berhasil menyemburkan uap/air panas. Luas dan ketebalan reservoir didasarkan pada data sumur dan hasil penyelidikan ilmu kebumihian detail terpadu. Parameter batuan dan fluida serta temperatur reservoir diperoleh dari data pengukuran langsung dalam sumur dan/atau data analisis laboratorium serta simulasi reservoir	Simulasi reservoir yang digabungkan dengan metode volumetrik.

**Lampiran 2. Klasifikasi reservoir dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam estimasi potensi energi panas bumi**

<b>Reservoir</b>	<b>Batas Temperatur (°C)</b>	<b>Temp. Akhir/ Cut off (°C)</b>	<b>Daya per satuan luas (MWe/km<sup>2</sup>) (*)</b>	<b>Konservasi Energi (%)</b>	<b>Lain-lain (**)</b>
Temperatur rendah	< 125	90	10	10	$\Phi = 10 \%$
Temperatur sedang	125-225	120	12.5	10	t = 30 th
Temperatur tinggi	> 225	180	15	15	S <sub>L</sub> = 100 %

\*) asumsi daya persatuan luas pada kelas sumber daya spekulatif

\*\*\*) berlaku untuk estimasi sumber daya pada kelas hipotetis dan cadangan kelas terduga.

**SNI**

STANDAR NASIONAL INDONESIA

SNI 13-6171-1999

ICS 73.020

---

## **Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi**

## **LATAR BELAKANG**

Estimasi besarnya potensi energi panas bumi di Indonesia sangat beraneka ragam yang disebabkan oleh perbedaan di dalam penggunaan metoda perhitungan, perkiraan besarnya parameter reservoir dan penggunaan asumsi-asumsi.

Bertitik tolak dari keanekaragaman estimasi tersebut, maka Direktur Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral berdasarkan Surat Keputusan No. 087.K/70.08/DJG/1998, tentang pembentukan Panitia Teknik Perumusan Rancangan Standar Nasional Indonesia di Bidang Pertambangan Sub Bidang Geologi dan Sumber daya Mineral tahun anggaran 1998/1999 membentuk Panitia Teknik Standar GSM untuk menyusun standar Metode Estimasi Potensi Panas Bumi.



## DAFTAR ISI

LATAR BELAKANG .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
1. Ruang lingkup .....	1
2. Acuan .....	1
3. Definisi .....	2
4. Peristilahan .....	2
5. Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi .....	3
5.1 Umum .....	3
5.2 Metode Perbandingan .....	4
5.3 Metode Volumetrik .....	5
5.4 Metode Simulasi Reservoar .....	7
LAMPIRAN .....	10

# METODE ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI

## 1. RUANG LINGKUP

Standar ini merupakan pedoman untuk menentukan potensi energi panas bumi di Indonesia berdasarkan hasil-hasil penyelidikan geologi, geokimia dan geofisika, karakteristik reservoir serta estimasi kesetaraan listrik. Metode yang digunakan dalam standar ini adalah metode perbandingan, volumetrik dan simulasi reservoir. Standar ini belum mencakup harga/besaran nilai dari masing-masing parameter.

## 2. ACUAN

Acuan yang digunakan dalam penyusunan Standar Nasional Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi adalah sebagai berikut :

Castanier, L.M., Sanyal, S.K., and Brigham, M.E., 1980. *A Practical Analytical Model For Geothermal Reservoir Simulation*, 50<sup>th</sup> Ann. Calif. Reg. Meet. SPE-AIME, Paper SPE-8887.

Gomaa E. E., 1990. *Correlation For Estimating Geothermal Reserves Of Vapor Dominated Fractured Reservoirs*, Proc. of 19<sup>th</sup> Annual Convention of Indonesian Petroleum Association, Jakarta, Oktober 1990, hal . 427 – 456.

*Seminar on Geothermal Reservoir Engineering*, 1989. New Zealand Geothermal Institute, The New Zealand Ministry of External Relations and Trade, Development Assistance for Indonesia.

“Hasil Kerja Tim Kecil Kelompok Kerja Panitia Teknis Panas Bumi” Departemen Pertambangan dan Energi, tahun 1994.

Hochstein, M.P., 1992. *Geothermal Reservoir Engineering, Short Course*, New Zealand Geothermal Institute.

O’Sullivan, M.J., 1987. *Geothermal Reservoir Engineering*, a Manual for Geothermal Reservoir Engineering Course at the Geothermal Institute – University of Auckland.

Pruess, K., 1983. *Development of the general purpose simulator* MULKOM, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Report LBL-15500.

“Rancangan Standar Nasional Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia”, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral, Konsensus Nasional, tahun 1998.

### 3. DEFINISI

Metode estimasi potensi energi panas bumi adalah cara untuk memperkirakan besarnya potensi energi listrik di suatu daerah/lapangan panas bumi berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia dan geofisika, karakteristik reservoir, serta estimasi kesetaraan listrik.

### 4. PERISTILAHAN

- Cadangan panas bumi : jumlah kandungan panas yang tersimpan di bawah permukaan dan diestimasi dengan ilmu-ilmu kebumihan, kelistrikan serta ekonomi yang dapat dimanfaatkan dalam waktu tertentu.
- Faktor konversi energi : faktor/besaran yang dibutuhkan untuk merubah satuan energi panas ( $MW_{th}$ ) menjadi energi listrik ( $MW_e$ ).
- Faktor perolehan (*Recovery factor*) : Bilangan yang menyatakan perbandingan antara energi yang dapat dimanfaatkan dengan energi yang terkandung dalam reservoir.
- Kapasitas pembangkit listrik : Besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh sarana konversi pembangkit listrik dalam suatu lapangan panas bumi ( $ME_e$ )
- Model parameter seragam (*lumped parameter*) : model yang menggunakan anggapan bahwa sifat batuan dan fluida serta ketebalan, tekanan dan temperatur reservoir adalah sama di semua tempat (homogen).
- Potensi energi panas bumi : Besarnya energi yang tersimpan pada suatu daerah/lapangan panas bumi setelah diestimasi dengan ilmu-ilmu kebumihan dan atau pengujian sumur.

- Reservoir panas bumi : wadah di bawah permukaan yang bersifat sarang dan berdaya lulus terhadap fluida, dapat menyimpan fluida panas serta mempunyai temperatur dan tekanan dari sistim panas bumi.
- Sumber daya panas bumi : besarnya potensi panas bumi yang ditentukan dengan dasar estimasi parameter terbatas, untuk dibuktikan menjadi potensi cadangan.
- Temperatur akhir (*cut off*) : temperatur reservoir yang ditetapkan berdasarkan aspek teknologi dan ekonomi sebagai batas akhir pemanfaatan energi panas bumi apabila energi tersebut digunakan untuk pembangkit listrik.
- Usia ekonomis (*Life time*) pembangkit listrik : masa pakai dari suatu pembangkit listrik yang terpasang selama dalam kondisi baik menurut kaidah-kaidah teknik, ekonomi, finansial dan lingkungan yang besar.

## **5. METODE ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI**

### **5.1 Umum**

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 volumetrik 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 :

1. Model pendekatan dengan menganggap parameter-parameter reservoirnya seragam (*lumped parameter model*).
2. 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.

## **5.2 Metode Perbandingan**

### **5.2.1 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 ( $MW_e$ )

$A$  = Luas daerah prospek panas bumi ( $km^2$ )

$Q_{el}$  = Daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas ( $MW_e/km^2$ )

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

Asumsi besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas ( $km^2$ ) dapat dilihat pada lampiran 2.

### **5.2.2 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.

## **5.3 Metode Volumetrik**

### **5.3.1 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.

### 5.3.2. Penerapan Metode Volumetrik

Metode volumetrik digunakan pada kelas sumberdaya hipotetis sampai dengan terbukti (lihat lampiran 1). Beberapa asumsi dibutuhkan untuk estimasi kesetaraan energi panas dengan energi listrik (lihat lampiran 2).

#### 5.3.2.1 Persamaan dasar

Kandungan panas yang terdapat di dalam reservoir adalah :

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

dimana :

$H_e$  = Kandungan energi panas (kJ)

$A$  = Luas area panas bumi ( $m^2$ )

$h$  = Tabel reservoir (m)

$T$  = Temperatur reservoir ( $^{\circ}C$ )

$S_L$  = Saturasi air (fraksi)

$S_v$  = Saturasi uap (fraksi)

$U_L$  = Energi dalam air (kJ/kg)

$U_v$  = Energi dalam uap (kJ/kg)

$\Phi$  = Porositas batuan reservoir (fraksi)

$C_r$  = kapasitas panas batuan (kJ/kg $^{\circ}C$ )

$\rho_r$  = density batuan (kg/m $^3$ )

$\rho_L$  = density air (kg/m $^3$ )

$\rho_v$  = density uap (kg/m $^3$ )

#### 5.3.2.2 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 ( $T_i$ ) :

$$H_{ei} = A h \{(1 - \Phi) \rho_r c_r T_i + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v)_i\}$$

2. Menghitung kandungan energi dalam reservoir pada keadaan akhir ( $T_f$ ) :

$$H_{ef} = A h \{(1 - \Phi) \rho_r c_r T_f + \Phi (\rho_L U_L S_L + \rho_v U_v S_v)_f\}$$

3. Menghitung maximum energi yang dapat dimanfaatkan (sumber daya) :

$$H_{th} = H_{ei} - H_{ef}$$

4. Menghitung energi panas yang pada kenyataannya dapat diambil (cadangan panas bumi). Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan kJ, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :

$$H_{de} = R_f \cdot H_{th}$$

Apabila cadangan dinyatakan dalam satuan  $MW_{th}$ , maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut :

$$H_{re} = \frac{H_{de}}{t \times 365 \times 24 \times 3600 \times 1000}$$

6. Menghitung besarnya potensi listrik panas bumi yaitu besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan selama periode waktu  $t$  tahun (dalam satuan  $MW_e$ )

$$H_{el} = \frac{H_{de} \eta}{t \times 365 \times 24 \times 3600 \times 1000}$$

Dimana :

$T_i$  = temperature reservoir pada keadaan awal, °C

$T_f$  = temperature reservoir pada keadaan akhir, °C

$H_{ei}$  = Kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan awal, kJ

$H_{ef}$  = 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),  $MW_{th}$

$H_{el}$  = potensi listrik panas bumi,  $MW_e$

$R_f$  = faktor perolehan, fraksi

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

$\eta$  = faktor konversi listrik, fraksi

## **5.4 Metode Simulasi Reservoir**

### **5.4.1 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.

### **5.4.2 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 :

1. 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.
2. Interpretasi dengan mengintegrasikan semua data ilmu kebumihan dan semua data sumur dengan data yang baru diperoleh.

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

**LAMPIRAN 1**  
**MATRIKS KLASIFIKASI DAN ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI**

<b>KLASIFIKASI</b>	<b>DATA DASAR DAN KRITERIA</b>	<b>RUMUSAN ESTIMASI POTENSI ENERGI (MWe)</b>
<b>SUMBER DAYA :</b> Spekulatif	Dicitrakan oleh manifestasi panas bumi aktif. Luas reservoir dihitung dari penyebaran manifestasi dan batasan geologi, sedangkan temperatur dihitung dengan geotermometer. Daya per satuan luas ditentukan dengan asumsi	Metode Perbandingan
Hipotetis	Diindikasikan oleh manifestasi panas bumi aktif, data dasar adalah hasil survei regional geologi, geokimia dan geofisika. Luas daerah prospek ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan geologi/geokimia/geofisika sedangkan temperatur diperkirakan berdasarkan data geotermometer (air, gas atau isotop)	Metode volumetrik. Ketebalan reservoir diasumsikan 2 km
<b>CADANGAN :</b> - Terduga	Luas dan ketebalan reservoir serta parameter fisik batuan dan fluida diestimasi berdasarkan data ilmu kebumihian detail terpadu yang digambarkan dalam model tentatif	Metode volumetrik
- Mungkin	Dibuktikan oleh satu sumur eksplorasi yang berhasil menyemburkan uap/air panas. Luas dan ketebalan reservoir didapat dari data sumur dan hasil penyelidikan ilmu kebumihian detail terpadu. Parameter batuan dan fluida serta temperatur reservoir diperoleh dari data pengukuran langsung dalam sumur dan/atau data analisis laboratorium	Metode volumetrik
- Terbukti	Dibuktikan oleh lebih dari satu sumur eksplorasi yang berhasil menyemburkan uap/air panas. Luas dan ketebalan reservoir didasarkan pada data sumur dan hasil penyelidikan ilmu kebumihian detail terpadu. Parameter batuan dan fluida serta temperatur reservoir diperoleh dari data pengukuran langsung dalam sumur dan/atau data analisis laboratorium serta simulasi reservoir	Simulasi reservoir yang digabungkan dengan metode volumetrik.

**Lampiran 2. Klasifikasi reservoir dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam estimasi potensi energi panas bumi**

<b>Reservoir</b>	<b>Batas Temperatur (°C)</b>	<b>Temp. Akhir/ Cut off (°C)</b>	<b>Daya per satuan luas (MWe/km<sup>2</sup>) (*)</b>	<b>Konservasi Energi (%)</b>	<b>Lain-lain (**)</b>
Temperatur rendah	< 125	90	10	10	$\Phi = 10 \%$
Temperatur sedang	125-225	120	12.5	10	t = 30 th
Temperatur tinggi	> 225	180	15	15	S <sub>L</sub> = 100 %

\*) asumsi daya persatuan luas pada kelas sumber daya spekulatif

\*\*\*) berlaku untuk estimasi sumber daya pada kelas hipotetis dan cadangan kelas terduga.