

PENENTUAN PARAMETER DAN PERHITUNGAN CADANGAN PANAS BUMI LAPANGAN 'AST' DENGAN METODE SIMULASI MONTE CARLO

Ayu Astri Utami

Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknolgi Kebumian dan Energi
Universitas Trisakti

Email: ayuastritami@yahoo.com

Abstract

Lapangan panas bumi 'AST' berlokasi di daerah Tanggamus, Provinsi Lampung, Sumatera Selatan sekitar 100 Km dari Tanjung Karang. Lapangan tersebut adalah salah satu lapangan dengan potensi panas bumi bertemperatur tinggi di Indonesia. Lapangan ini diperkirakan mempunyai potensi panas bumi yang cukup besar oleh karena itu pada tugas akhir ini penulis mencoba menghitung jumlah potensi cadangan panas bumi pada lapangan 'AST' dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo dikenal dapat menangani scenario yang kompleks dan memungkinkan ekstraksi dari setiap variable yang tidak pasti. Oleh karena itu, simulasi monte carlo dapat digunakan untuk simulasi perhitungan potensi cadangan energi panas bumi berdasarkan rentang nilai dari berbagai parameter reservoir. Ini berlaku metode probabilistic dalam mengevaluasi cadangan sumber daya yang mengandung ketidakpastian.

Kata kunci : Cadangan, panas bumi, simulasi monte carlo

Pendahuluan

Energi panas bumi atau *geothermal energy* menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang diyakini melimpah dan ramah lingkungan, termasuk energi panas bumi di Indonesia. Sebagian besar wilayah Indonesia terletak pada jalur vulkanik aktif (ring of fire), oleh karena itu Indonesia bahkan menjadi negara dengan kandungan panas bumi yang besar, 40% potensi panas bumi dunia terdapat di Indonesia sehingga memungkinkan memiliki potensi energi panas bumi sekitar 28.994 MWe dengan kapasitas terpasang 1189 MW. Penyebaran potensi energi panas bumi ini mulai dari pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kepulauan Maluku, Kepala Burung Pulau Papua, dan Sulawesi. Sayangnya, besarnya cadangan panas bumi di Indonesia tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal. Dan Indonesia masih saja bergantung dengan sumber energi dari fosil. Penentuan potensi cadangan panas bumi bisa dilakukan dengan beberapa metode diantaranya metode analisis, metode perbandingan, atau metode simulasi. 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. Pada tugas akhir ini akan lebih membahas parameter-parameter yang digunakan dalam menghitung cadangan panas bumi dan cara menghitung cadangan panas bumi dengan metode simulasi lebih tepatnya menggunakan simulasi monte carlo. Beberapa parameter yang digunakan dalam Metode Monte Carlo merupakan variable bebas dari rumus atau persamaan potensi cadangan terduga seperti luas area, ketebalan reservoir, Porositas, temperatur dll dapat disimulasi untuk mendapatkan fungsi distribusi probabilitasnya, sehingga hasil akhir dari perhitungan akan memberikan kualitas data yang lebih baik atau tingkat keyakinan yang lebih tinggi jika dibandingkan metode perbandingan atau volumetrik. Hasil perhitungan dengan metoda simulasi monte carlo tentu bukan merupakan suatu jaminan bahwa potensi cadangan terduga dari suatu wilayah prospek adalah benar, untuk membuktikan kebenaran bahwa potensi cadangan terduga harus dilakukan melalui pemboran dan uji produksi.

Studi Pustaka

Metode yang umum digunakan perhitungan sumberdaya panasbumi (resources), banyaknya energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya (cadangan) dan besarnya energi listrik yang dapat dihasilkannya (potensi listrik tenaga panas bumi) telah diuraikan oleh O'Sullivan (1986). Perhitungan dilakukan berdasarkan kandungan energi panas didalam batuan dan didalam fluida (uap dan air) yang merupakan sebagai panas yang terkandung di dalam

reservoir. Data-data yang diperlukan untuk perhitungan adalah luas reservoir, ketebalan reservoir, temperatur, entalpi, saturasi, densitas batuan, densitas fluida, panas spesifik batuan, efisiensi konversi, porositas, recovery factor, dan life time.

Kandungan energi panas di dalam reservoir (di dalam batuan dan fluida) adalah sebagai berikut:

$$He = A \cdot h \cdot [(1 - \phi) \cdot \rho_r \cdot cr \cdot T + \phi \cdot (Sl \cdot \rho_l \cdot ul + Sv \cdot \rho_v \cdot uv)]$$

Dimana:

- He = Kandungan energi panas (Kj)
- A = Luas daerah panas bumi (m²)
- H = Tebal reservoir (m)
- T = Temperatur reservoir (°C)
- C_r = Kapasitas panas batuan, (kj/kg°C)
- Φ = Porositas batuan reservoir (fraksi)
- S_l = Saturasi air (fraksi)
- S_v = Saturasi uap (fraksi)
- ρ_r = Densitas batuan (kg/m³)
- ρ_l = Densitas air (kg/m³)
- ρ_v = Densitas uap (kg/m³)
- U_l = Energi dalam air (kj/kg)
- U_v = Energi dalam uap (kj/kg)

Setelah mendapatkan hasil kandungan panas yang tersimpan di dalam reservoir, kita dapat mengitung potensi listrik dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{Q_t \cdot RF \cdot C_e}{P_f \cdot t}$$

Dimana:

- P = Potensi Listrik, Mwe
- RF = Recovery Factor
- C_e = Efisiensi Konversi
- P_f = Plant Factor
- T = Waktu, tahun

Metode Monte Carlo merupakan simulasi perhitungan cadangan energi panas bumi berdasarkan rentang nilai dari berbagai parameter reservoir. Ini berlaku metode probabilistik dalam mengevaluasi cadangan sumber daya yang mengandung ketidakpastian. Simulasi Monte Carlo menangani skenario yang kompleks, yang memungkinkan ekstraksi dari setiap variabel yang tidak pasti. Hasilnya kemudian dianalisis dalam hal kemungkinan terjadinya cadangan dan output daya yang setara dalam rentang nilai terhadap populasi yang dihasilkan. Mengingat kompleksitas dan heterogenitas dari formasi geologi reservoir panas bumi, metode ini lebih disukai dibandingkan dengan pendekatan deskriptif yang biasa mengasumsikan nilai tunggal untuk setiap parameter yang akan mewakili seluruh reservoir. Metode Monte Carlo didasarkan pada beberapa uji coba untuk menentukan nilai yang diharapkan dari suatu variabel acak. Dalam hal ini perhitungan beberapa percobaan dilakukan dengan menyebarkan rumus dasar sebanyak jumlah iterasi yang diperlukan oleh model. Setelah mendapatkan seluruh parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan, tentukan jenis distribusi yang akan digunakan untuk setiap parameter. Jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk simulasi Monte Carlo adalah jenis segitiga dan segiempat.

- **Distribusi Segiempat**

Ciri distribusi ini adalah nilai mungkin (probability value) yang dimiliki suatu harga variabel adalah sama dan harga mungkin diluar selang studi harganya adalah nol. Dengan kata lain, nilai mungkin yang dimiliki suatu variabel pada suatu selang tak ada yang dominan tinggi ataupun rendah, akan tetapi merata. Persamaan yang digunakan adalah:

$$XI = XL + RN (XH - XL)$$

Dimana:

XI = nilai x yang dicari

XL = batas nilai x yang terkecil

XH = batas nilai x yang terbesar

RN = bilangan acak yang berfungsi sebagai parameter probabiliti kumulatif

Parameter yang menggunakan distribusi segiempat dalam perhitungan panas bumi antara lain plant factor dan densitas batuan karena keduanya hanya memiliki nilai batas minimum dan maksimum yang didapat dari asumsi sesuai dengan kondisi reservoir.

- **Distribusi Segitiga**

Jenis distribusi ini dicirikan oleh adanya harga x yang paling mungkin (XM), yang terletak antara XL dan XH.

Persamaan yang digunakan adalah:

$$XI = XL + \sqrt{[(XM - XL) (XH - XL) RN]}$$

Dimana:

XI = nilai x yang dicari

XL = batas nilai x yang terkecil

XH = batas nilai x yang terbesar

XM = batas nilai x yang paling mungkin

RN = bilangan acak yang berfungsi sebagai parameter probabiliti kumulatif

Pada tugas akhir ini distribusi segitiga digunakan untuk parameter ketebalan, luas reservoir, porositas, temperatur reservoir, saturasi dan recovery factor.

Langkah pertama adalah untuk menghasilkan suatu nilai acak untuk setiap parameter. Dengan asumsi distribusi segiempat atau segitiga, kita bisa menggunakan formula $RAND()$ pada MS Excel yang berfungsi untuk menghasilkan angka acak pada interval (0,1) dan kalikan dengan kisaran variable masing-masing. Rentang ini adalah perbedaan antara nilai maksimum dan nilai minimum.

$$=RAND()*(1,000-10,000)+10,000$$

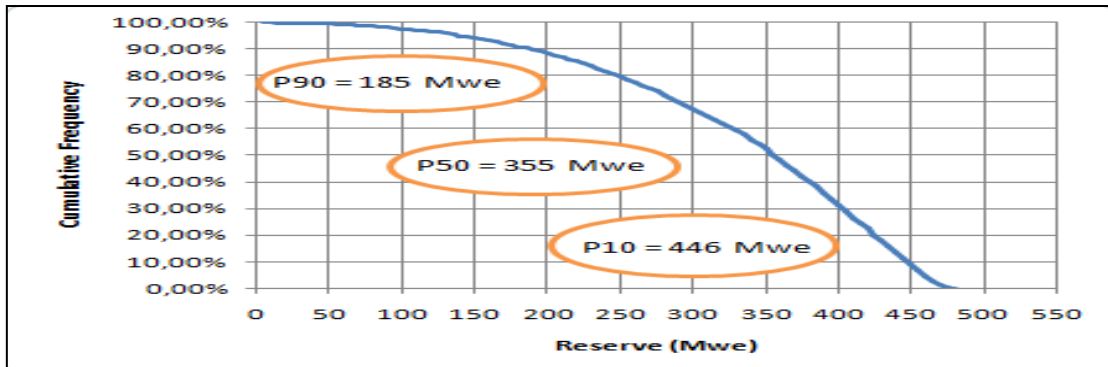
Formula ini akan mendapatkan nilai-nilai acak (random) antara 1,000 dan 10,000 yang biasanya membentuk banyak iterasi pada MS Excel. Begitu juga untuk perhitungan nilai-nilai acak pada parameter seterusnya. Setelah mendapatkan bilangan acak pada tiap parameter maka potensi energi listrik dapat dihitung. Dan pada akhirnya akan didapatkan beberapa nilai untuk potensi energi listrik tersebut yang mempunyai tingkat probabilitas yang berbeda-beda, biasanya kita tampilkan dengan bentuk grafik kumulatif probabilitas.

Hail dan Pembahasan

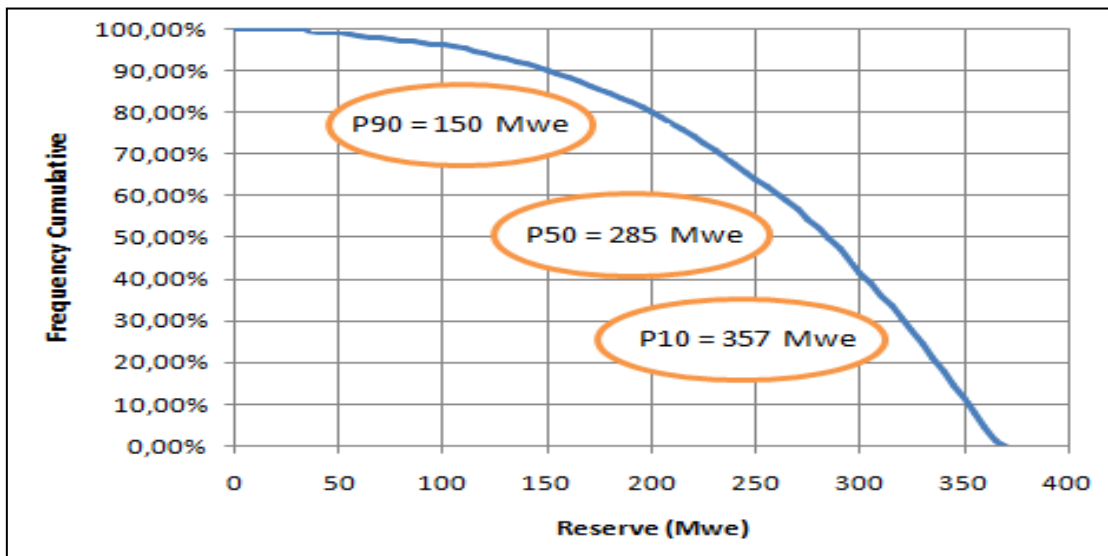
Parameter yang didapat berdasarkan pengukuran adalah sebagai berikut: pada lapangan panas bumi 'AST' ini diketahui luas area reservoir untuk perhitungan cadangan proven sebesar 17 km^2 , dan cadangan probable sebesar 13 km^2 . Nilai ketebalan reservoir untuk lapangan panas bumi 'AST' untuk cadangan proven sebesar 500-1200 dan untuk cadangan probable diperkirakan sebesar 500-1700 m. Lapangan 'AST' termasuk kedalam reservoir bertemperatur tinggi, oleh karena itu temperatur awal reservoir untuk cadangan proven sebesar $200-285^\circ\text{C}$, dan untuk cadangan probable sebesar $180-285^\circ\text{C}$. Parameter yang nilainya konstan atau biasa diasumsikan berdasarkan kondisi reservoir adalah sebagai berikut; nilai saturasi untuk lapangan panas bumi 'AST' diasumsikan sebesar 0,8 karena lapangan 'AST' ini termasuk kedalam sistem dominasi air. Karena batuan yang dominan di lapangan 'AST' adalah batuan andesit, maka nilai densitas batuan untuk lapangan panas bumi 'AST' diantara $2400-2800 \text{ kg/m}^3$. Nilai panas spesifik batuan untuk lapangan panas bumi 'AST' diasumsikan sebesar $1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ karena reservoir pada lapangan ini termasuk kedalam reservoir bertemperatur tinggi. Faktor efisiensi konversi ini umumnya diasumsikan sebesar 10%. Nilai recovery factor ini biasanya diasumsikan sebesar 25%, dari nilai recovery factor bisa didapat nilai porositas untuk lapangan panas bumi 'AST' menggunakan grafik antara recovery factor dan porositas. Dari grafik tersebut dilihat besarnya nilai porositas sebesar 10%. Nilai plant life dianggap sebagai life time untuk perhitungan cadangan panas bumi biasa diasumsikan selama 30 tahun. Fluida yang terdapat pada reservoir ini merupakan uap dan air. Oleh karena itu dicari kedua nilai densitas tersebut. Dari steam table (Lampiran A) didapatkan nilai untuk cadangan proven, densitas air pada temperatur reservoir sebesar 790.95 kg/m^3 , dan densitas uap pada temperatur reservoir sebesar 20.66 kg/m^3 . Nilai entalpi uap dan air pada temperatur reservoir adalah 2796 Kj/Kg dan 1135 Kj/Kg , dan untuk nilai entalpi uap dan air pada temperatur akhir adalah 2778 Kj/Kg dan 763 Kj/Kg . Untuk cadangan probable densitas air pada temperatur reservoir sebesar 783.198 kg/m^3 , dan densitas uap pada temperatur reservoir sebesar 23.71 kg/m^3 . Nilai entalpi uap dan air pada temperatur reservoir adalah 2796.64 Kj/Kg dan 1134.82 Kj/Kg , dan untuk nilai entalpi uap dan air pada temperatur akhir adalah 2778 Kj/Kg dan 763 Kj/Kg . Nilai densitas dan entalpi fluida tersebut didapat dengan melihat steam table (Lampiran A) menggunakan fungsi temperatur. Setelah mengetahui semua parameter yang dibutuhkan cadangan panas bumi bisa dihitung menggunakan metode monte carlo. Hasil potensi cadangan panas

bumi yang didapat dari perhitungan untuk cadangan Proven (P1) sebesar sebesar 185 Mwe, cadangan Probable (P2) sebesar 150 Mwe dengan tingkat kepercayaan 90%.

Gambar 1. Grafik Fungsi Probabilitas Cadangan Proven

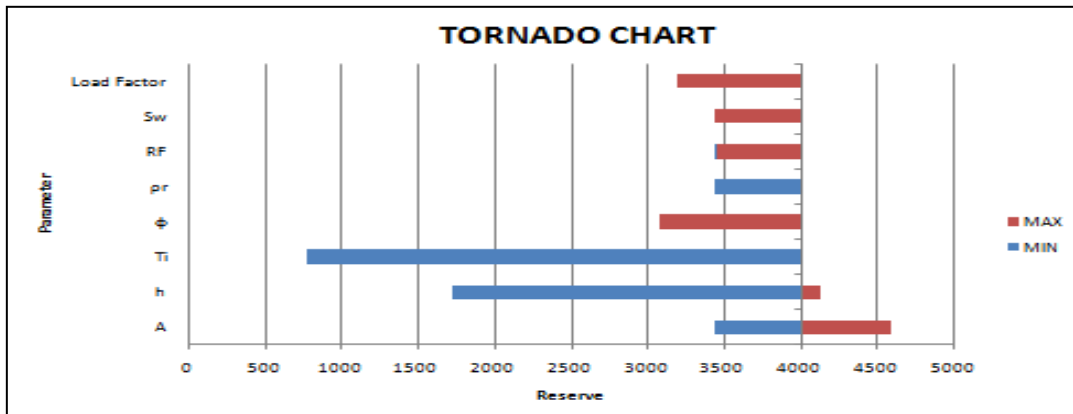


Gambar 2. Grafik Fungsi Probabilitas Cadangan Probable



Pada analisa sensitivitas dengan tornado diagram dapat dilihat bahwa parameter yang paling berpengaruh pada besarnya nilai potensi cadangan panas bumi adalah suhu reservoir, ketebalan dan temperatur reservoir.

Gambar 3. Tornado Diagram



Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah disebutkan sebelumnya, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perkiraan potensi cadangan panas bumi dengan monte carlo menggunakan program Ms. Excel sebesar 185 Mwe untuk cadangan proven, 150 Mwe untuk cadangan probable dengan tingkat kepercayaan 90%
2. Parameter yang paling berpengaruh pada besarnya nilai potensi cadangan dengan menggunakan Ms. Excel adalah luas area, temperatur reservoir, dan ketebalan.
3. Semakin tinggi temperatur resevoir maka semakin besar nilai cadangan panas bumi yang didapat
4. Semakin besar nilai ketebalan reservoir maka semakin besar juga nilai cadangan panas bumi yang didapat.

Daftar Simbol

He	= Kandungan energi panas (Kj)
A	= Luas daerah panas bumi (m^2)
H	= Tebal reservoir (m)
T	= Temperatur reservoir ($^{\circ}C$)
C_r	= Kapasitas panas batuan, ($kJ/kg^{\circ}C$)
Φ	= Porositas batuan reservoir (fraksi)
S_l	= Saturasi air (fraksi)
S_v	= Saturasi uap (fraksi)
ρ_r	=Densitas batuan (kg/m^3)
ρ_l	= Densitas air (kg/m^3)
ρ_v	= Densitas uap (kg/m^3)
U _l	= Energi dalam air (kj/kg)
U _v	= Energi dalam uap (kj/kg)
P	= Potensi Listrik, Mwe
RF	= Recovery Factor
C_e	= Efisiensi Konversi
P_f	= Plant Factor
T	=Waktu, tahun

Daftar Pustaka

Daud, Yunus. Sudarman., Sayogi dan Ushijima., Keisuke. 2000. Integrated Geophysical Studies Of The Ulubelu Geothermal Field, South Sumatera, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress: Japan.

Garg, Sabodh K., Combs, Jim., 2010. Appropriate Use Of USGS Volumetric “Heat In Place” Method And Monte Carlo Calculation. Proceedings Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering: California.

Hantono, Sunaryo D. Ganda, S dan Nugroho. 1993. Exploration Results Of The Ulubelu Geothermal Prospect, South Sumatera, Indonesia. NZ Geothermal Workshop.

Iglesias, Eduardo R., Torres, Rodolfo J., Martinez-Estrella J Ignasio. 2005. Medium To Low Temperatur Geothermal Reseve Of The State Of Aguascalientes, Mexico: A Partial Assesment. Proceedings World Geothermal Congress: Tukey.

Saptadji, Nenny Miryani. 2001. “Diktat Kuliah Teknik Eksploitasi Panas Bumi.” Bandung: Departemen Teknik Perminyakan ITB.

Pengelly, Jonathan. 2002. Monte Carlo Method.

Sanyal, Subir K dan Morrow, James W. 2010. Quantification Of Geothermal Resource Risk – A Practical Perspective. GRC Transactions, Vol 34.

Sarmiento, Zasimo F dan Steingrimsson, Benedikt. 2008. Computer Programme For Resource Assesment And Risk Evaluation Using Monte Carlo Simulation. Uganda.

http://geothermal.itb.ac.id/sites/default/files/public/estimasi_energi_geothermal.pdf