

## ESTIMASI POTENSI STATIK LAPANGAN PANASBUMI "X" MENGGUNAKAN SIMULASI MONTECARLO UNTUK PENGEMBANGAN PLTP

M. Th. Kristiati. EA<sup>\*)</sup>; Eko Widhi Pramudihadi<sup>\*)</sup>  
Bakhtiar Fauzi<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Perminyakan  
<sup>\*\*)</sup> Alumni Jurusan Teknik Perminyakan

### Abstrak

*Ketika keberadaan sumber energi panasbumi sudah ditemukan dari kegiatan eksplorasi, selanjutnya akan diestimasi potensi energi yang dimaksud. Dalam estimasi ini banyak sekali variabel yang memiliki ketidakpastian tinggi, seperti ketebalan, saturasi, pelamparan dsb. Oleh sebab itu perlu dilakukan simulasi dalam estimasi potensi energi ini agar didapatkan hasil yang lebih dapat dipercaya. Metoda penyelesaian dalam penelitian ini digunakan Simulasi Montecarlo, yaitu suatu teknik pemodelan perhitungan yang mengakomodir variabel-variabel dengan harga tidak pasti.*

*Penelitian ini akan dilakukan pada Lapangan Panasbumi "X", yang terletak dipusat Pulau Bali kira-kira 45 Km Utara kota Denpasar. Area panasbumi ini yang menarik untuk diteliti untuk lebih lanjut dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP). Luas area lapangan ini kurang lebih 70- 90 Km<sup>2</sup>. Sebagian area telah dibuktikan dengan adanya 2 ( dua ) sumur eksplorasi dalam X-02 dan X-03 serta sumur Core-hole TGC-04. Sumur- sumur ini terletak didalam struktur kawah bratan dengan luas Proven Area kira- kira 8 Km<sup>2</sup>.*

*Hasil Simulasi Monte Carlo akan mendapatkan harga yang sifatnya optimis, menengah dan pesimis. Variabel-variabel tersebut mempunyai range antara nilai minimum dan maksimum atau bisa juga ditambah dengan nilai tengah. Proses perhitungan dilakukan dengan persamaan yang eksak dikombinasi dengan angka random, sehingga setiap perulangan perhitungan akan mempunyai nilai eksak yang berbeda. Dari perhitungan menggunakan Simulasi Montecarlo, energi yang terkumpul didalam batuan dan fluida hasil akhirnya sangat potensial yaitu 186,15 Mwe). Sejak itu akan dikembangkan energi listrik sampai total sebesar 175 MWe ( 10 MWe + 3 x 55 MWe ).*

### Abstract

*When geothermal energy resource have known and proved by exploration activity, than potential energy will be estimate. This estimation will need many variabel that have high uncertainty, like thickness, saturation, spread formation out, etc. Because of this, need to make a simulation for estimate this potential energy in order to have a reasonable result. Solution methode of this research was Monte Carlo Simulation, that is a technical modelling calculation that accomodated the uncertaitainties variables.*

*This research was take place at Geothermal Field "X", that located at Bali Island about 45 Km North of Denpasar. This geothermal area was interested to make an enhanched study and*

*develop it to be a geothermal power plant. The area of this field its about 70- 90 Km<sup>2</sup>. A part of this have proved by two exploration wells that is X-02, X-03 and Core-hole TGC-04. The wells are located at Kawah Bratan Structure, and the proven area about 8 Km<sup>2</sup>.*

*Result of Monte Carlo Simulation will provide optimistic, moderate and pesimistic value. The calculation process do with the excact formula combined by random number, so each repitition of calculation will have a different excact value. From calculation use Monte Carlo Simulation, the energy that stored in rock and fluid was potential enough that is 186,15 MWe. Since that, electrical energy will develop until totally 175 MWe ( 10 MWe + 3 x 55 MWe ).*

**Keywords :** Geothermal field, Monte Carlo Simulation, Statik Potential

### **I. Pendahuluan**

Pemadaman listrik yang terjadi di berbagai daerah tidak hanya terjadi di kota kecil tetapi juga di kota besar. Contoh paling nyata yang terjadi saat ini adalah pemadaman bergilir yang dialami oleh Ibukota Negara tercinta yang masih akan berlangsung beberapa pekan ke depan. Pemadaman listrik akibat terganggunya aliran listrik tersebut akan berdampak pada kegiatan ekonomi kecil, menengah dan industri nasional menderita kerugian milyaran rupiah.

Ketidaksesuaian antara jumlah ketersediaan listrik dengan peningkatan jumlah konsumsi listrik dari tahun ke tahun menyebabkan terjadinya krisis pasokan listrik, terutama di daerah Jawa-Madura dan Bali sejak beberapa tahun terakhir. Hal inilah yang menyebabkan pemerintah berkomitmen untuk mendukung pengembangan sumber-sumber energi alternatif termasuk diantaranya adalah energi panasbumi. Panas bumi diharapkan dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Program percepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW mulai tahun depan, sebesar 70 % diantaranya akan dipasok oleh berbagai energi alternatif, dan diharapkan 20-30% dari jumlah tersebut dapat disediakan oleh energi panasbumi. Peran energi panas bumi menjadi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat di masa mendatang. Menjadi tantangan bagi semua pihak untuk mengelola dan memelihara kekayaan alam kita sehingga dapat dirasakan manfaatnya oleh masyarakat luas dalam kerangka pemenuhan kebutuhan energi nasional.

Penelitian dimaksudkan untuk dapat melakukan estimasi seberapa besar potensi Lapangan Panasbumi " X ", yang terletak dipusat Pulau Bali kira-kira 45 Km Utara kota Denpasar. Area panasbumi ini yang menarik untuk diteliti untuk lebih lanjut dikembangkan menjadi



Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP). Luas area lapangan panasbumi ini kurang lebih 70- 90 Km<sup>2</sup>. Sebagian area telah dibuktikan dengan adanya 2 ( dua ) sumur eksplorasi dalam X-02 dan X-03 serta sumur Core-hole TGC-04. Sumur- sumur ini terletak didalam struktur Kkawah Bratan dengan luas *Proven Area* kira- kira 8 Km<sup>2</sup>.

## II. Simulasi Monte Carlo

Untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi memang tidak mudah. Energi ini umumnya berada di kedalaman 1.000-2.000 meter di bawah permukaan tanah sulit ditebak keberadaan dan "karakternya". Investasi untuk memperoleh energi panasbumi ini juga tidak sedikit karena tergolong berteknologi dan berisiko tinggi. Di sisi lain, potensi panas bumi di suatu daerah biasanya di pegunungan dan terpencil-sering tak bisa dimanfaatkan karena kebutuhan listrik di daerah tersebut sedikit sehingga belum ekonomis untuk dieksplorasi dan dimanfaatkan.

Ketika keberadaan sumber energi panasbumi sudah ditemukan dari kegiatan eksplorasi, selanjutnya akan diestimasi potensi energi yang dimaksud. Dalam estimasi ini banyak sekali variabel yang memiliki ketidakpastian tinggi, seperti ketebalan, saturasi, temperatur, pelamparan dsb. Oleh sebab itu perlu dilakukan simulasi dalam estimasi potensi energi ini agar didapatkan hasil yang lebih dapat dipercaya. Metoda penyelesaian dalam penelitian ini menggunakan Simulasi Monte Carlo, yaitu suatu teknik pemodelan perhitungan yang mengakomodir variabel-variabel dengan harga tidak pasti.

Simulasi Monte Carlo merupakan perangkat analisis berbasis statistik, yang memberikan hasil berupa hubungan antara probabilitas versus harga parameter-parameter kunci. Simulasi Monte Carlo adalah simulasi dengan menggunakan random number (bilangan acak) yang bisa dihasilkan oleh rumus matematika tertentu. Penggunaan bilangan acak ini dimaksudkan untuk memperbanyak populasi dari besaran-besaran yang diamati. Dalam simulasi ini, mencari distribusi besaran yang diamati dalam hal ini potensi reservoir, berdasarkan pengetahuan terhadap distribusi dari besaran-besaran yang mempengaruhinya seperti luas, ketebalan, temperatur, saturasi, pelamparan dan lain-lain. Dengan mengetahui distribusi besaran yang diamati tersebut, maka dapat diketahui kelakuan termasuk risikonya. Metode Monte Carlo bertujuan untuk menentukan probabilitas parameter-parameter reservoir yang akan digunakan untuk menghitung besarnya potensi secara volumetris. Untuk setiap parameter diatas dapat

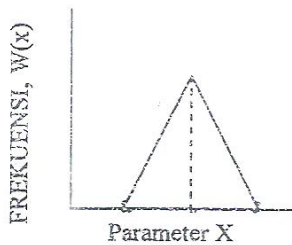
dibuat distribusi frekuensinya baik untuk suatu reservoir, daerah atau lapangan dsb. Bila suatu lapangan akan ditentukan besarnya dari distribusi frekuensi untuk masing-masing parameter yang mempengaruhinya, maka akan timbul kesulitan karena secara analitik hal ini sangat sulit untuk dilaksanakan. Simulasi Monte Carlo dapat digunakan sebagai suatu cara atau metoda untuk memecahkan persoalan diatas berdasarkan atas penggunaan sekumpulan bilangan yang disebut sebagai "random number".

**Distribusi Frekuensi :**

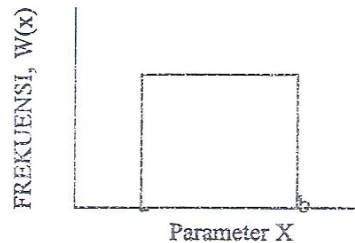
Untuk setiap parameter dapat digambarkan distribusi frekuensinya, sesuai dengan tingkat perkembangan data atau tingkat kepastian dari masing-masing parameter, dan secara umum hanya akan dikenal dua macam distribusi, yaitu :

- Distribusi segitiga
- Distribusi segiempat

Seperti halnya distribusi normal, maka luas daerah dibawah kurva distribusi frekuensi adalah sama dengan satu, sehingga harga frekuensi untuk suatu parameter, x, dapat ditentukan.



Gambar 1. Distribusi Segitiga



Gambar 2. Distribusi Segiempat

**Distribusi Segitiga :**

1. Frekuensi :

$X \leq b :$

$X \geq b :$

2. Kumulatif frekuensi :

$X \leq b : W (X < Xi) =$

$X \geq b : W (X > Xi) =$

**Distribusi Segiempat :**

1. Frekuensi :

$a < X < b : W(X) =$

2. Kumulatif frekuensi :

$a < X < b : W (X < Xi) =$

Harga distribusi kumulatif merupakan suatu harga kemungkinan (*probability*) untuk suatu harga parameter, X, misalnya untuk harga  $X < Xi$  ,  $X > Xi$  ataupun  $X1 < X < X2$ . Bila dilakukan

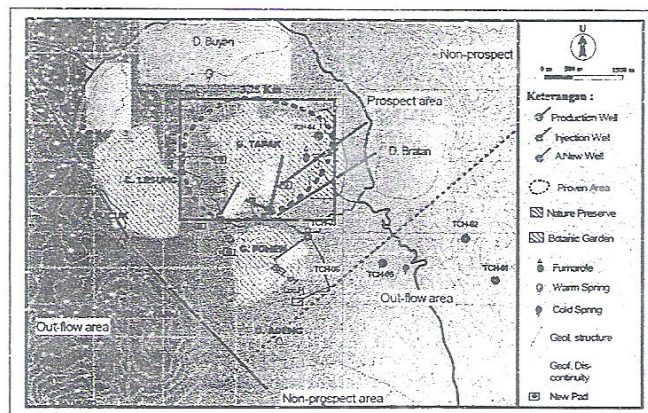


plot antara distribusi kumulatif,  $W(x)$  versus parameter,  $X$ , maka pada umumnya akan diperoleh suatu garis lurus untuk distribusi segiempat. Distribusi kumulatif,  $W(X)$ , dapat berupa *cummulative percentage less than*, bila parameternya disusun mulai dari harga paling kecil sampai yang paling besar (*ascending order*) atau *cummulative percentage greater than* bila parameter disusun mulai dari harga paling tinggi sampai yang paling rendah (*descending order*).

Hasil Simulasi Monte Carlo akan mendapatkan harga yang sifatnya optimis, menengah dan pesimis. Variabel-variabel tersebut mempunyai *range* antara nilai minimum dan maksimum atau bisa juga ditambah dengan nilai tengah. Proses perhitungan dilakukan dengan persamaan yang eksak dikombinasi dengan angka random, sehingga setiap perulangan perhitungan akan mempunyai nilai eksak yang berbeda.

### III. Area Prospek Lapangan Panasbumi " X "

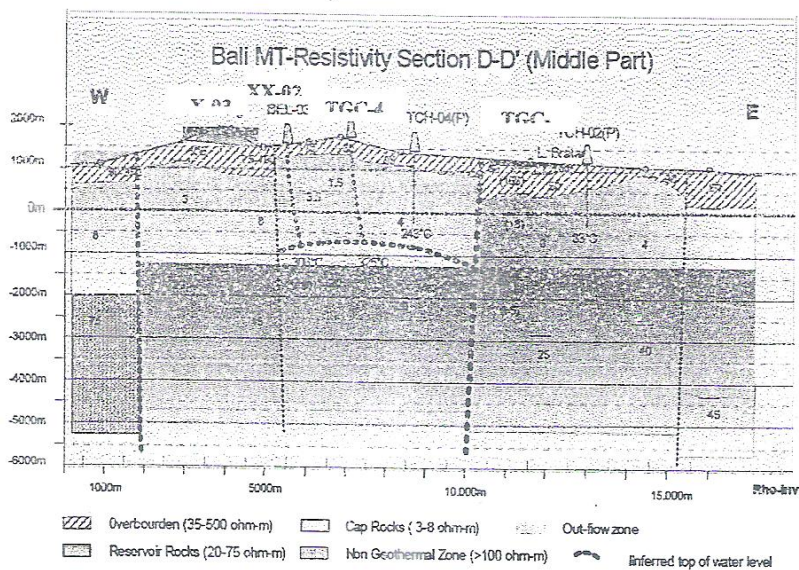
Hasil dari pengujian sumur menunjukkan bahwa sistem panasbumi Lapangan "X" adalah sistem dua fasa. Semenjak sumur X-03 telah dibuktikan dengan discharge steam, maka area prospek panasbumi ini dapat ditunjukkan dengan peta daerah terbukti (*proven area*) panasbumi "X". P-T profile X-02, X-03 dan core-hole TGC-04 mempunyai kemiripan, diindikasikan dengan gradien temperatur tinggi di area struktur kawah yang dimungkinkan adanya permeabilitas batuan. Sehingga, sumur X-03 dan X-02 dan core-hole TGC-04 menunjukkan batas area terbukti. Karena itu, area terbukti dari daerah prospek panasbumi "X" mencakup kurang lebih sekitar 8 Km<sup>2</sup> luasnya (Gambar 3). Daerah ini rencananya akan dibangun *power plant* awal sebesar 10 MWe sebelum dikembangkan ke 3 x 55 MWe.



Gambar 3. Peta Area Terbukti (Proven area) Panasbumi, " X "

Lapisan konduktif yang ada di area sistem panasbumi " X " adalah sangat tebal. Bagian bawah dari cap rock dapat mencapai kedalaman kira-kira 1000-2000 meter dibawah permukaan laut (Gambar 4). Kedalaman ini luar biasa dibandingkan dengan sistem-sistem panasbumi lainnya, dimana *cap rock* biasanya terletak 500 meter dibawah permukaan laut.

Berdasarkan hasil *resistivity survey* bahwa di area prospek panasbumi terdapat air laut yang terperangkap sebagai air formasi, dimana harga resistivity air laut adalah  $0.25 \Omega\text{m}$ . Model resistivity MT menunjukkan bahwa puncak dari basement berada lebih dalam dari pada *hot chloride water level*. *Hot chloride water* diketahui dari *down hole pressure-temperature* saat dilakukan test sumur. Temperatur tinggi di bawah permukaan ditunjukkan dengan hadirnya mineral epidot yang dijumpai di semua sumur pada semua interval kedalaman mulai dari 1000 masi kebawah. Tetapi, menurut catatan pemboran hanya ada 2 sumur X-02 dan X-03 yang memiliki lapisan permeabilitas. Sumur X-01 tidak ditemukan adanya lapisan permeabilitas.



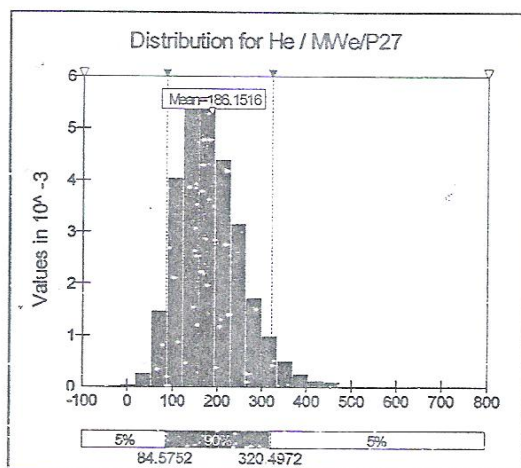
**Gambar 4.**  
**Model Tentative Resistivity, Lapangan Panasbumi " X "**



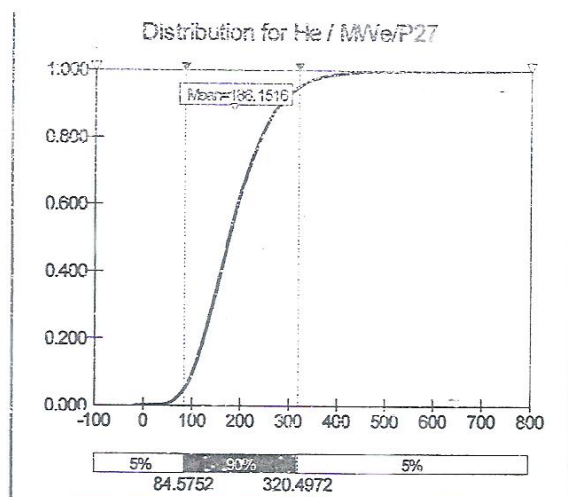
**IV. Hasil Penelitian :**

**Tabel 1**  
**Hasil Simulasi Monte Carlo**

| Summary Statistics |             |      |           |
|--------------------|-------------|------|-----------|
| Statistic          | Value       | Conf | Value     |
| Minimum            | -1.601E+01  | 5%   | 8.458E+01 |
| Maximum            | 7.580E+02   | 10%  | 1.019E+02 |
|                    |             |      |           |
| Std Dev            | 7.434E+01   | 20%  | 1.240E+02 |
| Variance           | 5525.801686 | 25%  | 1.339E+02 |
| Skewness           | 0.961306972 | 30%  | 1.423E+02 |
| Kurtosis           | 5.103438265 | 35%  | 1.512E+02 |
| Median             | 1.765E+02   | 40%  | 1.594E+02 |
| Mode               | 1.647E+02   | 45%  | 1.682E+02 |
| Left X             | 8.458E+01   | 50%  | 1.765E+02 |
| Left P             | 5%          | 55%  | 1.856E+02 |
| Right X            | 3.205E+02   | 60%  | 1.945E+02 |
| Right P            | 95%         | 65%  | 2.046E+02 |
| Diff X             | 2.359E+02   | 70%  | 2.157E+02 |
| Diff P             | 90%         | 75%  | 2.281E+02 |
| #Errors            | 0           | 80%  | 2.418E+02 |
| Filter Min         |             | 85%  | 2.584E+02 |
| Filter Max         |             | 90%  | 2.822E+02 |
| #Filtered          | 0           | 95%  | 3.205E+02 |



**Gambar 5.** Grafik Frekuensi Relatif Dari Probabilitas Perhitungan Potensi Reservoir Lapangan Panasbumi " X " Dengan Simulator Monte Carlo



**Gambar 6.** Grafik Kumulatif Dari Probabilitas Perhitungan Potensi Reservoir Lapangan Panasbumi " X " Dengan Simulator Monte Carlo



Seminar Nasional Kebumihan  
**Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan  
 Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan**

Tabel 2  
 Hasil Pengolahan Data Input dan Fitted Data Oleh Simulator Monte Carlo  
 Dari Lapangan Panasbumi " X "

| Parameter   | Mean        | Satuan            | Fitted Data Distribution                                   |
|-------------|-------------|-------------------|--|
| A           | 8126745.318 | m <sup>2</sup>    | <i>RiskUniform(6906250, 9343750)</i>                       |
| h           | 733.925     | M                 | <i>RiskLogistic(734.139, 72.136)</i>                       |
| $\rho_r$    | 2529.684    | Kg/m <sup>3</sup> | <i>RiskTriang(2388.89, 2600, 2600)</i>                     |
| $\phi$      | 0.095       | Fraksi            | <i>RiskTriang(0.00002, 0.00002, 0.28517)</i>               |
| $C_r$       | 2.424       | KJ/Kg.°C          | <i>RiskTriang(0.86667, 3.2, 3.2)</i>                       |
| $T_i$       | 274.213     | °C                | <i>RiskInvgauss(1506.9, 6379969.1, RiskShift(-1232.9))</i> |
| $S_{wi}$    | 0.612       | Fraksi            | <i>RiskTriang(-0.15829, 1, 1)</i>                          |
| $S_{vi}$    | 0.387       | Fraksi            | <i>RiskTriang(0, 0, 1.1583)</i>                            |
| $T_f$       | 180.040     | °C                | <i>RiskUniform(165, 195)</i>                               |
| $S_{wf}$    | 0.200       | Fraksi            | <i>RiskUniform(0.05, 0.35)</i>                             |
| $S_{vf}$    | 0.800       | Fraksi            | <i>RiskUniform(0.65, 0.95)</i>                             |
| $R_f$       | 0.420       | Fraksi            | <i>RiskUniform(0.39, 0.45)</i>                             |
| ELC         | 0.100       | Fraksi            | <i>RiskUniform(0.07, 0.13)</i>                             |
| t           | 29.999      | Years             | <i>RiskUniform(27, 33)</i>                                 |
| $U_{wi}$    | 1202.241    | KJ/Kg             | <i>RiskLoglogistic(304.65, 889.65, 12.88)</i>              |
| $U_{vi}$    | 2577.939    | KJ/Kg             | <i>RiskTriang(2527.824, 2603, 2603)</i>                    |
| $\rho_{wi}$ | 523.854     | Kg/m <sup>3</sup> | <i>RiskTriang(-140.2, 855.98, 855.98)</i>                  |
| $\rho_{vi}$ | 10.302      | Kg/m <sup>3</sup> | <i>RiskTriang(0, 0, 30.786)</i>                            |
| $U_{wf}$    | 762.085     | KJ/Kg             | <i>RiskUniform(696.31, 827.81)</i>                         |
| $U_{vf}$    | 2582.887    | KJ/Kg             | <i>RiskUniform(2573.602, 2592.213)</i>                     |
| $\rho_{wf}$ | 886.673     | Kg/m <sup>3</sup> | <i>RiskUniform(870.154, 903.168)</i>                       |
| $\rho_{vf}$ | 5.253       | Kg/m <sup>3</sup> | <i>RiskUniform(3.5531, 6.9555)</i>                         |

Energi yang terkumpul didalam batuan begitu juga fluida dihitung dengan menggunakan metode *Monte Carlo* dengan hasil akhirnya sangat potensial yaitu 186,15 MWe (Tabel 1) Sejak diketahui energi potensialnya berkisar antara 186 MWe, maka akan dikembangkan sampai total energi listrik sebesar 175 MWe ( 10 MWe + 3 x 55 MWe ).

Lapangan dengan mempunyai *proven area* (area terbukti) 8 Km<sup>2</sup>, energi potensial kemudian akan dieksplorasi untuk pembangunan *power plant* skala kecil yaitu 10 MWe untuk 2 tahun rencananya mulai tahun 2006. Kemudian akan ada pembangunan lain 55 MWe setiap tahun dimulai dari tahun 2008 dan berakhir dengan total 175 MWe pada tahun 2010.

Sumur X-03 hanya mengeluarkan 38 t/h steam akan dikombinasikan dengan sebuah sumur baru yang diharapkan bisa memenuhi sisa cadangan uap untuk menghasilkan 10 MWe listrik selama 30 tahun. Sumur-sumur baru akan di bor yang akan digunakan untuk mensuplai hingga total 3 x 55 MWe.

#### V. Diskusi :

Simulasi Monte Carlo sebenarnya selalu digunakan pada suatu kebutuhan perhitungan dengan variabel ketidak pastian yang tinggi. Dalam hal ini, perhitungan potensi statik Lapangan Panasbumi "X" dilakukan dengan maksud untuk memperkirakan kembali setelah hasil dari pemboran 2 (dua) sumur eksplorasi yaitu sumur X-02 dan X-03 yang memiliki lapisan permeabilitas, dan core-hole TGC-04 menunjukkan batas area terbukti. Sehingga dapat kiranya dilihat, hasil perhitungan menjadi dapat lebih dipercaya karena variabel-variabel perhitungan yang dipergunakan seperti lapisan konduktif yang ada diarea sistem panasbumi " X "sangat tebal. Bagian bawah dari cap rock dapat mencapai kedalaman kira-kira 1000-2000 meter dibawah permukaan laut. Kedalaman ini luar biasa dibandingkan dengan sistem-sistem panasbumi lainnya, dimana *cap rock* biasanya terletak 500 meter dibawah permukaan laut.

Kemudian, berdasarkan hasil *resistivity survey* bahwa di area prospek panasbumi terdapat air laut yang terperangkap sebagai air formasi, dimana harga resistivity air laut adalah 0.25  $\Omega$ m. Model resistivity MT menunjukkan bahwa puncak dari basement berada lebih dalam dari pada *hot chloride water level*. *Hot chloride water* diketahui dari *down hole pressure-temperature* saat dilakukan test sumur. Temperatur tinggi di bawah permukaan ditunjukkan dengan hadirnya mineral epidot yang dijumpai di semua sumur pada semua interval kedalaman mulai dari 1000 masl kebawah. Ketidak pastian dapat terjadi pada sifat-sifat fisik batuan dan fluida serta pelamparannya. Oleh karena itu parameter-parameter ini yang disimulasikan karena ketidak pastian yang cukup tinggi.



**V. Kesimpulan :**

1. Lapisan konduktif di area panasbumi "X" ini sangat tebal, dengan bagian bawah dari cap rock mencapai kedalaman 1000-2000 meter. Kedalaman yang luar biasa dibandingkan dengan sistem-sistem panasbumi lainnya, dimana cap rock biasanya terletak 500 meter dibawah permukaan laut.
2. Estimasi potensi listrik Lapangan Panasbumi "X" dari hasil Simulasi Monte Carlo adalah sebesar 186,1516 MWe selama 30 tahun kontrak.
3. Lapangan panasbumi "X" selanjutnya akan dikembangkan untuk pembangunan power plant skala kecil 10 Mwe untuk 2 tahun kedepan, kemudian dilanjutkan dengan pembangunan 55 MWe setiap tahun hingga total 175 MWe.

**VII. Daftar Pustaka :**

1. Murtha, J.A. (1997) : *Monte Carlo Simulation : Its Status and Future*, SPE paper No. 37932, JPT April 1997, Society of Petroleum Engineers.
2. Moore, Kevin S and Cockcroft, Peter J (1995) : *Application of Risk Analysis in Petroleum Exploration and Production Operation*. SPE paper No. 29254, JPT April 1997, Society of Petroleum Engineers.
3. Newendorp, Paul D (1975) : *Decision Analysis For Petroleum Exploration*, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma 74101
4. Otis, R.M. and Schneidermann, N (1997) : *A Process for Evaluating Evaluation Prospect*, AAPG Buletin V-81 No 7 (Juli 1997) p. 1087 – 1109.
5. Suranto, Kristiati. EA, M.Th. (2007) : *"Estimasi Cadangan Hidrokarbon Dengan Simulasi Monte Carlo Dalam Rangka Pengelolaan Sumberdaya Migas"*. Seminar Nasional Kebumihan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta.