

ISBN 978-602-8206-31-0



"Manajemen Sumberdaya  
Mineral dan Energi  
Untuk Ketahanan Nasional"

# PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN

YOGYAKARTA, 5 AGUSTUS 2008

## PENYUNTING:

M.Th. Kristiati. EA  
Suharsono  
Nur Ali Amri  
Puji Pratiknyo  
Herwin Lukito



SEMINAR FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta.  
Gedung Ari F.Lasut Lt. I telp.(0274) 487814 email: seminar\_ftm\_upnyk@yahoo.com

## DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar Panitia	iii
Kata Pengantar Dekan Fakultas Teknologi Mineral	iv
Susunan Panitia	v
Daftar Isi	vi
1. Pengaruh Cr(III) di dalam Adsorpsi Larutan Polimer (PAM) pada Media Pori terhadap Peningkatan Perolehan Minyak <b>Boni Swadesi, Suranto</b> .....	1
2. Prakiraan Potensi Statis Reservoir Panasbumi Namora I Langit Berdasarkan Simulasi Monte Carlo <b>Eko Widi Pramudihadi</b> .....	15
3. Pemilihan Metode Pengangkatan Buatan pada Sumur Minyak dengan Menggunakan Sistim Pakar <b>Anas Puji Santoso</b> .....	25
4. Studi Laboratorium Lumpur Dasar Bontonite Lokal Kupang yang Terkontaminasi Kadar Garam (NaCl) <b>Nursuhascaryo</b> .....	38
5. Penurunan Persamaan Permeabilitas Batuan melalui Pendekatan dengan Konsep Fraktal <b>Yosaphat Sumantri</b> .....	50
6. Perhitungan Biaya Investasi Pemboran pada Pengembangan Lapangan Migas <b>Herianto</b> .....	64
7. Perencanaan Reperforasi dan Side Tracking untuk Peningkatan Produksi pada Sumur-sumur Lapangan Minyak Tua <b>Herianto</b> .....	88
8. Perhitungan Kapasitas Rig yang Diperlukan pada suatu Rencana Operasi Pemboran Mig <b>Herianto</b> .....	107

**PRAKIRAAN POTENSI STATIS RESERVOIR PANASBUMI NAMORA I  
LANGIT BERDASARKAN SIMULASI MONTE CARLO  
(STATIC POTENTIAL CALCULATION OF NAMORA I LANGIT GEOTHERMAL  
RESERVOIR USING MONTE CARLO SIMULATION)**

Oleh :  
**Eko Widi Pramudihadi ST, MT**

**INTISARI**

Pemerintah pada saat ini melakukan diversifikasi energi, dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik dalam negeri (energi mix), antara lain berasal dari energi listrik panasbumi, sementara energi ini belum optimal dimanfaatkan (hanya mendukung 3,3% dari kebutuhan energi nasional) sedangkan Indonesia memiliki potensi panasbumi 40% dari potensi panasbumi dunia. Sumber panasbumi di Indonesia sebagian besar berada didaerah padat penduduk dan kekurangan energi listrik (Jawa, Bali dan Sumatra) sehingga dengan lebih meningkatkan penggunaan energi pansbumi, untuk pembangkit listrik akan mengurangi ketergantungan terhadap migas.

Penggunaan energi listrik yang berasal dari energi panasbumi sangat tergantung dari potensi panasbumi di reservoir sebagai faktor penjamin kontinuitas suplai energi (entalpi), yang dibawa oleh sejumlah massa fluida dari reservoir, menuju pembangkit listrik dipermukaan melalui pipa salur. Besarnya prakiraan potensi panasbumi pada tahap awal (ekplorasi) merupakan masalah yang cukup rumit karena parameter reservoir yang mendukung persamaan potensi reservoir, memiliki ketidakpastian tinggi, untuk menganulir hal tersebut dilakukan Simulasi Monte Carlo, dimana parameter yang tidak pasti tersebut dinyatakan dalam bentuk distribusi (kisaran harga variabel bebas), sehingga nilai potensi panasbumi tersebut juga memiliki distribusi (kisaran harga variabel dependen), besarnya potensi panasbumi dinyatakan pada probability 50%.

Penulis melakukan penelitian penentuan potensi panasbumi, di Lapangan Panasbumi Namora I Langit (Kawasan Taman Nasional Kerinci, Sumatra Utara) dengan menggunakan metoda Simulasi Monte Carlo, menghasilkan potensi listrik sebesar 302 MWe

*Kata Kunci: Potensi Reservoir Namora I Langit, Simulasi Monte Carlo, Ketidakpastian, Resiko.*

**ABSTRACT**

*In order to fulfill internal electrical energy demand, the Government of Indonesia intense diversifying the energy (energy mix). One of this energy is geothermal energy. For the time being, this kind of energy supports only 3.3% of national energy demand. On the other hand Indonesia has 40% of world geothermal potential. Fortunately, geothermal resources are commonly situated in the highly populated islands which insufficiency of electrical energy. That is why; developing the use of geothermal energy may minimize the oil and gas dependant.*

*Geothermal power plant needs continuous energy supply (enthalpy) which brought by an amount of fluid mass from geothermal reservoir to the plant through transmission pipes. In the early exploration stage, prediction of geothermal potential is very delicate, because a lot of uncertainties in the parameters within the equation of reservoir potential calculation. Monte Carlo simulation may solve out the situation. In this simulation each of the uncertain parameter is expressed into a range of free variabel, so that we get a geothermal potential in a range dependent variabel. Afterward, probability of 50% is applied.*

*Using Monte Carlo simulation, the electric potential of the Geothermal Field of Namora I Langit (National Park of Kerinci North of Sumatra) is 302 MWe.*

**I. PENDAHULUAN**

Lapangan Panasbumi Namora I Langit terletak di Sumatera Utara yang pada deretan bukit barisan (kawasan Taman Nasional Kerinci), disekitar provinsi ini, sangat kekurangan listrik sehingga perlu dikembangkan energi listrik dari panasbumi. Dalam mengembangkan energi listrik panasbumi, faktor yang menjamin kontinuitas pembangkit listrik adalah besarnya potensi panasbumi. Pada tahap ekplorasi potensi panasbumi baru dapat diketahui pada kondisi statis,

mula-mula dihitung berdasarkan metoda volumetrik kemudian dilanjutkan dengan menggunakan metoda Simulasi Monte Carlo.

Parameter penyusun persamaan potensi berdasarkan metoda volumetrik ini memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi, sehingga di dalam Simulasi Monte Carlo dapat dipertimbangkan, dengan menyatakan harga probabilitasnya dalam penentuan satu harga.

Pada Lapangan ini telah dilakukan survey Studi permukaan dan studi geofisik juga telah dilakukan 4 sumur pemboran eksplorasi oleh *Unocal North Sumatra Geothermal (UNSG)* pengeboran dengan Sumur N1-1, N2-1, N2-2, N3-1, sehingga cukup membantu dalam kelengkapan data untuk melakukan perhitungan Simulasi Monte Carlo.

Sebelum dilakukan proses perhitungan melalui simulator, harus dilakukan pengaturan data terlebih dahulu, sehingga parameter penyusun persamaan volumetrik memiliki distribusi, dalam melakukan perhitungan (potensi), menggunakan bilangan random, hasilnya berupa kurva potensi panasbumi terhadap kumulatif frekuensi, besarnya potensi panasbumi tersebut dinyatakan pada harga kumulatif frekuensi (probabiliti) 0.5.

Besarnya potensi panasbumi berdasarkan Simulasi Monte Carlo untuk Lapangan panasbumi Namora I Langit adalah sebesar 302 Mwe, hasil ini digunakan sebagai pelaksanaan strategi pengembangan pembangkit tenaga listrik selanjutnya dilapangan Panasbumi Namora I Langit.

## II. KONDISI DATA LAPANGAN PANAS BUMI NAMORA I LANGIT

Lapangan panasbumi Namora-I-Langit (Gambar1) telah diselidiki secara intensif oleh *Unocal North Sumatra Geothermal (UNSG* sekarang Chevron) pada periode 1993-1998 melalui studi permukaan dan eksplorasi bawah permukaan.

Studi permukaan yang dilakukan meliputi perpetaan geologi dan fotogeologi, sampling dan analisis manifestasi *thermal*, selain itu pelaksanaan survey geofisika juga dilakukan termasuk di Lapangan Silangkitang Selatan (*Gravimetrik* – 242 stasiun, *Magnetotelluric* 77 stasiun, *Time Domain Elektromagnetik* – 142 stasiun).

Eksplorasi bawah permukaan meliputi pemboran empat buah sumur dengan kedalaman antara 1,333 dan 1,723 m dengan diameter *slotted liner* sumur yang dibor bervariasi antara 3½" dan 10¾". Selain operasi standar *logging* geologi dan uji sumur, beberapa pengujian spesifik juga dilakukan. Pengujian spesifik yang dilakukan antara lain meliputi XRF pada *bulk* dan fraksi *clay*, inklusi fluida dan kandungan O<sub>18</sub> dalam *cutting* dan *core*.

**Hasil-hasil Utama dari Penyelidikan Terhadap Aspek Engineering Dalam Perhitungan Potensi.**

### a. Geologi dan Dimensi Reservoir.

Survey resistivity termasuk *Magnetotelluric (MT)* dan *Time Domain Elektromagnetik (TDEM)* dapat mengidentifikasi *layer* dengan resistivitas rendah (<10 ohm-m) pada Sarulla Graben dengan tebal antara 2000 - 2500 m. Dalam *layer* ini, unit dengan konduktivitas tinggi (<5 ohm-m) telah dapat dikenali. Unit ini dengan ketebalan rata-rata 300 m umumnya memanjang ke

arah WNW-ESE dan cenderung untuk semakin dalam secara moderat ke arah NNE, sehingga dapat diinterpretasikan seperti yang di sajikan pada Gambar 2 dan 3.

*Layer* dengan resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai material yang didominasi oleh *tuff* yang mengisi graben, sedangkan unit dengan konduktivitas tinggi mencerminkan produk argilit kuat yang membentuk *cap rock* dari sistim panasbumi dan muncul dalam korespondensi dengan manifestasi utama panasbumi di sekitar sumur NIL1-1.

Urutan stratigrafi dari area ini, sebagaimana disusun berdasarkan data permukaan dan data dari sumur eksplorasi dapat dikemukakan sebagai berikut:

- Tuff Riolit, dengan ketebalan sekitar 100 m, merupakan emisi yang besar dari Kaldera Toba.
- Tuff Dacit menuju Riolit dan Lava dengan ketebalan sekitar 500 m, yang mana berhubungan dengan aktivitas asam resin dari beberapa pusat gunung api dalam graben itu.
- Tuff Riolit, dengan interkalasi produk andesit dan basaltik dan mineral-mineral *clay* (diperkirakan sebagai paleosoil). Unit ini menunjukkan pengisian Sarulla Graben dan memiliki ketebalan lebih dari 1000 m.
- Sedimen laut tersier, tidak dipotong oleh sumur manapun dan muncul ke permukaan di selatan dari area ini.
- Metasedimen paleozoic, berselangan dengan *pluton mezoik* secara lokal, dan tidak dilewati oleh sumur, namun muncul di luar *graben*.

Keadaan struktur didominasi oleh GSF, yang disertai banyak patahan-patahan dengan luasan lateral yang besar dan komponen vertikal penting. Interpretasi foto udara menunjukkan adanya berbagai macam sistim rekahan yang meningkatkan permeabilitas sekunder dari formasi di dalam Sarulla Graben.

Berdasarkan distribusi mineral sekunder pada sumur-sumur eksplorasi, terdapat zona-zona alterasi yang berbeda, ditunjukkan oleh paragenesis mineralogi yang mencerminkan temperatur fluida yang mengalir pada masa lalu dan sekarang, yaitu:

- Zona *Smectit – Cristoballite*, terletak pada elevasi 400-700 m dpl, ditunjukkan oleh melimpahnya *clay smectit* dan opal, dengan campuran pirit, magnetit, hematit, kalsit dan *clorit*. Pada bagian dasar dari zona ini, dimana temperatur maksimumnya 200°C telah dicatat, cenderung untuk semakin dalam secara perlahan ke arah NE.
- Zona *Smectite/Illit – Kuarsa*, dengan ketebalan rata-rata 300 m, ditunjukkan dengan melimpahnya *clay smectite* dan *illite* serta kuarsa secara *interlayer*, dengan campuran kalsit, pirit, klorit, anhidrit, hematit, magnetit dan *wairakit*. Temperatur maksimum yang tercatat adalah 200-230 °C dan juga cenderung semakin dalam ke arah NE.
- Zona kuarsa – *Illite*, bercampur dengan epidot, klorit, kalsit, anhidrit, pirit, dan hematit. Susunan ini secara tipikal menunjukkan temperatur lebih dari 230°C, zona ini ditemukan di sumur NIL-1 dengan kedalaman yang dangkal (600 m), menunjukkan bahwa pendinginan telah terjadi di zona ini: hipotesis ini disesuaikan dengan inklusi fluida yang menunjukkan suatu temperatur yang lebih tinggi dari pada yang telah diukur.

Mineral-mineral sekunder (*pyrophyllite* dan *dickite*) menunjukkan adanya temperatur yang tinggi. Fluida hidrotermal asam sulfat atau  $H_2SO_4$  ditemukan hanya di sumur NIL2-2.

Penemuan utama yang didapatkan dari analisis data *geoscience*, dengan penekanan pada sirkulasi hidrothermal dan luasan geometri reservoir dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Sumber panas dari sistim panasbumi ini berhubungan dengan tubuh magma pada waktu resen yang mengisi pusat gunung api dengan komposisi riolitik dan dasitik, pusat gunung api ini memiliki arah N-S dan terletak di bagian barat dari graben Sarulla.
- *Thermal and Sulfur Faults*, menambah rekahan pada GSF dan memperluas bagian sentral-barat dari Sarulla Graben, nampak sebagai *upflow* utama dari fluida panas, dapat dilihat dipermukaan dengan banyaknya manifestasi fumarol.
- Dari zona *upflow* ini, terletak di sekitar NIL1-1 dan NIL2-1 dan 2-2 dan kemungkinan meluas ke arah utara ke manifestasi Sisalean, fluida umumnya nampak bergerak secara lateral ke arah timur, yaitu bergerak secara *transversal* ke regional sistim NNW-SSE.
- Arah aliran lateral ini diperkuat dengan lokasi dari mata air panas bikarbonat dan dengan nilai tekanan yang tercatat dalam sumur-sumur eksplorasi. Oleh karena itu, permeabilitas dianggap dikontrol oleh jaringan linamen yang kecil, tertutup dari WNW-ESE ke WSW-ENE yang dapat dikenali dengan foto udara, yang akan berhubungan dengan rekahan-rekahan resen.
- Hubungan permeabilitas dengan rekahan-rekahan batuan yang lebih besar dibandingkan dengan patahan utama tunggal merupakan elemen yang menguntungkan, karena hal itu akan meningkatkan kemungkinan suksesnya pemboran yang akan dilaksanakan di masa datang, meskipun pemotongan level permeabel untuk kepentingan komersial tidak tergantung pada kondisi yang sangat spesifik.
- Hasil dari survey MT/TDEM mendukung hipotesis di atas mengenai sirkulasi hidrothermai. Kontur 10 ohm-m diperkirakan meliputi Sarulla Graben, dimana *tuff* tebal dengan resistivitas relatif rendah telah terendapkan. Kontur 5 ohm-m menunjukkan adanya alterasi arglik dan kemungkinan besar merupakan luasan reservoir panasbumi. Batas antara dari anomali resistivitas yang sangat rendah bertepatan dengan perkiraan zona *upflow*, sedangkan batas timur bertepatan dengan GSF, dianggap sebagai penghalang hidrogeologi penting untuk sirkulasi fluida. "Tongue" yang diamati pada SE dapat berhubungan dengan *outflow* utama dari sistim, nampak di permukaan berupa mata air  $Cl-SO_4-HCO_3$  di sepanjang *Hutajulu Fault*, sehingga luasan reservoir di interpretasikan seperti Gambar 4.
- *Basement* di area terdiri dari batuan metasedimen paleozoik dan sedimen tersier, diinterpretasikan dengan survey gravimetri terbentuk di kedalaman 2200 m dan jika diukur dari elevasi sekitar 1200 m dpl, dengan kecenderungan naik ke arah barat. Bagian atas dari basement ini dianggap kedap air sehingga berfungsi sebagai batas bawah reservoir.

**b. Model Grid Reservoir Panasbumi Namora I Langit.**

Berdasarkan model konsep reservoir (Gambar 2 hingga Gambar 4) dapat dibuat model grid, pembagian blok akan dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya adalah jenis dan karakteristik batuan, struktur batuan dan lokasi sumur. Dalam pembagian blok secara lateral, diusahakan agar dalam satu blok tidak terdapat lebih dari satu sumur serta batuan sejenis.

Penelitian yang dilakukan adalah memodelkan reservoir yang memiliki luas 30 km<sup>2</sup> (berdasarkan data resistivity). Secara lateral, model dapat mencakup seluruh reservoir atau hanya sebagian dari reservoir. Pada Lapangan panasbumi Namora I Langit, sumur yang di bor jumlahnya belum banyak yaitu 4 sumur, bagian dari reservoir yang dimodelkan mencakup seluruh area panasbumi daerah tersebut (Gambar 5). Secara vertikal, model mencakup kedalaman 1000 sampai -1250 m dpl,

Selanjutnya masing-masing lapisan (*layer*) diberi nama dan setiap grid (blok) diberi nomor. Pembagian *layer* dan grid pada setiap *layer* ini dilakukan secara fleksibel, artinya diusahakan pembagian tersebut dapat mewakili data yang didapat dari hasil penyelidikan geologi, geofisika, geokimia dan pengukuran sumur.

Kondisi di atmosfer perlu dimodelkan, biasanya direpresentasikan oleh blok teratas (lapisan AAA). Sumber panas dapat direpresentasikan dalam model oleh beberapa blok di lapisan bawah.

Secara horizontal jumlah grid sebanyak 44 grid, secara vertikal dibuat sebanyak 6 grid. Pembuatan grid secara vertikal sebanyak 6 grid didasarkan pada batuan yang ditembus pada sumur NIL 2-1, NIL 2-2, dan NIL 1-1, perkiraan kedalaman reservoir serta estimasi struktur batuan (rekah). Berdasarkan lithologi batuan yang didapat dari sumur NIL 2-1, 2-2 dan 1-1 dianggap mewakili seluruh sistim. Jenis batuan yang ditembus NIL 2-1, NIL 2-2 dan NIL 1-1 secara umum terdiri dari 4 batuan, antara lain : rhyolituff, dacite, dacituff dan andesit.

Pembagian grid secara vertikal menjadi 6 grid, kondisi atmosfer diwakili oleh lapisan AAA pada elevasi 1000 m dpl, dan sebagai reservoir panasbumi direpresentasikan pada Lapisan EEE, sedangkan Lapisan FFF disamping sebagai reservoir juga sebagai pemanas pada lapisan terbawah dengan kedalaman - 1250 m dpl,

**III. DASAR TEORI.**

**a. Potensi Panasbumi berdasarkan Volumetrik (lump Parameter).**

Perhitungan besarnya jumlah panas yang terkandung di dalam reservoir panasbumi dilakukan berdasarkan kandungan energi panas di dalam batuan reservoir dan fluida (uap dan air) yang terdapat di dalam reservoir tersebut, bagan dari persamaan yang disebutkan tadi adalah sebagai berikut :

Panas yang terkandung di dlm res = Panas yang tersimpan dalam bat + Panas yang tersimpan dalam fluida

Besarnya kandungan energi panas di dalam reservoir (di dalam batuan dan fluida ) saat awal adalah sebagai berikut :

$$H_{ei} = A.h. \left[ (1-\phi) \rho_r . C_r . T_i + \phi (S_L . \rho_L . U_L + S_V . \rho_V . U_V) \right] \dots\dots\dots 1$$

Setelah di produksikan selama umur kontrak, besarnya kandungan panas direservoir saat akhir (final) :

$$H_{ef} = A.h. \left[ (1-\phi) \rho_r . C_r . T_f + \phi (S_L . \rho_L . U_L + S_V . \rho_V . U_V) \right] \dots\dots\dots 2$$

Besarnya energy panas yang dapat diambil sampai dengan akhir :

$$H_{th} = H_{ei} - H_{ef} \dots\dots\dots 3$$

Energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya sangat tergantung Faktor Perolehan (RF) :

$$H_{de} = R_f . H_{th} \dots\dots\dots 4$$

Besarnya potensi, yaitu energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk kurun waktu umur kontrak (biasanya 25-30 tahun) :

$$H_{ed} = \frac{H_{de} \eta}{t \times 365 \times 24 \times 3600} \dots\dots\dots 5$$

**b.Potensi Panasbumi Berdasarkan Simulasi Monte Carlo**

Pendekatan secara Simulasi Monte Carlo bertujuan menganulir adanya ketidakpastian yang bersasal dari parameter potensi reservoir seperti pada Persamaan 1 atau Persamaan 2, parameter yang tidak memiliki ketidakpastian merupakan variabel bebas, sehingga memasukkan nilai probabilitas dari masing-masing variabel bebas tersebut, antara lain: luas, ketebalan, saturasi air dan uap, suhu reservoir (awal dan akhir), kapasitas panas batuan, porositas batuan, densitas batuan dan fluida yang mengisi media rekah serta energi dalam fluida.

Masing-masing variabel bebas tersebut memiliki distribusi (jenis distribusi Gambar 6), jika diplot antara relatif frekuensi terhadap masing-masing variabel bebas, masih terlalu kasar, sehingga untuk mengambil satu harga, cukup sulit karena data masih terbatas (tahap eksplorasi), dengan menggunakan teknik Simulasi Monte Carlo bertujuan menaikkan populasi data variabel bebas dengan memasukkan *Random Number*, seperti yang dinyatakan pada Tabel I, berdasarkan hubungan matematis:

$$\text{Potensi (Mwe)} = \text{Harga Minimal} + \text{Random Number} \cdot (\text{Harga Maksimum Variabel Bebas} - \text{Harga Minimum Variabel bebas}) \dots\dots 6$$

Data harga potensi (Tabel I paling kanan) dengan cara statistik dapat dibuat grafik kumulatif frekuensi terhadap potensi, untuk menentukan satu harga yang mewakili potensi lapangan panasbumi yang bersangkutan, didapat potensi pada probability 50% (Gambar 7).

**IV. PALAKSANAAN SIMULASI MONTE CARLO.**

Untuk mempercepat proses perhitungan, penulis menggunakan simulator, Simulator ini merupakan hak paten dari *Palasade*, dengan merk perdagangan *@risk versi 4.5.4 The Decision Tools Suite Industrial Edition*, merupakan penambahan beberapa perintah dari software *microsoft excel*, peran simulator ini melakukan eksekusi perhitungan dengan mengambil bilangan random secara acak (menaikkan populasi) hingga mendapatkan harga tunggal dari suatu distribusi.

Dalam melakukan perhitungan potensi, penulis melakukan perhitungan secara volumetrik kemudian dengan metoda Simulasi Monte Carlo, tujuannya adalah untuk membandingkan, karena



dalam tahap eksplorasi penentuan potensi melalui perhitungan secara volumetrik kemudian dilakukan perhitungan Simulasi Monte Carlo.

**a. Perhitungan Potensi Secara Volumetrik.**

Data Lapisan Reservoir EEE dan FFF berdasarkan data *Earth Science* dan *Engineering* dapat ditabulasikan pada Tabel II. Dengan kandungan panas saat awal dan akhir, sebagai berikut:

Energi panas yang terkandung dalam batuan dan fluida pada kondisi awal (*initial condition*) adalah :

$$\begin{aligned}
 H_i &= A \cdot h \left[ (1 - \phi) \rho_r \cdot C_r \cdot T_i + \phi (\rho_{wi} \cdot U_{wi} \cdot S_{wi} + \rho_{vi} \cdot U_{vi} \cdot S_{vi}) \right] \\
 &= 3 \times 10^7 \cdot 10^3 \left[ (1 - 0,15) 2650 \cdot 1.225 + 0,15 (921.966,6 \cdot 0,95 + 988.2600 \cdot 0,05) \right] \\
 &= 1,9E+16 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Energi panas yang terkandung dalam batuan dan fluida pada kondisi akhir (*final condition*) adalah :

$$\begin{aligned}
 H_f &= A \cdot h \left[ (1 - \phi) \rho_r \cdot C_r \cdot T_f + \phi (\rho_{wf} \cdot U_{wf} \cdot S_{wf} + \rho_{vf} \cdot U_{vf} \cdot S_{vf}) \right] \\
 &= 3 \times 10^7 \cdot 10^3 \left[ (1 - 0,15) 2650 \cdot 1.180 + 0,15 (886,7.762,1 + 5,14.2584,0) \right] \\
 &= 1,52E+16 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Energi panas maksimum yang dapat dimanfaatkan :

$$\begin{aligned}
 H_{th} &= H_i - H_f \\
 &= 1,9E+16 - 1,52E+16 \\
 &= 3,79E+15 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Energi panas yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya

$$\begin{aligned}
 H_{de} &= H_{th} \times RF \\
 &= 3,79E+15 \times 0,42 \\
 &= 1,394E+15 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Energi listrik yang dapat dihasilkan dari energi panas :

$$\begin{aligned}
 H_{el} &= \frac{H_{de} \cdot \eta}{t \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \\
 H_{el} &= \frac{1,68E+15 \cdot 0,1}{30 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}
 \end{aligned}$$

$$H_{el} = 168518,77 \text{ kW} = 168,518 \text{ MWe (selama 30 tahun)}$$

**b. Perhitungan Potensi Secara Simulasi Monte Carlo.**

Parameter pendukung potensi seperti pada Persamaan 1 dan Persamaan 2 dari lapisan EEE dan FFF (lapisan reservoir Gambar 5), masing-masing merupakan parameter (variabel bebas) yang memiliki ketidakpastian tinggi sesuai dengan probabilitasnya, data tersebut (ketidakpastian tinggi) disusun dari kecil kebesar, seperti salah satu contoh parameter suhu initial pada Gambar 8.

### 1. Data Masukan.

Berdasarkan data Tabel II dan data sejenis Gambar 8, data dengan ketidakpastian tinggi tersebut dapat ditentukan distribusinya dengan menggunakan simulator dengan cara memplot distribusi data berdasarkan data eksplorasi (data variabel bebas dari Persamaan 1 dan 2) dan menyesuaikan dengan distribusi yang tersedia dalam program, hasilnya pada Tabel III (kolom paling kanan), sebagai petunjuk untuk memilih distribusi dapat diplot hubungan variabel bebas (absis) terhadap relatif frekuensi (ordinat).

### 2. Pelaksanaan Eksekusi.

Besarnya potensi reservoir diperoleh dari Persamaan 1 dan 2, dimana parameternya telah memiliki distribusi, dilakukan eksekusi sedemikian rupa (1000 sampai 10 juta kali eksekusi) sehingga harga potensi pada 50% probabilitas mencapai stabil (tetap), hasilnya pada Gambar 9, pada kondisi yang sudah mencapai stabil, simulator dapat juga memberikan hasil keluaran sensitivitas, seperti pada Gambar 10.

## V. DISKUSI.

Penelitian yang dilakukan di Lapangan Panasbumi Namora I Langit, pada tahap eksplorasi merupakan potensi statis (perhitungan secara volumetrik kemudian diteruskan secara Monte Carlo). Perolehan data penyusun persamaan potensi statis tersebut, berdasarkan dari data *earth science* dan *engineering*.

Data *earth science* berasal dari data Geologi, Geokimia dan Geofisik sedangkan data *engineering* berasal dari data pemboran yang intinya memperbaiki kualitas data penyusun persamaan potensi reservoir.

Pada tahap perhitungan menggunakan metoda volumetrik akan kesulitan dalam menentukan satu harga yang mewakili parameter penyusun Persamaan 1 dan 2, untuk mengatasi hal tersebut (sehubungan dengan ketidakpastian) digunakan perhitungan menggunakan metoda Simulasi Monte Carlo dalam rangka mengurangi resiko.

Pada Simulasi Monte Carlo, data penyusun persamaan potensi masih minim, sehingga perlu dilakukan perhitungan menaikkan populasi (dengan memasukkan *random number*), tujuannya agar menghasilkan distribusi data menjadi lebih halus, dari masing-masing data variabel bebas.

Simulator juga akan melakukan pemilihan berdasarkan distribusi yang terdekat dengan petunjuk plot relatif frekuensi terhadap variabel bebas. Dengan Menggunakan Persamaan 1 dan 2, yang diaplikasikan kedalam simulator, akan didapat distribusi potensi, untuk mendapatkan satu harga potensi, diperoleh dari probabilitas (kumulatif frekuensi) 50%.

Pada Persamaan 2 akan diperoleh potensi pada kondisi akhir, harga sifat fisik (dan sifat termodinamika) batuan dan fluida, diambil asumsi dievaluasi pada suhu 180 °C, ini menyatakan kondisi terburuk dimana reservoir terisi oleh air saja, demikian juga secara batas reservoir diambil pada suhu 180 °C, karena dalam perhitungan secara ekonomis suhu 180 °C merupakan batas minimalnya.

Beberapa parameter seperti konversi energi termal menjadi energi listrik, diambil sebesar 10%, demikian juga faktor perolehan (*Recovery Factor*) panas yang dapat di ambil sebesar 42,5%, asumsi diatas berdasarkan angka yang umum digunakan di beberapa lapangan panasbumi dunia.

Hasil perhitungan secara volumetrik (tanpa memasukkan kondisi ketidakpastian) sebesar 168,5 MWe sedangkan secara Monte Carlo sebesar 302 MWe (lebih dipercaya), Potensi sebesar 302 Mwe ini memberi petunjuk dalam membangun pembangkit kira-kira sepertiganya dulu yaitu 2x55 MWe pada tahap awal produksi, dengan tujuan untuk melihat kinerja perolehan listrik dan karakteristik fluida produksinya dulu selama lebih-kurang 5 tahun, kemudian dilakukan pembangunan pembangkit listrik tahap selanjutnya.

## VI. KESIMPULAN

1. Perhitungan Potensi Listrik (statis) sangat tergantung data *earth science* dan ini di perbaiki oleh data pemboran (data engineering).
2. Dari data *earth science* dan *engineering*, dapat dibuat model konsep, dengan lapisan produktif Lapisan EEE dan FFF, suhu 225 °C , dan memiliki luas 30 Km<sup>2</sup> dan tebal 1000 m.
3. Potensi listrik Lapangan Panasbumi Namora I Langit 302 MWe.

## DAFTAR PUSTAKA

- Grant A.Malcolm., Donaldson G.Lan., Bixley F., Paul "Geothermal Reservoir Engineering", Academic Press Inc.,New York,1982.
- \_\_\_\_\_. Due Diligence Final Report, Sarulla Geothermal Project, Perusahaan Listrik Negara PT, PLN (persero),Jakarta, Februari, 2004.
- \_\_\_\_\_. Data Pemboran Sumur Lapangan Pabum Namora I Langit. *Unocal North Sumatra Geothermal* (UNSG),2002
- \_\_\_\_\_. Data Earth Science (Geologi, Geokimia dan Geofisik), *Unocal North Sumatra Geothermal* (UNSG),2002
- \_\_\_\_\_. Guide book Risk Analysis, *@risk versi 4.5.4 The Decision Tools Suite Industrial Edition*, Palisade Inc, 2006.

## Daftar Lambang.

- A : Luas daerah panasbumi (m<sup>2</sup>)  
h : Tebal (m)  
T : Temperatur reservoir (°C)  
S<sub>L</sub> : Saturasi air (fraksi)  
S<sub>V</sub> : Saturasi uap (fraksi)  
U<sub>L</sub> : Energi dalam air (kJ/kg)  
U<sub>V</sub> : Energi dalam uap (kJ/kg)  
φ : Porositas batuan reservoir (fraksi)  
C<sub>r</sub> : Kapasitas panas batuan (kJ/kg°C)  
ρ<sub>r</sub> : Densitas batuan (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_L$  : Densitas air ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_V$  : Densitas uap ( $\text{kg/m}^3$ )

$T_i$  : Temperatur reservoir keadaan awal,  $^{\circ}\text{C}$

$T_f$  : Temperatur reservoir pada keadaan akhir,  $^{\circ}\text{C}$

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

$H_{ef}$  : Kandungan energi di dalam batuan dan fluida pada keadaan akhir, kJ

$H_{th}$  : Maksimum energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan, kJ

$H_{de}$  : Energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya, kJ

$H_{thermal}$  : Energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan selama kurun waktu tertentu, kJ.

$H_e$  : Energi listrik yang dapat dibangkitkan selama kurun waktu tertentu, MWe

$R_r$  : Faktor perolehan, %

$t$  : Lama waktu (umur) pembangkit listrik (tahun)

$\eta$  : Faktor konversi listrik

Daftar Tabel

Tabel I: Proses Menaikkan Populasi Yang Dilakukan Oleh Simulator Monte Carlo

Random Number	Parameter (1)	Parameter (2)	Parameter (3)	Parameter (...)	Potensi Statis
RN 1	x1				<i>MWe 1</i>
RN 2		y1			
RN 3			z1		
RN 4...				(...)	
RN 5	x2				<i>MWe 2</i>
RN 6		y2			
RN 7			z2		
RN 8...				(...)	
RN 9	x3				<i>MWe 3</i>
RN 10		y3			
RN 11			z3		
RN 12...				(...)	

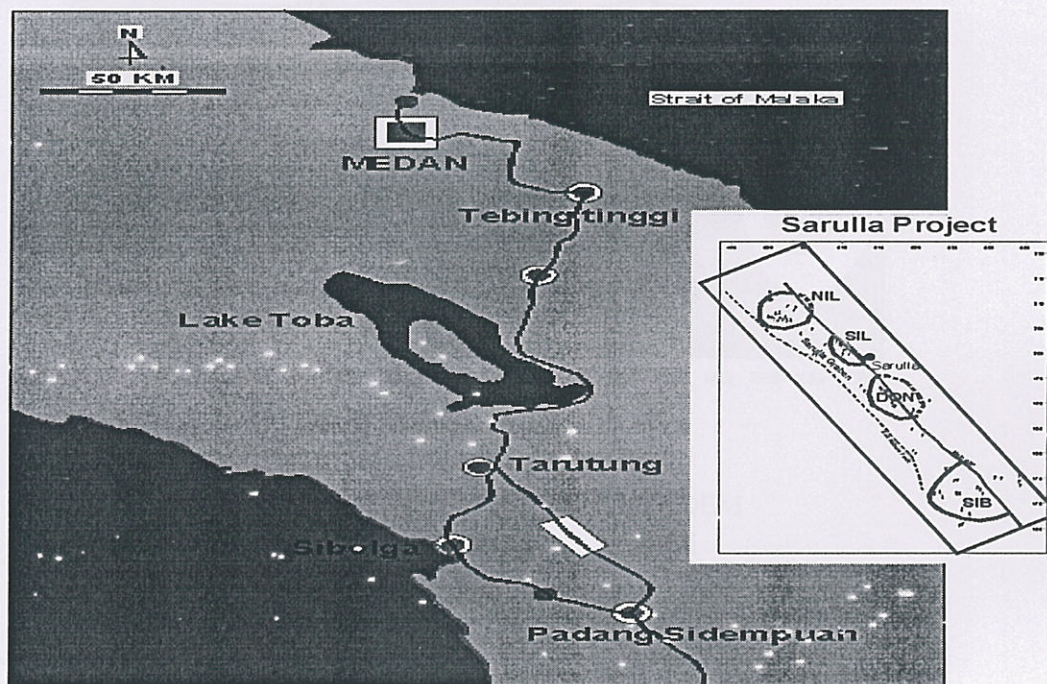
**Tabel II: Data Penyusun Parameter Potensi Reservoir Lapangan Pabum Namora I Langit**

Data Reservoir			
Luas area (A), m <sup>2</sup>		30.000.000	
Tebal Lapisan Produktif (h), m		1000	
Kapasitas panas batuan (C <sub>r</sub> ), kJ/kg <sup>0</sup> C		1	
Densitas batuan ( $\rho_r$ ), kg/m <sup>2</sup>		2650	
Porositas ( $\phi$ ), %		15	
<b>Kondisi Awal</b>		<b>Kondisi Akhir</b>	
Temperatur Awal (T <sub>i</sub> ), <sup>0</sup> C	225	Temperatur Akhir (T <sub>f</sub> ), <sup>0</sup> C	180
Saturasi Air (S <sub>wi</sub> ), %	95	Saturasi Uap (S <sub>vf</sub> ), %	0
Energi Dalam Air (u <sub>wi</sub> ), kJ/kg	966,66	Energi Dalam Uap (u <sub>vf</sub> ), kJ/kg	2584
Densitas Air ( $\rho_{wi}$ ), kg/m <sup>3</sup>	921	Densitas Uap ( $\rho_{vf}$ ), kg/m <sup>3</sup>	5,14
Densitas Uap ( $\rho_{vi}$ ), kg/m <sup>3</sup>	9,88	Densitas Air ( $\rho_{wf}$ ), kg/m <sup>3</sup>	886,7
Energi Dalam Uap (u <sub>vi</sub> ), kJ/kg	2650	Energi Dalam Air (u <sub>wf</sub> ), kJ/kg	762
Saturasi Uap (S <sub>vi</sub> ), %	5	Saturasi Air (S <sub>wf</sub> ), %	100
Recovery Factor (RF), %		42,5	
Konversi Energi ( $\eta$ ), %		10	
Waktu Kontrak (time), years		30	

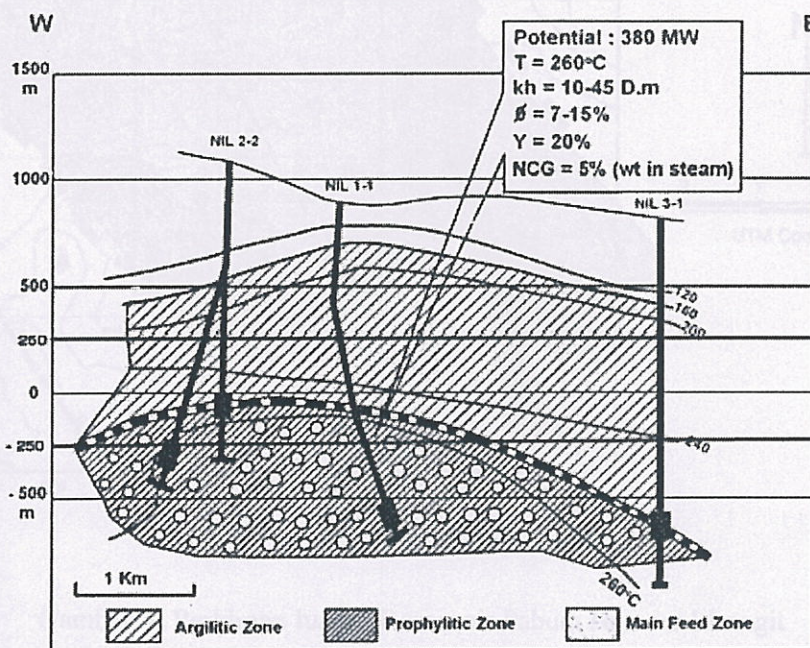
**Tabel III : Penentuan Distribusi Parameter Penyusun Potensi**

Parameter	Mean	Satuan	Fitted Data Distribution
A	31000000	m <sup>2</sup>	<i>RiskNormal(31000000, 1581139)</i>
h	1200	m	<i>RiskNormal(1200, 316.23)</i>
pr	2675	kg/m <sup>3</sup>	<i>RiskNormal(2675, 93.541)</i>
Φ	0,113	fraksi	<i>RiskNormal(0.113, 0.011511)</i>
Cr	1	kJ/kg.°C	<i>RiskNormal(1, 0.079057)</i>
Ti	222,495	°C	<i>RiskUniform(168.79, 276.2)</i>
Swi	0,969171	fraksi	<i>RiskLogistic(0.969171, 0.02829)</i>
Svi	0,037353	fraksi	<i>RiskExtvalue(0.018602, 0.032485)</i>
Tf	180	°C	<i>RiskNormal(180, 7.9057)</i>
Svf	0,85	fraksi	<i>RiskNormal(0.85, 0.079057)</i>
Swf	0,15	fraksi	<i>RiskNormal(0.15, 0.079057)</i>
RF	0,425	fraksi	<i>RiskLogistic(0.425, 0.021614)</i>
ELC	0,1	fraksi	<i>RiskNormal(0.1, 0.015811)</i>
t	30	years	<i>RiskNormal(30, 1.5811)</i>
Uwi	964,839	kJ/kg	<i>RiskLogistic(964.839, 90.271)</i>
Uvi	2597,009	kJ/kg	<i>RiskLogistic(2597.0093, 3.6366)</i>
ρwi	924,205	kg/m <sup>3</sup>	<i>RiskUniform(868.74, 979.67)</i>
ρvi	13,98081	kg/m <sup>3</sup>	<i>RiskUniform(-0.32139, 28.283)</i>
Uwf	762	kJ/kg	<i>RiskNormal(762, 15.811)</i>
Uvf	2584	kJ/kg	<i>RiskNormal(2584, 15.811)</i>
ρwf	1220	kg/m <sup>3</sup>	<i>RiskNormal(1220, 39.528)</i>
ρvf	12	kg/m <sup>3</sup>	<i>RiskNormal(12, 1.5811)</i>

Daftar Gambar

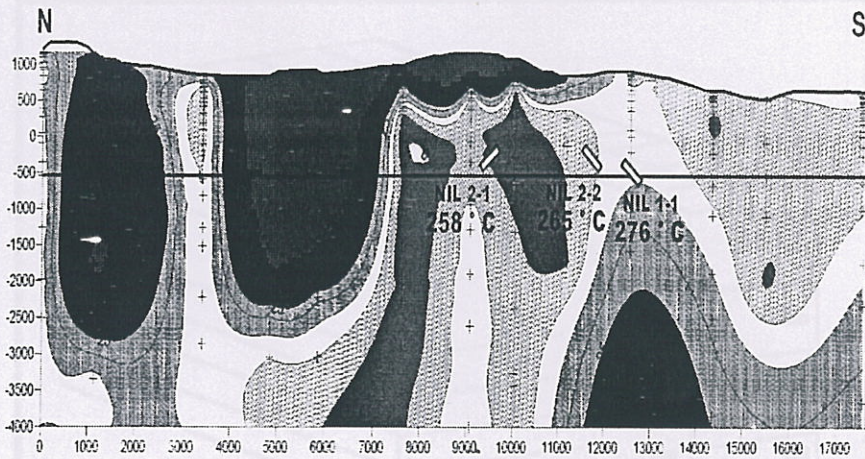


Gambar 1: Letak Lapangan Namora I Langit

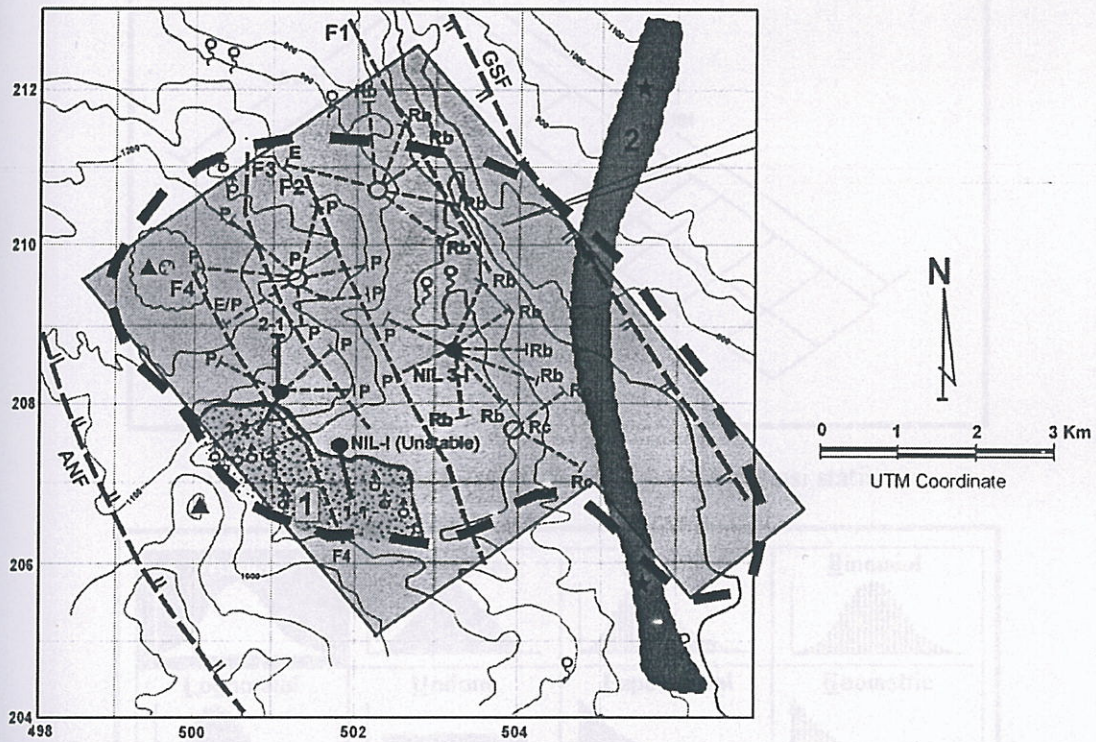


Gambar 2 : Interpretasi resistivity secara vertikal

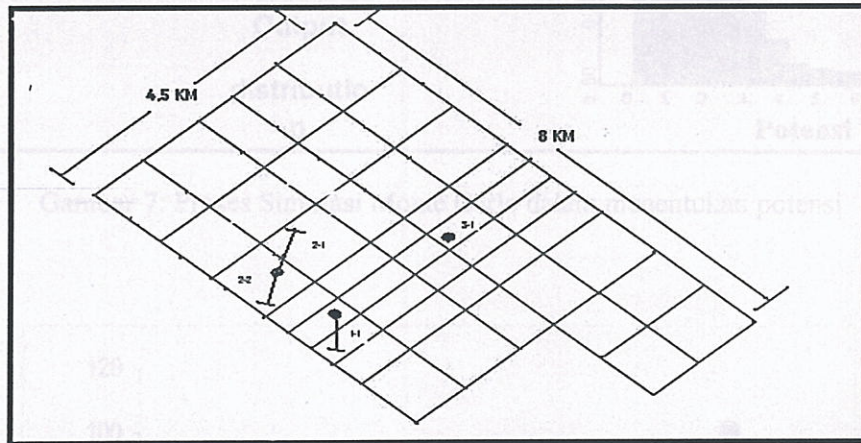
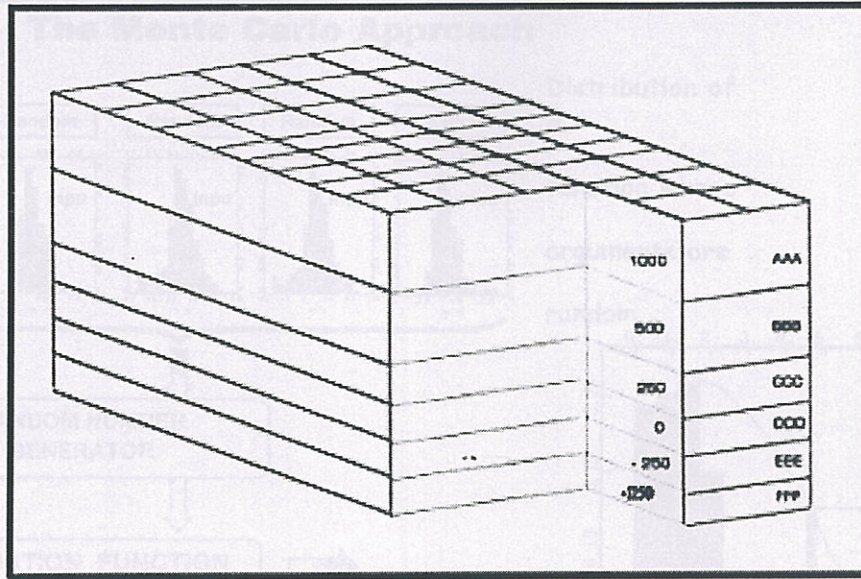




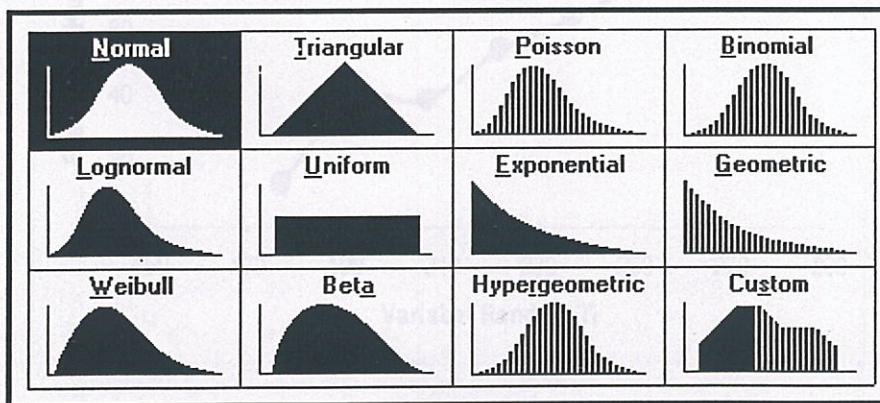
Gambar 3: Interpretasi Survey TM dan TDEM



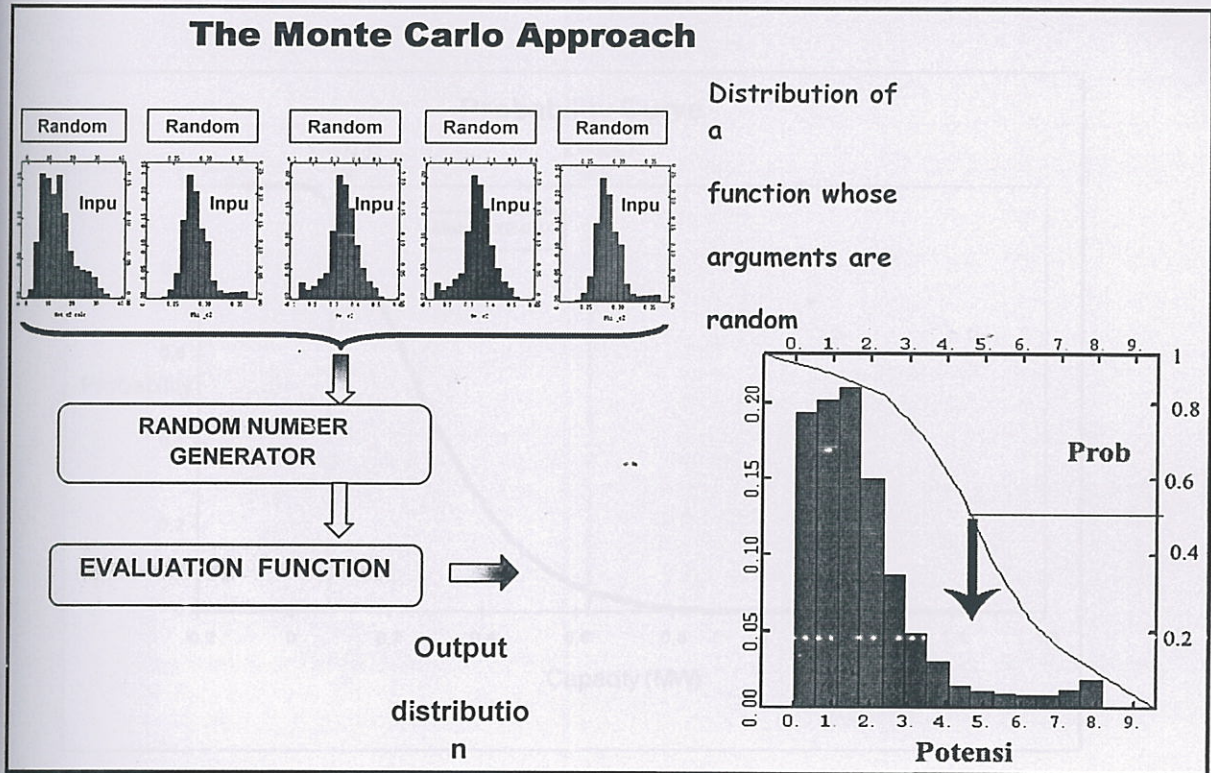
Gambar 4: Perkiraan luasan Reservoir Pabum Namora I Langit



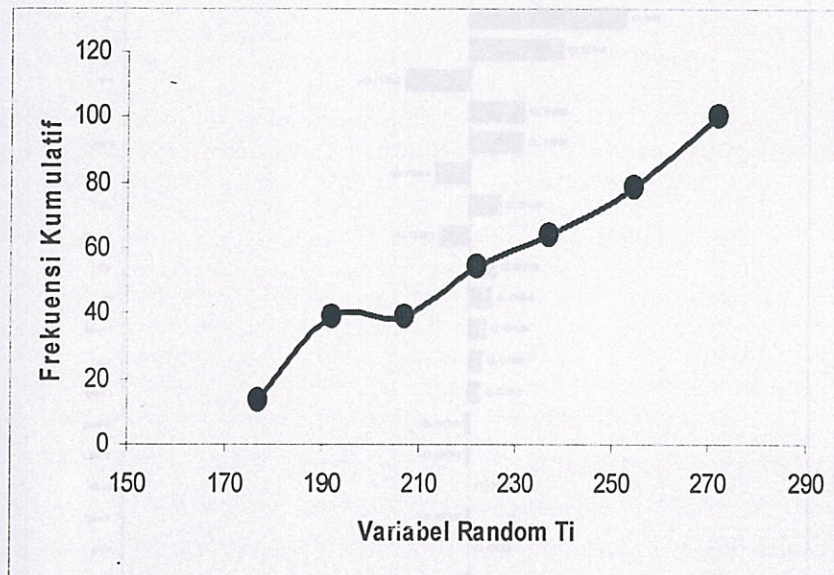
Gambar 5 : Model grid untuk penentuan potensi statis



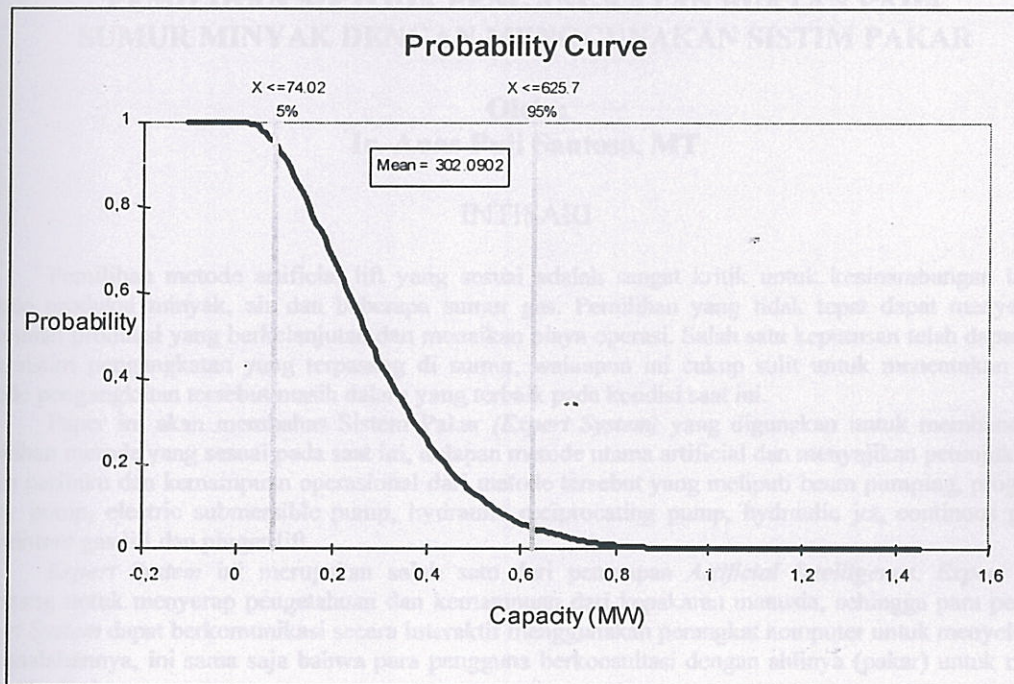
Gambar 6 : Jenis distribusi variabel bebas potensi panasbumi



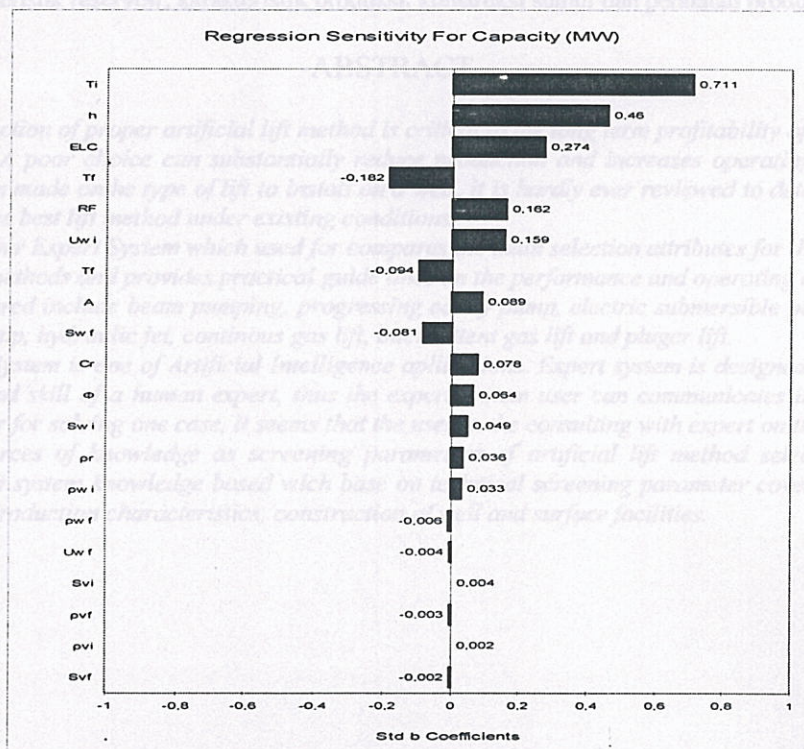
Gambar 7: Proses Simulasi Monte Carlo dalam menentukan potensi



Gambar 8: Grafik frekuensi kumulatif temperatur pada kondisi awal  
(contoh parameter bebas dari Pers-1)



Gambar 9: Plot potensi Vs kumulatif frekuensi (probabiliti)



Gambar 10: Sensitivitas parameter potensi panasbumi