



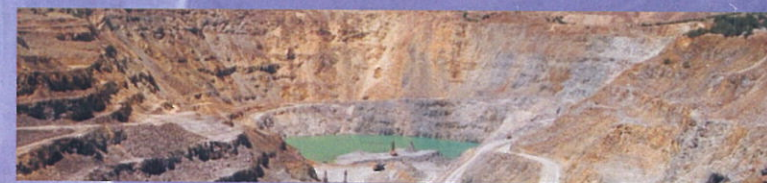
"Konservasi Sumberdaya
Mineral dan Energi"

PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN

YOGYAKARTA, 11 AGUSTUS 2009

PENYUNTING:

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



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

21	Carbonate sedimentation of the tuban formation in the onshore East Java Basin Salatun Said	182
 MAKALAH PERMINYAKAN		
22	Optimalisasi manajemen konservasi sumberdaya mineral dan energi Djoko Sunarjanto, Tri Bambang S. Rasantyo, dan Isnawati	194
23	Pemilihan kandidat sumur untuk dilakukan Stimulasi pada lapangan " x " Ir. Drs. St. Edi Purwaka, MT; Boedi Windiarto, ST, dan Advento Amaral	206
24	Perkiraan potensi lapangan panasbumi "X" M.Th Kristiati, EA, ST, MT dan Eko Widhi Pramudihadi, ST, MT.	227
25	Study kajian pengusahaan sumur-sumur tua Nur Suhartono, ST.	244
26	Pengembangan peramalan perhitungan parameter aquifer dan original oil in place secara simultan dengan menggunakan metode eliminasi gauss pada analisa regresi multi variabel untuk kondisi aliran unsteady state: Dr. Ir. Dyah Rini Ratnaningsih, MT, Ir. Djoko Askeyanto, MS., dan Herry Susanto	266
27	Pemilihan area dan kandidat sumur pada reservoir "x" lapangan "y" menggunakan pendekatan <i>dynamic synthesis</i> dalam rangka konservasi energi migas Sudarmoyo	257
28	Pengembangan peramalan perhitungan parameter aquifer dan original oil in place secara simultan dengan menggunakan metode eliminasi gauss pada analisa regresi multi variabel untuk kondisi aliran unsteady state: Dr. Ir. Dyah Rini Ratnaningsih, MT, Ir. Djoko Askeyanto, MS., dan Herry Susanto	266
29	Analisa dinamis keberhasilan pendesakan minyak oleh larutan polimer pada batuan karbonat Boni Swadesi dan Agus Widyarso	285
30	Perkiraan produksi minyak sumuran dengan simulasi " <i>single well model</i> " Suranto	298
31	Study laboratories of local materials additive cement for subnormal condition reservoir Nur Suhascaryo	312

PERKIRAAN POTENSI LAPANGAN PANASBUMI "X"

Oleh:

M.Th Kristiati, EA dan Eko Widhi Pramudionadi
(Jurusan Teknik Perminyakan, KBK Panasbumi)

Abstrak

Panasbumi merupakan kumpulan energi bauran yang digalakan pemerintah, sumbangsih energi panasbumi ini sekitar 7% dari energi nasional yang digunakan pemerintah, sehingga pemerintah perlu meningkatkan diversifikasi energi panasbumi mengingat kebutuhan energi meningkat terus sekitar 5% pertahun terutama Jawa-Bali, apalagi pihak PLN sudah mencanangkan sumber energi listriknya akan menggunakan sumber energi listrik dari panasbumi.

Sumber energi listrik panasbumi dapat dibangun dan dikelola dengan memiliki beberapa syarat, antara lain berentalpi tinggi, market tersedia, secara keekonomian terutama harga terjangkau oleh masyarakat dan pengembang, juga secara potensi cukup menjamin. Syarat-syarat diatas dimiliki oleh panasbumi di Pulau Bali yang dikelola Bali Energy Limited (BEL). Pada lapangan Panasbumi "X", karena kebutuhan masyarakat, industri, termasuk industri pariwisata perlu menjamin ketersediaan energi listrik di pulau tersebut, sementara ini sebagian besar dipasok dari Listrik Jawa-Bali.

Pasokan listrik yang berasal dari energi listrik panasbumi sangat tergantung besarnya potensi panasbumi yang ada untuk menjamin kontinuitas pasokan sepanjang tahun, berdasarkan data yang telah dilakukan pengukuran baik dari disiplin earth science maupun engineering baik dari sumur landaian suhu maupun sumur dalam BEL-1, BEL-2 dan BEL-3, dengan kedalaman reservoir berkisar 500 m hingga 1500 m dari permukaan laut, dengan suhu mula-mula 325 °C, luas area 8 km² dan tebal reservoir 500 m, Lapangan Panasbumi Bedugul memiliki potensi sebesar 141 MWe, metodologi perhitungan potensi ini menggunakan metodologi Volumetrik dan Simulasi Monte Carlo yang di uji validasinya dengan menggunakan Simulasi Tough-2.

Kata Kunci : Potensi Panasbumi, Simulator TOUGH2, Kebutuhan Listrik

.Abstract

Geothermal is gathering of hotchpotch energy gall by government, contribution of this geothermal energy around 7% from national energy applied by government, so that government need to increase diversification by energy geothermal to remember requirement of energy increases always around 5% per-yea, priority Jawa-Bali, more than anything else the side of PLN introducing energy source have his, its electrical will apply electrical energy source from geothermal.

Source of electrical energy of geothermal can be built and managed by having some conditions, for example high enthalpy, available market, in economics especially the price of reached by public and developer, also in potency enough guarantying. Conditions is upper owned by geothermal in Bali island managed by Bali Energy Limited (BEL). At field Geothermal Bedugul, because requirement of public, industry, including industry tourism need to guarantee availability of electric energy in the island, this temporary most of support from electricity from interconnection Jawa-Bali.

Supporting electrics coming from electrical energy of geothermal hardly depends on level of the geothermal potency to guarantee continuity supporting during the year, based on data which has been done measurement of either from discipline earth science and also engineering either from thermal gradient well and also well in BEL-1, BEL-2 and BEL-3, with depth of reservoir shifts 500 m until 1500 m from sea level, with temperature originally 325 °C, area wide 8 km² and reservoir thick 500 m, Field Geothermal Bedugul has potency 141 MWE, methodologies calculation this potency applies methodologies Volumetric and Simulation Monte Carlo which in testing its(the validation by using Simulation Tough-2.

Kata Kunci : Potensi Panasbumi, Simulator TOUGH2, Kebutuhan Listrik

I. PENDAHULUAN

Dalam upaya memenuhi kebutuhan listrik nasional maka dilakukan pengembangan lapangan panasbumi menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) dan sangat ditentukan seberapa besar potensi lapangan panasbumi yang bersangkutan.

Seminar Nasional Kebumihan FTM: Konservasi Sumber Daya Mineral dan Energi

Permasalahan ini didekati dengan melakukan simulasi Lapangan Panasbumi " X " menggunakan simulator TOUGH2, untuk memodelkan kinerja reservoir sesungguhnya, reservoir meliputi perubahan tekanan, temperatur, kandungan air dan uap didalam reservoir terhadap waktu, dan pengaruhnya terhadap laju alir massa dan entalpi permukaan.

Reservoir yang dimodelkan dibagi menjadi sejumlah blok/grid, sehingga keanekaragaman permeabilitas, porositas, kandungan air dan kandungan uap didalam reservoir sama sifat fluidanya, baik secara lateral maupun secara vertikal, dapat diakomodasi. Selanjutnya, dengan menggunakan simulator dihitung besarnya tekanan, tempertur, saturasi air dan saturasi uap di tiap blok, serta laju alir uap dan laju alir massa dari blok yang satu ke blok yang lainnya untuk berbagai waktu. Hasil perhitungan akan dapat memberikan perubahan tekanan dan temperatur terhadap kedalaman, baik disumur maupun ditempat- tempat lainnya serta perubahan temperatur, tekanan, laju alir massa dan entalpi fluida terhadap waktu.

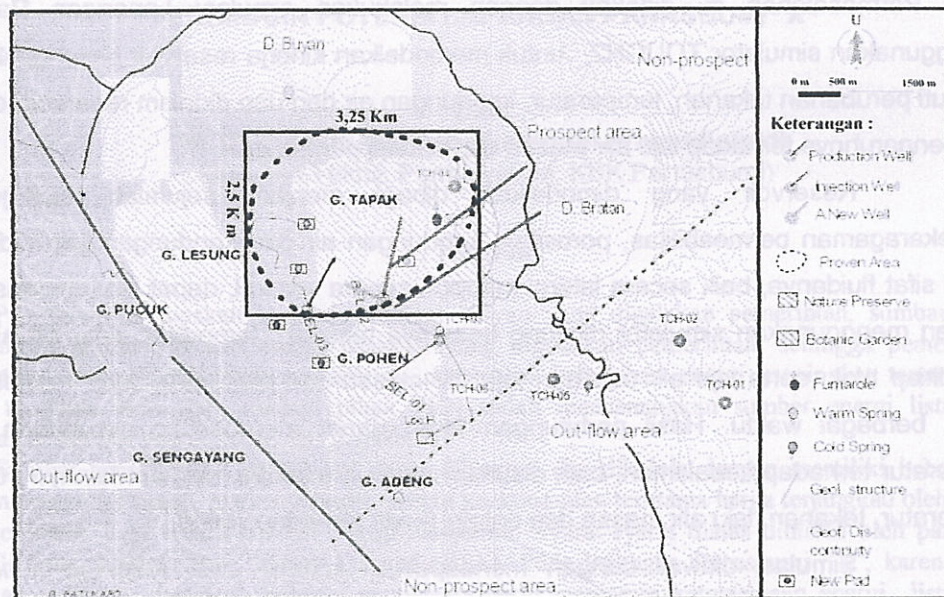
Simulasi diawali dengan mendapatkan kondisi awal reservoir (*natural state*). Dilakukan perhitungan dengan waktu yang lama hingga diperoleh kondisi setimbang, dimana temperatur, tekanan dan kondisi reservoirnya tidak berubah terhadap waktu. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dengan data aktualnya, yaitu hasil pengukuran dilapangan pada keadaan awal sebelum reservoir diproduksi. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah-ubah parameter batuan dan aliran panas yang masuk kedalam reservoir yang mempunyai tingkat ketidakpastian tinggi. Penyelarasan data lapangan dan data hasil perhitungan menjadi penyelarasan temperatur dan tekanan terhadap kedalaman.

II. LAPANGAN PANASBUMI "X"

Lapangan Panasbumi " X " terletak dipusat pulau Bali dan 45 Km Utara dari kota Denpasar. Sebagian area telah dibuktikan dengan adanya 2 (dua) sumur eksplorasi dalam (B&P-02 dan B&P-03) serta sumur eksplorasi dangkal (Core-hole TGC-04). Sumur- sumur ini terletak didalam Struktur Kawah Bratan dengan luas daerah terbukti kira- kira 8 Km². Sistem reservoir panasbumi " X " adalah sistim dominasi air. Daerah terbukti (*proven area*) ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 3. Profil Sumur BP-03

Profil P-T pada B&P-03 menunjukkan gradien temperatur korektif berkisar antara 240°- 260°C pada jarak kedalaman dari 1400- 1800 meter yang ditunjukkan oleh gradien temperatur konduktif 7°C/ 100 meter dengan temperatur maksimum 310°C. Gambar zona korektif bisa menunjukkan permeabilitas tinggi dan itu dapat juga diindikasikan sebagai zona pada



Gambar 1. Daerah Terbukti (*Proven Area*) Lapangan Panasbumi " X "5)

Sejak menandatangani kontrak dengan pemerintah pada November 1995, B&P melengkapi dengan survey geologi, gravity dan resistivity serta melakukan pemboran 6 Sumur Temperatur Gradien Core-hole (TGC) dengan kedalaman 685-1400 m dan 3 sumur eksplorasi dalam dengan kedalaman 2686- 2826 m. Data core-hole menunjukkan bahwa sumur tersebut dingin, batuan vulkanik porous terbentuk setebal 1000 m lebih pada daerah prospek dan efektif menutupi serta membatasi panas pada sistem panasbumi ke permukaan. Pengukuran temperatur Core-hole dikombinasikan dengan resistivity survey (**Gambar 2**), hasilnya menunjukkan Bali Resources dalam sekali. Sumur- sumur produksi bisa mempunyai kedalaman 3000- 3500 meter. Akhir tahun 1998, B&P melakukan operasi *Rig Test* selama 24 jam terhadap sumur B&P-03. Hasil menunjukkan B&P-03 dapat memproduksi steam atau uap panas dan air sampai 56 ton per jam (t/h) dengan enthalphi 1744 Kj/Kg. Setelah itu, proyek panasbumi " X " dalam keadaan tidak menentu. Daerah terbukti (*proven area*) tersebut rencananya akan dibangun *power plan awal* sebesar 10 MWe sebelum dikembangkan ke 3 x 55 Mwe. Tahun 2002 proyek dilanjutkan dengan keluarnya PP No 15. Setelah 18 bulan negosiasi hasilnya adalah usulan perubahan untuk kontrak JOC dan ESC, proyek siap untuk dikembangkan dengan dukungan penuh pemerintah.

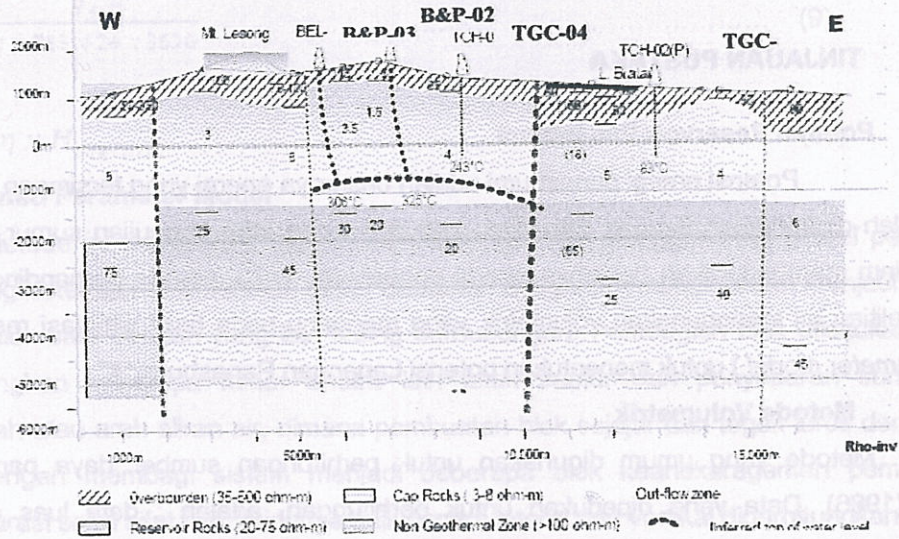
geothermal potential in granules containing supporting during the year, based on data which has been done measurement of either from discipline earth science and also engineering either from thermal gradient well and also well in B&P-1, B&P-2 and B&P-3, with depth of reservoir shifts 500 m until 1500 m from sea level with temperature originally 325 °C, area wide 8 km² and reservoir thick 300 m. Field Geothermal Bedrock has potency 141 MWE, methodologies calculation this potency applies methodologies Volumetric and Simulation Monte Carlo which in testing is like validation by using Simulation Tongit-2.

Non-Exact - Power-Panasbumi Simulator TOUGH2, Kabupaten Lisrik

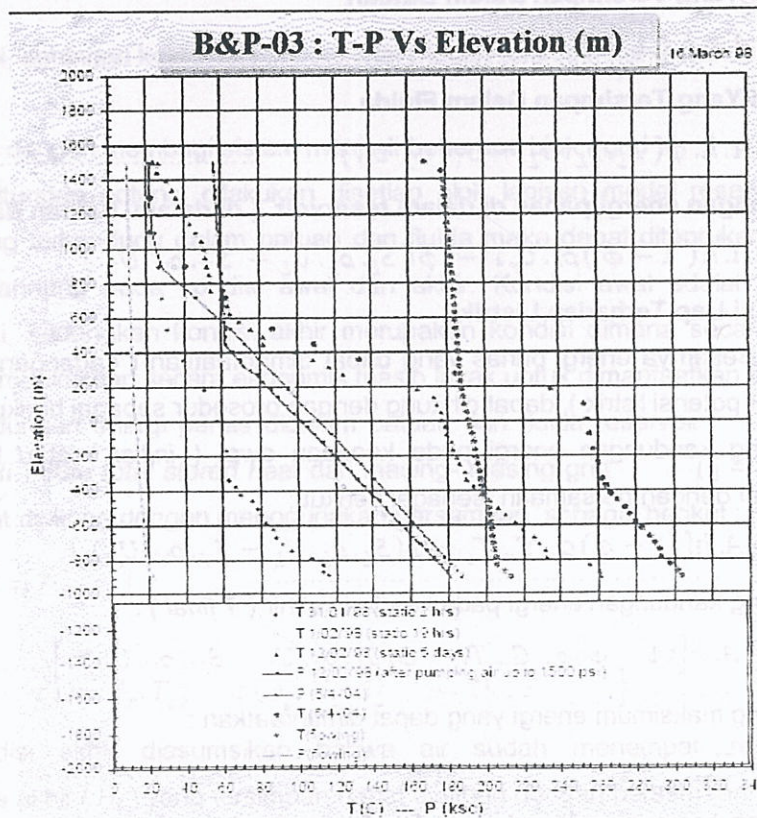
PENDAHULUAN

Salah satu upaya memenuhi kebutuhan listrik nasional maka dilakukan pengembang

Bali MT-Resistivity Section D-D' (Middle Part)



Gambar 2. Model Tentative Resistivity, Lapangan Panasbumi "X" #5



Gambar 3. Profil Sumur BP-03

Profil P-T pada B&P-03 menunjukkan gradien temperatur konvektif berkisar antara 240^o- 260^oC pada jarak kedalaman dari 1400- 1800 meter yang ditunjukkan oleh gradien temperatur konduktif 7^oC/ 100 meter dengan temperatur maksimum 310^oC. Gambar zona konvektif bisa mengindikasikan permeabilitas bagus dan itu dapat juga dijadikan sebagai steam zone pada Seminar Nasional Kebumihan FTM: Konservasi Sumber Daya Mineral dan Energi

kedalaman tersebut, namun terdapat kesalahan dimana zona konvektif diselubung dengan blind liner 9⁵/₈ "

III. TINJAUAN PUSTAKA

a. Potensi Reservoir Panasbumi

Potensi energi panasbumi adalah besarnya energi yang tersimpan pada suatu daerah setelah diperkirakan dengan ilmu- ilmu kebumian dan atau pengujian sumur. Beberapa metode didalam memperkirakan besarnya energi panasbumi, yaitu metode perbandingan dan volumetrik Penelitian ini menggunakan volumetrik yang mengacu pada hasil simulasi reservoir (*distributed parameter model*) untuk menentukan potensi Lapangan Panasbumi "X".

b. Metode Volumetrik

Metode yang umum digunakan untuk perhitungan sumber daya panasbumi O'Sullivan (1986). Data yang diperlukan untuk perhitungan, adalah : data luas daerah, ketebalan, temperatur reservoir, porositas, saturasi air dan uap, densitas batuan, daya hantar panas batuan, Densitas uap dan air, energi dalam uap dan air.

c. Panas Yang Tersimpan Dalam Batuan

$$Q_r = A \times h (1 - \phi) \rho_r \times C_r \times T \quad \dots \dots \dots (1)$$

d. Panas Yang Tersimpan Dalam Fluida

$$Q_f = A \times h \times \phi (S_L \cdot \rho_L \cdot U_L + S_V \cdot \rho_V \cdot U_V) \quad \dots \dots \dots (2)$$

e. kandungan energi panas di dalam reservoir (di dalam batuan dan fluida

$$H_p = A \times h (1 - \phi) \rho_r \times C_r \times T + \phi (S_L \cdot \rho_L \cdot U_L + S_V \cdot \rho_V \cdot U_V) \quad \dots \dots \dots (3)$$

f. Potensi Uap Terhadap Listrik

Besarnya energi panas yang dapat dimanfaatkan (cadangan) dan diubah menjadi energi listrik (potensi listrik), dapat dihitung dengan prosedur sebagai berikut :

1. Menghitung kandungan energi pada keadaan awal (*initial*) atau besarnya sumberdaya panasbumi dengan persamaan, sebagai berikut :

$$H_{pi} = A \times h [(1 - \phi) \rho_r \times C_r \times T_i + \phi (S_L \cdot \rho_L \cdot U_L + S_V \cdot \rho_V \cdot U_V)_i] \quad \dots \dots \dots (4)$$

2. Menghitung kandungan energi pada keadaan akhir (*T final*) :

$$H_{pf} = A \times h [(1 - \phi) \rho_r \times C_r \times T_f + \phi (S_L \cdot \rho_L \cdot U_L + S_V \cdot \rho_V \cdot U_V)_f] \quad \dots \dots \dots (5)$$

3. Menghitung maksimum energi yang dapat dimanfaatkan :

$$H_{pda} = H_{pi} - H_{pf} \quad \dots \dots \dots (6)$$

4. Menghitung energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya (besarnya cadangan bila dinyatakan dalam KJ) :

$$H_{pda} = P_f \times H_{pda} \quad \dots \dots \dots (7)$$

5. Menghitung besarnya cadangan, yaitu energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk kurun waktu t tahun (biasanya 25-30 tahun) dengan persamaan, sebagai berikut :

$$N_{thermal} = \frac{H_{pda}}{0,000001 \times 3600} \quad \dots \dots \dots (8)$$

6. Menghitung besarnya potensi listrik, yaitu energi listrik yang dapat dibangkitkan untuk kurun waktu t tahun (MW_e) dengan cara, sebagai berikut :

$$H_{el} = \frac{E_{pe} \eta}{t \times 365 \times 24 \times 3600} \dots \dots \dots (9)$$

atau

$$H_{el} = \eta \times H_{thermal} \dots \dots \dots (10)$$

f. Distributed Parameter Model

Metode ini merupakan metode simulasi reservoir menggunakan model pendekatan parameter yang heterogen. Pemodelan dapat dilakukan dengan membagi sistem menjadi sejumlah blok dimana blok satu dengan yang lain saling berhubungan. Pembagian blok dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain letak sumur dan penyebaran sumur, arah mayoritas rekah atau arah aliran air, dimana pembuatan blok sejajar dan tegak lurus dengan arah aliran air. Dengan membagi sistem menjadi beberapa blok keanekaragaman permeabilitas, porositas, saturasi serta sifat fisik fluidanya baik secara lateral dan vertikal diperhitungkan.

Model distribusi parameter umumnya digunakan pada lapangan panasbumi yang mempunyai ciri- ciri, sebagai berikut :

1. Sumur telah diproduksi, sehingga keanekaragaman sifat batuan telah diketahui dari data sumur bor.
2. Pemodelan dilakukan dengan membagi sistem menjadi beberapa blok (grid).

Perhitungan potensi dilakukan disetiap blok lapisan model reservoir. Berdasarkan energi panas yang terkandung dalam batuan dan fluida maka dapat ditentukan besarnya energi panas yang terkandung pada kondisi awal dan akhir. Kondisi awal adalah kondisi reservoir sebelum produksi, sedangkan kondisi akhir merupakan kondisi dimana secara teknis reservoir masih dapat berproduksi dan secara ekonomis masih layak untuk dimanfaatkan energinya.

Kandungan energi panas didalam batuan dan fluida reservoir (KJ) pada keadaan awal (H_i) atau *total stored heat* dari masing- masing grid ($j = 1,2,3,\dots,n$) dalam satu lapisan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut :

$$H_i = \sum_{j=1}^n A_{ij}^0 \cdot U_j \dots \dots \dots (11)$$

atau

$$H_i = \sum_{j=1}^n [((1 - \phi) \rho_w C_p T_i) + \phi (\rho_l U_{l,j} S_l + \rho_g U_{g,j} S_g)] \cdot U_j \dots \dots \dots (12)$$

Kondisi akhir diasumsikan bahwa air sudah menempati reservoir, sehingga kandungan panas akhir (H_f) yang tersimpan dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_f = \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_{ij}^f \dots \dots \dots (13)$$

atau

$$H_f = \sum_{j=1}^n [((1 - \phi) \rho_w C_p T_f) + \phi (\rho_l U_{l,j} S_l + \rho_g U_{g,j} S_g)] \cdot U_j \dots \dots \dots (14)$$

Asumsi temperature akhir (*cut-off*) reservoir adalah temperatur yang ditetapkan berdasarkan aspek teknologi dan ekonomi sebagai batas akhir pemanfaatan energi panasbumi

apalagi energi tersebut digunakan untuk pembangkit listrik. Maksimum energi panas yang dapat dimanfaatkan, dihitung dengan menggunakan persamaan (7) dan (8).

Faktor perolehan (*recovery factor*) adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara energi yang dapat dimanfaatkan dengan energi yang terkandung dalam reservoir. Bila cadangan dinyatakan dalam $MW_{thermal}$, maka persamaannya menjadi :

$$R_r = \frac{H_{de}}{H_{th}} \quad \dots \dots \dots (15)$$

t adalah usia ekonomis (*lifetime*) pembangkit listrik, yaitu masa pakai dari suatu pembangkit listrik yang terpasang selama kondisi baik menurut aspek- aspek teknik, ekonomi, keuangan dan lingkungan.

Potensi listrik panasbumi yaitu besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan selama periode waktu (tahun) dan dinyatakan dalam satuan MW_e adalah :

$$H_{el} = \frac{H_{de} \cdot \eta}{24 \times 365 \times 10^6} \quad \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan :

- R_r = Faktor perolehan, %
- t = Lama kurun waktu (umur) pembangkit listrik, *tahun*
- A = Luas daerah panasbumi, m^2
- h = Tebali reservoir, m
- V_j = Volume blok ke- j pada lapisan, m^3
- T_i = Temperatur reservoir awal, $^{\circ}C$
- T_f = Temperatur reservoir akhir, $^{\circ}C$
- S_L = Saturasi air, *fraksi*
- S_v = Saturasi uap, *fraksi*
- U_L = Energi dalam air, KJ/Kg
- U_v = Energi dalam uap, KJ/Kg
- ϕ = Porositas, *fraksi*
- C_r = Kapasitas panas batuan, $KJ/Kg \ ^{\circ}C$
- ρ_r = Densitas batuan, Kg/m^3
- ρ_w = Densitas air, Kg/m^3
- ρ_v = Densitas uap, Kg/m^3
- H_{th} = Maksimum energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan, KJ
- H_i = Kandungan energi didalam batuan dan fluida pada keadaan awal, KJ
- H_f = Kandungan energi didalam batuan dan fluida pada keadaan akhir, KJ
- H_{re} = Energi panasbumi maksimum yang dapat diambil ke permukaan selama periode waktu tertentu, $MW_{thermal}$
- H_{de} = Energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya, KJ
- H_{el} = Energi listrik yang dapat dibangkitkan selama kurun waktu tertentu, $MW_{elektrik}$
- η = Faktor konversi listrik, *fraksi*

Dari beberapa parameter diatas yang biasanya sulit untuk diketahui adalah saturasi air dan uap pada kondisi akhir, porositas, faktor perolehan, konversi energi dan *lifetime*. Oleh karena itu asumsi yang digunakan adalah *lifetime* 30 tahun, faktor perolehan 42 %, temperature akhir 180° dan faktor konversi 10 %. Sedangkan parameter lain dapat didekati dengan hasil survei eksplorasi dan hasil pemboran.

IV. PEMODELAN DENGAN SIMULATOR TOUGH2

Simulasi reservoir Lapangan Panasbumi " X " bertujuan untuk membuat suatu model komputer baik dalam kondisi awal maupun setelah fluida diproduksi melalui simulasi reservoir. Metode pemodelan yang digunakan adalah distributed parameter model, untuk menentukan potensi dinamik yang sistemnya dimodelkan menjadi beberapa blok/grid yang satu sama lainnya saling berhubungan. Dengan demikian, maka keanekaragaman porositas, permeabilitas dan densitas batuan serta sifat fisik termodinamika batuan dan fluida reservoir secara lateral dapat diperhitungkan. Dalam penelitian ini digunakan simulator TOUGH2.

Simulator TOUGH2 adalah suatu program simulasi numerik yang dapat digunakan untuk model multidimensi, aliran fluida multifasa dan multikomponen dalam media berpori atau *fracture* serta sistem *non-isothermal*. TOUGH2 menyelesaikan persamaan kesetimbangan massa dan energi yang menggambarkan aliran fluida dan panas yang umumnya merupakan sistem multifasa dan multikomponen. Aliran fluida digambarkan oleh hukum Darcy pada multifasa (ada *diffusive* massa mengalir dalam gas). Aliran panas terjadi karena konduksi dan konveksi, pada aliran panas konveksi dipengaruhi juga oleh efek panas laten. Gambaran kondisi termodinamikanya didasarkan pada asumsi kesetimbangan lokal dari semua fasa (liquid, gas dan solid).

V. HASIL PERAMALAN

a. Model Konseptual

Pemodelan reservoir panasbumi dengan menggunakan komputer harus terlebih dahulu dilakukan pembuatan sebuah konseptual model. Model konseptual merupakan model fisik yang menggambarkan struktur potensi reservoir, proses aliran dan transfer panas didalam reservoir. Pembuatan model tersebut yaitu gambaran mengenai sistem panasbumi (sistem hidrothermal) di suatu daerah atau model sistem panasbumi. Model pada umumnya dibuat dengan memperlihatkan sedikitnya lima komponen, yaitu sumber panas, reservoir dan temperaturnya, sumber air serta manifestasi panasbumi permukaan yang terdapat didaerah tersebut. Komponen-komponen lain yang sering diperlihatkan dalam model adalah penyebaran batuan dan arah aliran air dibawah permukaan. Model dibuat berdasarkan hasil evaluasi data geologi, geohidrologi, geofisika, geokimia dan data sumur. Gambar 2

Sumur- sumur di lapangan " X " telah membuktikan bahwa sistem panasbumi di daerah ini adalah sistem dominasi air yang mempunyai temperatur berkisar 243- 325°C. Reservoir terdapat pada kedalaman -1200 sampai dengan -1900 m dpl, dengan permeabilitas antara 10- 45 md dan porositasnya berkisar antara 7- 15%. Berdasarkan informasi dari konseptual model dan peta lapangan panasbumi " X " maka dapat ditentukan daerah- daerah yang diduga prospek

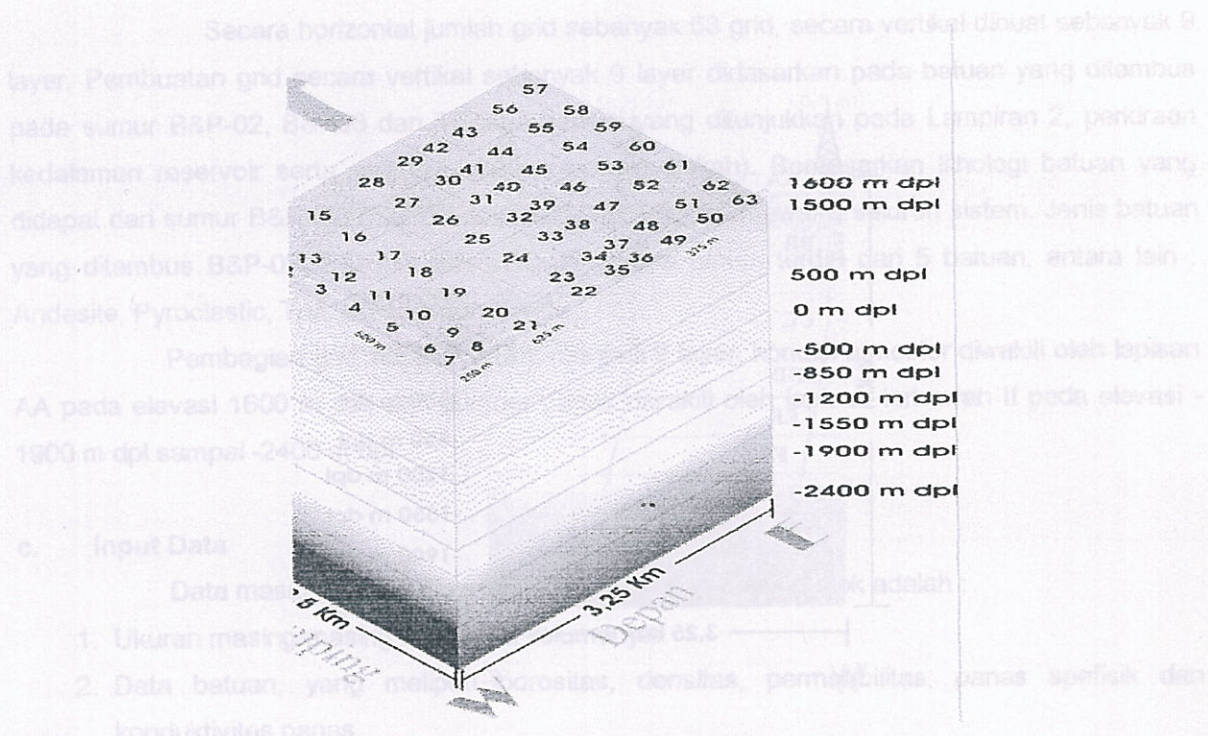
untuk mendukung pemodelan grid/blok dan digitasi dalam simulasi reservoir. Pemodelan secara lateral mengikuti penyebaran batuan secara lateral, arah dan frekuensi struktur patahan sebagai media alir fluida.

b. Sistem Grid

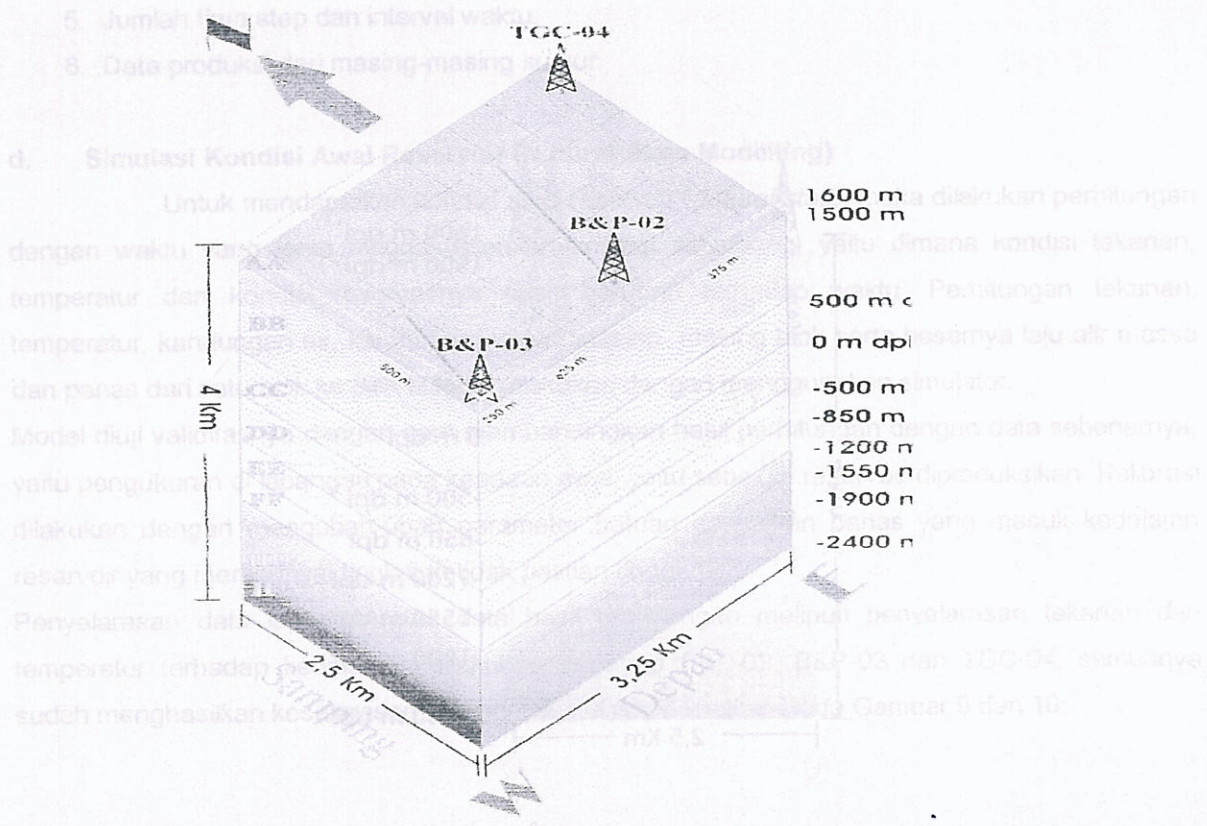
Setelah model reservoir dibuat kemudian dilanjutkan dengan pembuatan model grid atau blok. Pembagian blok akan dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya adalah jenis dan karakteristik batuan, struktur batuan dan lokasi sumur. Dalam pembagian blok secara lateral diusahakan agar dalam satu blok tidak terdapat lebih dari satu sumur, jenis batuan yang ditembus oleh sumur- sumur yang ada di lapangan tersebut telah digunakan sebagai acuan dalam pembagian blok secara vertikal. Penelitian dilakukan dengan memodelkan reservoir yang memiliki luas kurang lebih 8 km². Langkah pertama, adalah menetapkan bagian dari reservoir yang akan dimodelkan. Secara lateral, model dapat mencakup seluruh reservoir atau hanya sebagian dari reservoir. Pada lapangan panasbumi " X " sumur yang di bor jumlahnya belum banyak yaitu 3 sumur eksplorasi dalam B&P-01, B&P-02 dan B&P-03 serta 6 sumur Temperatur Gradient Core- hole TGC-01, TGC-02, TGC-03, TGC-04, TGC-05 dan TGC-06, bagian dari reservoir yang dimodelkan mencakup seluruh area panasbumi daerah tersebut. Model mencakup kedalaman 1600 sampai -2400 m dpl, yaitu kedalaman reservoir dominasi air yang telah terbukti dari pemboran.

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, sehingga dapat menjadi acuan dalam proses penyelarasan nanti.

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

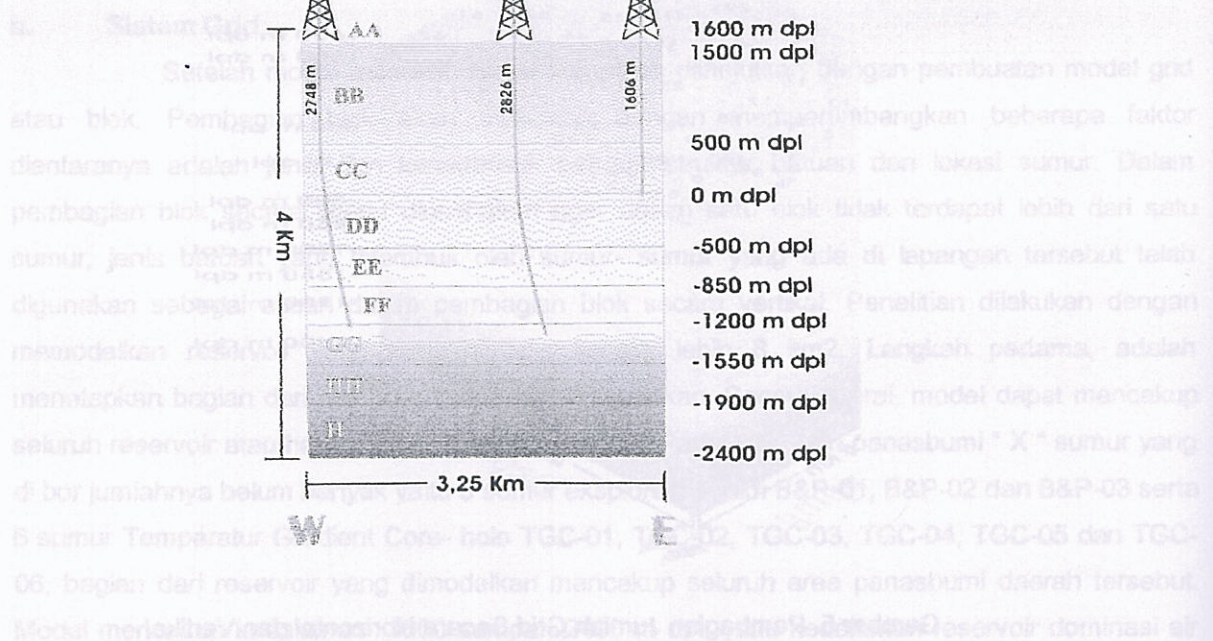


Gambar 5. Pembagian Jumlah Grid Secara Horizontal dan Vertikal



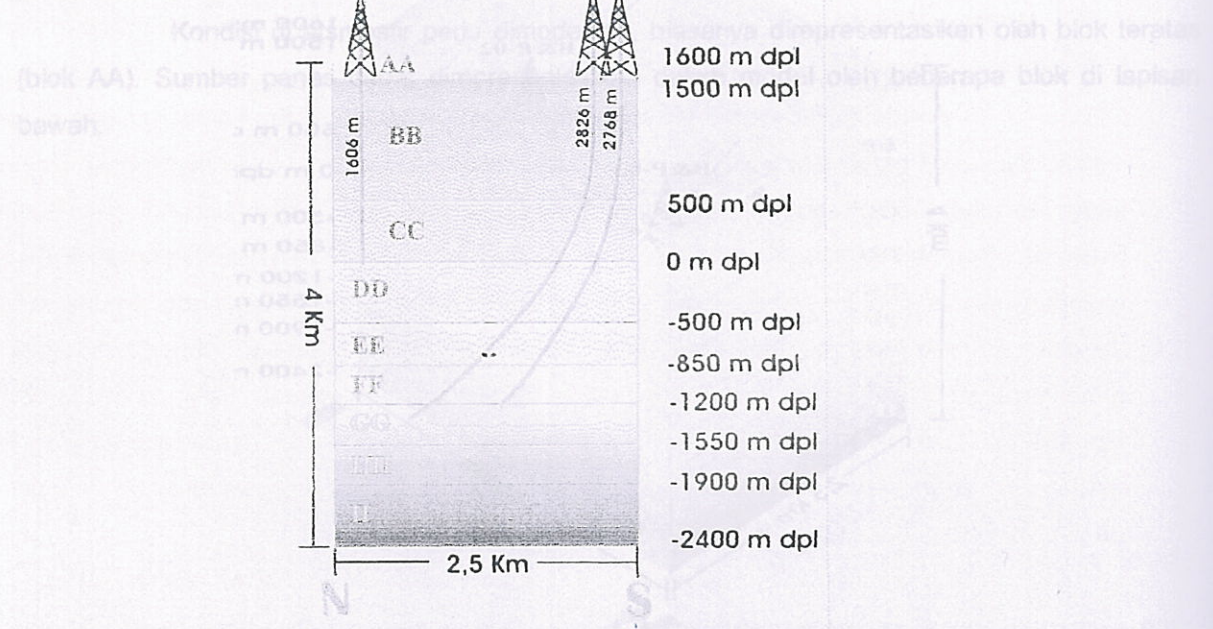
Gambar 6. Jumlah Sumur dan Penyebarannya

untuk mendukung pemodelan gridface dan dipasifkan simulasi reservoir. Pemodelan secara lateral mengikut pembagian blok secara lateral arah dan frekuensi struktur patahan sebagai media air tawar.



Gambar 7. Penampang Daerah Prospek Panasbumi (Depan), " X "

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 disesuaikan pembagian tersebut dapat mewakili data yang didapat. Hasil penyediaan geologi geofisika geokimia dan pengukuran suhu sehingga dapat menjadi acuan dalam proses penyelarasannya.



Gambar 8. Penampang Daerah Prospek Panasbumi (Samping), " X "

Secara horizontal jumlah grid sebanyak 63 grid, secara vertikal dibuat sebanyak 9 layer. Pembuatan grid secara vertikal sebanyak 9 layer didasarkan pada batuan yang ditembus pada sumur B&P-02, B&P03 dan TGC-04 seperti yang ditunjukkan pada Lampiran 2, perkiraan kedalaman reservoir serta estimasi struktur batuan (rekah). Berdasarkan lithologi batuan yang didapat dari sumur B&P-02, B&P-03 dan TGC-04 dianggap mewakili seluruh sistem. Jenis batuan yang ditembus B&P-02, B&P-03 dan TGC-04 secara umum terdiri dari 5 batuan, antara lain : Andesite, Pyroclastic, Tuff, Breccia dan Diorite.

Pembagian grid secara vertikal menjadi 9 layer, kondisi atmosfer diwakili oleh lapisan AA pada elevasi 1600 m dpl, dan sumber panas diwakili oleh lapisan terbawah II pada elevasi - 1900 m dpl sampai -2400 m dpl.

c. Input Data

Data masukan yang diperlukan untuk masing-masing blok adalah :

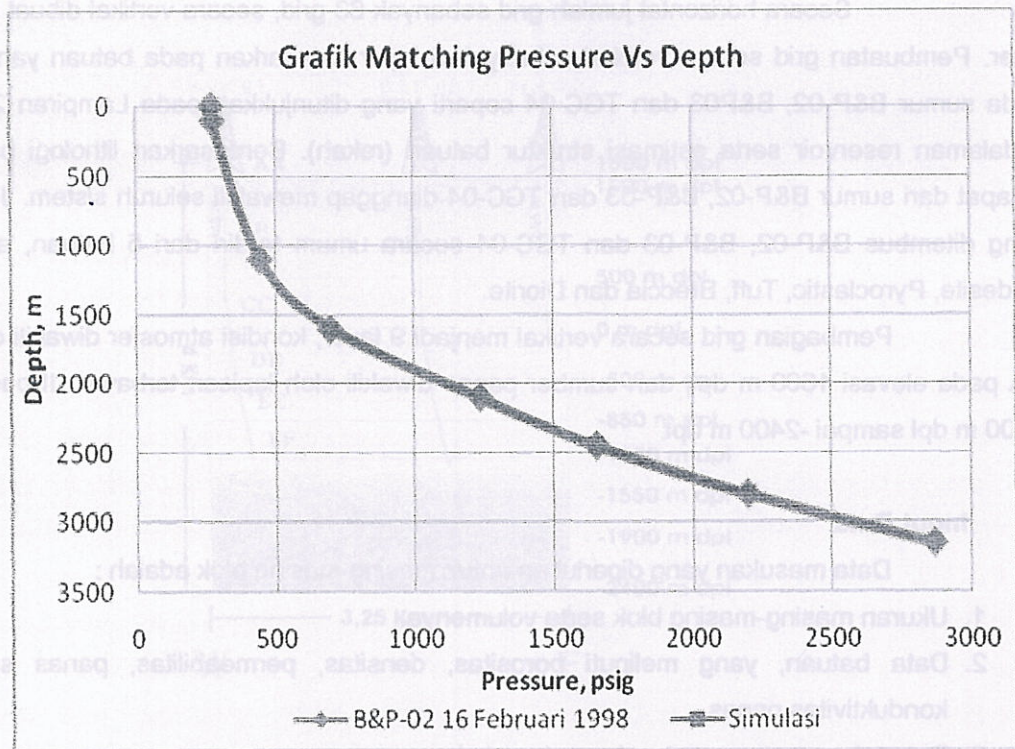
1. Ukuran masing-masing blok serta volumenya.
2. Data batuan, yang meliputi porositas, densitas, permeabilitas, panas spesifik dan konduktivitas panas.
3. Data tekanan, temperatur dan saturasi air.
4. Korelasi permeabilitas relatif uap dan air serta harga connate water dan residual vapour saturation.
5. Jumlah time step dan interval waktu.
6. Data produksi dari masing-masing sumur.

d. Simulasi Kondisi Awal Reservoir (Natural State Modelling)

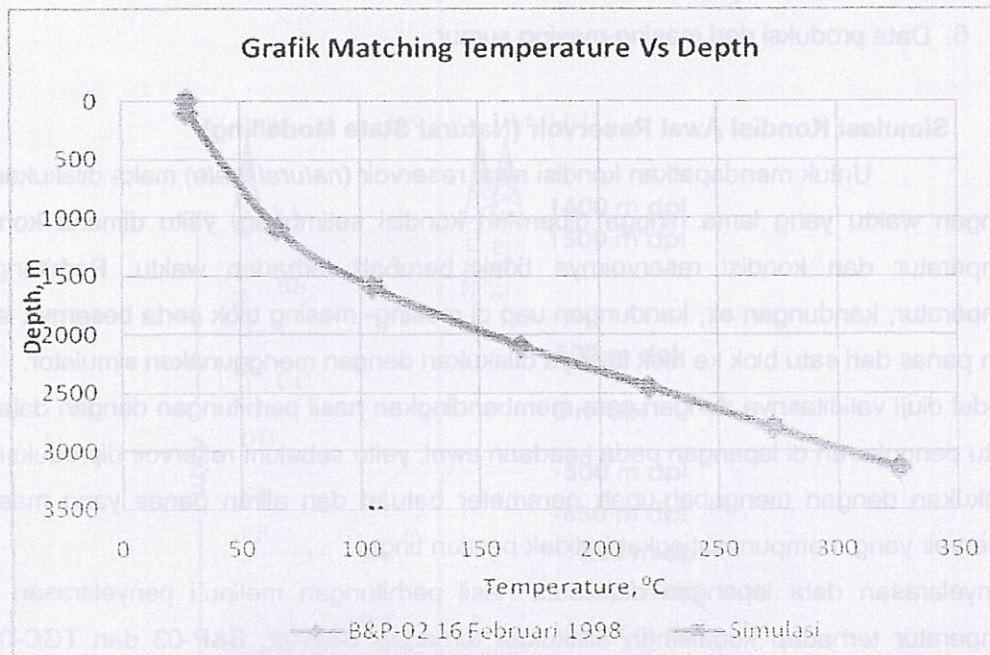
Untuk mendapatkan kondisi awal reservoir (*natural state*) maka dilakukan perhitungan dengan waktu yang lama hingga diperoleh kondisi setimbang, yaitu dimana kondisi tekanan, temperatur dan kondisi reservoirnya tidak berubah terhadap waktu. Perhitungan tekanan, temperatur, kandungan air, kandungan uap di masing- masing blok serta besarnya laju alir massa dan panas dari satu blok ke blok lainnya dilakukan dengan menggunakan simulator.

Model diuji validitasnya dengan cara membandingkan hasil perhitungan dengan data sebenarnya, yaitu pengukuran di lapangan pada keadaan awal, yaitu sebelum reservoir diproduksi. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah-ubah parameter batuan dan aliran panas yang masuk kedalam reservoir yang mempunyai tingkat ketidak pastian tinggi.

Penyelarasan data lapangan dan data hasil perhitungan meliputi penyelarasan tekanan dan temperatur terhadap kedalaman dilakukan terhadap B&P-02, B&P-03 dan TGC-04, semuanya sudah menghasilkan keselarasan, sebagai contoh diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Perbandingan Landaian Pressure dari Hasil Pengukuran Kuster dengan Hasil Simulasi pada Sumur B&P-02



Gambar 10. Perbandingan Landaian Temperatur dari Hasil Pengukuran Kuster dengan Hasil Simulasi pada Sumur B&P-02

e. History Matching

Setelah diperoleh model reservoir pada kondisi awal, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menirukan kondisi reservoir pada tahap produksi. Model dinilai telah merepresentasikan kondisi

reservoir sebenarnya apabila telah tercapai keselarasan antara hasil simulasi dengan data lapangan.

Tabel 3. Data Kondisi Awal dan Akhir Lapisan GG

Parameter/ Satuan	Kondisi Awal Grid-59	Kondisi Akhir Grid-59
Luas (A), m ²	1,25E+05	1,25E+05
Tebal lapisan (h), m	350	350
Volume (V), m ³	4,375E+07	4,375E+07
Porositas (ϕ), %	4,00E-02	3,557E-02
Densitas batuan (ρ_r), kg/m ³	2600	2,578E+03
Kapasitas panas batuan (Cr), kJ/kgOC	2,2	2,733
Temperatur (Ti), OC	270,775	180
Saturasi air (SL), % (asumsi)	5,926E-01	8,865E+02
Energi dalam air (UL), kJ/kg	1182,298	762,429
Densitas air (ρ_L), kg/m ³	7,665E+02	0,2
Saturasi uap (Sv), % (asumsi)	4,074E-01	5,155E+00
Energi dalam uap (Uv), kJ/kg	2593,386	2584,048
Densitas uap (ρ_v)	2,847E+01	0,8

Tabel 4. Data Kondisi Awal dan Kondisi Akhir Lapisan HH

Parameter/ Satuan	Kondisi Awal Grid-59	Kondisi Akhir Grid-59
Luas (A), m ²	1,25E+05	1,25E+05
Tebal lapisan (h), m	350	350
Volume (V), m ³	4,375E+07	4,375E+07
Porositas (ϕ), %	2,00E-05	2,000E-05
Densitas batuan (ρ_r), kg/m ³	2600	2,600E+03
Kapasitas panas batuan (Cr), kJ/kgOC	3,2	3,2
Temperatur (Ti), OC	304,943	180
Saturasi air (SL), % (asumsi)	5,630E-01	8,865E+02
Energi dalam air (UL), kJ/kg	1357,424	762,429
Densitas air (ρ_L), kg/m ³	7,285E+02	0,2
Saturasi uap (Sv), % (asumsi)	4,370E-01	5,155E+00
Energi dalam uap (Uv), kJ/kg	2556,859	2584
Densitas uap (ρ_v)	0,000E+00	0,8

Berdasarkan hasil perhitungan, maka total potensi lapangan panasbumi " X " yang mempunyai luas area \pm 8,125 km² (luas grid blok pada simulator TOUGH2), yaitu sebesar :

Tabel 5-10. Total Potensi Lapangan Panasbumi " X " Selama 30 Tahun Berdasarkan Data Hasil Simulasi TOUGH2

Lapisan	Tebal (m)	Hth (kJ)	Hde (kJ)	He (Mwe)
GG	350	1.568E+15	6.584E+14	6.960E+01
HH	350	2.631E+15	1.105E+15	1.168E+02

Total potensi lapangan panasbumi " X " berdasarkan data hasil simulasi TOUGH2 adalah sebesar 186,4 MWe selama 30 tahun. Besarnya potensi ini merupakan penjumlahan energi listrik pada lapisan GG dan HH yang merepresentasikan reservoir panasbumi " X ". Sedangkan untuk lapisan AA, BB, CC, DD, EE dan FF secara teknis kurang berpotensi karena rata-rata temperatur yang dimiliki kurang ekonomis untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga panasbumi (< 1800), sedangkan lapisan II dianggap sebagai sumber pemanas dari reservoir lapangan panasbumi " X ".

VI. DISKUSI

Sistem reservoir pada lapangan panasbumi " X " merupakan reservoir sistem dominasi air yang mempunyai kisaran temperatur 243 – 3250C, dan mempunyai kisaran tekanan 0.7 – 1 bar/km. Selama masa pengembangan sejak tahun 1994 – 1998, lapangan panasbumi " X " baru memiliki 3 sumur eksplorasi dalam yaitu B&P-01, B&P-02 dan B&P-03 serta 6 sumur temperatur gradient core- hole TGC-01, TGC-02, TGC-03, TGC-04, TGC-05 dan TGC-06. Ini dikarenakan selama proses pengembangannya terkendala akibat krisis ekonomi yang terjadi pada tahun 1997.

Untuk mengetahui kapasitas daya turbin yang terpasang perlu diketahui besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan. Dengan demikian perlu dilakukan penentuan potensi listrik reservoirnya dengan pendekatan metode simulasi.

Pemodelan reservoir lapangan panasbumi " X " dibuat dan disesuaikan dengan menggunakan simulator TOUGH2, besar kecilnya jumlah grid dibuat berdasarkan model konseptual. Konseptual Model biasanya dibuat dengan melakukan pengkajian dari berbagai data geoscience antara lain manifestasi permukaan, geologi, geokimia, geofisika dan data sumur eksplorasi.

Pembuatan konseptual model reservoir dititik beratkan disekitar sumur B&P-02, B&P-03 dan TGC-04 karena selain diketahuinya data penyebaran lithology secara vertikal juga karena 3 sumur tersebut yang memiliki permeabilitas serta temperatur yang tinggi sehingga dianggap prospek atau layak dikembangkan. Dari model yang dibuat berdasarkan 3 sumur tersebut diharapkan dapat mewakili seluruh grid pada reservoir lapangan panasbumi " X ".

Seminar Nasional Kebumihan FTM: Konservasi Sumber Daya Mineral dan Energi

Lapangan panasbumi " X " dibagi menjadi 63 blok, pembagian lapangan panasbumi " X " menjadi 63 blok berdasarkan atas letak sumur dan penyebarannya. Letak dan penyebaran sumur dalam simulasi ini tidak dibuat sesuai kondisi lapangan ditujukan untuk mempermudah dalam pendataan dan input data kedalam simulasi TOUGH2.

Setelah didapatkan kondisi natural state model dari simulasi, perhitungan potensi dilakukan terhadap lapisan yang merepresentasikan reservoir lapangan panasbumi " X ", yaitu kedalaman -1200 sampai -1900 mdpl. Berdasarkan Persamaan (20) bahwa total stored heat atau kandungan energi pada masing- masing grid, yang dipengaruhi oleh sifat fisik dan thermodinamika batuan dan fluida. Parameter- parameter tersebut, seperti porositas, densitas batuan, kapasitas panas, densitas air dan uap, saturasi air dan uap serta energi dalam air dan uap diperoleh berdasarkan hasil perhitungan simulasi.

Hasil perhitungan secara distributed parameter model, potensi listrik lapangan panasbumi " X " merupakan kumulatif dari lapisan GG dan HH. Lapisan GG yang terdapat pada elevasi -1200 sampai -1550 mdpl merupakan lapisan total loss dengan material andesit, tuff dan breccia yang merupakan mineral minoritas, sedangkan mineral diorite merupakan mineral mayoritas dengan porositas $2.0E-05$ dan permeabilitas $3.90E-12$ d, kisaran temperatur lapisan ini 185- 2650C dan tekanan $1.188E+6$ - $1.585E+7$ Pascal serta mempunyai potensi listrik sebesar 69,6 MWe. Sedangkan lapisan HH terdapat pada elevasi -1550 sampai -1900 mdpl merupakan lapisan total loss dengan material diorite saja yang merupakan bagian dari reservoir lapangan panasbumi " X " dengan temperatur 211- 3260C dan tekanan $1.478E+6$ - $1.838E7$ Pascal serta mempunyai potensi listrik terbesar dari pada lapisan GG yaitu sebesar 116,8 MWe. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan distributed parameter model pada lapisan GG dan HH besarnya potensi total listrik lapangan panasbumi " X " dengan luas area ± 8 Km² adalah 186,4 MWe.

VII. KESIMPULAN

1. Lapisan produktif merupakan lapisan reservoir yang memiliki permeabilitas tinggi, berada pada lapisan GG dengan tebal lapisan 350 m mempunyai potensi sebesar 69,6 MWe serta lapisan HH dengan tebal lapisan 350 m mempunyai potensi sebesar 116,8 MWe.
2. Total potensi listrik Lapangan Panasbumi Bedugul- Bali Energy Limited dengan luas ± 8 km² dihitung berdasarkan metode distributed parameter model adalah sebesar 186,4 MWe selama 30 tahun kontrak
3. Perhitungan potensi reservoir dengan menggunakan distributed parameter model (TOUGH2) cukup akurat, karena memperhitungkan keanekaragaman sifat fisik dan thermodinamika batuan

DAFTAR PUSTAKA

1. Grant A. Malcolm., Donaldson G. Lan., Bixley F. Paul., "Geothermal Reservoir Engineering", Academic Press Inc., New York, 1982

2. Pruess K., Moridis G., Oldenburg C., "TOUGH2 User's Guide, Version 2.0", Earth Science Division Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, Berkeley, California 94720, November 1999
3. Saptadji N. M., "Teknik Panasbumi", Departemen Teknik Perminyakan ITB, Bandung.
4. Achmad Mulyadi, Edwin J. Joenoes and Ni Made Widiyarsari., " Bedugul Geothermal Prospect and Developments ", Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24- 29 April 2005.