



INTERPRETASI GRAVITASI MIKRO DI AREA PANASBUMI KAMOJANG, JAWA BARAT

Timbul H. Silitonga

Divisi Panasbumi

Kata Kunci : gravitasi mikro, kondisi reservoir, perubahan massa, zona uap, pengisian alamiah, kapasitas terpasang, power plant

INTISARI

Lapangan panasbumi Kamojang yang memiliki kapasitas terpasang 140 MWe saat ini memproduksi uap tidak kurang dari 800.000 ton perbulan. Dengan pendapatan sekitar Rp. 8.000.000.000 perbulan diperkirakan akan mampu beroperasi selama 30 tahun. Produksi uap yang sedemikian besar untuk waktu yang cukup lama, saat ini mengindikasikan perubahan kondisi reservoir yang dicirikan oleh penurunan produksi. Penurunan tersebut diduga akibat kekurangan massa fluida dalam reservoir.

Gravitasi mikro yang memiliki anomali sangat kecil ($< 1 \text{ mgal}$) dibandingkan gravitasi komersial yang memiliki anomali cukup besar ($> 1 \text{ mgal}$), digunakan untuk mengetahui keseimbangan massa dalam reservoir dan pemodelan kwantitatif untuk mengetahui perubahan kondisi dalam reservoir panasbumi.

Perhitungan perubahan massa dalam reservoir menunjukkan bahwa, pada awal produksi (1984-1988) belum terjadi perubahan cukup penting (3 Mega Ton). Setelah kapasitas terpasang power plant ditingkatkan dari 30 MWe menjadi 140 MWe, keseimbangan massa dalam reservoir pada periode 1989 - 1992 berkurang secara signifikan menjadi -15 MT , dengan perkiraan laju pengisian alamiah relatif tetap sekitar 4-5 MT/tahun. Hasil ekstrapolasi mengindikasikan pada akhir tahun 1999 kekurangan massa menjadi sekitar -40 MT .

Secara umum, perubahan gravitasi mikro di lapangan panasbumi Kamojang memiliki korelasi dengan perubahan tekanan dan temperatur terukur. Pemodelan gravitasi 2-D mengindikasikan, bahwa penurunan muka air dibawah zona uap dan pengurasan fluida dari zona uap itu sendiri merupakan faktor-faktor dominan penyebab berubahnya gravitasi mikro. Penurunan fluida dari lapisan kondensat kedalam zona uap hanya dapat menyebabkan perubahan gravitasi yang sangat kecil dan cukup sukar dideteksi oleh pengukuran gravitasi mikro. Ini merupakan paper pertama yang coba melakukan interpretasi gravitasi mikro secara kwantitatif untuk sistem dominasi uap, khususnya Kamojang.

1. PENDAHULUAN

Selain memangkas inefisiensi, usaha terbaik untuk mencapai "respectable producer" adalah dengan cara menjaga kelangsungan lapangan produksi yang ada secara optimal, sehingga diperoleh pendapatan yang maksimal. Monitoring gravitasi mikro yang dilakukan sejak tahun 1984 di area panasbumi Kamojang dimaksudkan untuk memonitor perubahan kondisi reservoir, agar produksi optimum dicapai dan kelangsungan produksi tetap terjaga.

Tujuan utama dari penulisan ini adalah menggunakan pengukuran gravitasi mikro untuk memperkirakan perubahan massa dan kondisi dalam reservoir panasbumi akibat eksplorasi. Sebagai pendukung dalam interpretasi maka dilakukan simulasi dan pemodelan gravitasi yang diinterpretasikan dalam bentuk pengurasan zona uap, penurunan muka air dalam zona uap dan turunnya air kondensat kedalam zona uap, dengan memperhitungkan perubahan muka air tanah dangkal. Berdasarkan perkiraan massa dalam reservoir dan pemodelan gravitasi diharapkan dapat membantu usaha peningkatan kapasitas terpasang dan menjaga kelangsungan produksi.

Pengukuran gravitasi mikro pertama kali diterapkan pada lapangan panasbumi sistem dominasi air di Wairakei, New Zealand oleh Trevor Hunt (1977), untuk mengetahui jumlah pengisian alamiah. Kemudian bersama Allis R. G. (1984)

membuat pemodelan gravitasi kwantitatif untuk mengetahui perubahan kondisi reservoir. Seiring dengan perkembangan tersebut, saat ini, hampir semua lapangan panasbumi didunia yang umumnya dominasi air, melakukan pengukuran gravitasi mikro. Oleh karena itu pemilihan topik interpretasi gravitasi mikro, dianggap sesuai dengan thema lomba.

Gravitasi mikro yang diterapkan di area pabum Kamojang, yang memiliki sistem panasbumi berbeda yaitu sistem dominasi uap coba diinterpretasikan secara kwantitatif dengan pendekatan yang berbeda. Jumlah pengisian alamiah yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik kumulatif bersama data produksi terhadap waktu, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui keseimbangan massa dalam reservoir dan melakukan prediksi. Sedangkan simulasi dan pemodelan gravitasi mikro secara kwantitatif dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi reservoir, sehingga kelangsungan produksi dapat terjaga.

2. LAPANGAN PANASBUMI KAMOJANG

Gambar-1 menunjukkan model panasbumi sistem dominasi uap dimana terdapat sumur produksi, sumur injeksi, lapisan kondensat, zona uap, perkiraan muka air dibawah zona uap, dan beberapa parameter reservoir seperti tekanan (P), temperatur (T) dan saturasi air (Sw) yang diperkirakan representasi dari lapangan panasbumi Kamojang. Pengurasan fluida dari dalam reservoir zona uap diperkirakan akan

menyebabkan perubahan kondisi reservoir seperti perubahan P, T, Sw. Penurunan tekanan dalam zona uap akibat pengurasan fluida tersebut menyebabkan air yang terdapat pada bagian bawah lapisan kondensat cenderung masuk kedalam reservoir zona uap. Turunnya air kondensat menyebabkan perubahan saturasi air dibagian bawah lapisan kondensat yang terus berlangsung secara kontinyu dan menyebabkan ketebalan lapisan kondensat semakin berkurang terhadap waktu. Demikian pula yang terjadi terhadap perkiraan muka air di bagian bawah zona uap yang akan menguap. Penguapan muka air di bagian bawah mengakibatkan turunnya muka air yang mungkin pada awalnya terdeksi dari pengukuran P, T bawah pemukaan hingga tidak bisa lagi terdeteksi.

Lapangan panasbumi kamojang yang produksi komersialnya dimulai pada tahun 1983 dengan kapasitas terpasang 30 MWe, telah ditingkatkan menjadi 140 MWe pada tahun 1987, pada saat ini memproduksi massa tidak kurang 800.000 ton/bulan dari dalam reservoir. Meskipun terdapat penurunan produksi dari sumur-sumur yang ada, namun persiapan peningkatan kapasitas terpasang menjadi 200 MWe tetap dilakukan. Sampai saat ini telah dilakukan pemboran sebanyak 74 sumur sebagai usaha peningkatan kapasitas tersebut, dan diperkirakan tidak kurang dari 1100.000 ton/bulan fluida akan diproduksi dari dalam reservoir. Tanpa mengetahui perkiraan jumlah massa yang masuk kedalam reservoir, produksi massa yang sedemikian besar tersebut akan mempengaruhi kondisi reservoir dan lama operasi lapangan itu sendiri.

Malcolm Grant (1997) memperkirakan lapangan panasbumi Kamojang masih dapat diproduksi 22 sampai 29 tahun lagi apabila kapasitas terpasang tetap 140 MWe, dan apabila ditingkatkan menjadi 200 MWe pada tahun 2002 maka perkiraan life time sekitar 17 sampai 22 tahun.

3. GRAVITASI MIKRO

Perubahan massa yang terjadi dalam reservoir panasbumi dihitung dengan menggunakan theorema Gauss, berdasarkan perubahan gravitasi yang terukur di permukaan dengan persamaan,

$$\Delta M = 2.39 \times 10^{10} \sum \Delta g \Delta S \text{ kg}$$

(1)

dimana Dg adalah nilai interpolasi perbedaan gravitasi yang telah terkoreksi dalam suatu grid, dan DS adalah luas grid tersebut. Harga DM yang positif berarti terjadi tambahan massa, sementara harga yang negatif mengindikasikan kehilangan massa.

Jumlah pengisian alamiah R yang masuk kedalam reservoir dapat diketahui dengan menggunakan persamaan,

$$R = DM + D$$

(2)

D adalah total massa yang dikeluarkan (massa yang diproduksi dari sumur + massa yang keluar secara alamiah), dan DM adalah perubahan massa dihitung berdasarkan persamaan (1) dari pengukuran gravitasi mikro.

Gambar-2 menunjukkan simulasi perubahan gravitasi mikro yang disebabkan oleh perubahan kondisi reservoir akibat pengurasan massa dalam zona uap, berkurangnya ketebalan lapisan kondensat dan turunnya muka air dibawah zona uap. Simulasi perubahan gravitasi mikro tersebut dibuat dengan asumsi tidak ada pengisian alamiah atau air injeksi. Untuk lapangan Kamojang yang memproduksi massa sekitar 800.000 ton/bulan, perubahan gravitasi mikro seperti **Gambar-1** diperkirakan akan terjadi selang waktu sekitar 2 tahun produksi.

4. INTERPRETASI DAN DISKUSI

Perubahan harga gravitasi mikro dalam periode 84-88 dan 89-92 pada **Lampiran-1** digunakan untuk menghitung perubahan massa dalam reservoir, hasilnya pada **Tabel-1**.

Tabel-1 menunjukkan bahwa pada awal produksi (1984 - 1988), hasil perhitungan perubahan massa sebesar 3 MT. Tambahan massa 3 MT diperkirakan berasal dari kesalahan pengukuran sekitar 10 mgal dan atau akibat perubahan muka air tanah dangkal karena perbedaan musim pada kedua waktu pengukuran yang berbeda tersebut. Sangat memungkinkan bahwa muka air tanah tersebut berbeda karena waktu pengukuran yang berasosiasi perubahan musim juga berbeda. Pada tahun 1984, pengukuran gravitasi dilakukan dalam bulan Mei berasosiasi dengan musim kering, sementara pada tahun 1988 dan 1992 pengukuran dilakukan pada bulan Desember yang merupakan musim hujan. Oleh karena itu muka air tanah mungkin lebih tinggi pada waktu pengukuran tahun 1988 dan 1992.

Gambar-3 adalah grafik kumulatif yang menunjukkan kondisi keseimbangan massa dalam reservoir selama beroperasinya power plant untuk periode 1984-1999. Berdasarkan perhitungan perubahan massa pada periode 88-92 diperkirakan reservoir Kamojang kehilangan massa -45 MT pada tahun 99 terhadap kondisi awal produksi.

Dengan asumsi volume reservoir sekitar 14 km³, porositas 7% dan saturasi air 35 %, diperkirakan total massa yang terdapat dalam reservoir sekitar 285 MT. Dari total massa tersebut, diperkirakan hanya sekitar 125 MT yang dapat dimanfaatkan, karena sekitar 160 MT merupakan saturasi residual yang tidak dapat diproduksikan lagi. Apabila anggapan ini benar maka dengan kondisi saat sekarang yang telah kehilangan massa sekitar -45 MT, diperkirakan area panasbumi Kamojang hanya dapat beroperasi sampai tahun 2024 (24 tahun lagi). Perkiraan ini sesuai dengan perkiraan Malcolm Grant, yaitu sekitar 22 sampai 29 tahun lagi apabila kapasitas terpasang tetap 140 MWe. Apabila kapasitas terpasang ditingkatkan dan tidak diimbangi oleh sistem injeksi dan simulasi reservoir yang baik, maka kemungkinan area panasbumi Kamojang hanya mampu beroperasi sampai sekitar tahun 2024 dapat terjadi.

Grafik kumulatif keseimbangan massa yang dibuat memperlihatkan bahwa produksi massa meningkat secara cepat, tidak diimbangi oleh tambahan massa melalui injeksi yang diindikasikan oleh kurva yang semakin landai mulai tahun 1992. Oleh karena itu untuk menjaga kelangsungan produksi, maka diperlukan sistem manajemen injeksi dan simulasi reservoir yang lebih baik. Sehingga bila kelak area panasbumi Kamojang tetap beroperasi setelah tahun 2024, bukan prediksi tersebut yang salah, melainkan akibat

keberhasilan kita menjaga keseimbangan massa dalam reservoir.

Gambar-4 menunjukkan profil tekanan sumur KMJ-43 yang menunjukkan penurunan tekanan dan muka air terhadap waktu. Penurunan tekanan tersebut mengindikasikan perubahan massa dalam reservoir sudah cukup berarti, dan mengindikasikan laju pengurasan massa fluida panasbumi melebihi kapasitas pengisian reservoir.

Profile tekanan sumur KMJ-43 juga menunjukkan adanya muka air dalam, tetapi tidak ada data pendukung tentang air tersebut, apakah berasal dari kondensat, sisa pemboran atau air klorida yang berasal dari reservoir dalam. Antara tahun 1985 dan 1992 tekanan turun sangat berarti, dan pada tahun 1992 muka air hilang. Penurunan tekanan yang terjadi dan hilangnya muka air, mengindikasikan perubahan massa yang berarti dalam reservoir.

Di area pabum Kamojang faktor utama penyebab perubahan gravitasi adalah perubahan saturasi air. Perubahan tersebut disebabkan oleh pengurasan fluida dari dalam reservoir dan injeksi air yang menyebabkan pertambahan saturasi.

Perhitungan perubahan saturasi pada periode 1984-1992 menunjukkan saturasi air dalam pori berkurang 0,1. Perubahan ini hampir dua kali lebih besar dibandingkan dalam zona uap di lapangan Wairakei (New Zealand) dengan ketebalan 100m memiliki perubahan saturasi sekitar 0,06, dalam selang waktu yang sama (Allis dan Hunt, 1984). Salah satu alasan yang mungkin adalah porositas lapangan Wairakei sekitar 30%, jauh lebih besar dibandingkan lapangan Kamojang yang memiliki porositas sekitar 7%. Dalam periode 1984-1988 terdapat indikasi pertambahan saturasi yang ditunjukkan oleh perubahan gravitasi positif yang berasosiasi dengan sumur-sumur injeksi.

Pemodelan gravitasi 2-D (**Gambar-5**) dan hasil simulasi menunjukkan perubahan gravitasi terbesar berasal dari perubahan muka air dalam reservoir. Setelah muka air hilang dikedalam, ketebalan zona uap bertambah. Namun demikian bertambahnya ketebalan tersebut tidak dapat ditentukan secara akurat. Kesalahan kecil dalam prediksi perubahan muka air dapat menutupi perubahan gravitasi yang disebabkan oleh faktor lain.

Penurunan tekanan dalam reservoir akan menstimulasi air dibagian bawah lapisan kondensat masuk kedalam reservoir zona uap. Dalam periode 1984-1992 diperkirakan sekitar 2% air dari sekitar 60 m ketebalan lapisan kondensat di bagian bawah sudah masuk kedalam reservoir.

Peralatan gravimeter yang dimiliki sendiri, dan kemampuan sumber daya manusia yang ada, membuat biaya operasional monitoring menjadi lebih murah. Dengan pertimbangan biaya yang cukup murah tersebut, dan hasil yang diperoleh untuk menjaga kelangsungan pendapatan yang cukup besar sebaiknya monitoring tersebut dilakukan setiap dua tahun. Dengan demikian perubahan gravitasi dapat dimonitor lebih akurat. Hanya untuk meningkatkan kualitas interpretasi sudah seharusnya dilakukan monitoring perubahan muka air tanah dangkal. Monitoring dapat dilakukan melalui sumur-sumur dangkal yang ada, sumur penduduk dan beberapa sumur tambahan yang sebaiknya khusus dibuat untuk keperluan monitoring perubahan muka air tanah dangkal tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam pemodelan gravitasi, perkiraan perbedaan densitas menggunakan perubahan tekanan dalam sumur dapat menyebabkan kesalahan. Sebagai contoh, kondisi nyata dalam reservoir mungkin tidak sama dengan kondisi dalam sumur; asumsi bahwa semua porositas berhubungan tidak selalu benar; untuk zona rekahan porositas sebenarnya mungkin jauh lebih besar dari perkiraan. Sumber lain yang dapat menyebabkan kesalahan dalam pemodelan gravitasi adalah perkiraan ketebalan zona uap dan perubahan muka air dalam reservoir yang kurang baik diidentifikasi. Namun demikian, pemodelan gravitasi secara kuantitatif dalam bentuk perubahan tekanan dan temperatur masih dapat digunakan paling tidak untuk memprediksi kemungkinan perubahan gravitasi secara keseluruhan, apakah akan menjadi positif (tambahan massa) atau negatif (berkurangnya massa) dan perkiraan perubahan saturasi.

Untuk peningkatan kualitas interpretasi gravitasi mikro, monitoring sebaiknya dilakukan setiap dua tahun yang disertai oleh monitoring perubahan muka air tanah dangkal.

Indikasi penurunan produksi yang diperkirakan akibat berkurangnya massa fluida dalam reservoir sesuai oleh hasil gravitasi mikro. Oleh karena itu, agar rencana peningkatan kapasitas 200 MWe berhasil dengan baik, diperlukan tambahan massa fluida melalui sumur injeksi tambahan yang didukung oleh simulasi reservoir yang baik. Besar harapan kita agar "respectable producer" yang kita harapkan dapat tercapai.

6. REFERENSI

Silitonga T. H. 1999: *Interpretation microgravity in Kamojang geothermal field*, Geothermal Institute, Auckland University.

Allis R. G. dan T. M. Hunt 1984: Modelling the gravity changes at Wairakei geothermal field, *Proc. 6th NZ geothermal workshop*.

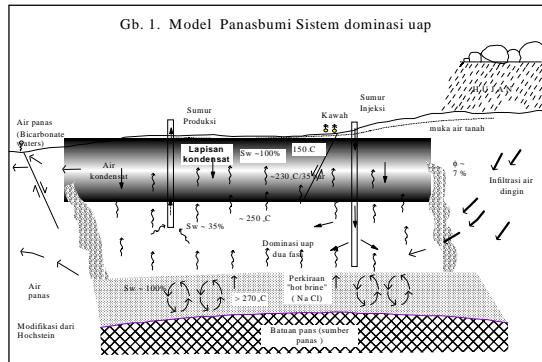
Grant Malcolm 1997 : *Kamojang Fluid and Reservoir State*, Design Power Genzl.

Hunt, T. M 1977: *Recharge of Water in Wairakei Geothermal Field Determined From Repeat Gravity Measurements*, New Zealand Journal of Geology and Geophysics.

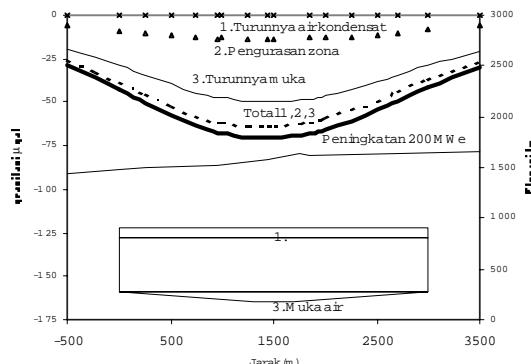
Tabel-1

Produksi, pengisian dan perhitungan perubahan massa (dari perubahan gravitasi rata-rata terhadap daerah seluas 14 km persegi) dalam Mega Ton (MT) untuk periode 1984 – 1992 di lapangan panasbumi Kamojang.

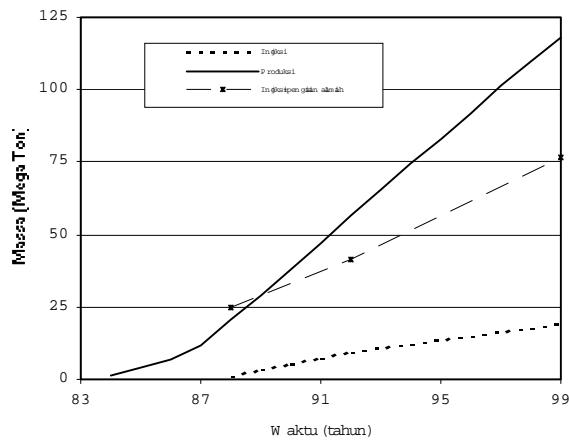
Bulan/Tahun	05/84-12/88	01/89-12/92
<i>Produksi massa sumur bor</i>	20	36
<i>Produksi massa alamiah</i>	3	3
<i>Injeksi</i>	2	8
<i>Perubahan</i>	3	-15
<i>Pengisian</i>	24	16



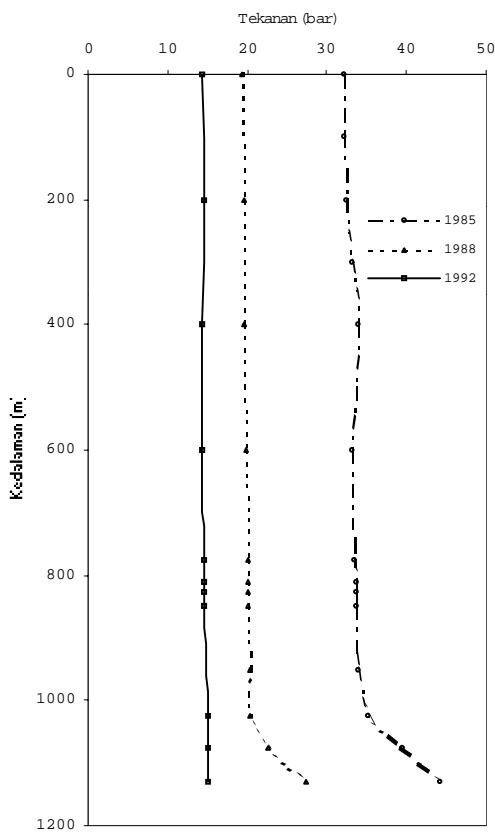
Gb. 2 Perubahan gravitasi akibat pengurasan zona uap, turunnya air kondensat, turunnya muaka air dalam zona uap dan peningkatan kapasitas terpasang menjadi 200 MW e.



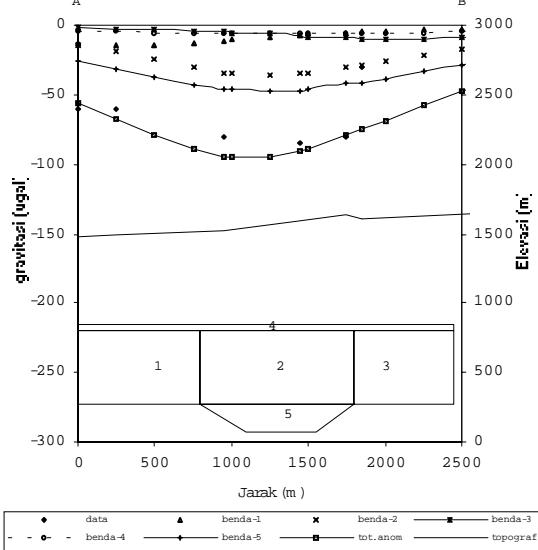
Gb. 3 :Grafik kurva ukuran keseimbangan massa selama beroperasinya powerplant untuk periode 1984-1992



Gb. 4: Profile tekanan sumur KMJ-43



Gb. 5 Pemodelan 2-dimensi perubahan gravitasi untuk periode 1988-1992



LAMPIRAN-1