

Skenario Pengembangan Sumur Injeksi pada Sumber Daya Panas Bumi Sistem Dominasi Air dengan Pemodelan Reservoir 3D Dinamik

Allen Haryanto Lukmana

Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Corresponding author email : allenharyanto@upnyk.ac.id

Abstrak

Reinjeksi fluida memiliki peran penting dalam pengelolaan reservoir panas bumi. Reinjeksi bertujuan untuk meningkatkan pengisian alami ke reservoir untuk menjaga tekanan reservoir, produksi uap, dan mengekstraksi lebih banyak panas dari reservoir. Penginjeksian kembali harus direncanakan dengan baik untuk menghindari masalah seperti terobosan termal. Pemodelan dinamis reservoir panas bumi dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi awal reservoir, karakteristik produksi, dan kinerja produksi reservoir di masa depan. Dalam studi ini, reinjeksi ke reservoir yang didominasi air sintetis direncanakan untuk mempertahankan 55 MW produksi listrik selama 30 tahun. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan strategi injeksi terbaik untuk mencapai produksi listrik selama 30 tahun. Berbagai skenario produksi-injeksi diuji menggunakan pemodelan reservoir panas bumi 3D dinamis. Studi ini menunjukkan bahwa lokasi dan laju injeksi adalah parameter utama dalam strategi injeksi. Sumur reinjeksi terletak di dalam reservoir, tetapi pada jarak yang cukup untuk menghindari terobosan. Suntikan area dekat produksi menyebabkan terobosan dalam sumur produksi. Injeksi pada tingkat yang lebih tinggi memperlambat penurunan tekanan dan meningkatkan produksi cairan secara signifikan.

Kata kunci : pemodelan dinamis, penginjeksian panas bumi, pengelolaan reservoir, keberlanjutan, didominasi air

Abstract

Reinjection aims to increase the natural recharge to reservoirs in order to maintain the reservoir pressure, steam production, and extract more heat from the reservoir. Reinjection must be well planned to avoid problems such as thermal breakthrough. Dynamic modelling of geothermal reservoirs can be used to identify the future production performance of the reservoir. In this study, reinjection to a synthetic water-dominated reservoir is planned to maintain 55 MW of electricity production for 30 years. The purpose of this study is to determine the best injection strategy. Various production-injection scenarios are tested. The study shows that location and injection rate are the key parameters in injection strategy. The production well are located inside the reservoir, but enough distance to avoid a breakthrough. Near-production area injections are causing breakthrough in production well. Injection at higher rates slows down pressure decline and increase the fluid production significantly.

Keywords : dynamic modelling, reinjection, reservoir management, sustainability, water dominated

Skenario Pengembangan Sumur Injeksi pada Sumber Daya Panas Bumi Sistem Dominasi Air dengan Pemodelan Reservoir 3D Dinamik

I. Pendahuluan

Reservoir geotermal berada pada kondisi kesetimbangan massa dan energi sebelum dieksploitasi. Karena fluida reservoir dihasilkan dari reservoir, keadaan terganggu ketika massa berkurang. Meskipun ada mekanisme pengisian ulang (*recharge*) yang akan mengisi ruang yang ditinggalkan oleh produksi fluida, sebagian besar reservoir panas bumi diproduksi dengan laju yang lebih besar daripada *recharge* (Satman, 2010). Keadaan ketidakseimbangan akan mengubah beberapa kondisi di reservoir.

Dalam reservoir panas bumi yang berisi fluida suhu tinggi, tekanan reservoir menurun selama produksi. Saat tekanan dan perubahan massa, produktivitas reservoir menurun. Penurunan tekanan menyebabkan banyak efek buruk pada reservoir. Penurunan tekanan dapat mengubah distribusi fase air dan uap di reservoir (Grant and Bixley, 2010). Dalam reservoir yang didominasi air, zona dididih muncul ketika tekanan menurun; air berubah menjadi uap dan tutup uap terbentuk. Dalam reservoir yang didominasi uap, perubahan tekanan dapat menyebabkan reservoir mengering dan membentuk zona super panas (*superheated*) (Grant and Bixley, 2010). Dalam beberapa kasus, penurunan tekanan dapat menyebabkan aliran air yang cepat dari batas reservoir. Jika aliran masuk pada suhu rendah, suhu reservoir menurun (Grant and Bixley, 2010). Produksi fluida di reservoir memiliki potensi untuk menyebabkan subsidensi, meskipun itu adalah fenomena yang sangat langka (Axelsson, 2003). Secara keseluruhan, perubahan ini dapat menurunkan produktivitas reservoir dan mengurangi kapasitas pembangkit listrik. Oleh karena itu, pengelolaan reservoir diperlukan untuk mencapai keberlanjutan reservoir panas bumi.

Dalam pengelolaan reservoir, serangkaian langkah harus diambil untuk melawan penipisan sumber daya dan memperpanjang umur reservoir. Menurut Axelsson (Axelsson, 2012), beberapa langkah dalam manajemen reservoir adalah mengubah strategi produksi, menerapkan injeksi, dan pengeboran sumur tambahan. Dalam penelitian ini, sumur reinjeksi tambahan adalah topik utama yang akan dibahas.

Reinjeksi adalah metode pembuangan air limbah sebelum disesuaikan dengan pengelolaan reservoir panas bumi (Axelsson, 2003). Reinjeksi ke reservoir panas bumi

meningkatkan masuknya massa dari pengisian alami. Ini mengurangi penurunan tekanan di reservoir dan, pada saat yang sama, memberikan lebih banyak massa cairan untuk mengekstraksi energi dari reservoir. Dengan demikian, penginjeksian kembali ke reservoir panas bumi akan meningkatkan kapasitas produksi listrik dari lapangan panas bumi. Keseimbangan antara jadwal produksi dan strategi injeksi adalah kunci untuk keberlanjutan reservoir panas bumi (Ungenmach, 2005).

Reinjeksi memiliki beberapa kelebihan tetapi juga kekurangan. Efek reinjeksi fluida yang paling dahsyat adalah terobosan termal atau pendinginan di area produksi, yang menurunkan entalpi cairan yang diproduksi ke permukaan. Entalpi cairan lebih rendah berarti kapasitas produksi pabrik lebih rendah. Oleh karena itu, penginjeksian kembali ke reservoir panas bumi harus direncanakan untuk menghindari terobosan termal.

Pemodelan numerik reservoir panas bumi adalah penting, tidak hanya untuk penilaian potensial tetapi juga untuk merancang strategi injeksi (Franco and Vaccaro, 2005). Pemodelan dan simulasi reservoir dinamis adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk merencanakan operasi reinjeksi karena simulasi reservoir membantu dalam memahami perilaku produksi reservoir. Itu juga dapat memprediksi kinerja reservoir di masa depan dalam skenario produksi dan injeksi apa pun.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, operasi penginjeksian kembali dalam reservoir yang didominasi air sintesis direncanakan menggunakan simulasi reservoir panas bumi model dinamis 3D.

II. Metodologi

Reinjeksi reservoir yang didominasi air direncanakan. Untuk memastikan hasil injeksi terbaik, satu dari delapan skenario dipilih yang akan dapat mempertahankan produktivitas reservoir untuk memasok pembangkit listrik 55 MW selama 30 tahun.

Simulator *Tough-2*, *PETRASIM Thunderhead Engineering* digunakan untuk membuat dan mensimulasikan model reservoir. Sebelum model 3D dapat digunakan untuk memprediksi kinerja masa depan dengan injeksi, model tersebut harus terlebih dahulu divalidasi oleh pencocokan kondisi alami dan produksi. Setelah model

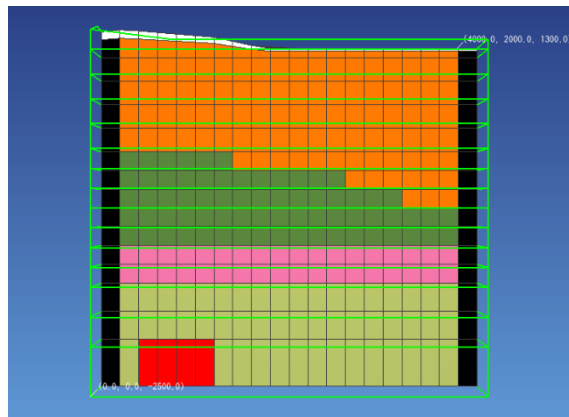
cocok dengan tekanan awal, suhu, dan perilaku produksi dalam kondisi aktual, siap untuk mensimulasikan skenario produksi dan injeksi. Model batas yang didominasi air dan tertutup sintetis digunakan dalam penelitian ini. Model ini memiliki panjang 4.000 m, lebar 2.000 m, kedalaman 3.600 m dan memiliki 15 lapisan. Model ini memiliki komposisi sebagai berikut dari atas ke pangkalan, permukaan dan atmosfer, batuan penutup dengan permeabilitas rendah, tiga lapisan reservoir dan sumber panas. Model

ini memiliki kondisi batas atas dan samping yang membuat reservoir cukup terisolasi dari air dingin dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

Model ini memiliki panas spesifik seragam sebesar 1000 J / kgC dan konduktivitas panas basah 2 W / mC (kecuali untuk batas (2,9 W / mC) dan batuan penutup (3,0 W / mC)). Parameter material yang digunakan dalam model simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Material yang Digunakan dalam Model.

No	Material	Warna	Densitas (kg/m ³)	Porositas	Permeabilitas (m ²)		
					x	y	z
1	ATM		2650	1.0	1.0	1.0	1.0
					E-13	E-13	E-13
2	BOUND		2350	0.1	1.0	1.0	1.0
					E-16	E-16	E-16
3	CAPR		2700	0.1	1.0	1.0	1.0
					E-15	E-15	E-15
4	HEAT		2700	0.1	1.0	1.0	1.0
					E-15	E-15	E-15
5	RES1		2500	0.1	4.0	4.0	2.0
					E-14	E-14	E-14
6	RES2		2500	0.1	2.0	2.0	1.0
					E-14	E-14	E-14
7	RES3		2500	0.1	2.0	2.0	1.0
					E-15	E-15	E-15

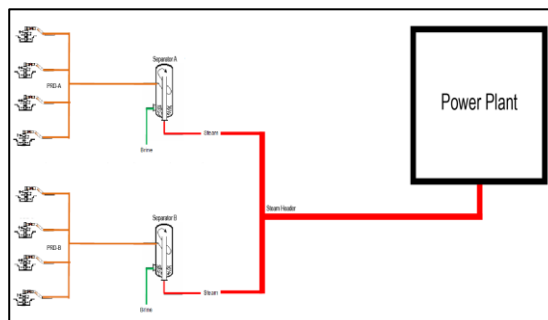


Gambar 1. Penampang Model Numerik 3D

III. Hasil dan Pembahasan

Model reservoir digunakan untuk memasok massa untuk menghasilkan pembangkit listrik flash tunggal 55 MW selama 30 tahun. Model ini memiliki dua karakteristik

sumur produksi yang berbeda, produktivitas tinggi (PRD-A) dan produktivitas sedang (PRD-B). Setiap sumur produktivitas berbeda mengalir ke sistem pengumpulan terpisah di mana air asin dan uap dipisahkan berdasarkan karakteristik sumur.



Gambar 2. Skema Sistem Pengumpulan

Skenario Pengembangan Sumur Injeksi pada Sumber Daya Panas Bumi Sistem Dominasi Air dengan Pemodelan Reservoir 3D Dinamik

Parameter fasilitas permukaan dan pembangkit listrik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Fasilitas Permukaan dan Parameter Pembangkit Listrik.

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tekanan Kepala Sumur	12	bar
2	Tekanan Separator	10	Bar
3	Tekanan Inlet Turbin	9	Bar
4	Tekanan Kondenser	0.1	Bar
5	Efisiensi Turbin	80	%

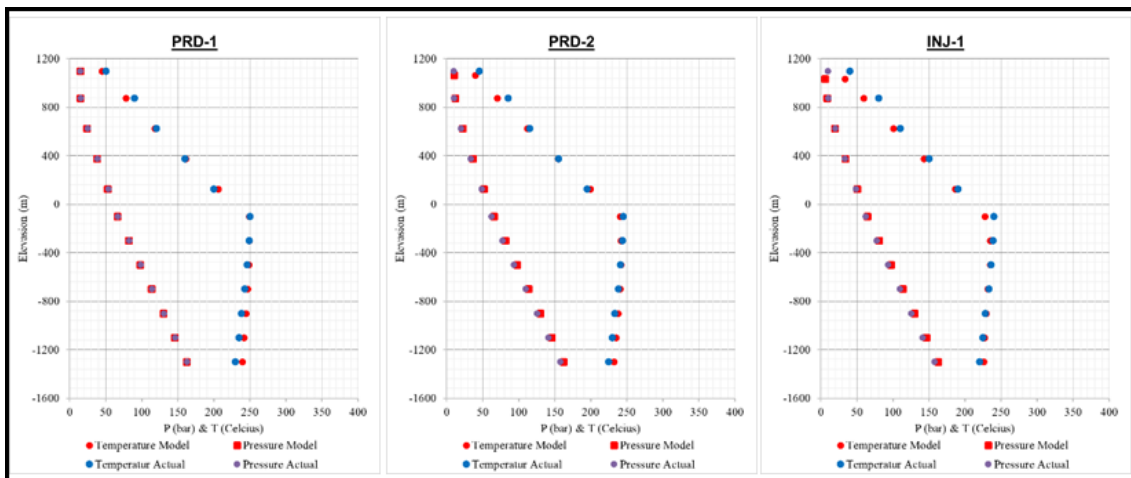
Dalam penelitian ini, beberapa parameter injeksi divariasikan dalam 8 skenario untuk mendapatkan strategi injeksi terbaik untuk mempertahankan produksi. Parameter ini adalah laju injeksi, lokasi injeksi, dan suhu injeksi.

Hasil Simulasi Model

Natural State

Pencocokan keadaan alami dilakukan untuk mencapai kondisi awal reservoir aktual. Tekanan dan suhu dalam model sangat dikendalikan oleh tekanan, massa, dan

masuknya panas dari sumber panas, dan oleh gradien tekanan dan suhu membentuk permukaan. Sumber panas diatur pada tekanan $2.4E07$ Pa, suhu 320°C , dan massa $0,000025$ kg / s dengan entalpi $1,085E6$ J / kg. Tekanan batas atas (atmosfer) adalah $1E5$ Pa, dan suhunya 25 oC dengan gradien linier. Kesesuaian antara data model dan data aktual dicapai dengan menyesuaikan pengaturan material, porositas dan permeabilitas material, dan sumber panas. Hasil pencocokan keadaan alami ditunjukkan pada Gambar 3.

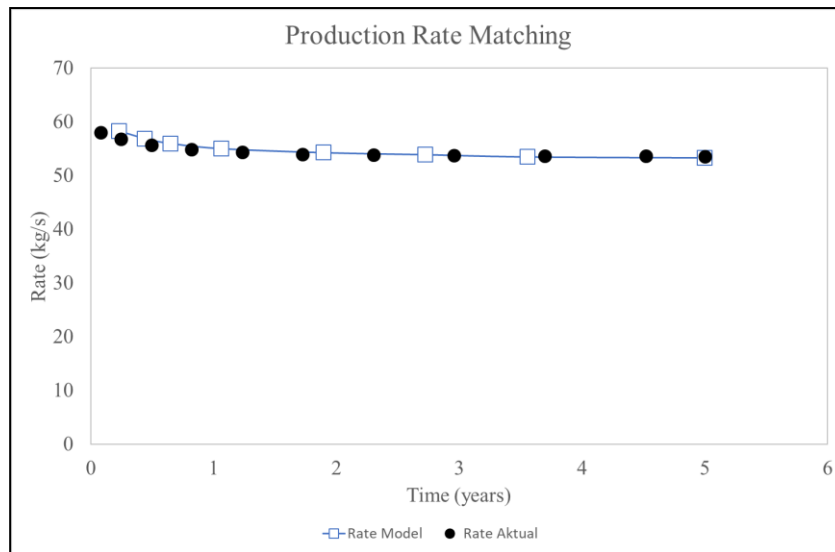


Gambar 3. Pencocokan Keadaan Alami di Tiga Sumur

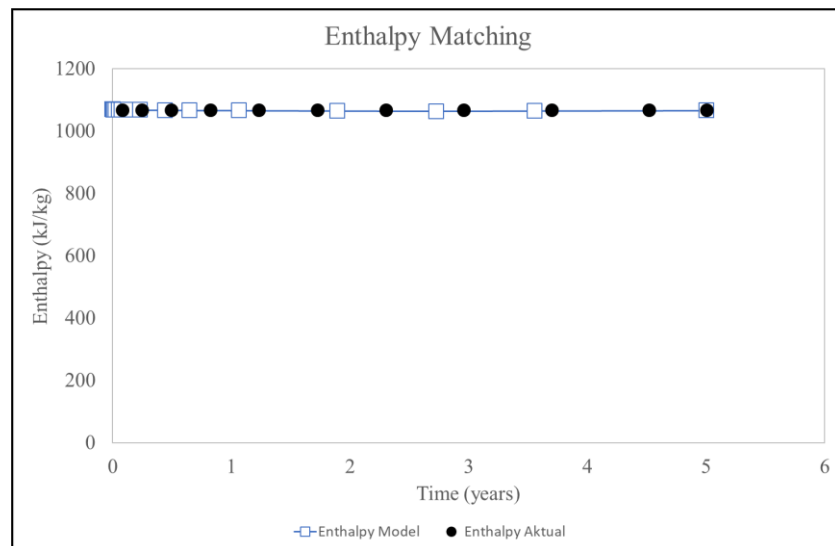
History Matching

Pencocokan riwayat produksi model dilakukan dengan mencocokkan perilaku produksi dua sumur produksi dengan karakteristik yang berbeda dalam lima tahun.

Kesesuaian antara data model dan data aktual dicapai dengan menyesuaikan permeabilitas sumur lokal dan indeks produktivitas. Hasil pencocokan riwayat ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Pencocokan Rate Produksi PRD-B



Gambar 5. Pencocokan Entalpi di Tiga Sumur

Dalam penelitian ini, beberapa parameter injeksi divariasikan dalam 8 skenario untuk mendapatkan strategi injeksi terbaik untuk mempertahankan produksi. Jumlah

sumur produksi ditentukan dengan menggunakan potensi sumur tunggal PRD-A dan PRD B di mana jumlahnya adalah 55 MW atau lebih.

Tabel 3. Fasilitas Permukaan dan Parameter Pembangkit Listrik.

Tipe Sumur	Laju Alir (kg/s)	Enthalpi (kJ/kg)	Potential (MW)	Jumlah Sumur
PRD-A	50.81	1017.9	3.55	5
PRD-B	71.62	1068.3	5.85	7
Sum			58.5	12

Skenario diatur oleh berbagai parameter injeksi yang berfokus pada jumlah, lokasi, laju injeksi,

dan suhu air. Skenario ini diuraikan pada Tabel 4.

**Skenario Pengembangan Sumur Injeksi pada
Sumber Daya Panas Bumi Sistem Dominasi Air dengan Pemodelan Reservoir 3D Dinamik**

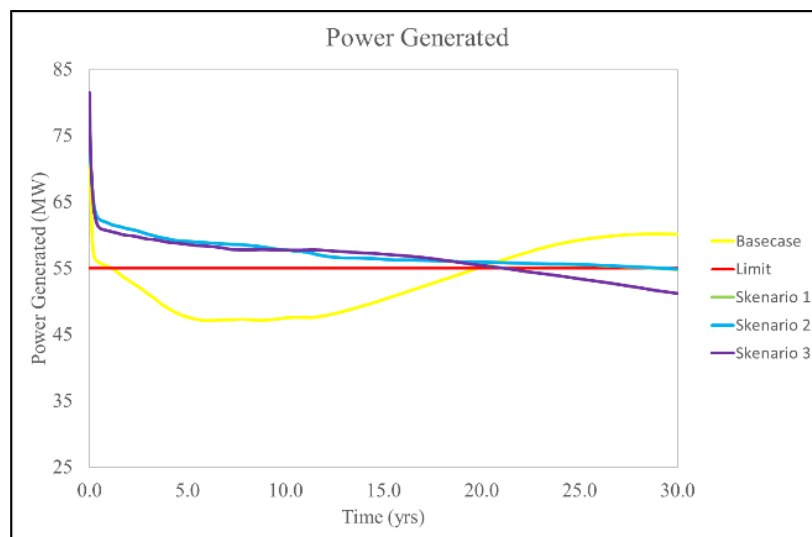
Tabel 4. Skenario Produksi Injeksi

Skenario	Keterangan
Base case	7 sumur produksi
Skenario 1	7 sumur produksi + 1 jauh 1 sumur injeksi
Skenario 2	7 sumur produksi + 3 jauh 3 sumur injeksi
Skenario 3	7 sumur produksi + 4 jauh 4 sumur injeksi around sumur produksi
Skenario 4	7 sumur produksi + 1 dekat sumur injeksi
Skenario 5	7 sumur produksi + 3 dekat sumur injeksi
Skenario 6	7 sumur produksi + 4 dekat sumur injeksi around sumur produksi
Skenario 7	7 sumur produksi + 3 jauh sumur injeksi + high temperature
Skenario 8	7 sumur produksi + 3 jauh sumur injeksi + additional mass

Lokasi injeksi ditentukan berdasarkan Kaya et. Al. (Kaya etc,2011), di mana injeksi dalam reservoir yang didominasi cairan / air panas diusulkan untuk memberikan massa tambahan dan meningkatkan tekanan, maka sumur-sumur penginjeksian kembali ditetapkan untuk berada di tengah lapangan. Laju aliran injeksi didasarkan pada laju aliran air garam yang terpisah di kedua pemisah yang digabungkan. Nilai tepat yang diperoleh dari laju air asin yang terpisah dalam simulasi

kasus dasar adalah 457,91 kg / s (kecuali skenario 8, yang mensimulasikan massa tambahan hingga 600 kg / s). Dalam skenario yang memiliki lebih dari satu sumur injeksi, nilai laju dibagi dengan jumlah sumur, sehingga masing-masing sumur memiliki laju yang sama. Temperatur injeksi adalah 50 °C di semua skenario kecuali skenario 7, yaitu 150°C.

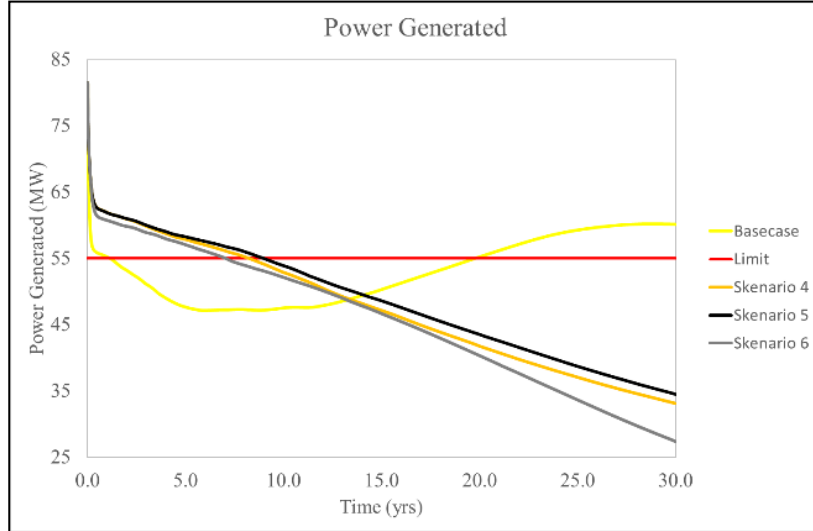
Ringkasan dari delapan skenario berbeda ada pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Simulasi Pembangkit Listrik Skenario 1, 2, dan 3

Skenario 1, 2, dan 3 memiliki lokasi injeksi yang jauh dari zona produksi. Secara umum, scenario ini dapat mempertahankan kapasitas pembangkit listrik selama bertahun-tahun. Tetapi, setelah 30 tahun, laju injeksi tambahan atau sumur

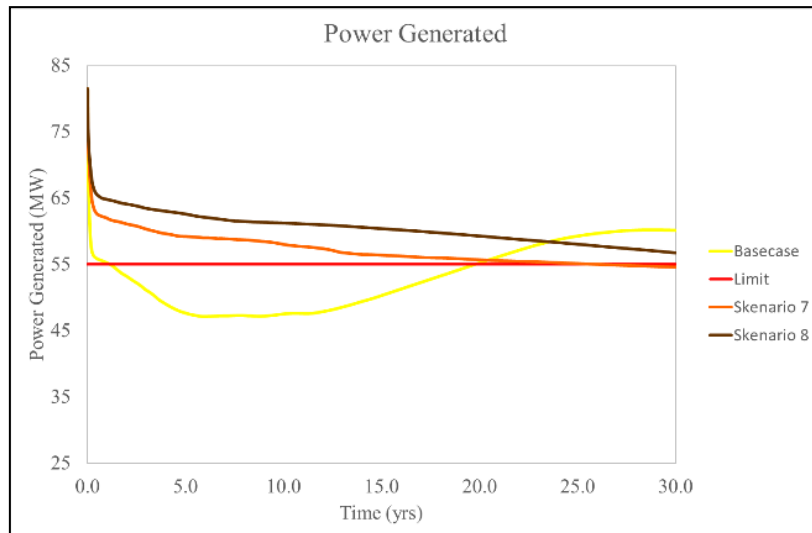
injeksi tam-bahan diperlukan untuk mempertahankan kapasitas daya. Jumlah sumur tidak mempengaruhi secara signifikan, karena laju injeksi serupa antara sumur.



Gambar 7. Hasil Simulasi Pembangkit Listrik Skenario 4, 5, dan 6

Gambar 7 memperlihatkan skenario 4, 5, dan 6 memiliki lokasi injeksi dekat dengan zona produksi. Secara umum, skenario ini tidak dapat mempertahankan kapasitas pembangkit listrik selama 30 tahun. Pembangkit listrik turun di bawah

55 MW setelah 6 hingga 9 tahun. Penurunan terjadi karena terobosan termal ke zona produktivitas, karena lokasi injeksi dekat dengan zona produksi. Jumlah sumur tidak mempengaruhi secara signifikan, karena laju injeksi serupa.



Gambar 8. Power Generation Simulation Result dari Skenario 7 dan 8

Gambar 8 memperlihatkan skenario yang mampu mempertahankan kapasitas pembangkit listrik selama 30 tahun. Tetapi hanya skenario 8 yang mampu mempertahankan kapasitas pembangkit listrik selama 30 tahun. Dalam skenario 7,

pembangkit listrik turun di bawah 55 MW pada akhir 30 tahun. Jadi, laju injeksi tambahan atau sumur injeksi tambahan diperlukan. Suhu air yang disuntikkan tidak mempengaruhi pembangkit

Skenario Pengembangan Sumur Injeksi pada Sumber Daya Panas Bumi Sistem Dominasi Air dengan Pemodelan Reservoir 3D Dinamik

listrik secara signifikan. Laju injeksi tambahan secara signifikan mempengaruhi kapasitas pembangkit listrik karena produksi massal tidak menurun dengan cepat.

Berdasarkan hasil simulasi, skenario 8 adalah pilihan terbaik karena dapat mempertahankan kapasitas pembangkit listrik di atas 55 MW selama setidaknya 30 tahun. Skenario ini memiliki 7 sumur produksi dan 3 sumur injeksi, ditempatkan pada jarak dari zona produksi. Parameter injeksi yang paling berpengaruh adalah lokasi sumur injeksi. Sumur injeksi yang berdekatan memiliki efek yang lebih baik pada massa dan tekanan daripada menyebarkan sumur injeksi. Lokasi injeksi harus cukup jauh dari sumur produksi untuk menghindari terobosan termal. Laju injeksi yang lebih tinggi akan meningkatkan daya yang dihasilkan dan produksi massal, sementara suhu Injeksi tidak mempengaruhi pembangkit daya secara signifikan.

IV. Kesimpulan

1. Berdasarkan simulasi, skenario 8 dapat mempertahankan kapasitas pembangkit listrik di atas 55 MW selama 30 tahun. Skenario 8 memiliki 7 sumur produksi dengan 3 sumur injeksi yang jauh dan laju injeksi tambahan.
2. Sumur injeksi yang berdekatan memiliki efek yang lebih baik pada mempertahankan massa dan tekanan di reservoir daripada menyebarkan sumur injeksi.
3. Sumur injeksi terletak di tengah lapangan, tetapi cukup jauh dari sumur produksi untuk menghindari terobosan termal untuk memasok massa ke reservoir tanpa mengurangi entalpi secara signifikan.
4. Meningkatkan massa injeksi air akan mempertahankan jumlah cairan yang dihasilkan. Karena itu, pembangkit listrik tidak akan menurun dengan cepat.
5. Temperatur injeksi tidak mempengaruhi pembangkit listrik secara signifikan.

Saran

Penelitian dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan pengaruh dari geomekanika batuan, sehingga efek penurunan permukaan tanah (*subsidence*) dapat diamati pada saat reservoir di eksploitasi

V. Daftar Pustaka

- A. Satman, 2010 . *Sustainability of a Geothermal Reservoir*, in *World Geothermal Congress*, No. April, pp. 25–29.
- M. A. Grant and P. F. Bixley, 2011. *Geothermal reservoir engineering*, 2nd ed. Elsevier Inc.,
- R. DiPippo, 2012. *Geothermal Power Plants : Principles , Applications , Case Studies and Environmental Impact*, 3rd ed. Elsevier.
- G. Axelsson, 2003. *Essence of geothermal resource management in Geothermal Training Programme*, , no. September, pp. 129–151.
- G. Axelsson, 2012. *Role and management of geothermal reinjection, Present. "Short Course Geotherm. Dev. Geotherm. Wells"*, Organ. by UNU-GTP LaGeo, St. Tecla, El Salvador. March 11-17, 2012., pp. 1–21.
- V. Stefánsson, 1997. *Geothermal Reinjection Experience*, *Geothermics*, vol. 26, no. 1, pp. 99–139.
- P. Ungemach, 2005. *Sustainable geothermal reservoir management, ... Proc. World Geotherm. ...*, vol. 33, no. April, pp. 24–29.
- A. Franco and M. Vaccaro, 2014. *Numerical Simulation Of Geothermal Reservoirs For The Sustainable Design of Energy Plants: A Review,* *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 987–1002.
- E. Kaya, S. J. Zarrouk, and M. J. O'Sullivan, 2011. *Reinjection in geothermal fields: A review of worldwide experience* *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 47–68.