

Geothermal dalam Lapangan Migas Indonesia: Pemanfaatan Lapangan Migas Tua Sebagai Sumber Energi Geothermal

⁽¹⁾Albertus Suwandi, ⁽²⁾Alief Rachman Surya Putra, ⁽³⁾Iqbal Tri Wibitama

^{1,2,3} Program Studi Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No.10, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding author email : salbert@students.itb.ac.id

Abstrak

Energi merupakan salah satu sektor yang sangat penting dalam suatu bangsa, tidak terkecuali di Indonesia. Dengan lebih dari 270 juta penduduk dengan mobilitas tinggi dan perkembangan ekonomi yang pesat, Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki kebutuhan energi terbesar di dunia. Pada tahun 2018, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melaporkan bahwa Indonesia menggunakan sekitar 114 MTOE energi; angka tersebut akan meningkat sekitar empat kali lipat pada tahun 2050 menjadi 481,1 MTOE dengan proyeksi pembangunan berkelanjutan. Hal ini didukung dengan Rencana Umum Energi Nasional yang menargetkan peningkatan bauran energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025 dan menjadi 31% pada 2050. Indonesia harus mengejar gap tersebut dengan mulai membangun sumber EBT salah satunya geothermal. Potensi geothermal di Indonesia sangatlah besar namun biaya dalam pembangunan dan pengembangan lapangannya cukup mahal, banyak biaya yang harus dikeluarkan dan salah satu biaya terbesar digunakan pada proses pembuatan sumur. Pada paper ini, penulis melihat pemanfaatan lapangan minyak bumi yang sudah mature untuk dijadikan sumber geothermal. Peningkatan maturitas lapangan migas sering dikaitkan dengan peningkatan volume air formasi yang besar dan harus diolah dengan baik. Sehingga, terdapat kemungkinan untuk memanfaatkan produksi air tersebut untuk mengubah sumur migas menjadi sumur geothermal dengan beberapa parameter pendukung lainnya yang harus dipenuhi. Simulasi dengan kajian literatur terkait dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan sumur migas yang telah ada di Indonesia menjadi sumur geothermal. Diharapkan penelitian ini dapat membantu pemanfaatan dan pengoptimalisasian sumber daya secara efektif dan efisien menuju ketahanan energi yang berkelanjutan secara nasional.

Kata Kunci: Energi, Geothermal, Sumur migas

Abstrak

Energy is one of the most critical sectors in a nation, particularly in Indonesia. With a more than 270 million population with high mobility and growing economies, Indonesia has one of the most extensive energy needs globally. In 2018, The Ministry of Energy and Mineral Resources reported that Indonesia has consumed around 114 MTOE of energy; these figures will increase by about four times in 2050 to 481.1 MTOE with sustainable development projections. This is supported by the Rencana Umum Energi Nasional, targeting an increase in the new and renewable energy mix by 23% in 2025 and 31% in 2050. This gap must be pursued by building renewable energy sources, one of which is geothermal. Geothermal has abundant potential in Indonesia, but the costs involved in constructing and developing the field are quite expensive; one of the largest costs is used in the well-building process. This paper researches the potential of converting existing mature oil fields into geothermal sources. The increasing maturity of oil and gas fields is often accompanied by a large increase in the volume of formation water. Thus, there is a possibility to take advantage of the water production to change oil and gas wells to geothermal wells supported by several other supporting parameters. Calculations with related literature studies are conducted to determine the potential utilization of existing oil and gas wells in Indonesia into geothermal wells. Hopefully, this research can help utilize and optimize resources effectively and efficiently towards nationally sustainable energy security.

Keywords: Energy, Geothermal, Oil and Gas Well

I. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan vital bagi keberlangsungan suatu negara. Kebutuhan energi akan terus meningkat setiap tahunnya di hampir seluruh negara, tidak terkecuali Indonesia. Dengan lebih dari 270 juta penduduk dengan kegiatan mobilitas dan industri yang tinggi, Indonesia memiliki salah satu kebutuhan energi yang terbesar di dunia. Pada tahun 2018, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melaporkan bahwa Indonesia telah mengkonsumsi sekitar 114 MTOE

energi; angka tersebut akan meningkat sekitar empat kali lipat pada tahun 2050 menjadi 481,1 MTOE dengan proyeksi pembangunan berkelanjutan. Dari prediksi tersebut proyeksi penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batubara akan ditekan demi mendukung penggunaan energi bersih yang memiliki banyak kelebihan dalam pemanfaatannya, seperti dapat menekan laju peningkatan emisi karbon di Bumi. Saat ini terdapat berbagai macam energi bersih yang sedang di

Geothermal dalam Lapangan Migas Indonesia: Pemanfaatan Lapangan Migas Tua Sebagai Sumber Energi Geothermal

kembangkan oleh pemerintah Indonesia, salah satunya *geothermal*.

Geothermal merupakan suatu energi yang didapatkan dari pemutaran turbin oleh fluida panas yang berasal dari dalam bumi. Lokasi geografi Indonesia yang terletak diantara pertemuan tiga lempeng bumi membuat Indonesia memiliki potensi *geothermal* terbesar kedua setelah Amerika Serikat. Namun, dalam implementasinya banyak faktor penghambat yang membuat Indonesia sulit untuk dapat mengembangkan potensi yang besar tersebut. Salah satu dari faktor penghambat tersebut adalah tingginya risiko kegagalan dalam proses eksplorasi dan *development* lapangan *geothermal*, terkhusus dalam pembuatan sumur. Pembuatan sumur *geothermal* dapat menghabiskan biaya hingga 40% dari pengembangan suatu lapangan (Ashadi, 2021). Sehingga, pemanfaatan energi *geothermal* dalam bentuk lain menjadi suatu pembahasan menarik untuk dipertimbangkan dan dikaji lebih lanjut.

Paper ini akan menilik pemanfaatan lapangan migas yang sudah mature atau tua di Indonesia untuk dialihfungsikan menjadi lapangan *geothermal* diteliti secara komprehensif. Sumur - sumur yang terdapat di lapangan migas, baik yang berproduksi maupun yang sudah memasuki tahap *abandonment*, memiliki energi *geothermal* yang berpotensi untuk dimanfaatkan. Beberapa sumur mencapai kedalaman yang cukup dan *Bottom Hole Temperature* (BHT) yang sesuai untuk ekstraksi energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk generasi energi listrik. Beberapa penelitian di negara lain untuk mengetahui potensi dari teknologi serta penerapan konsep ini telah dilakukan, seperti studi yang dilakukan oleh (Junrong dkk., 2015) yang meneliti tentang teknologi eksploitasi dan pemanfaatan sumber daya panas bumi di lapangan minyak di daerah China, (Soldo dkk., 2020) yang meneliti hal serupa pada lapangan migas di Italia, (Benett dkk., 2012) di Los Angeles Basin, Amerika Serikat, maupun penelitian dari (Gabdrakhmanova dkk., 2019) yang meneliti di Rusia, serta beberapa penelitian lainnya yang juga menjadi acuan referensi dalam penyusunan paper ini

Di dalam studi ini, akan dilakukan studi awal mengenai potensi pengalihfungsian lapangan migas tua di Indonesia dengan mendefinisikan beberapa parameter penting sebagai dasar perhitungan, melakukan perhitungan secara volumetrik untuk mengestimasi energi yang dapat dibangkitkan, serta melakukan studi kasus di negara lain sebagai perbandingan serta penolokukuran dari studi yang

dilakukan di paper ini. Namun, perlu dicatat bahwa dengan keterbatasan data yang dimiliki serta jejak studi penelitian serupa yang dilakukan di Indonesia, paper ini perlu dikembangkan di masa depan dengan melakukan studi lebih lanjut. Diharapkan, penelitian ini mampu menjadi salah satu pionir pengembangan teknologi pengalihfungsian lapangan tua menjadi lapangan *geothermal* untuk memperpanjang umur *life cycle* dari suatu sumur dan menambah bauran energi Indonesia demi ketahanan energi bangsa.

II. Metodologi

Dalam konteks pengalihfungsian lapangan migas menjadi lapangan *geothermal*, perlu didefinisikan beberapa parameter yang perlu untuk dipenuhi agar proyek pengalihfungsian tersebut dapat terpenuhi dan berjalan dengan baik. Dengan melakukan studi literatur dan penelitian mengacu kepada beberapa referensi terkait, 7 parameter penting yang harus terpenuhi didefinisikan seperti berikut.

1. Water Saturation

Water saturation mengacu kepada saturasi air didalam suatu lapangan. Sumber daya *geothermal* akan meningkat dengan peningkatan saturasi air dan menurun dengan peningkatan saturasi minyak secara signifikan, membuat parameter ini penting untuk diketahui dalam mengestimasi jumlah energi yang bisa dibangkitkan.

2. Heat Capacity

Heat capacity mengacu kepada jumlah kalor yang diberikan kepada suatu benda untuk menghasilkan satu satuan perubahan suhu. Dalam kasus ini, medium yang akan ditinjau akan berupa batuan - batuan yang menjadi tempat reservoir berada untuk mengetahui banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu massa batuan.

3. Geothermal Gradient

Gradien *geothermal* berhubungan erat dengan temperatur reservoir sebagai fungsi dari kedalaman untuk sumber panas. Parameter ini merupakan salah satu acuan dalam menentukan apakah panas yang terdapat didalam reservoir migas dapat digunakan atau *feasible* sebagai sumber panas *geothermal*

4. Flowpath

Flowpath berhubungan erat dengan jalur aliran sirkulasi baik untuk fluida maupun *heat sweep* dalam reservoir. Dengan karakteristik dari

sistem *geothermal* yang berhubungan erat dengan reinjeksi fluida serta sirkulasi fluida tersebut didalam reservoir, parameter ini penting untuk diketahui.

5. *Heat Source*

Sumber panas merupakan parameter penting sebagai pemanas fluida air agar dapat mencapai titik didihnya hingga menjadi uap yang dapat dimanfaatkan.

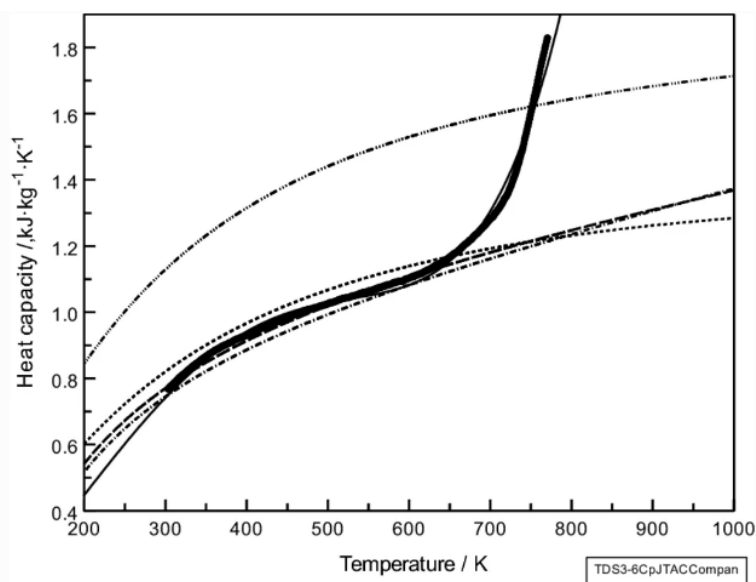
6. *Aquifer*

Aquifer berperan penting sebagai sumber daya *geothermal* membutuhkan sumber air sebagai fluida yang disirkulasikan (*recharge*).

7. *Flowrate*

Laju alir dari fluida akan mempengaruhi tingginya energi listrik yang dapat dihasilkan.

Setelah mendefinisikan parameter - parameter tersebut, dilakukan studi kasus dengan mencari lapangan - lapangan yang berpotensi untuk penerapan teknologi ini. Studi ini dilakukan di Indonesia yang berfokus di Kalimantan tepatnya wilayah kerja Sanga-Sanga. Setelah dilakukan studi pada beberapa lokasi di wilayah tersebut didapatkan lokasi yang paling berpotensi yang datanya akan digunakan dalam *paper* ini. Data yang digunakan berasal dari pihak ketiga yang bersifat rahasia dengan beberapa parameter penting yang digunakan untuk menghitung potensi dari sumur BRH-XX untuk digunakan sebagai sumur *geothermal*, seperti porositas, *Bottom Hole Temperature* (BTH), ketebalan reservoir, luas area reservoir, serta parameter terkait yang digunakan dalam pengestimasian energi yang dapat dibangkitkan.



Gambar 1. Hubungan *heat capacity* dan temperatur

Dalam perhitungan digunakan metode volumetrik yaitu perhitungan yang berdasarkan pada energi panas yang dikandung oleh batuan dan fluida untuk mengetahui sumber daya energi panas bumi pada zona reservoir tersebut yang dapat dimanfaatkan serta berapa besarnya energi listrik yang dihasilkan. Dengan prosedur sebagai berikut, besar energi panas yang bisa diubah menjadi energi listrik dihitung:

Hitung besarnya sumberdaya panas bumi

$$H_{ei} = Ah[(1 - \phi)\rho_r c_r T_i + \phi(S_L \rho_L u_L + S_v \rho_v u_v)]_i$$

Hitung kandungan energi di keadaan akhir

$$H_{ef} = Ah[(1 - \phi)\rho_r c_r T_f + \phi(S_L \rho_L u_L + S_v \rho_v u_v)]_f$$

Hitung maksimum energi yang dapat dimanfaatkan

$$H_{th} = H_{ei} - H_{ef}$$

Hitung banyaknya energi yang dapat dimanfaatkan pada kondisi aktual

$$H_{de} = R_f H_{th}$$

Hitung besar cadangan dalam kurun waktu tertentu, dengan asumsi 25-30 tahun

Geothermal dalam Lapangan Migas Indonesia: Pemanfaatan Lapangan Migas Tua Sebagai Sumber Energi Geothermal

$$H_{thermal} = \frac{H_{de}}{t * 365 * 24 * 3600}$$

Hitung besarnya potensi listrik

$$H_{el} = \eta H_{thermal}$$

Sumur-BRKH merupakan sumur dengan kedalaman mencapai lebih dari 10000 ft dengan temperatur reservoir mencapai 280 °F. Sumur ini dipilih karena memenuhi dari kriteria kedalaman dan temperatur yang diinginkan. Dengan beberapa asumsi yang diterapkan dalam perhitungan ini yaitu

- Lama penggunaan untuk pembangkitan listrik 25 - 30 tahun

- Faktor perolehan sebesar 25%
- Faktor konversi listrik 10%

III. Hasil dan Pembahasan

Studi khusus dilakukan pada sumur BRH-XX dengan melihat apakah semua parameter krusial yang didefinisikan sebagai syarat suatu reservoir dapat digunakan untuk *geothermal* terpenuhi. Sumur BRH-XX berada di pulau Kalimantan tepatnya wilayah kerja Sanga-Sanga dengan kedalaman sumur 10092 ft. Pada lokasi tersebut terdapat reservoir yang telah lama diproduksi dengan *water drive* yang telah menyebabkan *water influx* ke dalam reservoir.

Tabel 1. Konduktivitas beberapa batuan

JENIS BATUAN	KONDUKTIVITAS {W/m.K}
Limestone	2.2-2.8
Slate	2.4
Sandstone	3.2
Bituminous coal	0.26
Rock salt	5.5
Gneiss	2.7
Granite	2.6
Gabbro	2.1
Peridotite	3.8

Water influx tersebut menyebabkan saturasi air pada reservoir tersebut tinggi dan menyebabkan 88% *water cut* terjadi serta membuat proses produksi migas pada sumur tersebut sudah tidak efektif untuk dilakukan. Nilai *water cut* yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa terdapat saturasi air serta kemungkinan sumber aquifer sebagai fluida yang dapat disirkulasikan. Selain itu, sumur ini berada pada *sandstone formation*, reservoir tersebut memiliki konduktivitas yang cukup untuk menghantarkan panas, seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan merujuk kepada (Saptadji, 2012), batupasir memiliki konduktivitas sebesar 3.2 W/m.K, salah satu yang tertinggi diantara batuan lainnya. Parameter lain mendukung prospek dari sumur BRH-XX ini, temperatur dari reservoir ini mencapai 137C, dimana mengacu kepada

(Nadkarni dkk., 2021), temperature ini tergolong cukup untuk membangkitkan daya energi dengan menggunakan sistem *binary cycle*. Analisis litofasies pada sumur BRH-XX ini didominasi oleh sandstone yang memiliki karakteristik permeabilitas dan porositas yang cukup tinggi. Permeabilitas serta porositas di dalam reservoir ini mencapai 130 mD dan 20%, cukup besar sebagai medium untuk mengalirkan fluida. Hal ini dibutuhkan dalam konversi sumur migas menjadi sumur *geothermal* untuk tetap menjaga *closed loop system* dimana aliran dari fluida tetap berada dalam siklus tertutup. Dengan data yang dimiliki, dilakukan perhitungan sesuai dengan prosedur serta asumsi yang digunakan.

Setelah parameter krusial berhasil identifikasi pada reservoir tersebut. Dilakukan

perhitungan terhadap data yang dihimpun menggunakan metode volumetrik, dengan *bottom hole temperature* sebesar 137 C sumur BRH-XX dapat menghasilkan daya sebesar 356,518 Kwh.

Hasil dari perhitungan tersebut dibandingkan dengan studi serupa pada beberapa negara yang dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Komparasi dari Berbagai Negara

Perbandingan studi pemanfaatan sumur Minyak dan Gas		
Negara	BHT, C	Power, Kwh
Indonesia	137	356.518
China	122	434
Kroasia	202	14000
Hungaria	140	753
Italia	160	489
US	150	332

Pada tabel 2 menunjukan daya yang dihasilkan dalam studi ini dapat bersaing dengan studi-studi yang dilakukan di negara lain seperti China, Kroasia, US, dsb. Namun, perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor - faktor lainnya dimana terdapat beberapa tantangan yang menjadi pertimbangan dalam pengembangan paper ini dimasa yang akan datang seperti yang dibahas berikut.

3.1 Tantangan Teknis

Kebanyakan lapangan migas yang sudah tua memiliki laju produksi fluida yang rendah (14 kg/s – 24 kg/s) (Feng dkk.,2019), sehingga memerlukan metode pengangkatan buatan maupun metode oil recovery lainnya yang dapat meningkatkan kemampuan sumur untuk memproduksi fluida. Laju fluida tersebut dipengaruhi banyak hal seperti jumlah sumur, dimensi sumur dan letaknya, serta faktor *skin*. Beberapa penelitian menunjukan bahwa dengan semakin banyak sumur yang dimanfaatkan dalam konteks pengalihfungsian sumur migas menjadi sumur geothermal ini, semakin tinggi laju produksinya, yang berakibat pada semakin tinggi energi yang dihasilkan. Kemudian, dalam kasus banyak sumur, konfigurasi letak sumur yang optimal menjadi relevan dalam memaksimalkan nilai laju produksi yang optimum.

Faktor *skin* berpengaruh serta menggambarkan kerusakan pada sumur atau hambatan aliran fluida menuju permukaan. Sebagai contoh, sumur

geothermal yang mengalir secara natural umumnya menunjukkan faktor skin negatif dan nilai laju alir yang tinggi (Serpen & Aksoy, 2016). Selain itu, terdapat beberapa tantangan lainnya seperti permasalahan kehilangan panas (*heat loss*) di sumur serta ada beberapa sumur yang tidak memiliki data produksi secara lengkap serta data karakteristik lapangan. Permasalahan kehilangan panas sepanjang lubang sumur merupakan hal yang sangat penting untuk sumur dengan kedalaman yang cukup dalam sehingga perlu dilakukan operasi seperti *workover*, maupun memasang insulasi sepanjang lubang sumur. Namun, beberapa sumur yang dangkal dibuktikan tetap dapat menghasilkan energi tanpa insulasi atau *workover* yang signifikan (Wood dkk., 2016). Data produksi serta karakteristik lapangan yang tidak lengkap juga menjadi tantangan yang perlu diperhatikan, mengingat lapangan *geothermal* berkaitan erat dengan konektivitas antar sumur serta kemampuan untuk melakukan reinjeksi dalam suatu loop dengan baik (Xin dkk., 2012).

Dalam konteks studi ini, data yang dimiliki dalam melakukan kalkulasi terhadap perhitungan kemampuan energi yang dapat dibangkitkan belumlah sekomprehensif dan selengkap data yang dibutuhkan untuk melakukan estimasi secara akurat. Sumur yang diteliti mengacu kepada satu sumur saja, dengan nilai beberapa parameter yang tidak diketahui sehingga perlu asumsi dalam perhitungan yang dilakukan.

Geothermal dalam Lapangan Migas Indonesia: Pemanfaatan Lapangan Migas Tua Sebagai Sumber Energi Geothermal

3.2 Tantangan Ekonomi

Lapangan tua migas dapat membangkitkan energi listrik skala kecil. Meskipun begitu prinsip dasar ekonomi dimana mencari untung sebesar mungkin masih menjadi tujuan sebagian besar perusahaan. Suatu sumur yang telah layak secara teknik dan prospectable secara energi yang dibangkitkan dapat terhambat apabila sumur tersebut dirasa tidak ekonomis. Oleh karena itu, sumur harus mencapai target tertentu untuk dapat dikatakan ekonomis. Faktor perbandingan harga per satuan daya yang dibangkitkan dari teknologi ini relatif lebih murah.

Pemasangan pompa dapat menjadi salah satu cara meningkatkan laju alir fluida untuk mencapai target keekonomian. Tantangan untuk mencapai keuntungan dari net daya yang dihasilkan dapat dijawab melalui optimasi secara teknik. Namun akan menjadi tantangan baru apabila sumur tidak memiliki informasi yang cukup untuk mencapai laju alir yang diinginkan.

Ketersediaan infrastruktur, *grid connectivity*, permintaan energi daerah lokal, dan lokasi sumur yang cenderung pada daerah yang jauh dari pemukiman menjadi faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keekonomian. Tanpa tersedianya faktor-faktor tersebut akan tentunya akan menambah biaya tersendiri khususnya untuk menyediakan infrastruktur yang menunjang. Serta apabila tidak adanya permintaan dari pemukiman sekitar maka akan kurang ekonomis mengingat energi geothermal sulit ditransmisikan untuk jarak jauh. Karena belum pernah dilakukan studi di Indonesia, khususnya di daerah Kalimantan, biaya untuk menghasilkan daya per kWh dari proyek ini perlu dikaji dengan lebih dalam karena sangat bervariasi dengan lokasi tempat penelitian dilakukan.

3.3 Tantangan Estimasi Cadangan

Pengestimasi cadangan untuk mengetahui berapa banyak energi yang bisa dimanfaatkan merupakan hal yang sangat krusial dalam perancangan proyek pengalihfungsian lapangan migas menjadi lapangan geothermal. Metode perhitungan umum untuk estimasi cadangan menggunakan kombinasi nilai total heat stored yang dapat diestimasi dengan metode volumetrik digunakan dalam penelitian ini, serta *recovery factor* yang mengubah perkiraan panas total menjadi energi yang dapat diperoleh kembali di permukaan. Namun, mendapatkan nilai *recovery factor* bukanlah hal yang mudah dan penuh dengan

ketidakpastian. Hal tersebut dipengaruhi fakta bahwa *recovery factor* memperhitungkan segala sesuatu yang tidak dapat dijelaskan oleh metode volumetrik, atau tidak memiliki dasar teoretis untuk penurunan maupun estimasi. Selain itu, pada lapangan migas terdapat keterbatasan dalam mengestimasi panas yang tersimpan (heat stored) karena adanya saturasi minyak dan gas yang dapat *overestimate* nilai dari cadangan yang dimiliki.

Dalam konteks studi ini, kalkulasi yang dilakukan menggunakan metode volumetrik yang memiliki beberapa kekurangan dalam melakukan estimasi cadangan secara presisi. Ditambah lagi, nilai dari *recovery factor* disini diasumsikan mengacu kepada (Saptadji, 2012) karena tidak diketahui dari konteks lapangan terkait, serta karakteristik lapangan migas yang dijadikan basis perhitungan dapat menghasilkan galat seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

3.4 Tantangan Keberlanjutan

Pada umumnya sistem geothermal dapat berjalan selama 20-30 tahun. Pemahaman sifat dari reservoir yang baik dapat menjadi petunjuk untuk menentukan strategi eksploitasi yang optimum dan mencegah manajemen sumber daya yang salah. Penelitian awal menekankan pentingnya keberadaan akuifer dimana adanya akuifer dengan luas wilayah yang luas dan zona infiltrasi yang uplifted dapat secara positif mempengaruhi keberlanjutan operasional. Meskipun demikian, studi yang tersedia terbatas tersedia pada lapangan migas terkait efek ketika dilakukan reinjeksi. Penelitian di masa depan untuk mengidentifikasi efek ini di lapangan migas dianjurkan oleh para peneliti sebelumnya untuk meningkatkan keberlanjutan dari sistem ini dalam jangka panjang. Namun, (Duggal dkk.,2021) menyimpulkan bahwa pemahaman serta studi tentang keberlanjutan jangka panjang dari sistem panas bumi di lapangan migas jarang, tidak meyakinkan, atau tidak ada sama sekali. Hal yang sama perlu dicatat dalam studi ini, mengingat bahwa penelitian mengenai proyek pengalihfungsian lapangan migas menjadi lapangan geothermal dalam jangka panjang belum diteliti dengan baik, atau belum ada, di Indonesia, dan bahkan di dunia.

Dengan adanya tantangan - tantangan dalam penelitian yang dilakukan di paper ini yang telah dibahas dibagian sebelumnya, terdapat beberapa pertimbangan yang perlu dilakukan untuk mengembangkan paper ini di masa yang akan datang, khususnya dalam konteks pengembangan

teknologi ini di Indonesia. Konsiderasi tersebut mencakup perlunya dilakukan evaluasi reservoir secara lebih mendalam seperti melakukan simulasi reservoir untuk mengetahui karakteristik dan perilaku reservoir, pengaruh dari injeksi yang dilakukan terhadap seismik. Temperatur, dan tekanan pada reservoir, maupun melakukan simulasi dalam kondisi dinamis. Selain itu, perlu dilakukan perhitungan faktor ekonomi dalam menentukan apakah proyek ini dapat dilakukan atau tidak. Perhitungan tersebut tidak dilakukan didalam penelitian ini karena terlalu banyak parameter yang harus diasumsikan sehingga membuat perhitungan dapat menjadi tidak valid.

IV. Kesimpulan

Paper ini melakukan studi awal mengenai prinsip pengalihfungsian lapangan migas menjadi lapangan *geothermal* dengan meninjau beberapa parameter yang didefinisikan, kemudian didefinisikan dan dijadikan salah satu basis dalam penentuan kelayakan didalam penelitian ini. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didalam studi ini, beberapa kesimpulan dapat ditarik seperti berikut.

1. Sumur BH-XX yang dikaji didalam penelitian ini menunjukkan potensi untuk dialihfungsikan menjadi sumur *geothermal* dengan estimasi perhitungan dengan metode volumetrik menghasilkan nilai sebesar 356 kWh
2. Studi awal yang dilakukan didalam paper ini menunjukkan bahwa konsep teknologi pengalihfungsian lapangan migas menjadi lapangan *geothermal* memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan bauran energi Indonesia dan mendukung rencana RUEN kedepannya
3. Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk melengkapi paper penelitian ini dalam meningkatkan pemahaman mengenai penerapan teknologi ini di Indonesia

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua yang telah mendukung penulis hingga saat ini. Selain itu terima kasih juga kami haturkan kepada para dosen dan tenaga didik Teknik Perminyakan ITB yang telah memberikan ilmu dan petunjuk pada kami.

V. Daftar Pustaka

- Anderson, T. C. (2009). Geothermal in the oilfield: Using hot produced water for power generation. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2009. <https://doi.org/10.1190/1.3255788>
- Ding, Y. (2020). Research on evaluation and utilization of geothermal resources in Hailaer oilfield of Daqing oilfield. 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SCIENCE AND APPLIED TECHNOLOGY (ESAT 2019). <https://doi.org/10.1063/5.0011778>
- EBTKE: Renewable Energi Pipeline Report. 2020.
- GeoEnergy, T. (2020, March 31). How could geothermal energy be derived from oil wells? Think GeoEnergy - Geothermal Energy News. Retrieved March 6, 2022, from <https://www.thinkgeoenergy.com/how-could-geothermal-energy-be-derived-from-oil-wells/>
- Ghoreishi Madiseh, S. A. (2013). Geothermal energy extraction from Petroleum Wells in Qatar. Qatar Foundation Annual Research Forum Volume 2013 Issue 1. <https://doi.org/10.5339/qfarf.2013.eep-075>
- Keay, J., O'Reilly, C., Mayer, M., Valenciano, A., & Richards, M. (2021). New Life for Old Wells – repurposing oil and gas well data for geothermal prospecting. First International Meeting for Applied Geoscience & Energy Expanded Abstracts. <https://doi.org/10.1190/segam2021-3595029.1>
- Livescu, S., & Dindoruk, B. (2021). Subsurface technology sharing from oil and gas to geothermal resources. Proceedings of the 9th Unconventional Resources Technology Conference. <https://doi.org/10.15530/urtec-2021-5304>
- Molina, O. M., Mejia, C., Tyagi, M., Medellin, F., Elshahawi, H., & Sujatha, K. (2021). Geothermal production from existing oil and Gas Wells: A sustainable repurposing model. Day 4 Thu, November 18, 2021. <https://doi.org/10.2118/207801-ms>
- Nadkarni, K., Lefsrud, L. M., Schiffner, D., & Banks, J. (2022). Converting oil wells to

**Geothermal dalam Lapangan Migas Indonesia: Pemanfaatan Lapangan Migas Tua
Sebagai Sumber Energi Geothermal**

- geothermal resources: Roadmaps and roadblocks for energy transformation. *Energy Policy*, 161, 112705. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112705>
- Pilko, R. M., Hart-Wagoner, N. R., Horn, A. J., & Scherer, J. A. (2021). Repurposing Oil & Gas Wells and drilling operations for geothermal energy production. Day 2 Tue, August 17, 2021. <https://doi.org/10.4043/31090-ms>
- Røksland, M., Basmoen, T. A., & Sui, D. (2017). Geothermal energy extraction from abandoned Wells. *Energy Procedia*, 105, 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.309>
- Saptadji, N. M. (2018). *Teknik Geothermal*. Bandung: ITB Press.
- Slav, I. (2021, March 1). Can abandoned oil wells be used to generate geothermal power? OilPrice.com. Retrieved March 6, 2022, from <https://oilprice.com/Alternative-Energy/Geothermal-Energy/Can-Abandoned-Oil-Wells-Be-Used-To-Generate-Geothermal-Power.html>
- Soldo, E., Alimonti, C., & Scrocca, D. (2020). Geothermal repurposing of depleted oil and Gas Wells in Italy. *Proceedings*, 58(1), 9. <https://doi.org/10.3390/wef-06907>
- Sui, D., Wiktorski, E., Røksland, M., & Basmoen, T. A. (2018). Review and investigations on geothermal energy extraction from Abandoned Petroleum Wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 9(2), 1135–1147. <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0535-3>
- Wright, B. (2022, January 18). DOE program seeks to reuse abandoned oil wells for geothermal production. JPT. Retrieved March 6, 2022, from <https://jpt.spe.org/doi-program-seeks-to-reuse-abandoned-oil-wells-for-geothermal-production>
- Zhang, L., Liu, M., & Li, K. (2009). Estimation of geothermal reserves in oil and Gas Reservoirs. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/120031-ms>
- Zhang, L., Yuan, J., Liang, H., & Li, K. (2008). Energy from abandoned oil and Gas Reservoirs. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/115055-ms>