

Teknologi Slim Hole Drilling Dalam Pengembangan Energi Geothermal di Indonesia

Marojahan Benedict Efrata^{*1}, Basith Febriyanto², Arief Nurhidayat³

^{1,2,3}Universitas Bhayangkara Jakarta Raya; Jl. Raya Perjuangan Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat 17121, 021-88955882, Indonesia

e-mail: ^{*1}marojahan.benedict@ubharajaya.ac.id, ²basithfebriyanto10@gmail.com,
³arief.nurhidayat19@mhs.ubharajaya.ac.id

Abstract

Geothermal potential in Indonesia is very large, but currently, it's utilization in the national energy mix is still far from expectations. From the latest data from the Geological Agency, Indonesia's geothermal potential is 23.9 Giga Watts (GW) until 2019. Its utilization is based on data from the Geothermal Directorate, only around 8.9% or 2,130.6 MW which is already producing and being developed. High exploration costs, as well as costs during development, become investment constraints because they require very large costs. Of the components of these costs, the most dominant is drilling costs, so the efficiency and effectiveness of drilling operations are very important. The purpose of this research is to see how the technology of the slim hole drilling method can help in developing the potential of geothermal energy in Indonesia, through the efficiency of drilling costs. The slim hole drilling method is a method of drilling wells with a diameter smaller than that used in conventional wells in the area. Smaller diameters help reduce rig time and costs as well as reduce piping costs. Slim hole drilling has advantages such as lower operating costs compared to conventional drilling and does not need to build infrastructure (roads, water supply), resulting in a lower total well cost of drilling costs. So by using this method, it is hoped that the potential for geothermal energy in Indonesia can be utilized properly in the future. It also requires a large investment commitment so that it can reach geothermal potential in difficult to reach geothermal reservoir locations.

Keywords : *Slim Hole Drilling, Geothermal, Geothermal Potential*

Abstrak

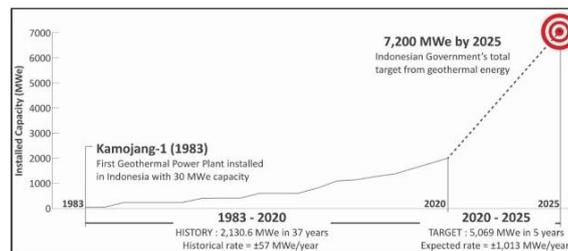
Potensi geothermal di Indonesia sangat besar, namun saat ini pemanfaatannya dalam bauran energi nasional masih jauh dari harapan. Dari data terbaru Badan Geologi, potensi panas bumi Indonesia adalah sebesar 23,9 Giga Watt (GW) sampai tahun 2019. Adapun pemanfaatannya berdasarkan data dari Direktorat Panas bumi baru sekitar 8,9% atau 2.130,6 MW yang sudah berproduksi dan dikembangkan. Biaya eksplorasi yang tinggi, juga biaya pada saat pengembangan menjadi kendala investasi tersendiri, karena memerlukan biaya yang sangat besar. Dari komponen biaya-biaya tersebut, yang paling dominan adalah biaya pemboran, sehingga efisiensi dan efektivitas operasi pemboran menjadi sangat penting. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana teknologi metode slim hole drilling bisa membantu dalam upaya mengembangkan potensi energi panas bumi di Indonesia, melalui efisiensi biaya pemboran. Metode slim hole drilling adalah metode pengeboran sumur dengan diameter lebih kecil dari yang digunakan pada sumur konvensional di daerah tersebut. Diameter yang lebih kecil membantu mengurangi waktu dan biaya rig serta mengurangi biaya pipa. Slim hole drilling memiliki kelebihan seperti biaya operasi yang lebih rendah dibandingkan dengan conventional drilling dan tidak perlu membangun infrastruktur (jalan, suplai air), sehingga dihasilkan total well cost biaya pemboran yang lebih murah. Jadi dengan menggunakan metode ini diharapkan potensi energi panas bumi di Indonesia bisa dapat di manfaatkan dengan baik dalam masa yang akan datang. Dibutuhkan juga komitmen investasi yang besar agar bisa dapat menjangkau potensi panas bumi dalam lokasi reservoir panas bumi yang sulit dijangkau.

Kata Kunci: Slim Hole Drilling, Geothermal, Potensi Panas Bumi

PENDAHULUAN

Negara Kesatuan Republik Indonesia adalah negara kepulauan yang melimpah sumber daya alamnya, mulai dari hutan, lautan yang sangat luas, minyak bumi, gas alam, batu bara dan energi terbarukan lainnya seperti energi panas bumi atau sering disebut gheothermal. Di masa kebiasaan baru (New Normal) yang sudah mulai bangkit dari keterpurukan di segala bidang dengan inovasi atau hal yang baru dilakukan.

Ekspansi Energi Baru Terbarukan (EBT) mengarahkan kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres dituturkan kontribusi EBT dalam gabungan energi primer nasional di tahun 2025 yaitu sebesar 17% dengan formasi Panas Bumi 5%, Biomasa, Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%.



Gambar 1 Kapasitas dari pembangkit listrik tenaga panas bumi Indonesia yang terpasang dan target Pemerintah pada tahun 2025

(EBTKE, 2020)

Melalui Perpres 22/2017 (Perpres No. 22/2017), Pemerintah Indonesia telah menetapkan target kapasitas terpasang panas bumi sebesar 7.200 MW pada tahun 2025, meningkat tajam dari kapasitas terpasang saat ini sekitar 2.100 MW (EBTKE, 2020) (D. P. Purba et al., 2019). Target tersebut tergolong ambisius mengingat laju pembangunan panas bumi di Indonesia saat ini belum secepat yang diharapkan pemerintah ditunjukkan pada Gambar 1.

Menurut data terbaru Badan Geologi, potensi panas bumi Indonesia adalah sebesar 23,9 Giga Watt (GW) sampai tahun 2019. Adapun pemanfaatannya berdasarkan data dari Direktorat Panas bumi baru sekitar 8,9% atau 2.130,6 MW yang sudah berproduksi dan dikembangkan.



Gambar 2 Sebaran Sumber Daya Panas Bumi di Indonesia

(DJEBTKE, 2020)

Di sisi lain, Pemerintah Republik Indonesia telah memaklumkan komitmen pencapaian 23% EBT dalam kumpulan energi nasional 2025 melalui PP No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, serta depresiasi emisi GRK sebesar 29% pada tahun 2030 melalui UU No. 16/2016 tentang Ratifikasi Paris Agreement (D. Purba et al., 2020).

Biaya eksplorasi yang tinggi, juga biaya pada saat pengembangan menjadi kendala investasi tersendiri, karena memerlukan biaya yang sangat besar. Dari komponen biaya-biaya tersebut, yang paling dominan adalah biaya pemboran, sehingga efisiensi dan efektivitas operasi pemboran menjadi sangat penting.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana teknologi metode *Slim Hole Drilling* bisa membantu dalam upaya mengembangkan potensi energi panas bumi di Indonesia, melalui efisiensi biaya pemboran.

Slim Hole Drilling salah satu jenis sumur gas atau minyak yang ukuran lubang bornya jauh lebih kecil dari ukuran lubang bor biasanya (Thorhallsson, 2016). Biasanya diameternya kurang dari 6 inci dan kedalaman 4 ¾ inci atau kurang.

Metode ini punya kelebihan seperti biaya operasi yang lebih rendah, Hal ini dikarenakan biaya pengembangan sumur berkurang 30% dibandingkan dengan conventional drilling dan tidak perlu membangun infrastruktur (jalan, suplai air), sehingga dihasilkan total well cost biaya pemboran yang lebih murah.

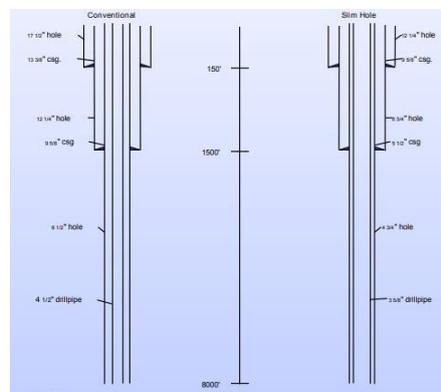
Jadi dengan menggunakan metode ini diharapkan potensi energi panas bumi di Indonesia bisa dapat dimanfaatkan dengan baik dalam masa yang akan datang. Dibutuhkan juga komitmen investasi yang besar agar bisa dapat menjangkau potensi panas bumi dalam lokasi reservoir panas bumi yang sulit dijangkau.

METODE PENELITIAN

Slim Hole Drilling adalah salah satu teknik pemboran dimana sumur pemboran hanya berdiameter kurang dari 6 inch (Ussher *et al.*, 2017). Tipe sumur slim hole ada dua macam, yakni; Gradien Temperatur dan Deep Slimhole.

Tujuan pemboran dengan *slimhole* adalah untuk mengurangi biaya operasi pemboran. Walaupun rate of penetraion nya tidak setinggi seperti pemboran konvensional, percobaan lapangan akan dilanjutkan sampai rate of penetraion dapat dibandingkan dengan pemboran konvensional.

Tipe dari beberapa sumur yaitu Temperature gradient adalah sumur yang bermain di kedalaman vertikal 200-800 M yang berbeda dengan Tipe sumur Deepslimhole (Casing 2-3/4"-7") yaitu bermain di kedalaman ~500-2.000 M (Ussher *et al.*, 2017). Tujuan nya adalah untuk membangun keberadaan clay conductor, dan memvalidasi model. Untuk Deep Slimhole mengebor hingga ke reservoir nya untuk mengecek apakah sesuai dengan temperatur yang di anggap komersial.



Gambar 3 Well Geometry of Slimehole & Conventional

Pada *slimhole* desain mengikuti alur proses yang sama seperti pemboran sumur konvensional akan tetapi, ada beberapa hal yang membuat *slimhole* desain sedikit berbeda. Hal tersebut antara lain seperti; lubang annular untuk cementing, desain tipe slurry, metode untuk centralizing casing, pemilihan *tubing connections* yang lebih kecil dari biasanya. Hal ini patut untuk jadi bahan pertimbangan pada desain *slimhole* (Adityatama *et al.*, 2020).

Penggunaan *rig* untuk *Slim Hole Drilling* relatif lebih kecil dibandingkan dengan *rig* pada *drilling* konvensional (450 HP *rig*). *Rig* ini mampu mengebor hingga kedalaman 1000 m walaupun terkadang ada yang bisa mengebor hingga kedalaman 2000 m. *Rig* ini mempunyai kelebihan seperti tidak perlu banyak infrastruktur yang dibangun, mempunyai mobilitas tinggi, tidak memerlukan tempat yang luas, dan tidak mengganggu lingkungan sekitar. Hal ini membuat *rig* ini sangat cocok untuk digunakan di Negara Indonesia terkadang terkendala dengan lokasi eksplorasi yang sangat terpencil.

Suplai air yang diperlukan menjadi lebih kecil karena lubang pada *rotary drilling* lebih kecil dibanding dengan konvensional *drilling*, 50% dari konvensional *drilling*. Dengan ini suplai air bisa menggunakan tangki kecil. Tergantung pada kondisi lapangan dan seberapa sulit nya untuk mendapatkan suplai air, *slimhole* bisa memberikan kepercayaan diri dalam investasi kepada infrastruktur suplai air agar memenuhi kebutuhan untuk pengeboran yang lebih dalam.

Informasi Parameter yang bisa didapatkan dengan menggunakan teknologi *slimhole* ini yakni; geologi, temperatur, permeabilitas, produktivitas, dan bahan kimia.

Data geologi bisa didapat dengan menggunakan *coring*. *Coring* ini dilakukan secara *continuous*. Dengan *coring* bisa sangat membantu untuk mengidentifikasi litologi dan alterasi. Kita juga dapat mengidentifikasi sumber masalah dalam tahap awal sebelum itu menyebabkan bertambahnya biaya pemboran. Dengan adanya *continuous core sample* juga menyediakan suatu kesempatan untuk profile detail sebuah *rock properties* termasuk porositas, permeabilitas, resistivitas dan densitas. Dengan ini bisa membantu validasi model konsep geothermal dan profil geofisik.

Slimhole sangat ideal untuk mengoleksi data pengukuran temperatur. Temperatur reservoir bisa diukur menggunakan *temperature logging tools* yang kecil, sangat mudah dijalankan saat jeda operasi yang singkat. Sebab pengukuran saat pemboran sangat bisa dilakukan adalah fluida pemboran yang tersirkulasi saat pemboran *slimhole* sangat dikit dibandingkan dengan operasi yang lebih besar, jadi selama 2 – 3 jam cukup untuk memberi data temperatur yang bisa mewakili seperti kondisi alamnya. Pengkoleksian data temperatur di awal sangat berguna untuk dua alasan. Yang pertama, jika ada masalah pemboran yang membuat kita untuk harus meninggalkan sumur, kita masih memiliki data temperatur. Yang kedua, jika temperatur rendah ditemukan pada reservoir bisa diakhiri secara langsung untuk menghemat biaya operasi pemboran dan bisa dialokasikan ke sumur yang lain.

Permeabilitas akan diperhatikan ketika ditemukan dengan *slimhole*, sama seperti sumur yang berdiameter lebih besar. *Completion test* dapat mengukur indeks injektivitas dan menyediakan panduan umum apakah permeabilitas yang bagus sudah ditemukan.

Jika *slimhole* menemukan permeabilitas dan temperatur yang cocok, akan sangat mungkin untuk melepaskan sumur dan mendapatkan sampel air panas dan dipisahkan uap nya untuk dianalisa. Dengan cara ini, bahan kimia dan entalpi dari fluida reservoir bisa terkarakterisasi sebelum sumur produksi sumur pertama sedang dibor. Hal ini sangat berguna untuk mengurangi resiko yang akan datang, seperti hal nya area yang teridentifikasi adanya magma yang bersifat asam atau fluida bikarbonat yang rentan untuk mengembang. Informasi mengenai bahan kimia fluida juga tersedia oleh hidrothermal mineralogi yang diamati dalam *core* dan *cuttings*.

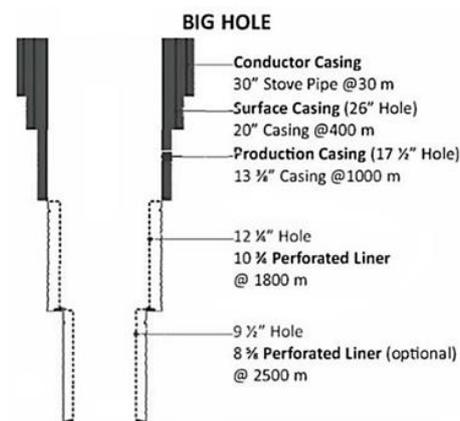
Metode yang digunakan pada penelitian kali ini adalah dengan mempelajari studi kasus yang menyimpan informasi dan pengalaman mengenai geothermal dan *Slim Hole Drilling*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Metode Pengeboran Dalam Eksplorasi Panas Bumi

Untuk metode pengeboran terdapat 3 macam dalam eksplorasi panas Bumi :

- **Big Hole**



Gambar 4 Well Geometry of Big Hole

Kedalaman Sumur : 1,500 M – 3,000 M.

Perencanaan Pengeboran :

Mungkin membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membuat akses jalan, area laydown dan wellpad sebab ukurannya yang lebih besar dari rig kecil.

Keperluan Air :

Terpaut kepada besarnya lubang sumur, umumnya antara 60 – 95 liter/detik (di zona reservoir).

Material Semen dan Pipa Selubung :

Pipa Selubung yang diperlukan sekitar 200 ton dan volume yang diperlukan berkisar kurang lebih 84 M³.

Peralatan Logging :

Bisa memakai semua jenis peralatan logging.

Determinasi Litologi/Batuan :

Memakai serbuk bor untuk mendefinisikan litologi, alterasi mineral dan karakteristik fraktur.

Pengeboran Terarah (directional drilling) :

Dapat memakai teknologi untuk membelokan arah sumur.

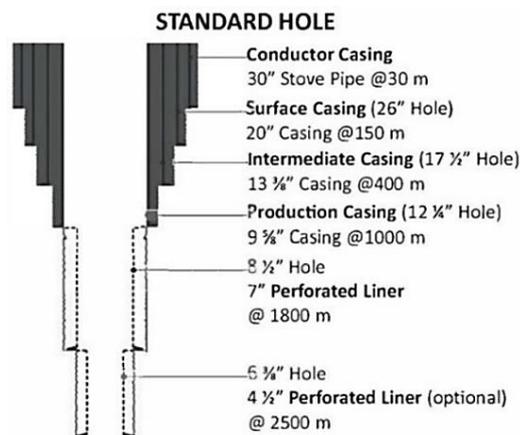
Estimasi Waktu Pemboran :

30-45 hari (dari spud sampai rig selesai dengan kedalaman 2000 M).

Estimasi Biaya Total Per Meter (US\$/M) :

US\$ 3,000 – 4,500/meter (termasuk biaya rig dan pemboran).

1. Standart Hole



Gambar 5 Well Geometry of Standart Hole

Kedalaman Sumur : 1,500 M – 3,000 M.

Perencanaan Pengeboran :

Mungkin membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membuat akses jalan, area laydown dan wellpad sebab ukurannya yang lebih besar dari rig kecil.

Keperluan Air :

Terpaut kepada besarnya lubang sumur, umumnya antara 60 – 95 liter/detik (di zona reservoir).

Material Semen dan Pipa Selubung :

Pipa Selubung yang diperlukan sekitar 135 ton dan volume yang diperlukan berkisar kurang lebih 55 M³.

Peralatan Logging :

Bisa memakai semua jenis peralatan logging.

Determinasi Litologi/Batuan :

Memakai serbuk bor untuk mendefinisikan litologi, alterasi mineral dan karakteristik fraktur.

Pengeboran Terarah (*Directional Drilling*) :

Dapat memakai teknologi untuk membelokan arah sumur.

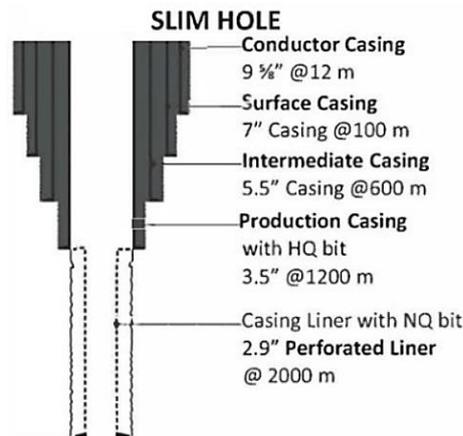
Estimasi Waktu Pemboran :

30-45 hari (dari spud sampai rig selesai dengan kedalaman 2000 M).

Estimasi Biaya Total Per Meter (US\$/M) :

US\$ 2,000 – 4,000/meter (termasuk biaya rig dan pemboran).

Slim Hole



Gambar 6 Well Geometry of Slim Hole

Kedalaman Sumur : 1,200 – 2,330 m (2,330 m merupakan slimhole di Sarulla).

Perencanaan Pengeboran :

Waktu perencanaan lebih cepat dibandingkan dengan Rig yang lebih besar sebab ukurannya yang lebih kecil dan jumlah peralatannya lebih sedikit

Keperluan Air :

Diantara 5–30 liter/detik

Material Semen dan Pipa Selubung :

Pipa Selubung yang diperlukan sekitar 80 ton dan volume yang diperlukan berkisar kurang lebih 26 M³.

Peralatan Logging :

Hanya memakai peralatan logging yang mempunyai diameter 35 mm atau 42-44 mm, untuk CBL Probe menggunakan diameter 70 mm

Determinasi Litologi/Batuan :

Memakai core sample untuk menentukan lithologi, alterasi mineral, dan karakteristik fraktur

Pengeboran Terarah (*Directional Drilling*) :

Umumnya hanya vertikal

Estimasi Waktu Pemboran :

60-120 hari (dari spud sampai rig selesai dengan kedalaman 2000 M).

Estimasi Biaya Total Per Meter (US\$/M) :

US\$ 400 – 1,000/meter (termasuk biaya rig dan pemboran).

Faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah jumlah beban selama rig dan mobilisasi peralatan lainnya. Pengeboran slimhole membutuhkan jumlah beban yang lebih kecil dibandingkan dengan pemboran standar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

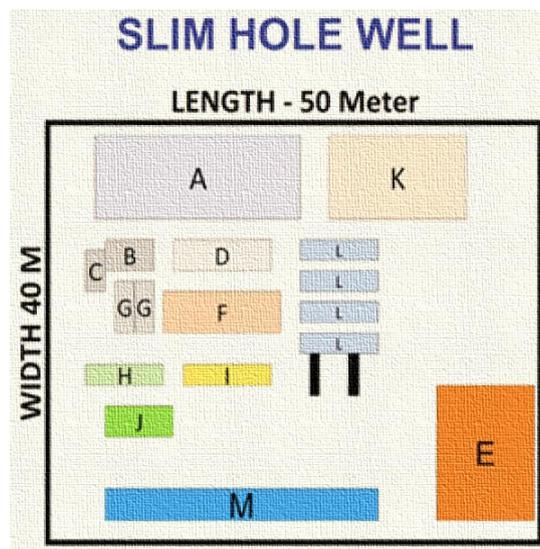
Tabel 1 Jumlah beban *rig* tipikal yang digunakan untuk pengeboran panas bumi

Jenis sumur	Jenis rig	Jumlah muatan
Slimhole	Surface coring rig / 450 HP rig	30-40
Standard (production casing 9-5/8")	750 HP-1000 HP	60-100
Big (production casing 13-3/8")	1500 HP-2000 HP	80-140

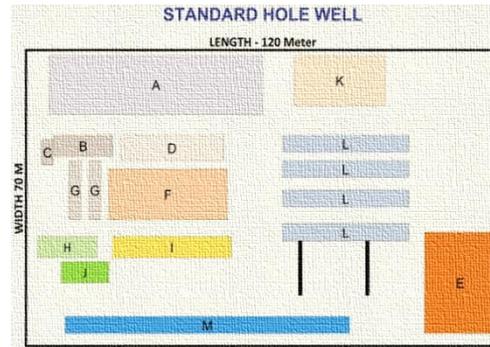
Perbandingan *Slim hole* dan *Standard Hole* dalam Pengeboran Eksplorasi

Peralatan yang diperkecil membuat operasi sangat sesuai untuk lokasi yang sangat terpencil dan lingkungan sekitar yang tidak sanggup jika ada operasi pemboran yang besar. Area dari *slimhole* empat kali lebih kecil dari operasi pemboran secara konvensional. Hal itu bisa terjadi dikarenakan penggunaan *rig* dan *drill string* yang lebih kecil. Dengan ukuran alat pemboran yang lebih kecil, operasi untuk mentransportasi alat tersebut bisa diminimalisir pada saat mobilisasi dan demobilisasi. Hingga secara keseluruhan dengan *slim hole* ini bisa mengurangi resiko dan dampak jika terjadi suatu insiden kecelakaan pada saat operasi berlangsung.

Area *well pad* pada *slimhole* lebih kecil dibandingkan dengan konvensional standart pemboran. Luas area *well pad* pada *slimhole* berkisar 40 x 40 m. Luas area tersebut lebih kecil dari luas pemboran konvensional yang mempunyai luas area berkisar 70 x 100 m. Luas area yang lebih kecil tersebut mungkin bisa mempercepat proses persiapan operasi pemboran, mengurangi biaya untuk akuisisi lahan dan bantalan konstruksi.



Gambar 7. Area Slim Hole Well



Gambar 8 Area Standart Hole Well

Keterangan Gambar =

- | | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| F = Rig & Sub Base Area | A = Water/Mud Pit | J = Office |
| G = Pump | B dan C = Mud Tank | K = Cementing Area |
| H = Parts Storage | D = Shaker Tank | L = Pipe Rack & Catwalk |
| I = Fuel Tank & Water Tank | | |

Definisi Kesuksesan Pengeboran dan Tingkat Keberhasilan (Success Rate)

Mendesripsikan “kesuksesan” pengeboran mewujudkan hal yang tidak sederhana. Sebagai contoh, sumur dengan kapasitas produksi 2-3 MW bisa diduga sukses jika sumur tersebut menggambarkan sumur yang relative dangkal dengan biaya rendah; tetapi jika sumur tersebut merupakan sumur yang cukup dalam dan menghabiskan biaya pengeboran yang tinggi, pastinya sumur itu tidak dapat dianggap sukses (*International Finance Corporation-IFC*). Oleh karena itu, IFC memberikan parameter-parameter utama dari kesuksesan sumur yang relevan dalam fase eksplorasi sebagai berikut:

1. Tidak mempunyai masalah mekanis semasa pengeboran; semacam casing collapse, casing leak, atau lubang terisi oleh reruntuhan cutting;
2. Mempunyai suhu yang cukup agar bisa dieksploitasi secara komersial;
3. Mempunyai tekanan statik yang cukup akan membuat sumur itu dapat naturally discharge;
4. Mendapatkan reservoir yang memiliki Productivity Index (PI) yang cukup tinggi sesuai barometer tim geosains ataupun reservoir engineer;
5. Mempunyai fluida yang relative tidak berbahaya (tidak korosif, rendah H₂S, maupun tidak terlalu rentan terhadap permasalahan scaling).

Keberhasilan sumur juga berpegang pada fungsi sumur tersebut; contohnya dipakai untuk produksi maupun injeksi. Adapun beberapa parameter seperti suhu, tekanan, dan PI tidak punya nilai yang layak untuk tiap lapangan, dibutuhkan persetujuan oleh tim geosains ataupun *reservoir* menyinggung nilai parameter tersebut sebelum dilaksanakannya pengeboran eksplorasi. Jadi, IFC mengestimasi bahwa tingkat kesuksesan pengeboran idealnya diaplikasikan dalam bentuk ROI (*Return of Investment*) dari tiap sumur. Tetapi karena data tersebut belum tentu ada, maka IFC menentukan definisi sukses berdasarkan kapasitas produksi/injeksinya.

Tabel 2 Tingkat Keberhasilan Pengeboran Sumur Panas Bumi

Studi IFC pada 2013 menyimpulkan tingkat kesuksesan pengeboran sumur panas bumi sebagaimana Tabel berikut.

Tahap	Tingkat kesuksesan	Catatan
Eksplorasi	~35-50%	Diasumsikan 5 sumur pertama yang dibor di lapangan tersebut.
Delineasi	-	Data yang didapat oleh IFC tidak menyebutkan dengan jelas sumur mana yang digunakan untuk sumur delineasi.
Development	~60-70%	

Operation (sumur make-up)	~80%
---------------------------	------

Secara umum, rasio keberhasilan pengeboran eksplorasi di Indonesia hanya 20-40%. Tetapi ada efek learning curve yang terlihat pada proses pengeboran panas bumi yang berpotensi dapat mendukung identifikasi dan memitigasi risiko sumber daya pada proyek pengembangan energi panas bumi. *Success rate* pada pengeboran memang berfluktuasi, tetapi meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya jumlah sumur yang dibor, sampai saat mencapai rata-rata kesuksesan pengeboran di 62%. Setelah itu terpantau bahwa fenomenal earning curve melandai dan akhirnya menjadi relatif datar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data terbaru dari Badan Geologi, Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 23,9 Giga Watt. Namun dalam pemanfaatannya berdasarkan data dari Direktorat Panas Bumi baru sekitar 8,9% nya saja. Selain itu, biaya eksplorasi dan pemboran yang sangat tinggi juga menjadi salah satu kendala yang dihadapi dalam pengembangan potensi panas bumi di Indonesia. Oleh karena itu dibutuhkan adanya efisiensi dalam biaya pemboran untuk menekan biaya operasional pemborannya. Berdasarkan data dari penelitian di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi biaya teknologi Slim Hole Drilling lebih tinggi daripada teknologi drilling lainnya yaitu sekitar US\$ 400 – 1,000/meter dan membutuhkan lebih sedikit peralatan lainnya. Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk efisiensi biaya, teknologi Slim Hole Drilling merupakan teknologi yang tepat untuk digunakan dalam pengembangan potensi panas bumi di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Bhayangkara Jakarta Raya dan seluruh Teman-teman di masa perkuliahan Kami dalam Prgram Studi Teknik Perminyakan Universitas Bhayangkara Jakarta Raya yang telah mendukung dan membiayai kebutuhan anggaran dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnaldo Napitu, Dorman Purba, Salma Zafirah Wisriansyah (2020). Keunggulan, Tantangan, dan Rekomendasi Kebijakan akan Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi*. Vol. 2 (2).
- Direktorat Panas Bumi. (2020). *Pengembangan Panas Bumi Indonesia. Presentasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE)*. Jakarta, Indonesia.
- Gerry A. Kusuma, Glanny Mangindaan & Marthinus Pakiding. (2018). Analisa efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi lahendong unit 5 dan 6 di tompaso. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. Vol 7 (2).
- Regina Tetty Mary, Armaidly Armawi, Agus Heruanto Hadna & Agus Joko Pitoyo. (2017). Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi. *Jurnal Ketahanan Nasional*. Vol.23 (2). 217-237
- Thorhallsson, S. (2016). *Geothermal Well Designs - Large Holes vs Slimholes. Training Material 5th ITB International Geothermal Workshop*. Bandung, Indonesia.
- Adityatama, D. W., Purba, D., Muhammad, F., Agustino, V., Wiharlan, H., & Pasmeputra, K. K. (2020). Slim Hole Drilling Overview for Geothermal Exploration in Indonesia: Potential and Challenges. *Proceedings, 45th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California*, 1–13.
- Purba, D., Adityatama, D. W., Agustino, V., Fininda, F., Alamsyah, D., & Muhammad, F. (2020). Geothermal Drilling Cost Optimization in Indonesia: A Discussion of Various Factors. *Proceedings, 45th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, February 10-12, 2020*, 1–14.
- Purba, D. P., Adityatama, D. W., Umam, M. F., & Muhammad, F. (2019). Key Considerations in Developing Strategy for Geothermal Exploration Drilling Project in Indonesia. *Proceedings, 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, 12.
- Ussher, G., Libbey, R., Bogie, I., Mackenzie, K. M., Ussher, G. N. H., Libbey, R. B., Quinlivan, P. F.,

Marojahan Benedcit Efrata, Basith Febriyanto, Arief Nurhidayat

Submitted: **17/06/2022**; Revised: **24/06/2022**; Accepted: **27/06/2022**; Published: **30/06/2022**

Dacanay, J. U., & Jacobs, I. B. (2017). Use of Deep Slimhole Drilling for Geothermal Exploration Grenada project View project Lihir geothermal View project Use of Deep Slimhole Drilling for Geothermal Exploration. *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE) 2017, August*, 1–16.