

Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya terhadap Ketahanan Energi di Indonesia

Mukhamad Faeshol Umam, Farhan Muhammad,
Daniel W Adityatama, Dorman P Purba

ABSTRAK

Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang memiliki tidak hanya potensi sumber daya energi yang besar tapi juga laju pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri, Indonesia memerlukan pasokan energi yang cukup besar di mana saat ini konsumsi energi Indonesia masih sangat tergantung pada sumber energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam. Pemanfaatan bahan bakar fosil tersebut secara berkelanjutan berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dalam jumlah besar yang menuntun kepada perubahan iklim secara global.

Pemerintah Indonesia, melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, telah mencanangkan target untuk terwujudnya bauran energi yang optimal pada tahun 2025, di mana peran energi terbarukan terhadap konsumsi energi nasional menjadi 17%. Dalam komposisi energi terbarukan tersebut, sumber energi panas bumi mendapat porsi lebih dari 5%. Target bauran energi ini bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri. Walaupun tidak secara tertulis menyebutkan adanya tujuan yang berhubungan dengan pengurangan dampak terhadap lingkungan, peningkatan bauran energi bersih akan mengurangi emisi rumah kaca di Indonesia.

Sayangnya, energi panas bumi sebagai salah satu sumber energi utama dalam kategori energi terbarukan belum dimanfaatkan secara optimal di negara ini. Sejak pembangkit listrik tenaga panas bumi pertama, Kamojang-1, diresmikan di tahun 1983 sampai dengan tahun 2017, Indonesia baru berhasil memanfaatkan energi panas bumi sekitar 6% dari total potensi nasional. Studi ini, melalui penelusuran pustaka, berusaha untuk merangkum berbagai tantangan yang dihadapi oleh negara Indonesia dalam mendorong pemanfaatan energi panas bumi untuk mencapai target pemerintah di tahun 2025. Studi ini juga berusaha untuk membuat berbagai alternatif solusi untuk dapat membantu mempercepat pengembangan energi panas bumi di Indonesia.

Kata kunci: ketahanan energi, panas bumi, tantangan, Indonesia

ABSTRACT

Indonesia is one of the developing countries that not only has a large potential of energy resources but also a high population growth rate. To be able to meet the needs of the community and industry, Indonesia needs a large supply of energy where currently Indonesia's energy consumption is still very dependent on non-renewable energy sources such as petroleum, coal and natural gas. Sustainable use of fossil fuels certainly contributes to a large increase in greenhouse gas emissions that lead to global climate change.

The Government of Indonesia, through the Presidential Regulation of the Republic of Indonesia Number 5 of 2006, has set a target to achieve an optimal energy mix by 2025, where the role of renewable energy to national energy consumption will be around 17%. In the composition of renewable energy, geothermal energy sources get a portion of more than 5%. The target of this energy mix is to secure domestic energy supply, although it does not mention whether this target is also related with the environmental issue.

Geothermal energy as one of the main energy sources in the renewable energy category, unfortunately, has not been optimally utilized in this country. Since the first geothermal power plant, Kamojang-1, was inaugurated in 1983 to 2017, Indonesia has only succeeded in utilizing geothermal energy around 6% of the total national potential. This study, through literature review, aim to summarize the various challenges faced by the Indonesian state in encouraging the use of geothermal energy to achieve the government's target in 2025. This study also seeks to propose various alternative solutions to help accelerate the development of geothermal energy in Indonesia.

Keywords: energy security, geothermal, challenges, Indonesia

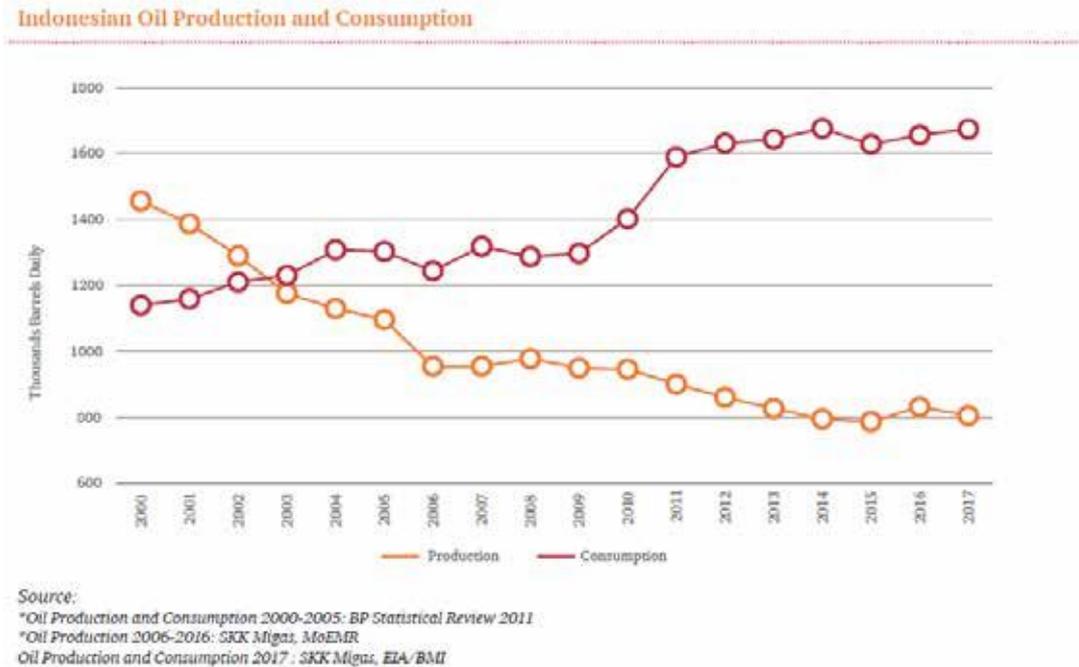
PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi yang tersimpan di bawah tanah dan dianggap dapat dihasilkan secara berkelanjutan karena berasal dari sumber panas dari perut bumi yang tidak akan pernah habis. Diantara berbagai jenis sumber energi, panas bumi adalah salah satu energi terbarukan yang diharapkan dapat berkontribusi dalam mengamankan suplai tenaga listrik secara konsisten untuk rakyat Indonesia dengan dampak lingkungan seminimum mungkin. Indonesia, negara kepulauan dengan total area 1.904.569 km² dan populasi lebih dari 250 juta penduduk, saat ini merupakan negara dengan ekonomi terbesar di Asia Tenggara dimana pertumbuhan ekonomi tersebut memicu peningkatan permintaan energi setiap tahunnya.

Terlepas dari usaha untuk mengurangi emisi

karbon, peningkatan penggunaan energi terbarukan dalam strategi ketahanan dan keamanan energi nasional juga disebabkan oleh berkurangnya kemampuan Indonesia dalam memproduksi minyak bumi. Darma dan Wirakusumah (2015) menyebutkan bahwa laju permintaan energi di Indonesia berkisar di 9 persen per tahun dan permintaan listrik tumbuh di angka 14 persen per tahun sebagai akibat dari pertumbuhan populasi sebesar 1.49% dan pertumbuhan ekonomi ~6% setiap tahunnya, dimana 47% dari permintaan energi tersebut masih dipenuhi oleh minyak dan gas bumi. Hal ini tentu saja menjadi kekhawatiran dalam konteks ketahanan energi mengingat produksi minyak bumi Indonesia terus mengalami penurunan seperti terlihat dalam gambar 1.



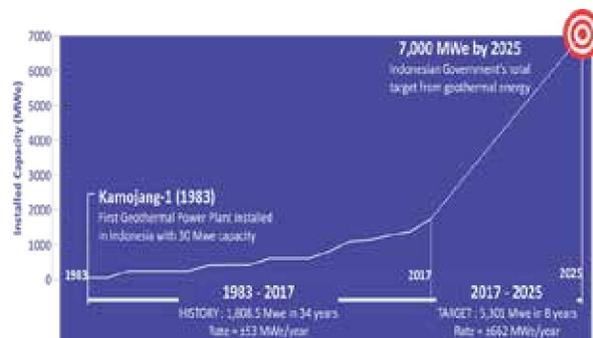


Gambar 1. Tren produksi minyak bumi Indonesia dari tahun 2000-2017 (PWC, 2018)

Mujiyanto dan Tiess (2013) berpendapat bahwa permintaan energi di tahun 2025 dapat mencapai tiga kali lipat dari tahun 2010 dimana keamanan suplai energi akan sangat tergantung kepada strategi kebijakan bauran energi pemerintah Indonesia dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber energi terbarukan seperti tenaga air dan panas bumi.

Indonesia dipercayai memiliki potensi energi panas bumi terbesar di dunia, mencapai 29 Gigawatt (GW) yang tersebar di 312 lokasi (EBTKE, 2012) dimana pemanfaatan potensi ini secara penuh lebih dari cukup untuk mencukupi kebutuhan listrik di Indonesia. Namun demikian, berdasarkan EBTKE (2017a), sampai dengan tahun 2017, kapasitas terpasang energi panas bumi di Indonesia masih sangat rendah dibandingkan dengan total potensi panas bumi yang dimilikinya, yaitu hanya sekitar 5,9% atau setara dengan 1698,5 Megawatt (MW). Gambar 2 menunjukkan bagaimana prestasi Indonesia dari tahun 1983 sampai dengan 2018 belum menunjukkan kemampuan untuk mencapai target nasional 7000 MW di

tahun 2025.



Gambar 2. Sejarah pengembangan energi panas bumi di Indonesia untuk pemanfaatan tidak langsung dibandingkan dengan target pemanfaatan panas bumi Indonesia di tahun 2025 (EBTKE, 2017a, Purba et al., 2018b).

Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan energi panas bumi di Indonesia menghadapi banyak tantangan. Poernomo et. al (2015) menyebutkan bahwa pengembangan tenaga panas bumi masa depan akan bergantung pada harga energi, subsidi, teknologi, dan keselarasan peraturan antar kementerian. Seba-

gai catatan, Rencana Umum Energi Nasional (RUEN, 2017) menargetkan energi terbarukan dapat mencapai 23% dalam bauran energi di tahun 2025 dimana 5% berasal dari sumber energi panas bumi.

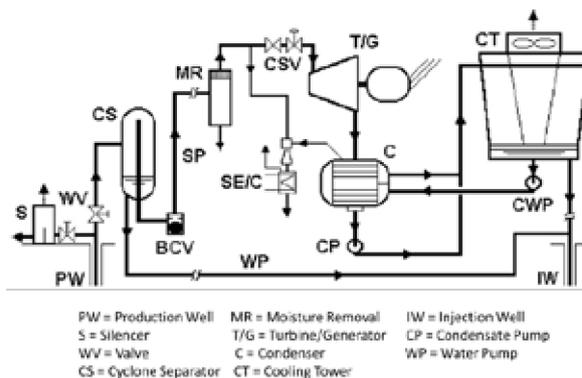
Tujuan dan Metode Penelitian

Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menyarikan berbagai tantangan yang harus dihadapi oleh Indonesia untuk meningkatkan kontribusi energi panas bumi dalam bauran energi nasional melalui tinjauan pustaka terhadap berbagai publikasi ilmiah dan data publik yang diterbitkan oleh pemerintah.

Paper ini juga berisi hasil diskusi tim penulis terhadap beberapa opsi solusi yang dianggap dapat mempercepat pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi di Indonesia. Berbagai opsi solusi tersebut berasal dari kombinasi penelusuran kepustakaan dan opini penulis dan dijabarkan secara umum dan singkat untuk memberikan lebih banyak ruang kepada pembahasan permasalahan. Penulisan makalah ini juga bertujuan untuk mendapatkan umpan balik dari para pembaca untuk penyempurnaan penulisan makalah berikutnya di masa depan.

Tantangan dalam Pengembangan Sumber Energi Panas Bumi Indonesia

Sumber daya panas bumi Indonesia yang dipercaya terbesar di dunia merupakan keuntungan bagi rakyat Indonesia yang dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai pembangkit listrik dimana fluida panas bumi yang diproduksi melalui sumur produksi akan melewati proses separasi dan pembersihan sebelum masuk kedalam turbin dan dikonversi menjadi tenaga listrik (Gambar 3). Metode pemanfaatan energi panas bumi seperti ini sering disebut pemanfaatan tidak langsung.



Gambar 3. Skema sederhana dari suatu pembangkit listrik tenaga panas bumi sistem single-flash (DiPippo, 2016).

Salah satu contoh pemanfaatan tidak langsung di Indonesia adalah Kamojang unit-1 (Gambar 4) yang merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) tertua di Indonesia yang diresmikan di tahun 1983 dengan kapasitas 30 MegaWatt (MW) dimana PLTP ini memanfaatkan sumber daya panas bumi yang terkandung di lapangan Kamojang Provinsi Jawa Barat.



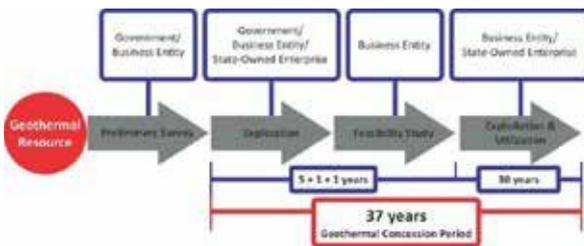
Gambar 4. Foto udara dari lapangan dan PLTP Kamojang Area-01 (PGE, 2018)

Saat ini lapangan panas bumi Kamojang dikelola oleh PT Pertamina Geothermal Energy (PGE), anak perusahaan dari PT Pertamina (Persero).

Selain untuk pemanfaatan tidak langsung, energi panas bumi dapat dieksploitasi dengan metode pemanfaatan langsung seperti kolam pemandian mata air panas, pengeringan produk pertanian, pemanas ruangan, laundry dan lain-lain. Beberapa contoh pemanfaatan langsung ini dibahas secara lebih rinci oleh Adit-

yatama et.al. (2018)

Terkait regulasi, Pemerintah Indonesia telah mengatur pemanfaatan panas bumi secara komprehensif melalui Undang-Undang nomor 21 tahun 2014 tentang panas bumi yang diilustrasikan di Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi alur kerja proyek pengembangan energi panas bumi di Indonesia yang diatur melalui UU 21/2014 (EBTKE, 2017a, Purba et.al., 2018b).

Terlepas dari berbagai manfaatnya, pada praktiknya di Indonesia, masih banyak kendala yang harus diselesaikan jika ingin mencapai pemanfaatan energi panas bumi secara optimal. Tumpang tindih antara lahan masyarakat, hutan lindung, kawasan konservasi hutan, dan taman nasional masih dianggap menjadi masalah utama. Poernomo et. al (2015), secara umum menjabarkan beberapa tantangan yaitu:

- Kurangnya data Geologi, Geokimia, dan Geofisika (GGG) menyebabkan rendahnya akurasi dalam menentukan besarnya potensi.
- Tingkat risiko sumber daya yang tinggi (di sektor hulu).
- Biaya investasi tinggi sementara harga energi kurang kompetitif, dana ekuitas terbatas, dan mekanisme pendanaan dan insentif terbatas.
- Ketidakpastian dalam aspek hukum dan kurangnya koordinasi lintas sektor.
- Kurangnya sumber daya manusia yang memiliki kompetensi spesifik untuk bekerja di proyek panas bumi.

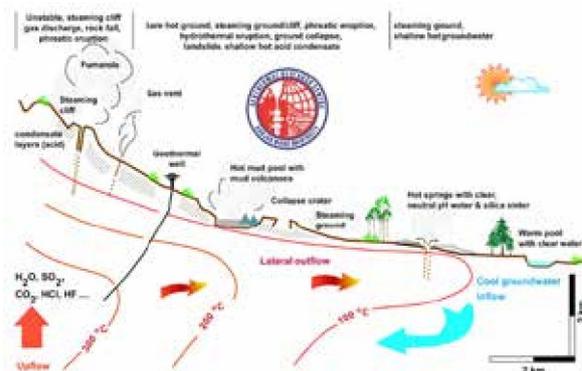
- Penolakan oleh masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi proyek pembangkit panas bumi.

Berbagai permasalahan yang telah teridentifikasi diatas, baik teknis maupun non-teknis yang akan didiskusikan secara lebih rinci satu persatu.

A. *High-relief terrain*

Sistem panas bumi yang dimiliki Indonesia sebagian besar terletak di sepanjang busur vulkanik yang memiliki relief tinggi dan pada umumnya teridentifikasi melalui manifestasi permukaan yang mengeluarkan air atau uap pada suhu didih di permukaan tanah (Hochstein & Sudarman, 2008). Lokasi tersebut memberikan tantangan bagi para perusahaan pengembang panas bumi mengingat daerah vulkanik pada umumnya memiliki tanah lereng yang curam dan dipenuhi dengan berbagai batuan vulkanik keras namun tidak terkonsolidasi dengan baik seperti piroklastik dan lahar. Selain itu, daerah vulkanik di Indonesia seringkali dipenuhi dengan area alterasi hidrotermal yang memiliki potensi bahaya gas H₂S dan erupsi hidrotermal.

Pada umumnya lereng pegunungan juga diisi oleh lapisan batuan piroklastik yang rapuh dan tidak terkonsolidasi sehingga sulit untuk mengakomodasi lalu lintas transportasi untuk pengangkutan alat berat sebelum, selama dan setelah aktivitas pengeboran. Utami (2010) mendeskripsikan secara rinci berbagai tantangan yang akan dihadapi saat melakukan pekerjaan sipil di area panas bumi di Indonesia yang disebabkan oleh keunikan karakteristik area vulkanik dimana panas, batu, dan cairan berinteraksi secara dinamis, alami dan aktif. Gambar 6 memperlihatkan diagram sederhana dari struktur termal dan hidrologi suatu bidang panas bumi di area vulkanik yang curam.



Gambar 6. Ilustrasi skematis sistem panas bumi di Indonesia yang terletak di medan bebatuan yang tinggi dan curam dengan berbagai potensi bahaya di permukaan akibat dinamika bawah permukaan (Utami, 2010).

Ketidakstabilan permukaan di area panas bumi terutama disebabkan oleh mengalirnya air panas atau uap panas (*steam*) dari bawah permukaan, umumnya disebut manifestasi permukaan, yang dalam periode waktu yang panjang dapat mengakibatkan tanah dan batuan di permukaan mengalami perubahan (*alterasi*) akibat terpapar panas. Utami (2010) juga menjabarkan berbagai manifestasi permukaan yang dapat berupa *steaming cliff*, *fumarole*, *gas vent*, *hot mud pool*, *steaming ground*, *collapse crater*, *hot springs* and *warm pool*.

Tidak seperti lapangan minyak bumi, yang umumnya terletak di dataran rendah dan dekat dengan lautan, tapak pengeboran (*wellpad*) untuk proyek panas bumi di Indonesia seringkali terletak di lereng dengan kemiringan hingga 25% seperti terlihat di Gambar 6 dan Gambar 7, juga terasosiasi dengan aktivitas vulkanik dan hidrotermal, seperti telah dideskripsikan sebelumnya di Gambar 6. Hal ini membuat investasi atau biaya pekerjaan sipil dalam suatu proyek pengeboran panas bumi menjadi lebih besar dalam rangka mencapai stabilitas yang memadai untuk keselamatan seluruh peralatan pengeboran yang akan duduk di *wellpad* tersebut.



Gambar 7. Foto udara dari suatu tapak pengeboran (*wellpad*) yang sedang dibangun di salah satu area prospek panas bumi di Indonesia (Purba, 2018d).

Metoda potong dan isi (*cut and fill*) biasanya digunakan dimana setengah dari tapak pengeboran yang akan dibangun diisi dengan bahan atau material tanah pengisi untuk mengimbangi area yang digali sehingga terbentuk permukaan yang rata. Selain itu, pembangunan sistem drainase yang memadai harus dilakukan untuk memberikan jalan untuk air hujan sehingga potensi tanah longsor (*landslide*) bisa diminimalisir. Metode lain yang biasanya digunakan dalam konstruksi tapak bor di area panas bumi adalah pembuatan *gabion wall* atau *retaining wall* (Gambar 8) yang bertujuan untuk menjaga kestabilan lereng (Barrios et.al., 2011).



Gambar 8. Pemasangan *gabion wall* pada konstruksi *wellpad* di salah satu lapangan panas bumi di Indonesia.

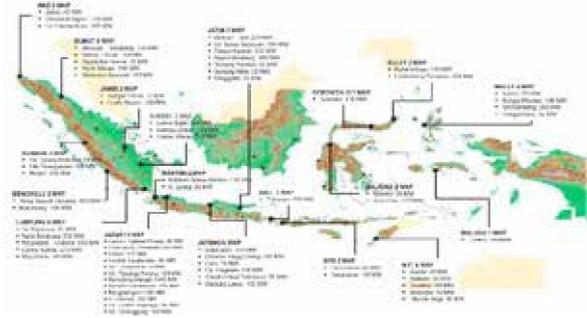
Kondisi lereng yang curam ini juga menimbulkan kesulitan untuk untuk membangun jalan yang lurus dan rata. Gambar 9 menunjukkan contoh profil jalan di suatu area prospek panas bumi di Indonesia yang berkeluk-luk sehingga menyulitkan dalam proses mobilisasi peralatan pengeboran ke lokasi pengeboran.



Gambar 9. Foto udara dari salah satu ruas jalan di dalam area salah satu prospek panas bumi di Indonesia (Purba, 2018d).

B. Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari kurang lebih 17.000 pulau dimana area daratan mencapai 1.811.569 km² dan area lautan mencapai 93.000 km², terbentang dari pulau sabang di barat sampai dengan Merauke di timur. Sumber daya panas bumi yang dimiliki Indonesia tersebar mulai dari pulau weh di provinsi Aceh sampai ke kepulauan Maluku dan Flores di bagian timur Indonesia (Gambar 10). Hal ini tentu saja menjadi tantangan tersendiri terutama untuk mobilisasi peralatan berat untuk eksplorasi maupun produksi panas bumi karena harus melewati banyak selat dan lautan.



Gambar 10. Peta lokasi prospek panas bumi di Indonesia yang terletak di sepanjang busur vulkanik dari barat ke timur (EBTKE, 2017a).

Saat ini pulau-pulau di bagian timur Indonesia mengalami peningkatan permintaan listrik dimana pembangkit listrik tenaga panas bumi merupakan salah satu alternatif solusi yang sangat menjanjikan karena bersifat lokal dan tersedia dalam jumlah yang cukup. Sayangnya, keuntungan tersebut belum dapat dimanfaatkan oleh Indonesia. Sebagai contoh, Pulau Flores di provinsi Nusa Tenggara Timur, dalam 5 tahun terakhir, memiliki pertumbuhan ekonomi rata-rata sekitar 5,3% per tahun (ESDM, 2017).

Nusa Tenggara Timur memiliki berbagai jenis sumber daya alam, seperti tambang mangan di Pulau Timor, dan sektor perikanan dan pariwisata yang berkembang, dimana berbagai sektor tersebut berpotensi untuk meningkatkan permintaan listrik. Sebagai tambahan, penjualan listrik PLN di wilayah tersebut meningkat sekitar 12,5% per tahun dalam 5 tahun terakhir dimana sebagian besar permintaan listrik berasal dari sektor perumahan, yang mengonsumsi sekitar 58,64% dari total listrik. Berdasarkan kondisi tersebut, PLN memproyeksikan bahwa permintaan listrik di provinsi tersebut akan meningkat sekitar 8,9% per tahun pada dekade berikutnya (ESDM, 2017).

Namun, saat ini pasokan listrik di Nusa Tenggara Timur masih belum mencukupi, salah satunya disebabkan tertundanya pembangunan proyek pembangkit listrik dan transmisi. Penundaan tersebut salah satunya disebabkan

masalah logistik dan sulitnya melakukan pengiriman peralatan ke Indonesia bagian Timur sehingga meningkatkan biaya proyek pengembangan energi panas bumi di berbagai pulau di Indonesia bagian timur tersebut. Masalah logistik ini berhubungan erat dengan kondisi infrastruktur Indonesia yang belum merata yang akan didiskusikan di sub-bab berikut.

C. *Pembangunan infrastruktur yang belum merata*

Masalah mobilisasi peralatan antar pulau di Indonesia sangat dipengaruhi kondisi infrastruktur seperti akses jalan, moda transportasi, dan jaringan listrik tegangan tinggi yang akan digunakan untuk mengalirkan listrik yang akan diproduksi oleh PLTP. Belum meratanya pembangunan infrastruktur di Indonesia kemungkinan besar disebabkan oleh pemusatan pembangunan di Pulau Jawa yang sudah terjadi dari jaman Belanda di masa lampau. Gambar 11 memperlihatkan salah satu contoh kondisi infrastruktur jalan di salah satu area prospek panas bumi di Indonesia bagian timur yang belum mendapatkan penanganan memadai sehingga menimbulkan kesulitan transportasi.



Gambar 11. Kondisi jalan menuju salah satu lokasi prospek panas bumi di Indonesia bagian timur yang berpotensi longsor saat hujan dan membahayakan pengguna jalan (Purba, 2018d)

Sandee (2016) menekankan bahwa masalah

utama yang dihadapi negara kepulauan seperti Indonesia adalah konektivitas antar pulau yang berpengaruh langsung kepada biaya pengiriman domestik. Sandee juga menyebutkan bahwa rendahnya tingkat investasi Indonesia di bidang infrastruktur fisik seperti jalan dan jembatan telah berkontribusi secara signifikan terhadap masalah konektivitas di Indonesia. Masalah transportasi, kemacetan, dan kualitas jalan yang buruk adalah salah satu kendala bisnis yang terburuk.

Selain level investasi yang masih rendah, kesulitan dalam pembebasan lahan di berbagai daerah di Indonesia ikut berkontribusi terhadap lambatnya pembangunan infrastruktur. Pisu (2010) menyebutkan bahwa prosedur pembebasan lahan untuk proyek infrastruktur di Indonesia masih rumit dan telah secara signifikan menghambat perluasan jaringan jalan.

Sebagai tambahan, lokasi prospek panas bumi Indonesia pada umumnya terletak di area hutan pegunungan dimana terletak jauh dari akses jalan utama, baik jalan Provinsi maupun jalan Kabupaten sehingga sulit untuk melakukan aktivitas mobilisasi peralatan pengeboran. Semakin tinggi biaya logistik dan mobilisasi peralatan maka semakin tinggi biaya proyek pengembangan panas bumi yang pada akhirnya dapat membuat investasi di sektor ini menjadi lebih tidak menarik dibanding sektor energi lain seperti batubara, tenaga air atau minyak dan gas bumi.

D. *Sistem pembeli tunggal energi listrik (single buyer)*

Proyek pengembangan sumber daya panas bumi sejatinya dapat dikategorikan sebagai *Public-Private Partnership* (PPP) dimana hubungan bisnis yang terbentuk antara perusahaan sektor swasta dan lembaga pemerintah bertujuan untuk menjalankan proyek yang akan melayani kepentingan publik. Namun

demikian, kondisi dimana hanya ada satu instansi pemerintah yang menguasai distribusi listrik untuk melayani masyarakat menciptakan tantangan tambahan, terutama dalam menetapkan peraturan yang tepat.

Dengan kondisi pengembang panas bumi hanya dapat menjual listrik yang dihasilkan ke Perusahaan Listrik Negara yang dimiliki oleh negara, maka keberadaan mekanisme pasar akan hilang dan pemerintah harus secara berkala menciptakan tarif untuk mengantisipasi dinamika biaya operasi dimana tarif yang diatur tersebut akan sulit untuk memuaskan kedua belah pihak (penjual dan pembeli).

WestJEC (2016) menyebutkan ada dua masalah utama dalam skema jual beli listrik di dalam proyek pengembangan energi panas bumi di Indonesia. Pertama, Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai satu-satunya perusahaan listrik di Indonesia tidak secara langsung menyetujui harga tender. Pengembang harus bernegosiasi lagi dengan PLN untuk menentukan harga Perjanjian Jual Beli Listrik (PJBL) setelah memenangkan tender dimana dalam sebagian besar kasus, harga PJBL menjadi lebih rendah dari harga tender. Hal ini tentu berpotensi menghambat laju investasi di proyek panas bumi karena para investor sulit untuk menentukan keekonomisan proyek yang salah satunya ditentukan oleh harga jual beli listrik.

Kedua, kesulitan bagi pengembang menentukan harga penawaran yang masuk akal dan kesulitan bagi pemerintah untuk mencari pengembang yang serius. Dengan sistem penawaran harga terendah adalah pemenang lisensi area prospek panas bumi yang ditawarkan maka beberapa pengembang akan berusaha mengusulkan harga yang sangat rendah dan seringkali tidak masuk akal. Masalah timbul saat pengembang, setelah memenangkan lisensi, tidak pernah memulai proyek pengembangan panas bumi yang telah dimenangkannya karena merasa harga yang ditawarkan

ternyata tidak menarik secara ekonomi. Untuk mengatasi masalah ini, Pratama (2017) menjelaskan bahwa pemerintah, dalam hal ini Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), telah mengeluarkan beberapa peraturan, yaitu:

1. Peraturan MEMR No. 14/2008

Pada tahun 2008, ESDM mengeluarkan peraturan baru (Peraturan ESDM No. 14/2008) yang menetapkan harga referensi untuk sistem tender panas bumi. Peraturan ini dikeluarkan untuk membuat PLN menyetujui harga tender sebagai harga PJBL. Ini menetapkan bahwa harga plafon proses tender panas bumi akan dihitung berdasarkan persentase biaya yang dikeluarkan untuk pembangkit listrik PLN, atau disebut Biaya Pokok Penyediaan (BPP) dalam istilah Indonesia. Untuk proyek dengan kapasitas antara 10-55 MW, harga plafon adalah 85% dari BPP pada tegangan tinggi atau tegangan sedang dari sistem listrik lokal.

Adapun proyek yang memiliki kapasitas di atas 55 MW, harga plafon adalah 80% dari BPP pada tegangan tinggi dari sistem listrik lokal. Namun, penawar harga terendah akan tetap menjadi pemenang. Peraturan ini tidak menyelesaikan masalah tarif panas bumi karena harga plafon yang ditetapkan belum menarik. Tarif plafon untuk Indonesia bagian barat adalah sekitar 5-7 sen USD/kWh, sedangkan untuk bagian timur Indonesia dapat mencapai 23 sen USD/kWh (WestJEC, 2016).

2. Peraturan Menteri ESDM No. 5/2009

Pada tahun 2009, Kementerian ESDM mengeluarkan peraturan lain yaitu Peraturan ESDM No. 5/2009 yang menetapkan tarif listrik baru untuk semua jenis generator, termasuk pembangkit listrik tenaga panas bumi. Peraturan ini menetapkan bahwa PLN harus mengumumkan perkiraan harga mereka sendiri berdasarkan jenis energi, lokasi, kapasitas, dan

faktor kapasitas. Sejak peraturan ini berlaku, peraturan ESDM sebelumnya (No. 14/2008) tidak berlaku lagi. Sayangnya, PLN tetap tidak terbuka tentang perkiraan harga mereka sendiri dan masih dapat melakukan negosiasi harga PJBL terhadap harga penawaran yang diajukan oleh pemenang tender.

3. Peraturan Menteri ESDM No. 31/2009 dan No. 32/2009

Masih di tahun yang sama, Kementerian ESDM mengeluarkan dua peraturan lainnya. Pertama, Peraturan Menteri ESDM No. 31/2009 menetapkan tarif listrik untuk energi terbarukan skala kecil (hingga 10 MW) atau daya berlebih. Walaupun peraturan ini telah mencantumkan formula untuk perhitungan tarif, PLN masih tetap menggunakan taksiran harga sendiri untuk menentukan tarif listrik. Peraturan kedua adalah Peraturan Menteri ESDM No. 32/2009. Peraturan ini menetapkan harga tertinggi untuk proyek panas bumi baru yaitu sebesar 9,7 sen USD/kWh. Namun, tarif pagu ini diterapkan untuk semua proyek panas bumi, termasuk yang berskala kecil, dan hubungan antara harga penawaran dan harga PJBL masih belum jelas.

4. Peraturan Menteri ESDM No. 02/2011

Untuk menghubungkan harga penawaran dan harga PJBL, ESDM mengeluarkan peraturan lain (Peraturan ESDM No. 02/2011) yang menjamin bahwa harga penawaran akan digunakan dalam PJBL. Namun, tarif plafon yang sama masih diterapkan, membuat proyek pengembangan panas bumi skala kecil tidak layak secara ekonomi untuk dilaksanakan.

Diskusi diatas memperlihatkan bahwa keadaan pembeli tunggal (*single buyer*) tenaga listrik yang dihadapi oleh Indonesia saat ini memiliki peran dalam menghambat laju pengembangan energi panas bumi mengingat faktor harga jual-beli listrik adalah salah satu komponen penting dalam menentukan kee-

konomisan proyek. Sebagai tambahan, saat studi ini berjalan, PLN sedang dalam proses mengembangkan beberapa Wilayah Kerja Panas bumi (WKP) di Indonesia dengan tujuan dapat menekan biaya eksplorasi dan produksi yang pada akhirnya menekan harga listrik. Salah satu contoh prospek lapangan panas bumi yang saat ini dalam pengelolaan PLN adalah WKP Tulehu di Propinsi Maluku (Gambar 12). Sejauh ini publikasi mengenai kemajuan atau keberhasilan PLN dalam mengelola berbagai WKP di Indonesia dalam rangka menekan biaya eksplorasi dan produksi panas bumi masih sulit ditemukan sehingga belum dapat didiskusikan lebih lanjut di dalam makalah ini.



Gambar 12. Seremoni ground-breaking proyek eksplorasi WKP Tulehu di Propinsi Maluku yang dikelola oleh PT PLN (Persero) pada bulan Juni tahun 2017 (EBTKE, 2017b)

E. Banyaknya WKP yang berada di dalam kawasan taman nasional atau hutan lindung

Tantangan lain adalah sebagian besar lokasi pengeboran potensial di Indonesia berada di dalam area hutan lindung. Mujiyono dan Tiess (2013) menyebutkan bahwa sekitar 80% dari tempat-tempat yang potensial berada di area hutan lindung dimana penambangan terbuka dilarang oleh UU Kehutanan No.39/2004. Undang-undang ini dipercayai telah menjadi penghalang utama bagi pengembangan eksplorasi panas bumi di Indonesia.

Dengan memasukkan kegiatan panas bumi dalam kategori kegiatan penambangan menimbulkan masalah karena di kawasan hutan konservasi menjadi sangat terlarang sama sekali untuk kegiatan panas bumi sehingga dibutuhkan upaya untuk menentukan jenis kegiatan panas bumi. Kegiatan panas bumi yang bertujuan untuk ekstraksi termal harus dibedakan dari kegiatan penambangan seperti sumber daya batubara atau mineral. Pemerintah Indonesia telah menerbitkan Undang-Undang No 14 Tahun 2014 yang tidak lagi memasukkan kegiatan panas bumi sebagai kegiatan pertambangan sehingga memungkinkan aktivitas eksplorasi dan produksi panas bumi di daerah hutan lindung (Adityatama, Purba, & Kristianto, 2018). Namun demikian, peraturan tersebut belum memungkinkan untuk melakukan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya panas bumi di dalam taman nasional. Situasi tumpang tindih lahan ini seringkali menjadi semakin rumit dengan banyaknya lahan pertanian masyarakat didalam kawasan hutan lindung yang didorong oleh tingginya tingkat kesuburan tanah di area vulkanik. Gambar 13 memperlihatkan suatu area pengeboran panas bumi yang bertetangga langsung dengan area persawahan dan pemukiman penduduk di kaki gunung berapi aktif di Indonesia.



Gambar 13. Foto udara yang memperlihatkan tapak pengeboran (wellpad) yang terletak bersebelahan dengan kawasan persawahan dan pemukiman penduduk di salah satu prospek panas bumi di Indonesia.

Untuk melakukan aktivitas pengeboran, membangun infrastruktur dan menempatkan unit PLTP dibutuhkan tapak tanah sehingga tanpa memiliki hak atas tanah atau lahan, suatu pengembangan panas bumi tidak akan dapat mengembangkan WKP yang telah dimenangkannya. Jika hal seperti ini terjadi di banyak WKP di Indonesia, terutama yang sedang menjalani tahap eksplorasi, maka target pemanfaatan panas bumi yang telah ditetapkan oleh pemerintah akan sangat sulit untuk dicapai.

Tantangan tumpang tindih antara lahan, kawasan hutan dan taman nasional ini menjadi tidak mudah untuk diselesaikan karena proses perijinan terkait hal tersebut diatas melibatkan banyak aspek dan memerlukan perijinan lintas kementerian. Hal ini telah dan berpotensi untuk menciptakan proses perijinan yang rumit dan berkepanjangan. Inisiatif untuk memiliki proses perijinan yang “bersih dan jelas” dalam mendapatkan izin proyek pengembangan panas bumi yang lengkap sedang dievaluasi. Harapannya akan terbentuk suatu sistem perijinan satu pintu yang dapat mempermudah dan mempersingkat proses perijinan.

F. **Minimnya program edukasi atau penyuluhan terhadap masyarakat lokal terkait proyek panas bumi**

Tantangan ini adalah salah satu tantangan dalam pengembangan proyek panas bumi yang belum banyak dibahas di berbagai jurnal ilmiah atau publikasi seminar yang mungkin disebabkan oleh sulitnya melakukan pengukuran atau kuantifikasi terhadap tingkat pemahaman masyarakat terhadap suatu proyek pengembangan panas bumi. Penyebab lain yang mungkin adalah para pengembang dan pemerintah daerah seringkali merasa bahwa tugas untuk mengedukasi masyarakat yang tinggal di area prospek panas bumi bukan merupakan tanggung jawab mereka.

Kurangnya pemahaman masyarakat terhadap

pentingnya proyek panas bumi seringkali membawa kepada penolakan yang akhirnya berakhir dengan terhambatnya proyek pengembangan panas bumi. Keadaan seperti ini terutama terjadi saat proyek panas bumi masih dalam tahap eksplorasi dimana pemerintah daerah, perusahaan pengembang dan masyarakat lokal masih dalam tahap mengenali satu sama lain dan belum terbangun rasa percaya antara masing-masing pihak.

Hal ini tentunya telah diketahui oleh para pengembang panas bumi, terutama dengan ba-

nyaknya pemberitaan di media massa mengenai penolakan masyarakat terhadap proyek panas bumi di Indonesia. Namun demikian, dalam pelaksanaan di lapangan seringkali, perusahaan belum melakukan edukasi atau penyuluhan secara berkelanjutan dan menyeluruh. Seringkali acara sosialisasi atau konsultasi publik (Gambar 14) dilakukan hanya satu kali diawal proyek dimana dalam satu kali kesempatan berdurasi 3-6 jam tersebut, masyarakat diharapkan dapat memahami seluruh aspek proyek panas bumi.



Gambar 14. Salah satu contoh suasana acara sosialisasi proyek panas bumi di Indonesia (Purba et.al., 2018c).

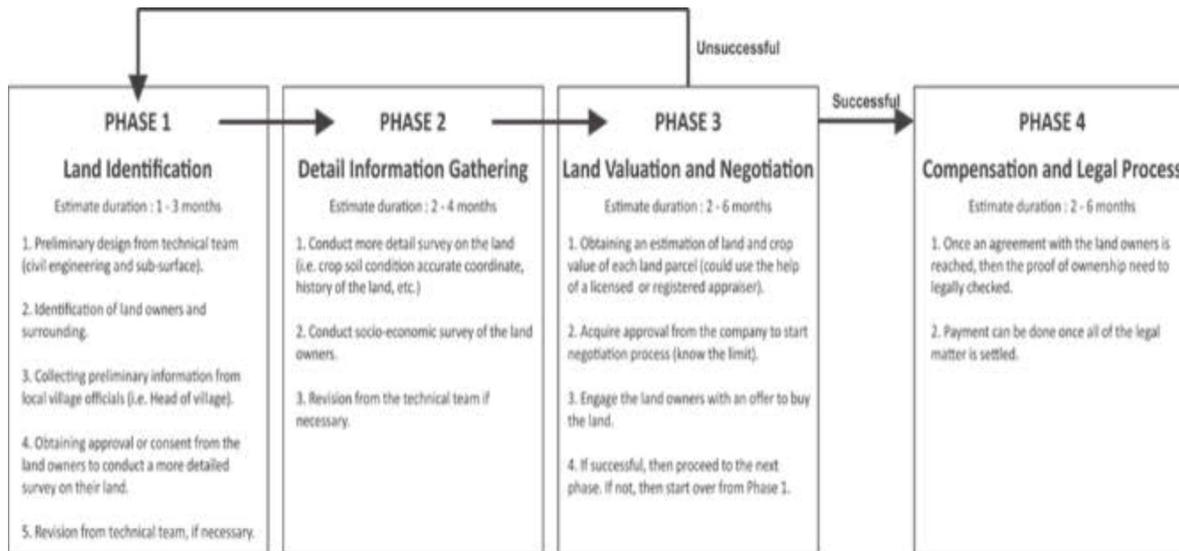
Idealnya, proses edukasi dan penyuluhan proyek panas bumi dilakukan 3-6 bulan sebelum kegiatan fisik pertama di lokasi dimulai dengan dilakukan peningkatan frekuensi sosialisasi secara bertahap yang disesuaikan dengan tingkat penerimaan masyarakat. Untuk dapat membangun hubungan jangka panjang, seluruh keraguan masyarakat harus dapat dijawab dengan baik dan terbuka.

G. Kesulitan pembebasan tanah

Pisu (2010) menyebutkan bahwa prosedur pembebasan lahan untuk proyek infrastruktur di Indonesia masih rumit dan telah secara signifikan menghambat perluasan jaringan jalan. Walaupun Pisu tidak secara langsung merujuk secara spesifik kepada proyek infrastruktur yang berhubungan dengan panas bumi tapi

keadaan tersebut juga terjadi di proyek panas bumi.

Proses pembebasan lahan untuk proyek panas bumi umumnya dilakukan oleh perusahaan pengembang bekerjasama dengan pemerintah daerah. Purba et.al. (2018d) telah mendeskripsikan contoh alur kerja pembebasan tanah di proyek panas bumi seperti terlihat di Gambar 15.



Gambar 15. Alur kerja dalam proses pembebasan lahan untuk proyek pengembangan panas bumi (Purba, 2018d)

Selain alur kerja, Purba et.al. (2018d) juga mendeskripsikan beberapa tantangan yang mungkin dihadapi saat melakukan pembebasan tanah untuk proyek panas bumi.

1) *Pemilik tanah menolak untuk menjual*: Salah satu alasan utama adalah para pemilik tanah belum mempercayai pihak pengembang panas bumi dan takut tertipu dengan penawaran yang diajukan oleh pihak perusahaan. Sebab lain dapat berupa kurangnya pemahaman pemilik lahan terhadap mekanisme jual-beli tanah karena tidak memiliki pengalaman sama sekali dalam transaksi tanah sehingga memutuskan untuk tidak menjual karena takut tidak mendapatkan ganti rugi yang dirasa sesuai. Gambar 16 menunjukkan bagaimana pembayaran tanah harus dilakukan secara tunai karena pemilik tanah tidak pernah berurusan dengan perbankan dan tidak bersedia memiliki rekening bank untuk menampung uang kompensasi tanah yang mereka miliki.



Gambar 16. Contoh acara pembayaran secara tunai kompensasi lahan masyarakat setempat yang dibeli atau disewa oleh pengembang untuk digunakan dalam salah satu proyek panas bumi di Indonesia

Alasan lain adalah tanah di beberapa daerah di Indonesia tidak dimiliki oleh satu orang melainkan oleh satu desa secara komunal. Artinya segala keputusan terkait tanah tersebut harus dimusyawarahkan bersama dan dapat memakan waktu lama, terutama jika ada salah satu anggota masyarakat yang tidak setuju. Berbagai penyebab tersebut diatas biasanya terjadi jika perusahaan pengembang panas bumi yang bersangkutan tidak menginvestasikan usaha, waktu dan uang secara memadai untuk mensosialisasikan proyek kepada

masyarakat setempat dan gagal membangun hubungan yang tulus dan terbuka dengan masyarakat.

2) Tidak adanya lahan pengganti yang sesuai: Seringkali penduduk desa tidak membutuhkan uang sebagai kompensasi atas penjualan tanah mereka. Mereka, dalam banyak kasus, lebih memilih diberikan lahan pengganti yang sepadan untuk dapat melanjutkan kegiatan berladang atau berkebun. Sayangnya, di daerah pegunungan, akan sulit bagi perusahaan pengembang untuk menemukan area tanah yang datar yang bisa dijadikan lahan pengganti sehingga kesepakatan jual-beli menjadi sulit tercapai.

3) *Lahan atau tanah yang dibutuhkan terletak di dalam kawasan hutan lindung atau taman nasional*: Sesuai dengan pembahasan di bab E sebelumnya, 80% dari area prospek panas bumi terletak di dalam kawasan hutan lindung atau taman nasional. Hal ini menjadi tantangan karena proyek panas bumi berada dalam pengawasan Kementerian ESDM sedangkan pengelolaan kawasan hutan lindung dan taman nasional berada dibawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dimana pihak pengembang seringkali harus menunggu sampai kedua instansi pemerintah tersebut melakukan komunikasi dan kordinasi terkait permasalahan lahan yang dibutuhkan oleh pengembang.

H. *Minimnya tenaga ahli panas bumi di Indonesia saat ini*

Pemerintah Indonesia menargetkan tambahan pembangkit listrik panas bumi menjadi 7.241,5 MW pada 2025 (RUEN, 2017). Hingga akhir 2017, kapasitas terpasang panas bumi baru mencapai 1.808,5 MW (ESDM, 2017) dimana masih dibutuhkan 5.432,5 MW untuk dapat mencapai target yang ditetapkan. Dengan penambahan hampir kapasitas empat

kali lipat, kebutuhan akan personel, baik staf maupun ahli, juga akan meningkat. Umam et.al. (2018) menyebutkan kebutuhan 5.433 MW akan menciptakan kurang lebih 23.000 lapangan pekerjaan tambahan. Dengan menggunakan formula yang diajukan oleh Jennejohn (2010) yang mengasumsikan setiap MegaWatt (MW) produksi listrik melalui energi panas bumi akan dibutuhkan 4,25 posisi penuh waktu dan 16 orang-tahun maka untuk mencapai target pemanfaatan panas bumi Indonesia di tahun 2025 dibutuhkan 87.000 orang per tahun. Kebutuhan personel ini mencakup ahli geologi, ahli geofisika, geokimia, ahli pengeboran, insinyur, ahli hidrologi dan personel terampil lainnya untuk operasi dan pemeliharaan yang harus dipersiapkan sebelum memulai proyek pengembangan lapangan panas bumi (Smillie et al., 2015).

Solusi jangka pendek untuk menyediakan sumber daya manusia panas bumi adalah dengan mendatangkan ahli dari luar negeri yang memiliki pengalaman memadai dalam proyek pengembangan panas bumi. Umumnya, para ahli ini dibawa sebagai konsultan, mentor, dan pelatih untuk tenaga kerja lokal, atau untuk posisi manajerial. Namun demikian, perekrutan tenaga ahli dari luar negeri akan meningkatkan biaya produksi secara keseluruhan disebabkan tingginya gaji yang harus ditawarkan agar kompetitif. Di sisi lain, adanya regulasi untuk membatasi penggunaan tenaga kerja asing dalam proyek pengembangan panas bumi terlihat kontras dengan solusi jangka pendek yang dibahas diatas. Penggunaan pekerja asing hanya diizinkan untuk transfer pengetahuan seperti konsultan atau ahli yang didampingi oleh tenaga kerja Indonesia.

Sebagai tambahan, industri migas dianggap lebih mapan dibanding industri panas bumi, terutama di Indonesia. Hal ini membuat banyak perusahaan pengembang panas bumi mencari tenaga ahli di industri migas untuk dibawa ke industri panas bumi sebagai usa-

ha menutupi kekurangan personel. Sayangnya, banyak perusahaan panas bumi belum menyadari bahwa walaupun terlihat mirip, terdapat perbedaan yang cukup besar antara proyek pengembangan panas bumi dengan proyek migas. Umam et.al. (2018) mendeskripsikan perbedaan tersebut dimana salah satunya adalah di bidang pengeboran. Umam juga menyebutkan bahwa saat ini belum ada standarisasi khusus untuk kompetensi personal panas bumi yang didokumentasikan dalam sebuah dokumen atau sertifikat. Semua *requirement* untuk *key personnel drilling* masih mengacu pada pengalaman dan kompetensi yang berlaku di industri migas. Sehingga sehingga semua personel yang memiliki sertifikasi dan pengalaman di industri migas dapat langsung bekerja di proyek panas bumi tanpa menyadari adanya beberapa perbedaan antara kedua industri tersebut yang bisa mengancam keselamatan kerja dan lingkungan.

KESIMPULAN

Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menyarikan berbagai tantangan dalam pengembangan energi panas bumi di Indonesia dan mencoba menawarkan beberapa opsi solusi untuk mempercepat eksplorasi dan pengembangan energi panas bumi. Berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan, tantangan pengembangan panas bumi di Indonesia:

- Lokasi sumber daya panas bumi di Indonesia pada umumnya berada di lokasi di pegunungan berapi aktif dan mengandung banyak bahaya dan kesulitan karena memiliki *high-relief terrain*.
- Bentang alam Indonesia sebagai negara kepulauan memberikan tantangan untuk logistik dan transportasi peralatan berat antar pulau yang akhirnya bisa meningkatkan biaya proyek.
- Pembangunan infrastruktur fisik yang

belum merata di Indonesia. Wilayah Indonesia timur yang merupakan target pengembangan panas bumi di mana rasio elektrifikasi masih rendah adalah salah satu wilayah yang belum memiliki infrastruktur memadai untuk mendukung proyek pengembangan panas bumi.

- Sistem pembeli listrik tunggal di Indonesia dimana hanya PLN yang dapat membeli listrik membuat proses negosiasi harga jual-beli listrik berjalan lambat dan akhirnya berpengaruh terhadap jadwal proyek secara keseluruhan. Pengembang umumnya memilih untuk menunda eksekusi proyek jika belum menemukan kesepakatan harga dengan PLN.
- Banyaknya WKP berada di dalam taman nasional atau hutan lindung menyulitkan pengembang untuk membuka wilayah kerja atau sekedar membangun jalan untuk akses ke sumber daya panas bumi.
- Masyarakat belum teredukasi dengan baik tentang panas bumi sehingga banyak penolakan di daerah (*social acceptance issue*)
- Sulitnya melakukan pembebasan tanah di banyak daerah di Indonesia sehingga proyek panas bumi biasanya sangat lambat di tahap awal. Tanpa penguasaan tanah maka tidak mungkin proyek dapat berjalan sesuai jadwal.
- Masih terbatasnya jumlah tenaga ahli panas bumi Indonesia.

Beberapa opsi solusi hasil diskusi tim penulis makalah ini untuk percepatan pengembangan energi panas bumi adalah sebagai berikut:

- Untuk menanggulangi minimnya infrastruktur dan akses di lokasi lokasi panas bumi yang relative terpencil, pengeboran eksplorasi dengan menggunakan metode *slim hole drilling*. Metode slim hole menggunakan rig yang jauh lebih kecil

dibandingkan dengan rig untuk *standard hole drilling*, sehingga memiliki *footprint* yang juga lebih kecil sehingga biaya dapat lebih murah. Metode ini cocok untuk digunakan pada saat eksplorasi karena memiliki fleksibilitas lebih tinggi untuk menyesuaikan dengan keadaan lahan (Purba, Dimwani, & Adityatama, 2018).

- Kondisi PLN sebagai pembeli tunggal energi listrik di Indonesia harus diimbangi dengan campur tangan pemerintah untuk menerapkan regulasi yang dapat menghasilkan skema tarif yang atraktif bagi investor tapi tetap menguntungkan untuk PLN. Studi lebih lanjut dan lebih rinci mengenai metode yang tepat untuk menurunkan biaya eksplorasi dan produksi harus dilakukan oleh pemerintah, praktisi dan akademisi sehingga bisa diketahui biaya *baseline* dari suatu proyek pengembangan energi panas bumi di Indonesia.
- Berbagai metode pendekatan masyarakat harus dipelajari dan diimplementasikan, termasuk pemanfaatan warga sekitar dalam kegiatan eksplorasi, konstruksi, maupun produksi panas bumi untuk meminimalisir risiko penolakan oleh masyarakat sekitar lokasi proyek. Telah banyak studi yang menawarkan berbagai alternatif pendekatan, salah satunya adalah penggunaan langsung sumber panas bumi untuk pariwisata, pengeringan produk agrikultur, dll yang diharapkan dapat membantu mengembangkan ekonomi sekitar wilayah proyek panas bumi dan melibatkan masyarakat sekitar secara berkesinambungan (Adityatama et.al., 2018).
- Pembebasan tanah merupakan masalah yang tidak dapat diabaikan dalam mengembangkan energi panas bumi di Indonesia. Oleh karenanya koordinasi lintas kementerian dan komunikasi antara pemerintah daerah dengan perusahaan harus ditingkatkan terkait masalah pembebasan tanah ini.
- Dibutuhkan suatu standar kompetensi untuk tenaga kerja panas bumi, terutama di bagian pengeboran. Dengan adanya suatu standar kompetensi yang jelas, maka diharapkan transisi dari tenaga kerja pengeboran minyak dan gas dapat berlangsung dengan baik dan mampu meminimalisir risiko keselamatan kerja yang disebabkan perbedaan lingkungan antara panas bumi dan migas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityatama, D. W., Purba, D. P., & Kristianto, B. (2018). Integrated Geothermal Direct Use Facility as an Alternative Approach in Community Engagement at Early Exploration Phase in Indonesia. *Proceedings 7th ITB International Geothermal Workshop 2018*. Bandung, Indonesia.
- Barrios, L., Hernandez, B., Quezada, A., Pullinger, C. (2011). Geological hazards and geotechnical aspects in geothermal areas, the El Salvador experience. *Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants 2011 by UNU-GTP and LaGeo*. Santa Tecla, El Salvador.
- Darma, S., & Wirakusumah, A.D. (2015, April). Energy security and the role of geothermal development in Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia.
- DiPippo, R. (Ed.). (2016). *Geothermal power generation: Developments and innovation*. Woodhead Publishing.
- EBTKE (2017a). Potensi panas bumi Indonesia. Jakarta: Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan



Konservasi Energi.

- EBTKE (2017b). "Gelontorkan Investasi Besar, PLN Siap Kembangkan PLTP Tulehu." Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). June 20th, 2017. <http://ebtke.esdm.go.id/post/2017/06/20/1692/gelontorkan.investasi.besar.pln.siap.kembangkan.pltp.tulehu>
- Hochstein, M. P., & Sudarman, S. (2015, April). Indonesian volcanic geothermal systems. In Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia (pp. 19-25). Retrieved from <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/16006.pdf>
- Jennejohn, D. (2010). Green Jobs through Geothermal Energy. Geothermal Energy Association. Pennsylvania, Washington, D.C. Retrieved from http://www.geo-energy.org/pdf/reports/GreenJobs_Through_Geothermal_Energy_Final_Oct2010.pdf
- Ministry of Energy and Mineral Resources, Indonesia [ESDM]. (2017). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2017 s.d. 2026 [Electricity Power Supply Business Plan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) 2017-2026]. Retrieved from <http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL%20PLN%202017-2026>
- Mujiyanto, S., & Tiess, G. (2013). Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy. *Energy Policy*, Elsevier, vol. 61(C), pages 31-41.
- PGE (2018). Website Pertamina Geothermal Energy. Alamat: <http://pge.pertamina.com/News/Galery#pills-gallery-0>
- Pisu, M. (2010), "Tackling the Infrastructure Challenge in Indonesia", *OECD Economics Department Working Papers*, No. 809, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5km5xvc1kk47-en>
- Poernomo, A., Satar, S., Effendi, P., Kusuma, A., Azimudin, T., & Sudarwo, S. (2015). An Overview of Indonesia Geothermal Development-Current Status and Its Challenges. In Proceedings World Geothermal Congress.
- Pratama, A. R. (2017). Economical and Tariff Setting Evaluation on Geothermal Potential Areas in East Nusa Tenggara and Moluccas Region. Master Thesis. University of Auckland. Auckland.
- Purba, D.P., Dimwani, W., & Adityatama, D.W. (2018a). Basic Considerations in Minimizing the Uncertainty During Developing Geothermal Exploration Drilling Strategy in Indonesia. *Proceedings 7th ITB International Geothermal Workshop 2018*. Bandung, Indonesia.
- Purba, D. P. (2018b). Investigation on Geothermal Resource Assessment Methods in Reducing Exploration Risk in Indonesia Geothermal System. *Final Project Master of Energy Program, University of Auckland*. Auckland, New Zealand.
- Purba (2018c). Challenges in Drilling Preparation and Operation in Indonesia Geothermal Exploration Project. *Geothermal Forum ITB, Geothermal Master Program Institut Teknologi Bandung*. Bandung, Indonesia.
- Purba, D. P., Adityatama, D.W., Hasymi, S. P., Chandra, V. R. (2018d). Land Acquisition Process and Challenges in Geothermal Exploration Project in Indonesia. *Proceedings 6th Indonesia International Geothermal Conference and Exhibition 2018*. Jakarta, Indonesia.
- PWC (2018). Oil and gas in Indonesia: Investment and taxation guide. May 2018, 9th edition.

- UEN (2017). Rencana Umum Energi Nasional, An attachment of Presidential Decree Number 22/2017. Retrieved from <http://sipuu.setkab.go.id/PUUdoc/175146/Lampiran%20I%20Perpres%20Nomor%2022%20Tahun%202017.pdf>
- Sandee, H. (2016). Improving Connectivity in Indonesia: The Challenges of Better Infrastructure, Better Regulations, and Better Coordination. *Asian Economic Policy Review* (2016) 11, 222–238.
- Smillie A., Satar S., Saptadji N., Aminzadeh F., Setianingsih R. (2015). Capacity Building in the Geothermal Sector in Indonesia, a Unique Collaboration. Indonesian Geothermal Association. Retrieved from <http://cgs.usc.edu/assets/002/94801.pdf>
- Umam, M. F. (2018). Geothermal Human Resource Development in Indonesia: Utilizing the Advances of the Oil and Gas Industry. Master Thesis. University of Auckland. Auckland.
- Utami, P. (2010). High-temperature Geothermal Area and its Challenges for Civil Engineering Works. *Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV HATTI 2010*. Yogyakarta, Indonesia.
- West Japan Engineering Consultants, Inc. (2016). Review Report on Benefits of Geothermal Energy: Avoided Cost by Geothermal Energy. Jakarta, Indonesia: Author