

ANALISIS RISIKO DAN MITIGASI PENGUSAHAAN PANAS BUMI: STUDI KASUS SURVEI PENDAHULUAN DAN PENGEBORAN EKSPLORASI PANAS BUMI UNTUK PEMBANGUNAN PLTP 20 MWe DI HALMAHERA UTARA, PROVINSI MALUKU UTARA

Risk and Mitigation Analysis of Geothermal Development: Case Study in Initial Survey and Exploration Drilling for 20 MWe Geothermal Power Plant in North Halmahera, North Maluku Province

Aperta Ledy Alam¹ dan Herlinawati²

¹Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia
Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Poncol Raya No. 39, Ciracas, Jakarta Timur
Email: aperta.alam@esdm.go.id

²Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung 40211
Telp. (022) 6076756, Faks. (022) 6035506
Email: herlinawati@esdm.go.id

ABSTRAK

Pengembangan usaha panas bumi menjadi sumber energi listrik merupakan salah satu usaha pengembangan energi terbarukan yang menggantikan sumber energi dari fosil. Usaha pengembangan lapangan panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara merupakan kegiatan yang memiliki risiko dalam pelaksanaan kegiatannya. Melalui metode SWOT memunculkan beberapa parameter yang menjadi faktor risiko dalam pengembangan lapangan panas bumi. Parameter-parameter risiko tersebut, yaitu sumber data geologi bawah permukaan, nilai sumber daya panas bumi, kondisi ekonomi (pembiayaan), kondisi sosial dan budaya, serta dampak lingkungan. Setiap risiko perlu dimitigasi dalam rencana pengembangan lapangan panas bumi. Analisis risiko pada pengembangan lapangan panas bumi menggunakan metode matriks *grading* risiko. Metode tersebut merupakan suatu metode analisis kualitatif yang menentukan derajat risiko berdasarkan dampak dan probabilitas. Pada semua faktor risiko memiliki dampak yang tinggi sampai sedang dengan probabilitas yang tinggi sampai sedang. Melalui mitigasi secara kualitatif menurunkan dampak dan probabilitas risiko menjadi sedang dan rendah. Hal ini membantu untuk kelanjutan usaha pengembangan lapangan panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara.

Kata kunci: *analisis risiko, panas bumi*

ABSTRACT

Geothermal business development into electricity energy resources is one of the efforts to develop renewable energy to replace energy resources from fossil. Developing geothermal green field in North Halmahera, North Maluku Province are activities that have risk in the implementation action. The SWOT method will raise some parameters that are risk factors in geothermal field development. Risk parameters are data source of geology subsurface, value of geothermal resources, economic condition (financing), social and culture condition, also environmental impact. Every risk needs to be mitigated in geothermal field development plan. Risk analysis in geothermal field development uses the risk grading matrix method which is a qualitative analysis method that determine degree of risk based on impact and probability. All risks factor has high to moderate impact with high to moderate probability. Qualitatively, using mitigation, will reduce impact and probability of risks become moderate to low. This support to continue attempt geothermal field development at North Halmahera, North Maluku Province.

Keywords: risk analysis, geothermal

PENDAHULUAN

Pengembangan usaha panas bumi merupakan kegiatan yang memiliki risiko. Bahkan, pada setiap tahapan kegiatan pengembangan kawasan potensi panas bumi, risiko-risiko tersebut akan selalu muncul. Mitigasi risiko pada setiap tahapan kegiatan ini menjadi penentu keberlanjutan dari usaha panas bumi.

Potensi panas bumi di kawasan Timur Indonesia, masih sangat menarik untuk dikembangkan sebagai pemanfaatan langsung atau tidak langsung. Provinsi Maluku Utara merupakan salah satu kawasan yang memiliki potensi panas bumi menarik di kawasan Timur Indonesia. Informasi yang disampaikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) melalui Direktorat Panas Bumi dalam buku *Potensi Panas Bumi Jilid 2* tahun 2017, menyebutkan bahwa Provinsi Maluku Utara memiliki 4 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) dan 10 lokasi potensi panas bumi yang tersebar di berbagai pulau dan kepulauan.

Wilayah Halmahera Utara memiliki satu WKP dan satu lokasi potensi panas bumi. Kondisi wilayah Halmahera Utara umumnya belum banyak berkembang serta mempunyai aksesibilitas yang terbatas. Kondisi infrastruktur jalan yang masih terbatas dan belum baik masih mendominasi wilayah Halmahera Utara. Keadaan ini akan menambah risiko pada setiap tahapan kegiatan pengembangan panas bumi di kawasan tersebut. Analisis mitigasi risiko secara kualitatif akan menjadi ulasan menarik yang dituangkan pada artikel ini. Pendekatan analisis mitigasi risiko dalam pengembangan panas bumi pada suatu kawasan, belum terlalu banyak dibahas pada artikel lain yang terkait dengan panas bumi.

Maksud penelitian ini adalah melakukan suatu analisis risiko beserta kegiatan mitigasi untuk pengurangan risiko dari pengembangan usaha kawasan potensi panas bumi di daerah Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara.

Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi potensi risiko-risiko yang muncul pada usaha pengembangan panas bumi untuk pembangunan Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) dengan kapasitas 20 MWe. Selain itu juga menentukan mitigasi pada setiap potensi risiko yang muncul dalam usaha pengembangan panas bumi untuk pembangunan Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) dengan kapasitas 20 MWe.

METODOLOGI

Pada setiap penelitian selalu dilakukan tahapan-tahapan berupa metodologi untuk mengetahui hasil suatu permasalahan. Tahapan-tahapan dilakukan secara sistematis sebagai upaya untuk mencari pemecahan setiap masalah dalam rangka memperoleh jawaban suatu permasalahan atau fenomena yang terjadi.

Pada kegiatan penelitian ini, metodologi yang digunakan adalah:

1. Melakukan kajian pustaka berupa referensi literatur. Kajian pustaka penting untuk mengidentifikasi persoalan yang timbul pada setiap usaha pengembangan panas bumi untuk pembangunan PLTP dengan kapasitas tertentu. Kajian pustaka dilakukan berdasarkan studi terdahulu serta kajian dan artikel-artikel berhubungan dengan permasalahan pada penelitian ini.
2. Menentukan potensi-potensi risiko, berdasarkan kajian pustaka dengan pendekatan asumsi pembiayaan dengan perhitungan *capital expenditure* (CAPEX) dan analisis SWOT (*Strength, Weakness, Opportunity, Threat*).
3. Melakukan analisis kualitatif untuk penilaian setiap risiko dengan menggunakan matriks *grading* risiko.
4. Menentukan upaya-upaya mitigasi pada setiap risiko untuk menurunkan nilai risiko. Dengan begitu, usaha pengembangan kawasan potensi panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, layak untuk dilakukan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

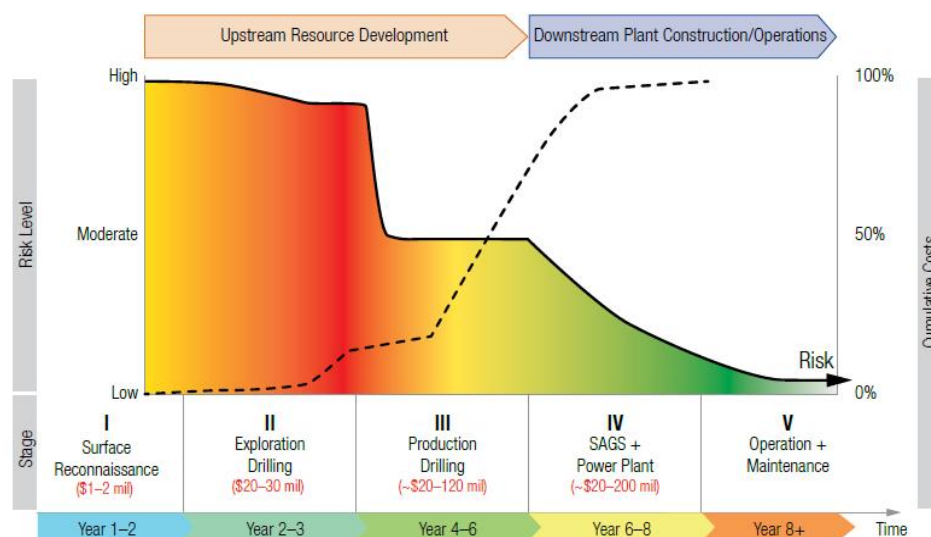
Tinjauan Referensi

Analisis SWOT merupakan suatu analisis yang bersifat deskriptif untuk memberikan ilustrasi terhadap kemungkinan suatu situasi dan kondisi yang sedang dan bisa terjadi (Rangkuti, 2014). Jadi, analisis SWOT berupa suatu bentuk analisis yang secara sistematis membantu dalam penyusunan suatu rencana kegiatan untuk mencapai tujuan.

Pada penelitian ini, analisis SWOT digunakan untuk menentukan faktor-faktor internal yang merupakan *strength* (kekuatan) dan *weakness* (kelemahan). Selain itu, analisis SWOT pun digunakan untuk faktor-faktor eksternal berupa *opportunity* (peluang) dan *threat* (ancaman) pada usaha pengembangan potensi panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara untuk PLTP 20 MWe. Faktor-faktor tersebut dapat menjadi risiko-risiko tinggi yang perlu dilakukan mitigasi sehingga dapat membantu keberlangsungan usaha panas bumi tersebut.

Perhitungan CAPEX usaha pengembangan potensi panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara menggunakan standar perhitungan proyek PLTP yang dikembangkan oleh Direktorat Panas Bumi. Perhitungan itu disebut “EBTKE Calculator” tahun 2018. Hasil perhitungan berdasarkan pada kapasitas PLTP yang akan dibangun dan IRR *equity* (tingkat suku pada penyertaan modal). Kedua faktor tersebut akan memberikan nilai pembiayaan proyek eksplorasi, pemboran panas bumi, kegiatan konstruksi, dan pembiayaan lainnya secara umum pada usaha pengembangan panas bumi untuk PLTP. Perhitungan CAPEX memberikan suatu ilustrasi risiko pembiayaan dan pendanaan sehingga perlu upaya-upaya mitigasi untuk menurunkan risiko tersebut.

Secara umum, risiko yang timbul pada usaha pengembangan panas bumi untuk PLTP terbagi menjadi risiko alam (geologi dan bawah permukaan) dan risiko pembiayaan (*funding*). Pada tahap awal kegiatan eksplorasi panas bumi, risiko alam masih sangat tinggi untuk mengetahui potensi, kualitas, keberadaan reservoir, dan sumber panas. Adapun risiko pembiayaan masih rendah.



Gambar 2. Ilustrasi konsep risiko dan biaya pada pengembangan panas di setiap tahapan (*Geothermal Handbook*, ESMAP, 2012)

Pada tahapan selanjutnya sampai dengan studi kelayakan, terjadi penurunan risiko alam karena semakin banyak data dan informasi yang diperoleh melalui kegiatan 3G dan pengeboran landaian suhu panas bumi. Namun, seiring dengan hal tersebut maka risiko pembiayaan semakin tinggi jika dihubungkan dengan kebutuhan pengeboran eksplorasi dan pengeboran sumur-sumur produksi.

Memasuki tahapan konstruksi maka risiko alam menjadi turun dan cenderung mendatar karena semakin banyak informasi yang diperoleh. Namun, risiko pembiayaan juga terus bertambah, seiring dengan kegiatan pembangunan pembangkit dan fasilitas pendukung pembangkit.

Pada tahapan *Operation and Maintenance* (OM), risiko alami semakin kecil dan cenderung mendatar. Begitu pula halnya dengan risiko pembiayaan akan menjadi semakin kecil, tetapi tidak mendatar. Hal ini tercermin pada gambar 2 (Geothermal Handbook, ESMAP, 2012).

Risiko berasal dari bahasa Inggris "*Risk*". Kata *risk* juga berasal dari bahasa Italia kuno "*Riscare*" Kloman (2000). Risiko memiliki pengertian yang beragam sesuai dengan konteks dan kebutuhannya. Risiko dapat dipandang sebagai sesuatu yang merugikan (*risk of loss*), suatu ketidakpastian (*risk of volatility*), dan sesuatu yang menguntungkan yang tidak tercapai (*risk of loss opportunity*). Risiko menjadi suatu konsep pada audit dan manajemen untuk menyatakan perhatian atas dampak yang mungkin terjadi pada suatu ketidakpastian. Faktor-faktor eksternal dan internal dapat menjadi penentu tingkat atau nilai risiko pada suatu keadaan.

Untuk menilai suatu risiko dapat dilakukan dengan tiga pendekatan, yaitu pendekatan *database*, algoritma, dan matriks *grading* risiko. Pendekatan dengan matriks *grading* risiko dilakukan dengan menyusun unit-unit atau kegiatan ke dalam baris vertikal dan horizontal. Kemudian, secara kualitatif dilakukan penilaian risiko pada setiap jenis risiko yang tertuang pada kotak-kotak matriks. Penggunaan warna pada setiap jenis risiko membantu mengidentifikasi penilaian setiap risiko. Lihat Gambar 3 di bawah ini.

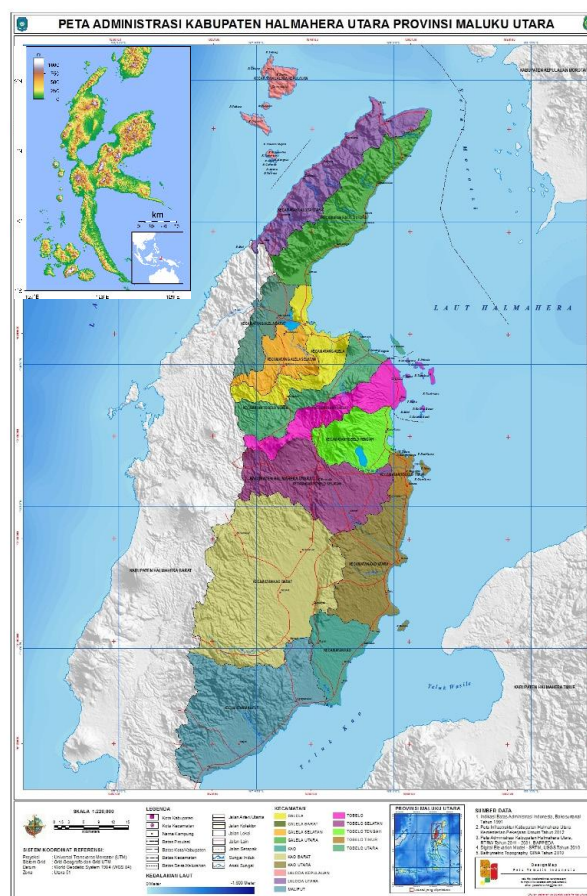
Likelihood	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Severe
Almost Certain	M	H	H	E	E
Likely	M	M	H	H	E
Possible	L	M	M	H	E
Unlikely	L	M	M	M	H
Rare	L	L	M	M	H

Gambar 3. Diagram matriks *grading* risiko

Keterangan gambar:

L : *Low*
M : *Moderate*
H : *High*
E : *Extreme*

Tinjauan Fisiografi Lokasi Penelitian

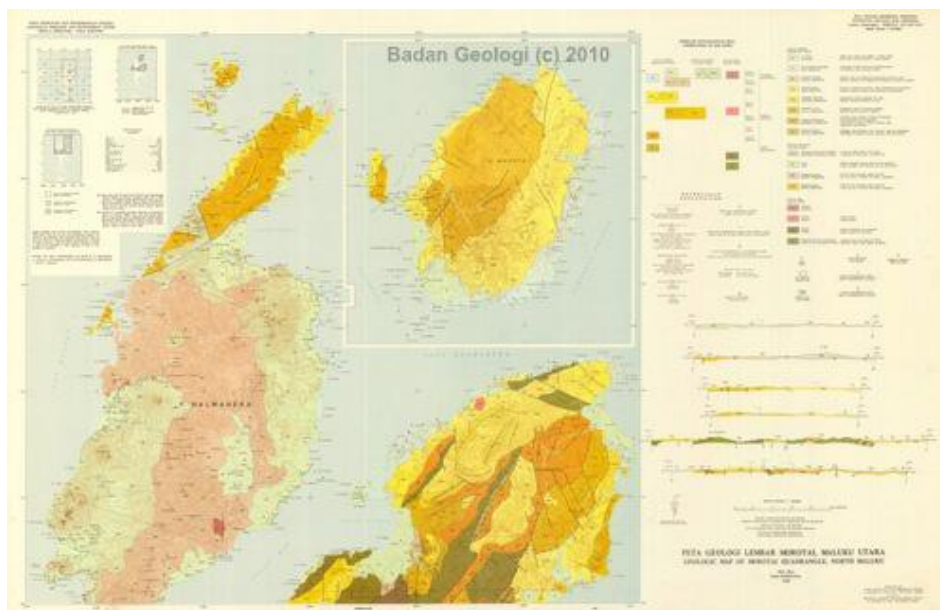


Gambar 4. Peta Administrasi Kabupaten Halmahera Utara
(sumber: <https://petatematikindo.files.wordpress.com/2014/08/administrasi-halmahera-utara-a1-1.jpg>)

Secara administrasi, potensi panas bumi berada di Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. Kabupaten ini berada di kawasan paling utara Pulau Halmahera dengan Selat Morotai di bagian utara. Pada bagian barat dan selatan berbatasan dengan Kabupaten Halmahera Barat. Di bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Halmahera Timur dan Laut Halmahera (BPS, Halmahera Utara dalam Angka, 2020).

Daerah potensi panas bumi di Halmahera Utara berada di Gunung Hamiding yang telah menjadi WKP. Kawasan potensial lainnya berada di Akelamo (Direktorat Panas Bumi, KESDM, Buku *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 2*, 2017). WKP Gunung Hamiding berada di daerah yang sangat jauh dengan jarak tempuh dari Kota Sidangoli (kota terdekat) sekitar 3–4,5 jam dengan kendaraan roda empat. Kawasan potensi panas bumi lainnya berada di Akelamo yang dapat ditempuh dari Pelabuhan Tobelo di Halmahera Utara.

WKP Gunung Hamiding sudah memiliki data-data potensi berdasarkan penyelidikan pendahuluan dengan metode geologi, geokimia, dan geofisika. Namun, pada kawasan potensi di Akelamo, belum memiliki data-data penyelidikan permukaan yang mencukupi untuk menjadi data-data awal suatu potensi panas bumi.



Gambar 5. Peta geologi daerah Halmahera Utara (Peta Geologi Lembar Morotai 1: 250.000, Supriatna (2010) Pusat Survei Geologi).

Secara tektonik, kawasan Maluku Utara dipengaruhi oleh lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia yang bertemu di wilayah Halmahera (Ballantyne, 1991). Pertemuan lempeng yang aktif ini menyebabkan muncul wilayah kegempaan cukup aktif serta deretan pulau-pulau busur gunungapi aktif (Condie, 2016; Lourenço et al., 2016; Nakagawa dan Spiegelman, 2017).

Secara fisiografi, Pulau Halmahera dibagi menjadi tiga bagian utama (Supriatna 1980), yaitu Mandala Fisiografi Halmahera Timur, Mandala Fisiografi Halmahera Barat, dan Busur Kepulauan Gunungapi Kuartar.

Mandala fisiografi Halmahera Timur, meliputi lengan timur laut dan lengan tenggara serta beberapa pulau kecil di sebelah timur Pulau Halmahera. Morfologi kawasan ini didominasi oleh perbukitan dengan lereng dan tebing yang terjal, lembah sungai yang dalam, serta sebagian memiliki morfologi karst. Kawasan karst ini berada pada perbukitan yang rendah dengan lereng yang relatif landai.

Morfologi fisiografi Halmahera Barat, meliputi kawasan utara dan lengan selatan Pulau Halmahera. Morfologi berupa perbukitan yang tersusun atas batuan sedimen dan batugamping. Pada beberapa bagian terdapat morfologi yang mencerminkan batuan vulkanik dari gunungapi yang berumur Oligosen.

Mandala busur kepulauan gunungapi kuartar meliputi pulau-pulau kecil di sebelah barat Pulau Halmahera. Deretan pulau-pulau ini membentuk busur kepulauan gunungapi kuartar yang pada bagian pulaunya masih memiliki morfologi kerucur gunungapi aktif.

ANALISIS

Faktor-faktor yang dapat diamati dalam Tabel 1 tentang analisis SWOT, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis SWOT Pengusahaan Panas Bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara

STRENGTH / KEKUATAN	WEAKNESS / KELEMAHAN
• Pendanaan eksplorasi berasal dari ekuitas • Pembelian listrik oleh PLN • Tidak pada wilayah penduduk yang padat • Dukungan dari pemerintah lokal • Tidak berada pada lokasi konservasi • Tersedianya PLTP untuk temperature medium • Berada pada area pengembangan panas bumi.	• Kurang datanya panas bumi di permukaan • Lokasi yang baru dan berada di daerah pedalaman • Perlu membangun aksesibilitas transportasi • Perlu membangun jaringan transmisi/distribusi untuk kapasitas 20 MW • Kondisi cuaca mempengaruhi penyuplaian logistik
OPPORTUNITY / PELUANG	THREAT / ANCAMAN
• Potensi sumber daya bisa lebih dari 265 MW (Buku Potensi <i>Panas Bumi Indonesia Jilid 2</i>) • Peluang dukungan pendanaan dari lembaga keuangan dunia (World Bank) • Peluang dukungan pendanaan untuk teknologi bersih dari ADB • Perdagangan karbon • Pertumbuhan industri	• Akuisisi lahan • Dinamika kebijakan dalam pengusahaan panas bumi, terutama untuk pemanfaatan listrik • Ketidakpastian dalam pelaksanaan lelang • Dinamika penawaran harga listrik PLN

Pada beberapa faktor yang diperoleh dari analisis SWOT, terdapat faktor-faktor di sisi *weakness* (kelemahan) dan *threat* (ancaman) yang perlu untuk dimitigasi. Hal itu dilakukan sebagai upaya pengurangan dan meminimalkan risiko.

Perhitungan CAPEX untuk kepentingan PLTP 20 MW dilakukan dengan memperhatikan faktor perolehan nilai tahun 2019, lokasi baru, kondisi temperatur yang medium, serta lama proyek selama 60 bulan. Jadi, diperoleh asumsi pembiayaan sebagai berikut:

Tabel 2. Asumsi perhitungan CAPEX untuk pendanaan proyek dengan waktu 60 bulan.

NO	AKTIVITAS	CAPEX (juta USD)
1	Eksplorasi (3G/6G geosaintis, infrastruktur dasar, dan 3 bor <i>slimholes</i>)	10
2	Perizinan dan studi kelayakan	2
3	Pengeboran <i>appraisal</i> (3 standard size holes @ 8 – 12 mill, rasio keberhasilan 70%, 10 MW) termasuk infrastrukturnya	24 – 36

NO	AKTIVITAS	CAPEX (juta USD)
4	Biaya pengembangan pada pemenuhan pembiayaan (<i>financial close</i>)	2
5	Lapangan uap	10 – 12
6	Pembangkit listrik	40 – 50
7	Sumur produksi	30
8	Sumur reinjeksi	14
9	Biaya manajemen proyek dari pemenuhan pembiayaan (<i>financial close</i>) hingga produksi komersial	5 – 10
	SUB TOTAL	137 – 166
	Biaya Satuan (juta USD / MW) (tanpa kontijensi, biaya pendanaan, dan bunga)	6,8 – 8,3
10	Termasuk kontijensi	Sekitar 10%
11	Termasuk biaya pendanaan dan bunga	Sekitar 10%
	TOTAL	180 – 219
	Biaya Satuan (juta USD / MW)	9,0 – 11,0

Berdasarkan Tabel 2 di atas maka pembiayaan termasuk ke dalam faktor risiko yang perlu untuk dilakukan mitigasi risiko. Melihat nilai pendanaan yang begitu besar maka perlu dilakukan upaya-upaya mitigasi untuk mengantisipasi risiko terhadap pembiayaan perusahaan panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara.

Identifikasi risiko dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan pendekatan matriks *grading* risiko. Matriks ini akan memetakan tingkat risiko masing-masing faktor yang dianggap memiliki risiko pada tabel analisa SWOT di tabel 1 dan berdasarkan tabel asumsi besaran pembiayaan perusahaan pada Tabel 2. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini yang menunjukkan penilaian risiko dari setiap faktor.

Tabel 3. Faktor-Faktor dan Penilaian Risiko

RISIKO	KETERANGAN	PROBABILITAS/SEVERITY
Ketersediaan data sumber daya	Kualitas data, masih perlu diuji	High / High
Penilaian sumber daya	Masih perlu tambahan data untuk keyakinan ukuran dan tipe sumber daya	High / High
Ekonomi	Keberadaan kompetitor dan kelangsungan pendanaan	High / Medium
Sosial	Permasalahan alih fungsi lahan (akuisisi)	Medium / High
Lingkungan hidup	Kontaminasi terhadap sumber air masyarakat dan kerusakan pada lingkungan hidup	Medium / High

PEMBAHASAN

Berdasarkan tingkat risiko yang tinggi (*high*) sampai dengan sedang (*medium*), diperlukan upaya-upaya mitigasi untuk pengurangan risiko tersebut. Risiko dengan tingkat tinggi (*high*), sangat mungkin diturunkan sampai dengan tingkat rendah (*low*). Hal itu dapat dilakukan dengan upaya mitigasi, seperti terlihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Upaya Mitigasi Setiap Risiko

RISIKO	MITIGASI	PROBABILITAS/SEVERITY
Ketersediaan data sumber daya	Melakukan survei 3G/6G dengan sumber daya manusia yang kompeten dan sarana memadai. Selain itu, data yang diproses menggunakan metode yang telah teruji dan banyak digunakan dalam pendugaan sumber daya/cadangan panas bumi.	Low
Penilaian sumber daya	Penilaian sumber daya menggunakan pelaporan Standar Nasional Indonesia dan <i>Australian Geothermal Reporting Code</i>	Low
Ekonomi	Menyusun pelaporan pendanaan yang baik dan program kerja menarik dan efektif dengan menggunakan <i>financial project engineering</i> .	Medium
Sosial	Sosialisasi perusahaan panas bumi dengan melibatkan akademisi dan tokoh informal lokal serta melibatkan dalam kegiatan proyek panas bumi.	Low
Lingkungan hidup	Menggunakan fasilitas penanganan limbah domestik dan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dengan melakukan asesmen lingkungan hidup pada setiap buangan dari kegiatan proyek panas bumi.	Low

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Risiko yang timbul pada setiap faktor dalam perusahaan panas bumi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, terdiri dari faktor ketersediaan dan data sumber daya panas bumi (risiko *high/high*), faktor penilaian sumber daya (risiko *high/high*), faktor ekonomi (risiko *high medium*), faktor sosial (risiko *high medium*), serta faktor lingkungan hidup (risiko *high medium*).
2. Upaya-upaya mitigasi yang dilakukan pada setiap faktor akan mengurangi risiko sampai pada tingkat sedang (*medium*) dan rendah (*low*). Pada faktor ketersediaan dan data sumber daya dengan upaya mitigasi dapat menekan risiko sampai pada tingkat rendah (*low*). Upaya mitigasi yang dilakukan pada faktor penilaian sumber daya, dapat mengurangi risiko ke tingkat

rendah (*low*). Pada faktor ekonomi, upaya mitigasi dapat menekan risiko pada tingkat sedang (*medium*). Upaya mitigasi yang dilakukan pada faktor sosial dan lingkungan hidup dapat mengurangi risiko pada tingkat rendah (*low*).

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Halmahera Utara. (2020). *Kabupaten Halmahera Utara dalam angka 2020*. Halmahera Utara: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Ballantyne, P. (1991). Petrological constraints upon the provenance and genesis of the East Halmahera Ophiolite. *J. Southeast Asian Earth Sci.*, Orogenesis in Action Tectonics and Processes at the West Equatorial Pacific Margin 6, 259–269. doi:10.1016/0743-9547 (91) 90072-6.d
- Condie, K.C. (2016). A planet in transition: the onset of plate tectonics on earth between 3 and 2 Ga. *Geosci. Front.* doi:10.1016/j.gsf.2016.09.001.
- Direktorat Panas Bumi. (2017). *Buku potensi panas bumi Indonesia jilid 2*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- ESMAP. (2012). *Geothermal handbook: planning and financing power generation*. Technical Report 002/012. Washington: The World Bank.
- ESMAP. (2016) *Comparative analysis of approaches to geothermal resource risk mitigation: a global survey*. Washington: The World Bank.
- Ginting, A.M. (2014, Desember). Dinamika kebijakan dan penentuan tarif listrik panas bumi: studi kasus PLTP Sibayak. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*. Vol. 5 No. 2, p. 211–224.
- Hasiah, Arsyad, M., & Sukriah (2016, Desember). Desain model matriks penilaian risiko (risk assessment) dalam perencanaan audit umum (Studi pada satuan pengawas internal [SPI], bagian keuangan dan bagian pengadaan barang dan jasa politeknik negeri Ujung Pandang). *Jurnal Ilmiah Akuntansi dan Keuangan (INFAK)*. Vol. 3 No. 1. p. 42–60.
- Khadijah, N.S. (2017, Agustus). Analisis pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) melalui insentif fiskal dalam mendukung ketahanan energi Indonesia. *Jurnal Ketahanan Energi*. Vol. 3 No. 2. p. 29–45.
- Kloman, H.F. & Seawrack. (2000). Press Inc. review against the Gods: the remarkable story of risk by Peter Bernstein. *Risk Management Reports*. Vol. 27.
- Lourenço, D.L., Rozel, A., & Tackley, P.J. (2016). Melting-induced crustal production helps plate tectonics on earth-like planets. *Earth Planet. Sci. Lett.* 439. 18–28. doi:10.1016/j.epsl.2016.01.024.
- Masinu, A.L., Yustesia, A., & Suwardi. (2018, Januari). Sistem tektonik dan implikasinya terhadap gempa bumi di Pulau Halmahera. *Jurnal Pendidikan Geografi*. Tahun 23 No. 1, p. 20–29.
- Mujiastono, Dody M., & Gustiawan W. (2019, September 1). Penggunaan model risk control matrix dalam pelaksanaan audit. *Jurnal Pengawasan*, Vol.1 No.1. p. 10–17.
- Nakagawa, T., & Spiegelman, M.W. (2017). Global scale water circulation in the earth's mantle: implications for the mantle water budget in the early earth. *Earth Planet. Sci. Lett.* 464. 189–199. doi:10.1016/j.epsl.2017.02.010.

- Petatematikindo.wordpress.com. (2014, Agustus 18). *Administrasi Kabupaten Halhamera Utara*. (Diakses 29 November 2020), dari <https://petatematikindo.files.wordpress.com/2014/08/administrasi-halmahera-utara-a1-1.jpg>
- Rangkuti, F. (2014). *Teknik membedah kasus bisnis analisis SWOT*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Supriatna. (2010). *Peta geologi lembar Morotai 1:250.000*. Bandung: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.