



LAPORAN

Pengembangan Energi Angin Proyek 92 MW di Dairi, Sumatra Utara 2024

Dokumen ini dibuat sebagai bagian dari Proyek 'Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan' oleh Southeast Asia Energy Transition Partnership (ETP)



Pondera

Kantor Pusat Belanda
Amsterdamseweg 13
6814 CM Arnhem
088 – pondera (088-7663372)
info@ponderaconsult.com

Mailbox 919
6800 AX Arnhem

Kantor Asia Tenggara
Jl. Mampang Prapatan XV no 18
Mampang
Jakarta Selatan 12790
Indonesia

Kantor Asia Timur Laut
Suite 1718, Officia Building 92
Saemunan-ro, Jongno-gu
Provinsi Seoul
Republik Korea Selatan

Kantor Vietnam
7th Floor, Serepok Building
56 Nguyen Dinh Chieu Street, Da Kao Ward,
District 1 Ho Chi Minh City
Vietnam

Halaman Judul

Jenis Dokumen
Prospektus PLTB

Nama proyek
Dairi, Sumatra Utara – 92 MW

Nomor versi
V5.0

Tanggal
31 Agustus 2024

Klien
UNOPS – ETP

Penulis
Pondera, Witteveen+Bos, BITA, dan Quadran

Diperiksa oleh
ETP

Sanggahan

Informasi yang diberikan dalam dokumen ini diberikan "sebagaimana adanya", tanpa jaminan dalam bentuk apa pun, baik tersurat maupun tersirat, termasuk, tanpa batasan, jaminan kelayakan untuk diperdagangkan, kesesuaian untuk tujuan tertentu, dan tidak adanya pelanggaran. UNOPS secara khusus tidak memberikan jaminan atau pernyataan apa pun mengenai keakuratan atau kelengkapan informasi tersebut. Dalam keadaan apa pun, UNOPS tidak akan bertanggung jawab atas segala kerugian, kerusakan, kewajiban, atau biaya yang dikeluarkan atau diderita yang diklaim sebagai akibat dari penggunaan informasi yang terdapat di sini, termasuk, tanpa batasan, segala kesalahan, kekeliruan, kelalaian, gangguan, atau penundaan sehubungan dengan hal tersebut. Dalam keadaan apa pun, termasuk namun tidak terbatas pada kelalaian, UNOPS atau afiliasinya tidak akan bertanggung jawab atas segala kerusakan langsung, tidak langsung, insidental, khusus, atau konsekuensial, meskipun UNOPS telah diberitahu tentang kemungkinan kerusakan tersebut. Dokumen ini juga dapat berisi saran, pendapat, dan pernyataan dari dan dari berbagai penyedia informasi. UNOPS tidak menyatakan atau mendukung keakuratan atau keandalan saran, pendapat, pernyataan, atau informasi lain yang diberikan oleh penyedia informasi mana pun. Ketergantungan pada saran, pendapat, pernyataan, atau informasi lain tersebut juga menjadi risiko pembaca sendiri. Baik UNOPS maupun afiliasinya, maupun agen, karyawan, penyedia informasi, atau penyedia konten masing-masing, tidak bertanggung jawab kepada pembaca atau siapa pun atas ketidakakuratan, kesalahan, kelalaian, gangguan, penghapusan, cacat, perubahan, atau penggunaan konten apa pun di sini, atau atas ketepatan waktu atau kelengkapannya.



Daftar Isi

1	Pendahuluan Prospektus PLTB 1	
2	Analisis dari PLTB Dairi, Sumatra Utara – 92 MW 2	
2.1	Pengenalan lokasi PLTB _____	2
2.1.1	Lokasi geografis	2
2.1.2	Status dalam RUPTL PLN 2021-2030	3
2.1.3	Status pengembangan	5
2.2	Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan _____	6
2.2.1	Pendekatan	6
2.2.2	Sumber daya dan karakteristik angin	7
2.2.3	Topografi	10
2.2.4	Penggunaan lahan	11
2.2.5	Persyaratan perizinan khusus	12
2.2.6	Area WTG final	13
2.3	Tata letak awal PLTB _____	14
2.4	Aksesibilitas PLTB _____	15
2.4.1	Keadaan transportasi Indonesia	15
2.4.2	Transportasi pelabuhan ke lokasi	16
2.4.3	Transportasi di dalam lokasi	20
2.5	Geologi dan kegempaan _____	22
2.5.1	Geologi	23
2.5.2	Kegempaan	24
2.6	Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan _____	26
2.6.1	Kesan umum	26
2.6.2	Keanekaragaman hayati dan dampak lingkungan	28
2.6.3	Dampak sosial	30
2.7	Desain jaringan transmisi _____	36
2.7.1	Titik koneksi	36
2.7.2	Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi	37
2.8	Asesmen keluaran energi _____	38
2.8.1	Rugi-rugi energi	39
2.8.2	Keluaran energi termasuk ketidakpastian	42
2.8.3	Variasi keluaran daya	42
2.9	Asesmen kasus bisnis _____	43
2.9.1	Asumsi komponen	43
2.9.2	Asumsi biaya	47
2.9.3	Parameter keuangan	48
2.9.4	Hasil asesmen kasus bisnis	49
3	Kesimpulan dan Rekomendasi 50	
4	Sanggahan 53	



Daftar Gambar

Gambar 1. Peta Provinsi Sumatera Utara di mana area PLTB Dairi yang dibayangkan berada.	2
Gambar 2. Peta sistem kelistrikan Sumatera Utara di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).	4
Gambar 3. Proyeksi produksi listrik dan beban puncak di Sumatera Utara (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).	4
Gambar 4. Kapasitas pembangkit tambahan yang direncanakan untuk Sumatera Utara (IPP: <i>Independent Power Producer</i> ; Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)	5
Gambar 5. Area pencarian di Dairi dengan sebaran kecepatan angin. Kotak pembatas putus-putus berwarna ungu menunjukkan seluruh area pencarian. Bilah warna menunjukkan kecepatan angin rata-rata di atas 6 m / s pada ketinggian 100 m menurut klimatologi <i>Global Wind Atlas</i> (GWA).	7
Gambar 6. Tampilan yang diperbesar pada area pencarian di Dairi, dengan fokus di Kabupaten Dairi, beserta dengan sebaran kecepatan angin. Poligon dengan arsir berwarna merah mewakili area WTG akhir yang memenuhi semua kriteria. Kecepatan angin rata-rata di atas ambang batas 6 m/s pada ketinggian 100 m ditampilkan berdasarkan GWA.	8
Gambar 7. Diagram mawar angin dengan arah angin dan kategori kecepatan angin berdasarkan klimatologi 10 tahun, termasuk seri waktu data per jam tahun 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.	9
Gambar 8. Sebaran kecepatan angin sepanjang hari, divisualisasikan per bulan dalam setahun. Berdasarkan klimatologi 10 tahun, termasuk seri waktu dari data per jam 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.	9
Gambar 9. Topografi area WTG Dairi, menunjukkan kemiringan (dalam derajat; menurut perhitungan berdasarkan data FABDEM) di wilayah tersebut.	10
Gambar 10. Zona pengecualian di wilayah Dairi berdasarkan penggunaan lahan, topografi, dan kawasan pemukiman. Sumber: perhitungan berdasarkan elevasi FABDEM, ESRI, dan OSM.	11
Gambar 11. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Dairi (RTRW 2014-2034) ditumpuk dengan area WTG final di kabupaten tersebut.	12
Gambar 12. Area WTG akhir berdasarkan kriteria pembatasan. Sumber: Google Satellite Images.	13
Gambar 13. Tata letak awal PLTB di area WTG final.	14
Gambar 14. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udara dan telekomunikasi dengan tiang di kedua sisi jalan. Bangunan-bangunan berada dalam jarak yang dekat. Di dalam kota dan kota yang lebih besar, jalan pada umumnya sedikit lebih lebar, namun dengan lebih banyak kabel udara, tiang, dan papan reklame.	15
Gambar 15. Citra satelit Pelabuhan Belawan di Medan.	16
Gambar 16. Rute dari Medan (A) ke titik akses lokasi (B).	17
Gambar 17. Profil jalan Medan (A) ke lokasi (B).	17
Gambar 18. Satu-satunya tikungan tajam di rute yang belum diperlebar.	18
Gambar 19. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Bandar Baru. Jalanan di tikungan tajam ini telah diperlebar secara signifikan.	18
Gambar 20. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Merek. Jalan dalam kondisi buruk, dan beberapa tanah longsor baru-baru ini diamati.	19
Gambar 21. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Merek. Jalan ini dalam kondisi yang lebih buruk daripada daerah lainnya dan memiliki kemiringan curam di satu sisi jalan.	19
Gambar 22. Contoh jembatan baja (kiri) dan jembatan beton (kanan).	20
Gambar 23. Jalan utama Medan-Sidikalang (kiri) dan jalan layanan PLN di dalam area lokasi proyek (kanan).	20



Gambar 24. Tata letak jalan awal. _____	21
Gambar 25. Kondisi kemiringan dengan penyesuaian jalan. Semua jalan dan platform dapat dibangun di dataran yang relatif datar (<15 derajat). _____	22
Gambar 26. Singkapan di samping jalan layanan. Sedimen digali oleh derek untuk konstruksi jalan. Lebar singkapan pada gambar adalah ~3 m. _____	23
Gambar 27. Indeks kerentanan pergerakan tanah untuk Dairi. _____	23
Gambar 28. Lokasi umum sistem Sesar Besar Sumatra, membentang di sepanjang pulau. _____	24
Gambar 29. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Dairi. _____	25
Gambar 30. Kesan lokasi. Tepi kaldera dengan hutan lebat. Sebuah jalan layanan kecil dari pembangkit listrik tenaga air melewatinya, yang dapat dilihat di foto ini sebagai bukaan di kanopi. ____	26
Gambar 31. Tepian kaldera yang berhutan lebat. Di tengahnya terlihat jalan menuju Medan, di ujung kanan dan kiri terlihat beberapa kabel listrik. Hutan di bawah jaringan listrik telah ditebang. _____	27
Gambar 32. Kompleks PLTA Lau Renun, bagian dari PLTA. Turbinnya sendiri terletak di danau. ____	27
Gambar 33. Daerah di mana flora dan fauna yang disebutkan di atas telah diamati (meliputi lokasi PLTB yang dibayangkan). _____	29
Gambar 34. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2022). Area di sekitar PLTB sebagian besar ditutupi oleh hutan dan semak belukar. Membandingkan data dengan citra satelit yang sebenarnya, beberapa lahan pertanian tandus antara desa Paropo dan turbin diidentifikasi sebagai bangunan. _____	31
Gambar 35. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Kabupaten Dairi dari tahun 2021 hingga 2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Dairi (bps.go.id)). _____	32
Gambar 36. Piramida penduduk di Kabupaten Dairi tahun 2018 (Sumber: Statistik Kabupaten Dairi (bps.go.id)). _____	32
Gambar 37. Lokasi Gardu Induk PLN (ULTG) Sidikalang 150 kV. Sumber: Google Maps. _____	37
Gambar 38. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Dairi yang dibayangkan. ____	37
Gambar 39. Representasi skematis dari posisi saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu induk Sidikalang. _____	37
Gambar 40. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dari model ASPIRE pada ketinggian 140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbatas hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna di dalam lingkaran menunjukkan kecepatan angin rata-rata jangka panjang masing-masing. _____	38
Gambar 41. Gambaran umum variasi bulanan dari keluaran daya rata-rata PLTB per jam dalam sehari berdasarkan nilai P50 dari Subbagian 2.8.2 dalam kombinasi dengan variasi bulanan dan per jam dalam kecepatan angin dari EMD-WRF (lihat juga Gambar 8). _____	43
Gambar 42. Lokasi tiang pengukuran meteorologis dan LIDAR yang direkomendasikan. _____	50



Daftar Tabel

Tabel 1. Daftar fauna yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN	29
Tabel 2. Daftar flora yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN	29
Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Dairi pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS Kabupaten Dairi).	33
Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Dairi pada tahun 2023 (Sumber: BPS Kabupaten Dairi).	33
Tabel 5. Angka Partisipasi Murni di Kabupaten Dairi pada tahun 2022-2023 (Sumber: BPS Kabupaten Dairi (bps.go.id)).	34
Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Dairi tahun 2023-2024 (Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024).	34
Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Dairi pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS Kabupaten Dairi (bps.go.id)).	36
Tabel 8. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB	39
Tabel 9. Keluaran energi untuk semua 23 WTG di PLTB Dairi.	42
Tabel 10. Kuantitas turbin angin relevan untuk PLTB Dairi yang dibayangkan.	44
Tabel 11. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.	45
Tabel 12. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan.	46
Tabel 13. Asumsi biaya per komponen biaya.	48
Tabel 14. Hasil asesmen kasus bisnis.	49



1 Pendahuluan Prospektus PLTB

Prospektus PLTB ini merupakan salah satu hasil keluaran dalam proyek berjudul *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Proyek ini diprakarsai oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (KESDM), dikelola oleh Southeast Asia Energy Transition Partnership (ETP), dan diselenggarakan oleh United Nations Office for Project Services (UNOPS). ETP adalah kemitraan multi-donor yang dibentuk oleh mitra pemerintah dan filantropi untuk mempercepat transisi energi berkelanjutan di Asia Tenggara sejalan dengan Persetujuan Paris dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. UNOPS adalah pengelola dana dan tuan rumah Sekretariat ETP.

Delapan lokasi PLTB potensial di Pulau Jawa dan Sumatra telah dinilai kelayakan tekno-ekonominya. Lokasi tersebut adalah Aceh Besar (Aceh), Dairi (Sumatra Utara), Gunung Kidul (DI Yogyakarta), Kediri (Jawa Timur), Padang Lawas Utara – Tapanuli Selatan (Sumatra Utara), Ponorogo (Jawa Timur), Probolinggo – Lumajang (Jawa Timur), dan Ciracap (Jawa Barat). Temuan-temuan dari penelitian ini dikonsolidasikan dalam prospektus PLTB per lokasi, di mana dokumen ini dibuat untuk PLTB Dairi. Dalam setiap prospektus, hal-hal berikut disertakan:

Bagian 2.1: Pengenalan lokasi

- Lokasi geografis
- Penyebutan dalam Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2021-2030 dan status pengembangan saat ini

Bagian 2.2: Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan

- Karakteristik angin di area yang dibayangkan
- Topografi di area yang dibayangkan
- Penggunaan lahan di area yang dibayangkan, termasuk persyaratan perizinan
- Kesimpulan tentang batas-batas area PLTB yang dibayangkan

Bagian 2.3: Desain tata letak awal PLTB

Bagian 2.4: Aksesibilitas

- Transportasi ke PLTB, termasuk penyesuaian jalan dan pembangunan infrastruktur baru yang diperlukan
- Transportasi di dalam lokasi, termasuk penyesuaian jalan dan pembangunan infrastruktur baru yang diperlukan

Bagian 2.5: Kondisi geologi dan kegempaan

Bagian 2.6: Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan

Bagian 2.7: Desain jaringan transmisi

- Pemilihan titik koneksi di jaringan PLN
- Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi

Bagian 2.8: Asesmen keluaran energi, berdasarkan ketersediaan sumber daya angin dan tata letak awal PLTB

Bagian 2.9: Asesmen kasus bisnis, berdasarkan biaya PLTB dan keluaran energi

Bagian 3: Kesimpulan keseluruhan tentang kelayakan tekno-ekonomi PLTB dan rekomendasi langkah selanjutnya dalam pengembangan PLTB

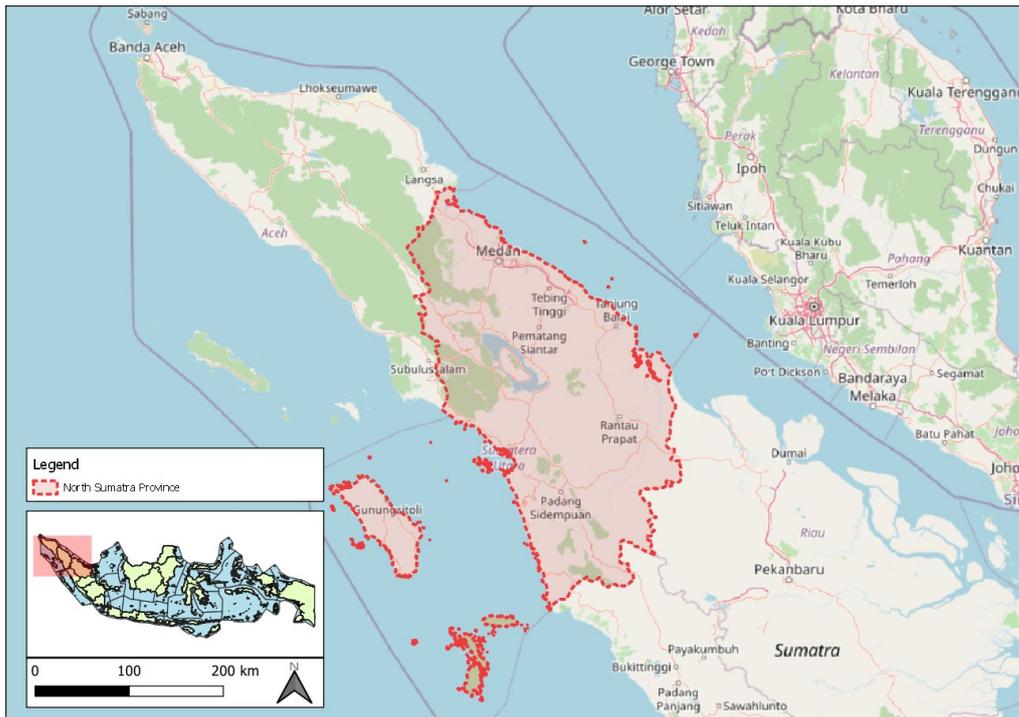


2 Analisis dari PLTB Dairi, Sumatra Utara – 92 MW

2.1 Pengenalan lokasi PLTB

Bagian ini memperkenalkan lokasi PLTB, yaitu Sumatra Utara (Dairi) dalam tiga bagian: (1) lokasi geografis, (2) status dalam RUPTL, dan (3) status pengembangan.

2.1.1 Lokasi geografis



Gambar 1. Peta Provinsi Sumatra Utara di mana area PLTB Dairi yang dibayangkan berada.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, Sumatra Utara adalah sebuah provinsi yang terletak di dekat ujung barat laut Pulau Sumatra, yang berada di Indonesia bagian barat. Ada tiga provinsi yang bersebelahan dengan Sumatra Utara, yaitu, DI Aceh, Riau, dan Sumatra Barat. Provinsi Sumatra Utara memiliki luas wilayah 72.981 km² yang dihuni oleh sekitar 15,1 juta orang pada tahun 2022¹ yang menjadikannya provinsi terpadat keempat di Indonesia. Provinsi ini berada di peringkat ke-14 berdasarkan PDB (Produk Domestik Bruto/GDP) per kapita provinsi yang jumlahnya Rp 63,19 juta². Selain itu, pertumbuhan ekonomi provinsi ini adalah 5,01% pada tahun 2023 (c-to-c)³. Untuk memberikan konteks, pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun tersebut adalah 5,05% (c-to-c)⁴.

¹ <https://sumut.bps.go.id/statictable/2023/03/10/2929/jumlah-penduduk-menurut-jenis-kelamin-rasio-jenis-kelamin-dan-kabupaten-kota-jiwa-2022.html>

² <https://www.statista.com/statistics/1423411/indonesia-per-capita-gdp-at-current-prices-of-provinces/>

³ <https://sumut.bps.go.id/pressrelease/2024/02/05/1212/ekonomi-sumatera-utara-tahun-2023-tumbuh-sebesar-5-01-persen--c-to-c-.html>

⁴ <https://www.bps.go.id/en/pressrelease/2024/02/05/2379/indonesias-gdp-growth-rate-in-q4-2023-was-5-04-percent-y-on-y-.html>



Sumatra Utara dikenal antara lain dengan ekowisata, pertanian, dan industrinya. Salah satu tujuan wisata yang terkenal adalah Danau Toba, sebuah danau kawah alam yang sangat besar dengan sebuah pulau besar (yaitu Pulau Samosir) di tengahnya. Sementara itu, produk pertanian utama dari Sumatra Utara meliputi kopi, karet, dan kelapa sawit.

Ada dua kawasan industri di Sumatra Utara⁵, yaitu, Kawasan Industri Medan (1.000 ha) dan Kawasan Industri Medan Star (103 ha). Kawasan industri lainnya adalah Kuala Tanjung Industrial Estate (3.400 ha) yang masih dalam pembangunan. Lokasinya yang strategis di Selat Malaka, kawasan tersebut akan berada di sekitar Pelabuhan Kuala Tanjung, yang diharapkan menjadi hub internasional untuk wilayah Indonesia bagian barat⁶. Barang-barang yang akan diproduksi di Kawasan ini antara lain adalah minyak kelapa sawit, baja, aluminium, semen, makanan, dan produk karet.

Sementara itu, ada satu kawasan ekonomi khusus (KEK) di provinsi ini yaitu KEK Sei Mangkei (2.002 ha)⁵. KEK tersebut berada di tenggara Medan dan diresmikan pada tahun 2015 untuk memfasilitasi kegiatan industri memproduksi minyak sawit dan karet yang berkualitas internasional⁷.

Dalam Lampiran E RUPTL PLN 2021-2030, PLN mencantumkan strategi untuk memenuhi kebutuhan listrik baru/tambahan dari empat konsumen listrik 'besar' di Sumatra Utara, yaitu:

- KEK Sei Mangkei (23,28 MW pada tahun 2025⁸)
- Kawasan Industri Kuala Tanjung (18 MVA pada tahun 2022)
- Destinasi Wisata Super Prioritas Danau Toba (25,87 MW)⁹

Subbagian berikutnya akan menjelaskan proyeksi tingkat permintaan tenaga listrik di provinsi terkait, yang antara lain mempertimbangkan permintaan masa mendatang dari konsumen tersebut di atas.

Lokasi PLTB yang dipertimbangkan terletak di Kabupaten Dairi, di ujung barat laut Danau Toba.

2.1.2 Status dalam RUPTL PLN 2021-2030

Gambar 2 menggambarkan sistem kelistrikan Sumatra Utara. Sistem ini terdiri dari pulau utama (jalur transmisi 150 kV dan 275 kV) dan Pulau Nias (jalur transmisi 70 kV). Menurut RUPTL PLN 2021-2030, beban puncak provinsi ini pada tahun 2020 sebesar 1.883 MW pada tahun 2021-2030. Tingkat produksi energi dan beban puncak di provinsi tersebut diproyeksikan akan terus meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Proyeksi ini didasarkan pada asumsi bahwa tingkat pertumbuhan permintaan rata-rata akan menjadi 5,5% per tahun.

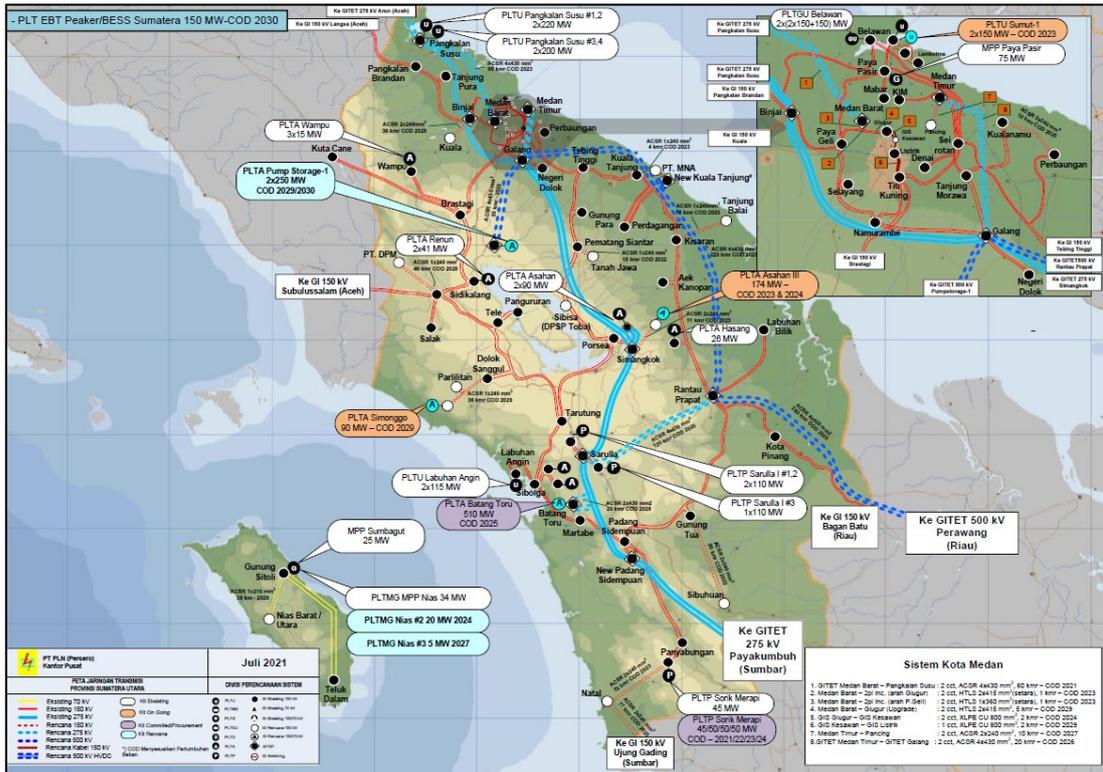
⁵ <https://regionalinvestment.bkpm.go.id/pir/kawasan-industri-kek/>

⁶ <https://northsumatrainvest.id/en/investment-project/kuala-tanjung-industrial-estate>

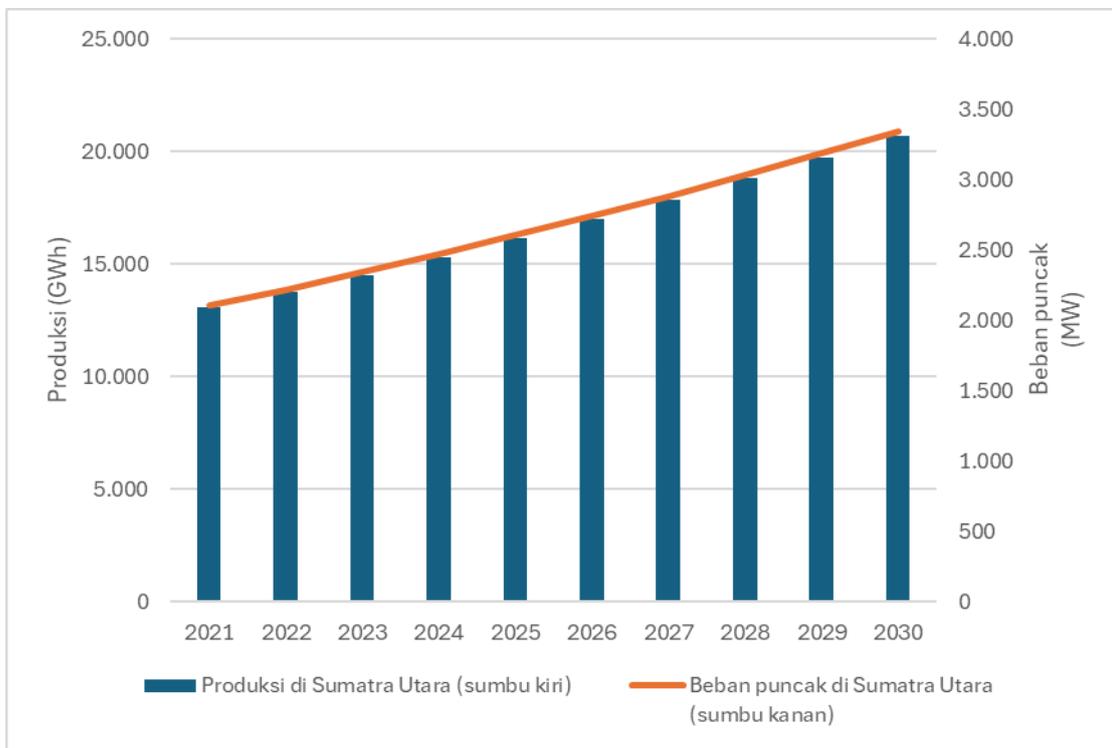
⁷ <https://www.seimangkeisez.com/en/>

⁸ <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2022/05/siap-sambut-investor-pln-perkuat-keandalan-kelistrikan-di-kek-sei-mangkei/>

⁹ <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2022/12/pakai-rec-pln-danau-toba-jadi-destinasi-pariwisata-berbasis-energi-hijau-pertama-di-indonesia/>



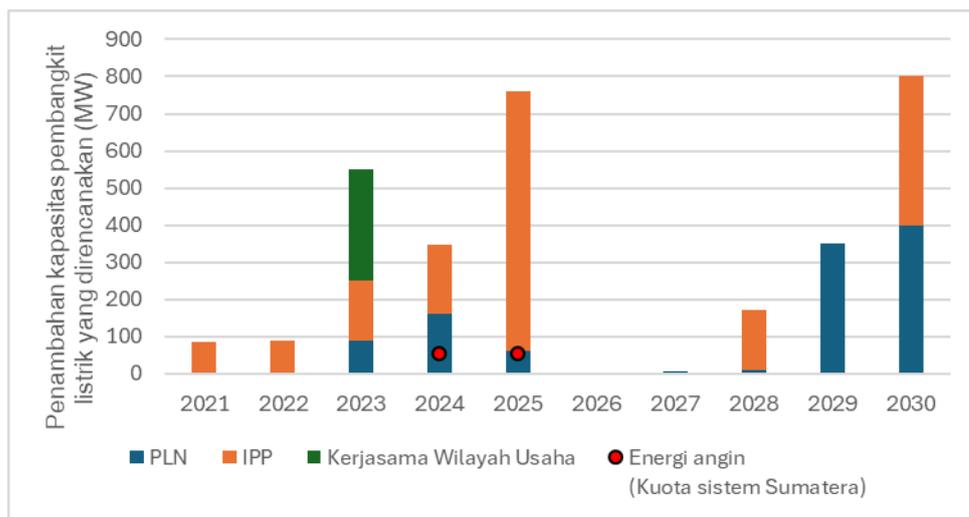
Gambar 2. Peta sistem kelistrikan Sumatra Utara di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).



Gambar 3. Proyeksi produksi listrik dan beban puncak di Sumatra Utara (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).



Ringkasan perencanaan pembangunan pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar ini mencakup pembangkit listrik energi konvensional dan terbarukan. Pembangkit listrik tambahan dikategorikan menjadi tiga sumber, yaitu, PLN, *Independent Power Producer* (IPP), dan kerja sama Wilayah Usaha. Selain itu, pengembangan energi angin dialokasikan masing-masing 55 MW untuk tahun 2024 dan 2025 dengan total 110 MW. Perlu dicatat bahwa alokasi tersebut berlaku untuk seluruh sistem Sumatra (termasuk provinsi lainnya). Selain alokasi ini, RUPTL juga mengidentifikasi 88 MW potensi tenaga angin di Sumatra Utara.



Gambar 4. Kapasitas pembangkit tambahan yang direncanakan untuk Sumatra Utara (IPP: *Independent Power Producer*; Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)

2.1.3 Status pengembangan

Sepengetahuan kami, tidak ada pengembangan yang sedang berlangsung untuk energi angin di Sumatra Utara. Selama misi dagang Kerajaan Belanda ke Sumatra Utara pada awal 2022, seorang perwakilan dari Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatra Utara menyebutkan bahwa angin di provinsi tersebut memiliki kecepatan yang relatif tidak stabil dengan arah yang tidak konsisten sesuai data yang ada. Oleh karena itu, studi kelayakan diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang karakteristik angin dan potensinya.



2.2 Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan

2.2.1 Pendekatan

Untuk menentukan lokasi di mana turbin angin dapat ditempatkan, salah satu faktor terpenting yang perlu dipertimbangkan adalah kecepatan angin. Faktor ini sangat menentukan batas-batas yang dibayangkan dari lokasi yang cocok untuk pembangunan generator turbin angin (yaitu area *Wind Turbine Generator*/WTG). Dalam proses selanjutnya, faktor-faktor tambahan dipertimbangkan, yang mengarah ke area WTG final. Bagian ini memberikan gambaran singkat tentang faktor-faktor yang telah menghasilkan area WTG final. Data yang digunakan untuk membentuk area WTG didasarkan pada informasi geografis sumber terbuka. Pemeriksaan lapangan tambahan telah menunjukkan bahwa data sumber terbuka memberikan tingkat detail yang cukup dalam fase proyek ini.

Pemilihan area WTG untuk lokasi ini dimulai dengan mengidentifikasi area dengan kecepatan angin rata-rata di atas 6 m/s pada ketinggian 100 m. Proses penyaringan awal ini menggunakan data kecepatan angin diikuti dengan dimasukkannya parameter lebih lanjut, termasuk penggunaan lahan (jalan, jalur kereta api, daerah pemukiman dan bangunan) dan topografi (lereng/kemiringan). Selain itu, risiko vulkanik dan seismik kemudian dipertimbangkan dalam Bagian 2.5. Ringkasnya, rangkaian kriteria pembatasan pertama yang diterapkan dalam pemilihan area WTG adalah sebagai berikut:

- Kecepatan angin (> 6 m/s)
- Kemiringan (< 15 derajat, dengan penyangga 100 m di sekitar punggung bukit curam)
- Jalan (dengan penyangga 150 m)
- Jalur kereta api (dengan penyangga 150 m)
- Kawasan pemukiman dan bangunan (dengan penyangga 250 m)

Langkah selanjutnya adalah mempertimbangkan "*go / no-go zones*." Sesuai dengan namanya, kategori zona ini menunjukkan apakah suatu kawasan tertentu dapat mengakomodasi pengembangan PLTB tanpa batasan/kondisi signifikan yang harus dipenuhi (*go zone*), dapat mengakomodasi pengembangan PLTB dengan batasan/ketentuan signifikan yang harus dipenuhi (*go zone* dengan batasan), atau tidak dapat mengakomodasi pengembangan PLTB (*no-go zone*). Zona ini ditentukan dengan mempertimbangkan penggunaan lahan, yaitu keberadaan cagar alam, kawasan lindung, dan bandara, serta jalur perairan dan badan air, berdasarkan *OpenStreetMap* (OSM). Selain itu, kebijakan yang ada (misalnya rencana tata ruang wilayah) dan peraturan (misalnya tentang perizinan) khusus untuk wilayah tersebut juga dipertimbangkan.

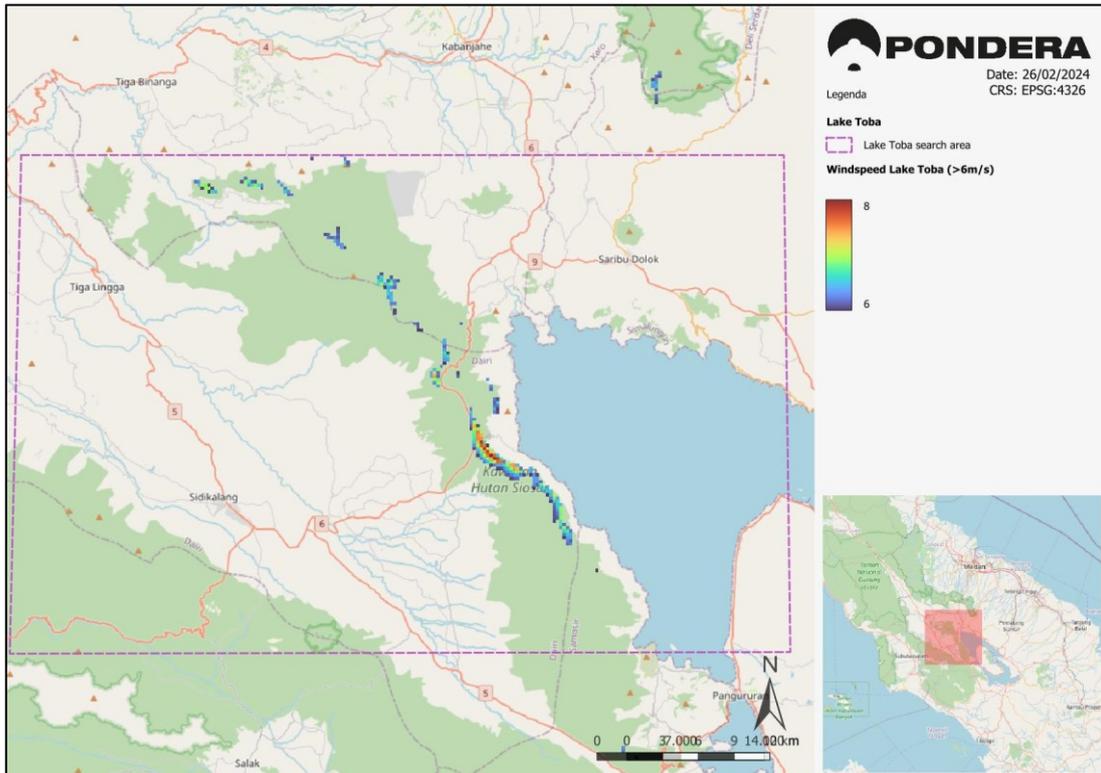
Jarak penyangga tertentu diterapkan pada setiap kasus untuk meminimalkan risiko yang memungkinkan gangguan, masalah keselamatan, dan konflik penggunaan lahan. Langkah ini menghasilkan area WTG final. Kriteria pembatasan kedua yang diperiksa meliputi:

- Cagar alam dan kawasan lindung (dengan penyangga 300 m)
- Bandara (dengan penyangga 3.000 m)
- Jalur perairan dan badan air (dengan penyangga 300 m)



2.2.2 Sumber daya dan karakteristik angin

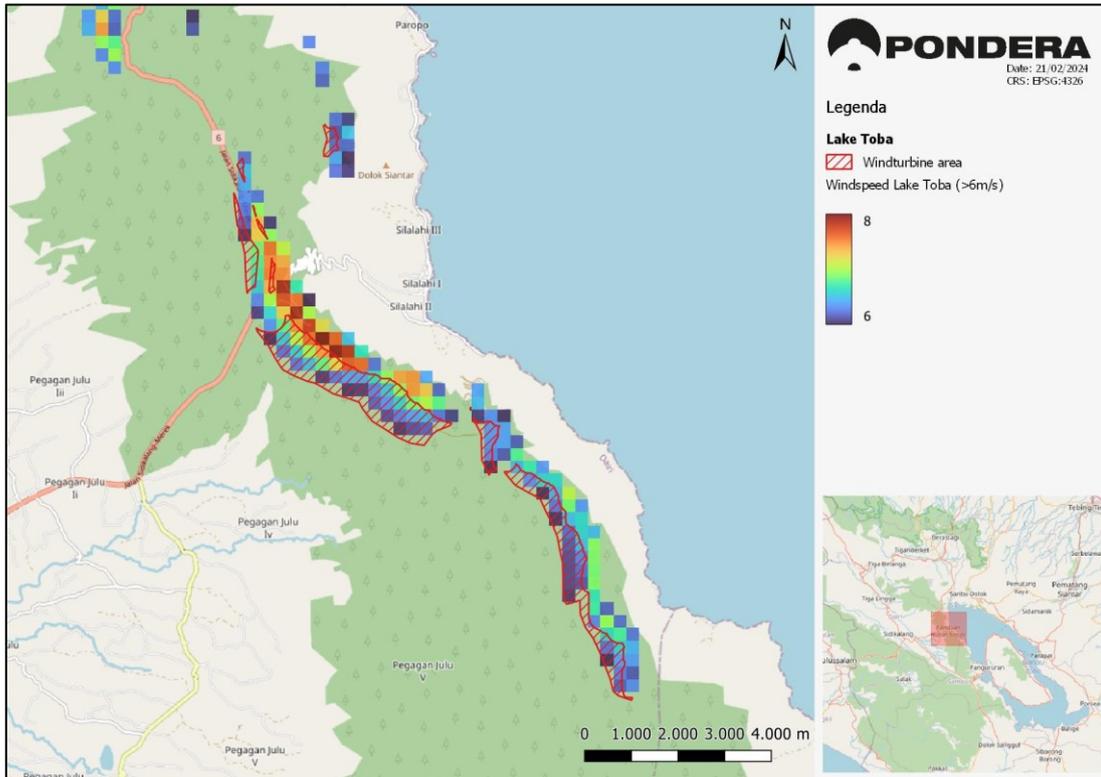
Gambar 5 menunjukkan lokasi pencarian awal (dibatasi oleh kotak putus-putus berwarna ungu) di Kabupaten Dairi, di wilayah barat laut Danau Toba. Dalam gambar tersebut, area dengan kecepatan angin rata-rata lebih dari 6 m / s ditandai oleh "piksel" dengan warna berbeda seperti yang dijelaskan dengan bilah warna. Dapat disimpulkan bahwa sumber daya angin yang menjanjikan terletak di sepanjang area "berbentuk strip" yang beberapa di antaranya tersebar pada jarak yang jauh.



Gambar 5. Area pencarian di Dairi dengan sebaran kecepatan angin. Kotak pembatas putus-putus berwarna ungu menunjukkan seluruh area pencarian. Bilah warna menunjukkan kecepatan angin rata-rata di atas 6 m / s pada ketinggian 100 m menurut klimatologi *Global Wind Atlas* (GWA).

Mengingat sifat area yang tersebar dengan kecepatan angin yang menjanjikan, area pencarian selanjutnya dibatasi pada satu area yang lebih kecil dan kontinu untuk menjaga kelayakan proyek. Alasan di balik hal ini adalah untuk menghindari biaya yang tinggi dan kompleksitas pembangunan koneksi listrik (misalnya jalur distribusi) antara beberapa sub-lokasi turbin angin yang dipisahkan oleh jarak yang jauh.

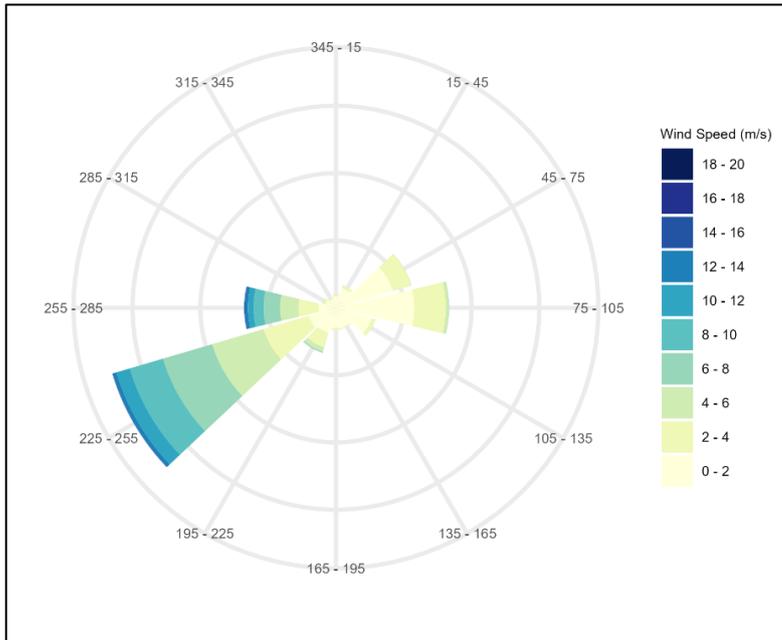
Gambar 6 menunjukkan peta yang diperbesar dari area kontinu ini yang telah dipelajari lebih lanjut pada langkah-langkah selanjutnya. Gambar tersebut juga dilengkapi dengan area WTG final untuk memberikan gambaran tingkat kecepatan angin di lokasi tersebut.



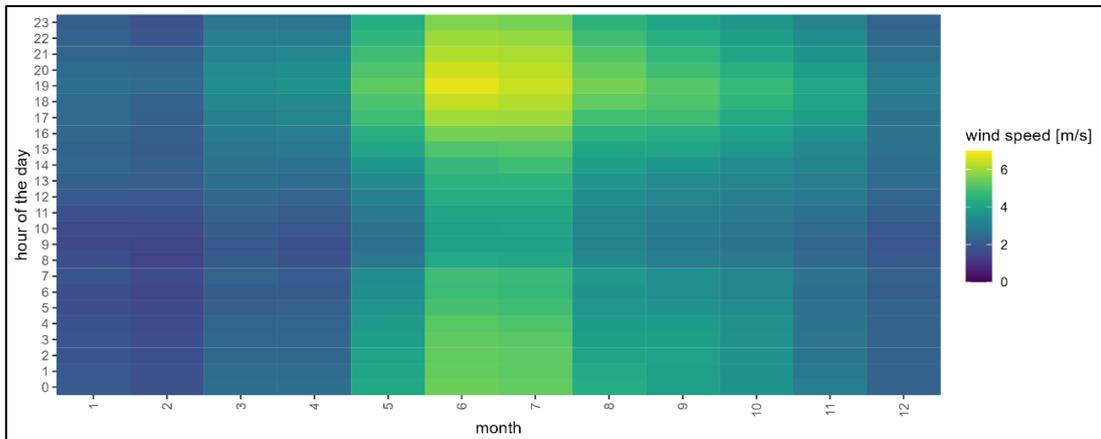
Gambar 6. Tampilan yang diperbesar pada area pencarian di Dairi, dengan fokus di Kabupaten Dairi, beserta dengan sebaran kecepatan angin. Poligon dengan arsir berwarna merah mewakili area WTG akhir yang memenuhi semua kriteria. Kecepatan angin rata-rata di atas ambang batas 6 m/s pada ketinggian 100 m ditampilkan berdasarkan GWA.

Selain itu, Gambar 7 memvisualisasikan sebaran rata-rata arah angin jangka panjang untuk wilayah Dairi. Seperti dapat diinterpretasikan dari gambar ini, iklim angin di daerah tersebut terutama terdiri dari angin yang berasal dari arah barat daya.

Pada Gambar 8, sebaran kecepatan angin sepanjang hari untuk setiap bulan per tahun divisualisasikan. Kecepatan angin tertinggi diamati di antara bulan Mei dan Oktober, ketika zona konveksi intertropis (ITCZ), diposisikan di utara lokasi. Oleh karena itu, periode ini juga dapat dibedakan dari bulan-bulan lainnya berdasarkan arah angin barat daya yang berlaku. Kira-kira dari bulan November hingga bulan April (meskipun waktunya dapat bervariasi dari tahun ke tahun), kecepatan angin terendah diamati ketika ITCZ melewati lokasi menuju ke arah selatan. Seperti yang diperkirakan, sebagian besar angin dari timur dan timur laut diamati selama bulan-bulan ini. Selain kecepatan angin tahunan dan pola arah, yang sangat bergantung pada posisi ITCZ, variasi antar tahunan disebabkan oleh fenomena El Niño dan La Niña. Selama tahun El Niño yang kuat, angin pasat menjadi lebih lemah, sementara selama tahun La Niña, angin tersebut menjadi lebih kuat, sehingga menghasilkan kecepatan angin yang lebih tinggi di daerah tersebut.



Gambar 7. Diagram mawar angin dengan arah angin dan kategori kecepatan angin berdasarkan klimatologi 10 tahun, termasuk seri waktu data per jam tahun 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.

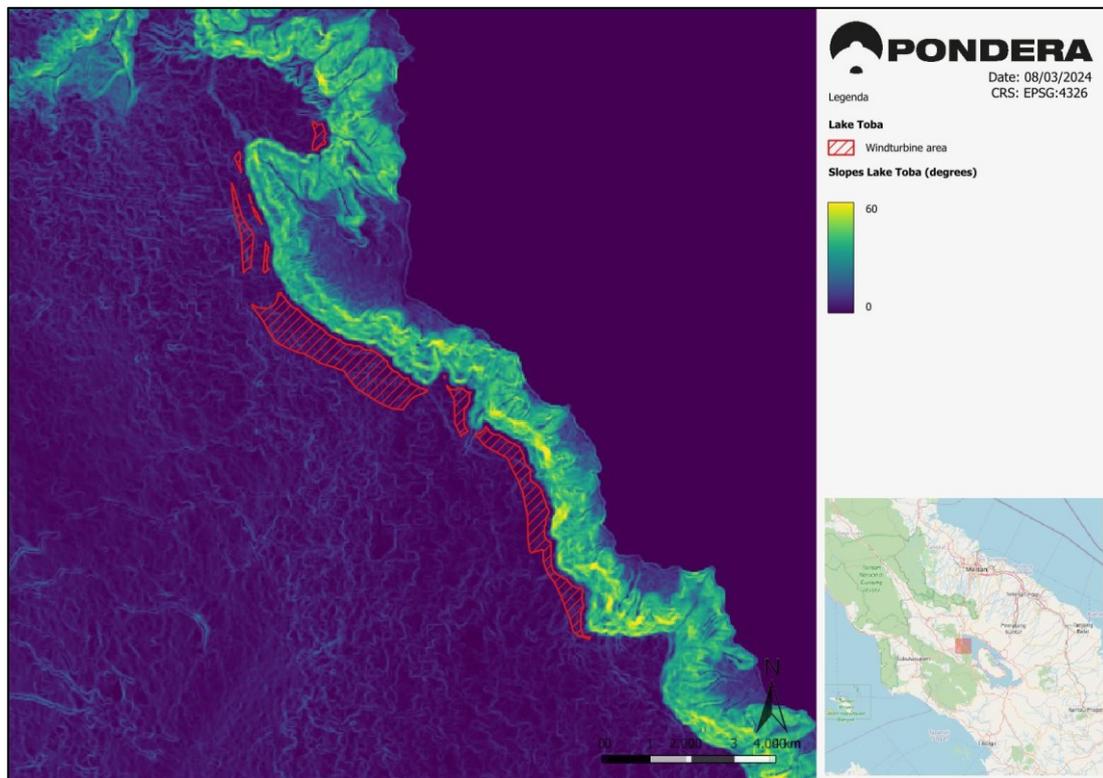


Gambar 8. Sebaran kecepatan angin sepanjang hari, divisualisasikan per bulan dalam setahun. Berdasarkan klimatologi 10 tahun, termasuk seri waktu dari data per jam 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.



2.2.3 Topografi

Gambar 9 menunjukkan topografi area pencarian di wilayah Dairi. Poligon dengan arsir berwarna merah mewakili area WTG akhir yang memenuhi semua kriteria. Kecuraman atau kemiringan dataran ditetapkan dalam derajat. Perhitungan kemiringan didasarkan pada *grid* elevasi FABDEM yang memiliki resolusi sekitar 30 m. Dalam studi ini, daerah dengan kemiringan lebih tinggi dari 15 derajat dikeluarkan dari analisis lebih lanjut untuk menghindari biaya transportasi dan konstruksi yang berlebihan yang biasanya timbul pada proyek PLTB di dataran curam. Namun demikian, perlu dicatat bahwa karena resolusi data tersebut, kriteria pengecualian ini tidak mempertimbangkan fluktuasi ketinggian skala kecil (yaitu kurang dari 30 m).

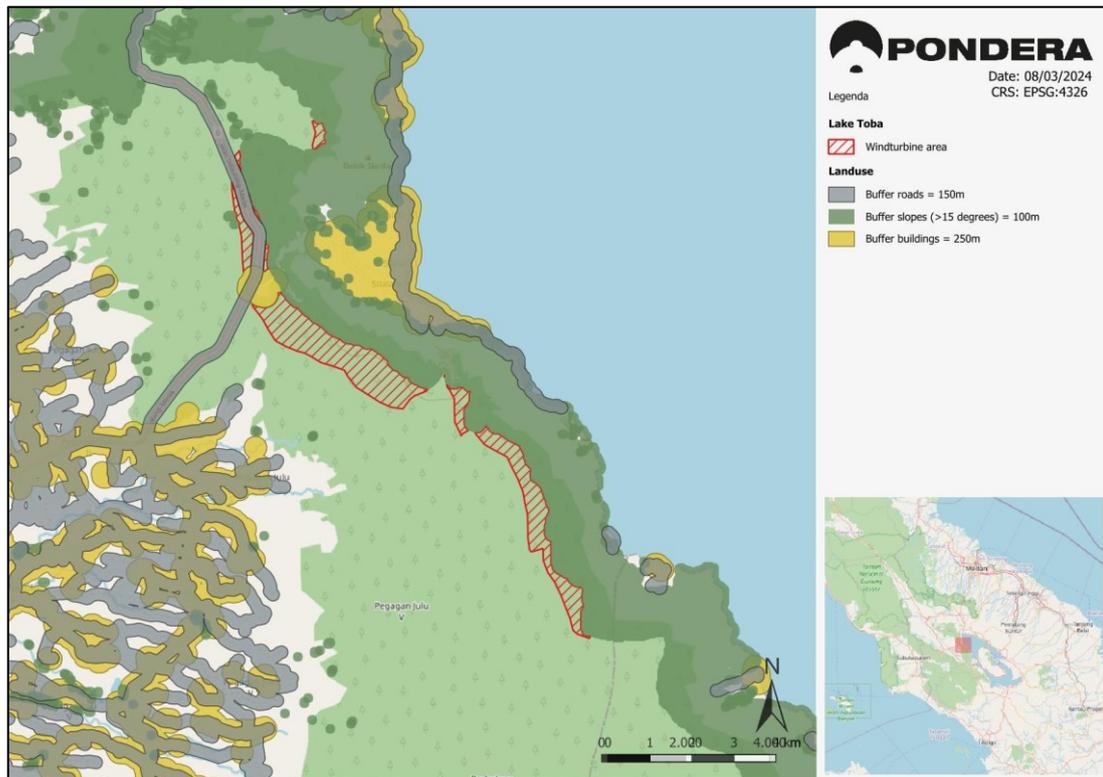


Gambar 9. Topografi area WTG Dairi, menunjukkan kemiringan (dalam derajat; menurut perhitungan berdasarkan data FABDEM) di wilayah tersebut.



2.2.4 Penggunaan lahan

Seperti disebutkan dalam subbagian sebelumnya, PLTB tidak dapat direalisasikan di daerah yang terlalu dekat dengan bangunan, infrastruktur, cagar alam, dan badan air. Oleh karena itu, penyangga diterapkan pada objek-objek ini untuk menentukan area WTG yang sesuai. Menggabungkan kriteria pembatasan yang disebutkan di atas menghasilkan zona pengecualian penggunaan lahan (lihat Gambar 10). Zona pengecualian ini tidak dipertimbangkan pada tahap selanjutnya dari studi ini. Akibatnya, analisis ini menghasilkan area WTG final yang ditandai dengan poligon dengan arsir berwarna merah pada Gambar 10.

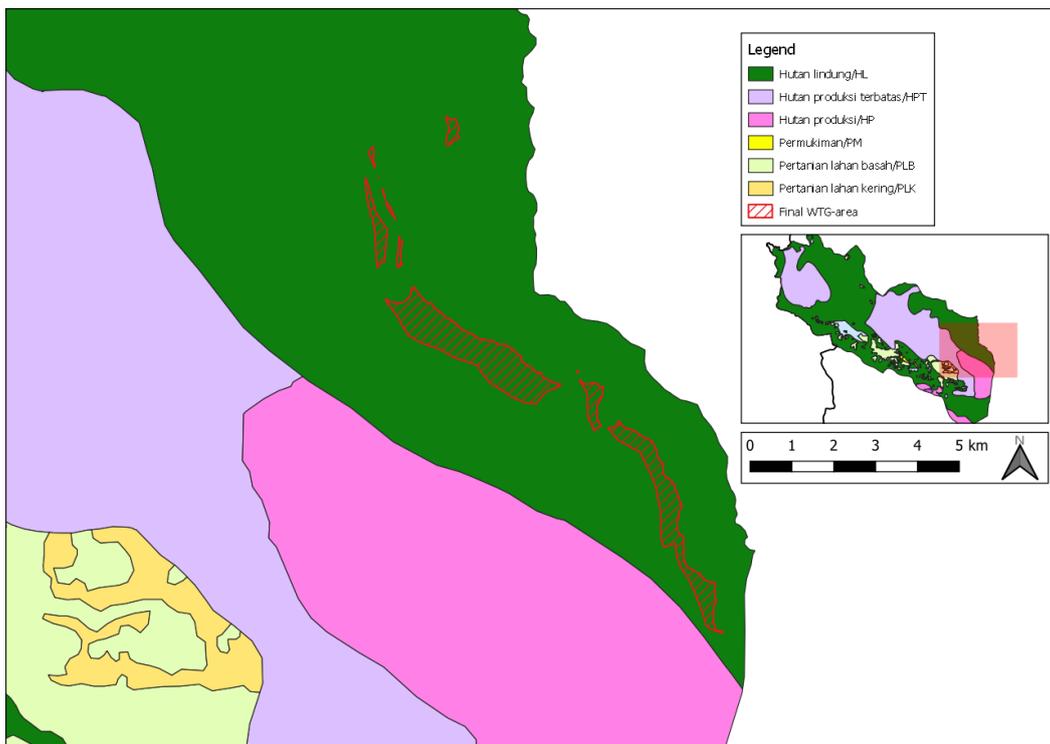


Gambar 10. Zona pengecualian di wilayah Dairi berdasarkan penggunaan lahan, topografi, dan kawasan pemukiman. Sumber: perhitungan berdasarkan elevasi FABDEM, ESRI, dan OSM.



2.2.5 Persyaratan perizinan khusus

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Dairi 2014-2034, wilayah kontinuu dengan kecepatan angin yang menjanjikan terletak di Kawasan Hutan Lindung. Gambar 11 menunjukkan tumpang tindih antara rencana tata ruang wilayah dan area WTG final. Menurut Peraturan Pemerintah 23/2021, Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan (IPPKH), atau yang sekarang dikenal sebagai Persetujuan Penggunaan Kawasan Hutan (PPKH) diperlukan untuk mengembangkan PLTB di daerah tersebut. Izin ini dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan dengan demikian, pengembang PLTB di masa yang akan datang harus mengajukan permohonan izin tersebut.



Gambar 11. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Dairi (RTRW 2014-2034) ditumpang dengan area WTG final di kabupaten tersebut.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan 7/2021 menetapkan syarat untuk mendapatkan izin kegiatan di sektor ketenagalistrikan. Tergantung pada jumlah kawasan hutan di provinsi tersebut, pemilik izin pada akhirnya akan diwajibkan untuk, antara lain, membayar ganti rugi Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP), membayar PNBP atas pemanfaatan kawasan hutan, dan penanaman rehabilitasi pada wilayah aliran sungai dengan perbandingan minimal 1:1. Biaya-biaya tersebut telah diperhitungkan dalam kalkulasi bisnis yang dibuat dalam Bagian 2.9.

Perlu diketahui bahwa RTRW Kabupaten Dairi yang diperoleh adalah untuk tahun 2014-2034. Belum diketahui apakah telah diterbitkan Peraturan Daerah mengenai RTRW baru, atau apakah RTRW baru masih direvisi / dipersiapkan. Oleh karena itu, diperlukan konfirmasi dari instansi yang berwenang di Kabupaten Dairi. Apabila sudah ada Peraturan Daerah RTRW yang baru, maka RTRW yang digunakan dalam laporan ini sudah tidak berlaku lagi. Namun, jika RTRW Kabupaten Dairi belum direvisi atau masih direvisi, maka RTRW tersebut masih berlaku.



2.2.6 Area WTG final

Gambaran umum area WTG final terhadap citra satelit di lokasi dapat ditemukan pada Gambar 12. Area ini memenuhi semua kriteria seperti yang divisualisasikan pada gambar sebelumnya.

Keterbatasan

Seperti disebutkan sebelumnya, parameter yang telah membentuk area WTG akhir telah didasarkan pada informasi geografis sumber terbuka. Kunjungan lapangan ke beberapa bagian area dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang karakteristik area tersebut (seperti yang dijelaskan lebih lanjut dalam Bagian 2.4 hingga Bagian 2.6), dari mana kesimpulan umum kemudian ditarik untuk menganalisis lebih lanjut area WTG final.

Kunjungan lapangan telah menunjukkan bahwa secara umum:

1. Data kawasan pemukiman yang diperoleh dari basis data ESRI memberikan perkiraan yang lebih rendah terhadap bangunan di wilayah tersebut, dan oleh karena itu, dalam beberapa kasus, mungkin diperlukan zona pengecualian tambahan pada tahap proyek selanjutnya;
2. Dalam beberapa kasus, saluran air terlalu membatasi (mengingat besarnya aliran sungai), sehingga saluran tersebut dikeluarkan dari analisis (yaitu saluran air tersebut tidak dianggap sebagai pembatasan); dan
3. Data jalan utama yang berasal dari OSM juga mencakup jalan kecil; Akibatnya, kumpulan data ini mungkin terlalu membatasi dalam beberapa kasus.



Gambar 12. Area WTG akhir berdasarkan kriteria pembatasan. Sumber: Google Satellite Images.

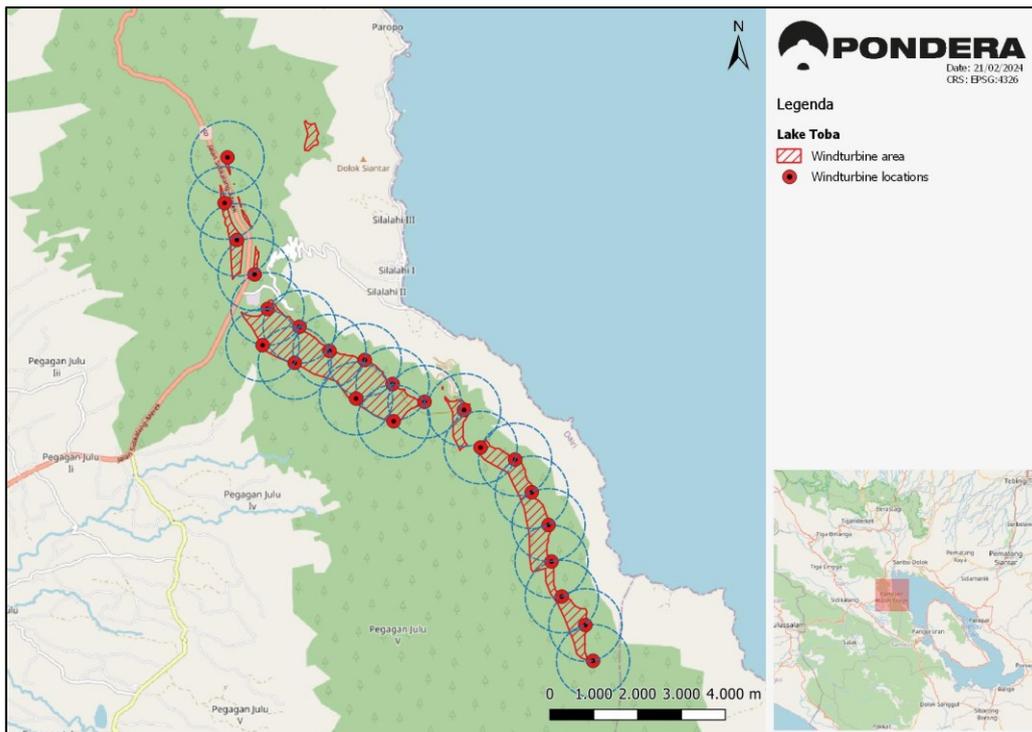


2.3 Tata letak awal PLTB

Tata letak PLTB didasarkan pada area WTG yang disediakan di Bagian 2.2. Tata letak awal PLTB dirancang berdasarkan bundling sebanyak mungkin posisi turbin angin. Ini mencegah misalnya membangun jalan dan kabel ke lokasi turbin angin tunggal, yang tidak hemat biaya.

Karena iklim angin Indonesia umumnya terdiri dari daerah dengan kecepatan angin lebih rendah hingga sedang, jenis turbin angin yang sesuai dengan kondisi angin ini harus dipilih. Untuk tata letak PLTB sementara, turbin angin referensi 4 MW dengan diameter rotor hampir 170 m dan ketinggian naf 140 m telah digunakan. Hal ini membuat tinggi ujung (*tip height*) total sekitar 220-225 m. Untuk mengurangi rugi-rugi olakan dan kemungkinan pengaruh turbulensi negatif, jarak standar lima kali diameter rotor digunakan dalam tata letak awal PLTB.

Selama penentuan posisi turbin, pemeriksaan visual tambahan dilakukan berdasarkan citra satelit, dengan mempertimbangkan: 1) saluran listrik, 2) bangunan, 3) ukuran area, dengan minimal tiga turbin di dekatnya, 4) aksesibilitas area relatif terhadap bagian lain dari area WTG, 5) minimalisasi kriteria pembatasan, 6) pemilihan area kecepatan angin tertinggi dan 7) pemenuhan tujuan kapasitas terpasang sebagaimana diatur dalam RUPTL PLN 2021-2030.



Gambar 13. Tata letak awal PLTB di area WTG final.

Gambar 13 menampilkan gambaran lokasi turbin angin di area WTG final. Sebanyak 23 turbin angin diposisikan ke daerah tersebut, sebesar total kapasitas terpasang yang dibayangkan sebesar 92 MW (berdasarkan turbin angin 4 MW). Penanda merah (titik merah dengan pusat hitam) menunjukkan lokasi yang tepat dari masing-masing turbin angin, sedangkan garis radial biru menunjukkan jarak setidaknya 5 kali diameter rotor.



2.4 Aksesibilitas PLTB

Pada bagian ini, aksesibilitas PLTB dijelaskan melalui tiga subbagian: (1) keadaan transportasi Indonesia, (2) transportasi pelabuhan ke lokasi, dan (3) transportasi di dalam lokasi.

2.4.1 Keadaan transportasi Indonesia

Di luar kota besar, sistem jalan regional digunakan untuk hampir semua transportasi (lihat Gambar 14). Jalan-jalan ini mengarah melalui pusat kota, kota kecil, dan desa yang mereka layani. Jalan lingkar di sekitar kota disediakan untuk beberapa kota besar seperti Jakarta, Bandung, Medan, Yogyakarta, dan Surabaya. Dalam banyak kasus, hanya satu jalan regional utama yang tersedia untuk pergi dari satu kota ke kota lain. Hal ini mengakibatkan situasi di mana semua lalu lintas menggunakan jalan yang sama, yaitu pejalan kaki (termasuk kelompok anak sekolah, petani, dll), sepeda motor, mobil, ambulans, angkutan umum, truk lokal yang lebih kecil, dan truk besar untuk transportasi jarak jauh. Sementara beberapa ruas jalan raya tersedia di Pulau Sumatra dan masih banyak lagi yang sedang direncanakan atau sedang dibangun, sejauh ini hanya Pulau Jawa yang memiliki jalan raya yang menghubungkan bagian barat dan timur pulau tersebut. Jalan raya ini terletak di sisi utara Pulau Jawa yang lebih padat penduduknya dan memiliki dataran yang lebih datar.



Gambar 14. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udara dan telekomunikasi dengan tiang di kedua sisi jalan. Bangunan-bangunan berada dalam jarak yang dekat. Di dalam kota dan kota yang lebih besar, jalan pada umumnya sedikit lebih lebar, namun dengan lebih banyak kabel udara, tiang, dan papan reklame.

Biasanya, utilitas umum seperti jalur distribusi listrik dan jalur telekomunikasi mengikuti jalur yang sama dengan jalan lokal. Kabel udara yang berada tepat di sebelah jalan adalah cara praktik standar di seluruh Indonesia. Saluran listrik dan kabel telekomunikasi utama terletak di satu sisi jalan walau melayani kedua sisi. Artinya, untuk semua rumah atau kelompok rumah di seberang jalan, semua kabel harus melintasi jalan, umumnya pada ketinggian sekitar 5 meter di atas permukaan jalan. Di kota-kota besar dan kecil, penyeberangan kabel udara ini biasanya ada di setiap 20 hingga 50 meter.



Sistem drainase perkotaan biasanya terkubur di bawah tanah di kedua sisi jalan dan tidak cocok untuk pengangkutan transportasi berat. Dalam banyak kasus, bangunan-bangunan berada dalam jarak dua hingga lima meter dari jalan, seringkali setinggi 1 hingga 3 lantai.

Hal ini berarti bahwa ruang di dalam dan sekitar jalan raya di Indonesia sangat terbatas. Selain tantangan spasial, terdapat juga tantangan signifikan yang timbul dari durasi transportasi. Pengangkutan komponen turbin angin adalah proses yang panjang. Satu turbin diangkut dalam komponen individu (misalnya segmen menara, sudu turbin angin) dengan sekitar sepuluh truk, tidak termasuk bahan bangunan untuk fondasi. Penutupan jalan dalam jangka panjang mungkin memiliki dampak yang signifikan pada fungsi kota karena rute alternatif sering kali tidak tersedia.

Mengangkut sudu turbin angin dengan panjang 80+ meter mungkin merupakan salah satu aspek paling penting dari pengembangan PLTB di Indonesia dan harus dipersiapkan secara menyeluruh.

2.4.2 Transportasi pelabuhan ke lokasi

Pelabuhan terdekat dari PLTB Dairi yang dibayangkan adalah Pelabuhan Belawan, yang terletak di Medan pada jarak ~ 140 km dari lokasi PLTB. Pelabuhan ini adalah pelabuhan utama dengan derek dermaga yang melayani Sumatra bagian utara (lihat Gambar 15). Tidak ada pelabuhan kecil yang tersedia yang lebih dekat ke lokasi PLTB.

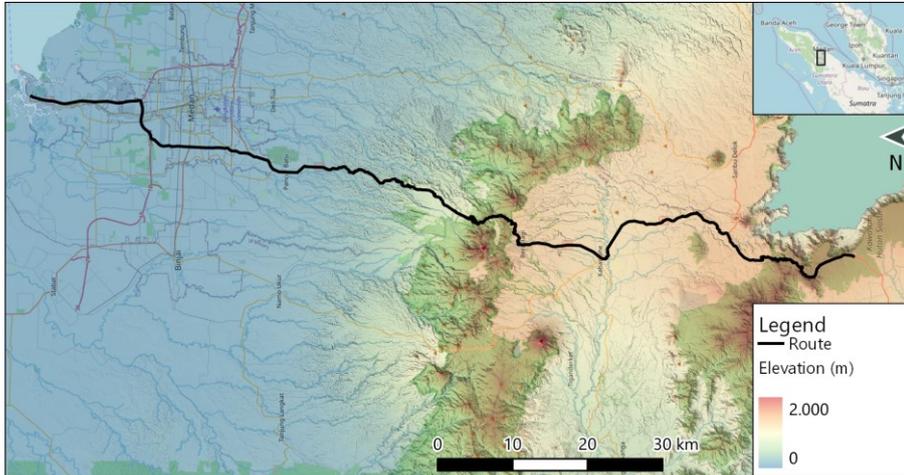


Gambar 15. Citra satelit Pelabuhan Belawan di Medan.

Pelabuhan ini terdiri dari beberapa bagian. Bagian terluar (ditunjukkan di sebelah kiri pada gambar di atas) tampaknya paling cocok untuk kapal besar. Pelabuhan ini terhubung ke jalan lingkar Medan oleh jalan raya. Jalan lingkar sendiri merupakan jalan raya di sisi utara dan timur. Transportasi dapat dilakukan di sisi barat (lebih pendek, tetapi tidak ada jalan raya) atau timur.

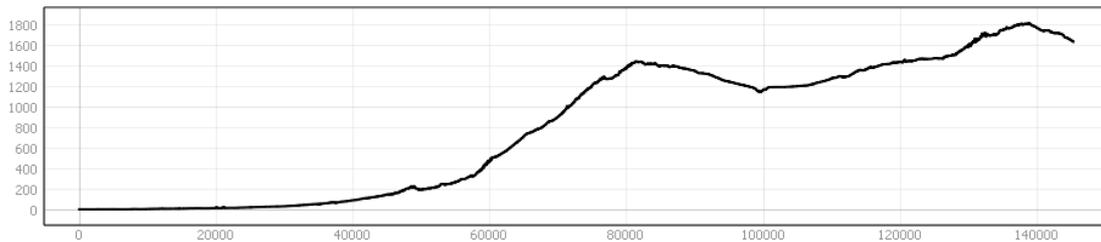


Jalan dari pelabuhan ke lokasi relatif datar pada ~ 50 km pertama, setelah itu jalanan naik ke dataran tinggi di sekitar Dairi. Jalan mengarah dari permukaan laut ke ketinggian maksimum 1.800 m (lihat Gambar 16 dan Gambar 17). Bagian paling curam rata-rata memiliki kemiringan sekitar 5%.



Gambar 16. Rute dari Medan (A) ke titik akses lokasi (B).

Pada gambar berikut, profil jalan tersebut disajikan untuk rute yang ditunjukkan di atas.



Gambar 17. Profil jalan Medan (A) ke lokasi (B).

Sebagian besar dari rute ini terdapat tanjakan naik, di dua bagian tikungan tajam biasanya digunakan untuk mendaki dataran yang curam. Bagian pertama dengan tikungan tajam terletak di dekat desa Sibolangit. Khususnya, salah satu tikungan tajam sangat sempit (lihat Gambar 18) dan perlu didesain ulang sebelum transportasi turbin angin dapat dilakukan. Faktor yang menyulitkan adalah bahwa lokasi ekstraksi air terletak tepat di sebelah sisi jalan yang dikelola oleh PDAM (penyedia air utama di Indonesia). Kehadiran sumur air tersebut menjadi alasan bahwa ini adalah satu-satunya tikungan tajam yang belum diperlebar di seluruh bagian rute.



Gambar 18. Satu-satunya tikungan tajam di rute yang belum diperlebar.

Di bagian tengah rute (dekat Bandar Baru, 58-60 km pada Gambar 19), bagian dengan 11 tikungan tajam baru-baru ini diperlebar. Menurut penduduk setempat, pekerjaan ini selesai sekitar tahun 2021. Diharapkan karena operasi ini tidak diperlukan desain ulang, dan tata letak saat ini cukup untuk transportasi turbin angin.

Di ujung bagian ini, ada banyak sumur air (pribadi) pada sebelah sisi jalan. Banyak truk air naik turun dari Medan ke lokasi-lokasi ini untuk mengisi truk mereka dan memenuhi kebutuhan air di kota. Selama transportasi turbin angin, kemungkinan jalan tidak dapat ditutup untuk waktu yang lama tanpa mempengaruhi pasokan air lokal.



Gambar 19. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Bandar Baru. Jalanan di tikungan tajam ini telah diperlebar secara signifikan.



Sekitar 15 kilometer sebelum lokasi proyek (selatan kota Merek) ada bagian lain dengan tikungan tajam dan berkelok-kelok (lihat Gambar 20 dan Gambar 21). Sebagian jalan menuju pegunungan telah ditingkatkan pada tahun 2022 dan berkualitas baik. Namun, ruas jalan yang pendek tersebut (2,3 km) masih dalam kondisi buruk, sempit, dan belum melebar. Diharapkan ruas ini perlu ditingkatkan sebelum pengangkutan turbin angin dapat dilakukan. Kecuraman pada bagian ini rata-rata ada di 4,8% (kenaikan 194 m lebih dari 4.003 m) dan seharusnya tidak menjadi faktor pembatas saat menggunakan jalan ini.



Gambar 20. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Merek. Jalan dalam kondisi buruk, dan beberapa tanah longsor baru-baru ini diamati.



Gambar 21. Bagian dengan tikungan tajam di selatan Merek. Jalan ini dalam kondisi yang lebih buruk daripada daerah lainnya dan memiliki kemiringan curam di satu sisi jalan.



Faktor yang menyulitkan adalah bahwa jalan ini dibangun di lereng curam dengan dinding vertikal dekat di satu sisi. Hal ini membatasi jumlah derajat sudu turbin yang dapat berputar selama transportasi. Selama kunjungan lapangan (yang berlangsung di musim hujan) sekitar 10 tanah longsor baru-baru ini diamati hanya pada bagian ini, yang memberikan gambaran seberapa rentan lereng ini terhadap tanah longsor (lihat Gambar 20).

Sementara bagian ini juga merupakan bagian dari jalan nasional Medan-Sidikalang, tidak ada informasi daring (*online*) yang ditemukan jika sudah ada rencana pelebaran jalan. Ruas jalan ini merupakan satu-satunya bagian jalan nasional Medan-Sidikalang yang kondisinya buruk, karena jalan dari Medan ke utara dan jalan selatan ke Sidikalang sudah diperlebar.

Pada rute dari Medan ke lokasi, ada beberapa jembatan (lihat Gambar 22). Sebagian besar jembatan berukuran besar yang memiliki balok baja di sisi samping dan atas yang membatasi jumlah ruang manuver selama transportasi turbin. Jembatan yang lebih kecil terbuat dari beton dan tampaknya dalam kondisi baik. Di dalam lokasi itu sendiri tidak ada aliran air atau sungai. Selama kunjungan lokasi, tidak ada 'tanda bahaya' yang terlihat mengenai jembatan ini. Diharapkan tidak ada jembatan yang perlu dibangun untuk transportasi berat. Namun, semua jembatan perlu diperiksa sebelum transportasi berat berlangsung.



Gambar 22. Contoh jembatan baja (kiri) dan jembatan beton (kanan).

2.4.3 Transportasi di dalam lokasi

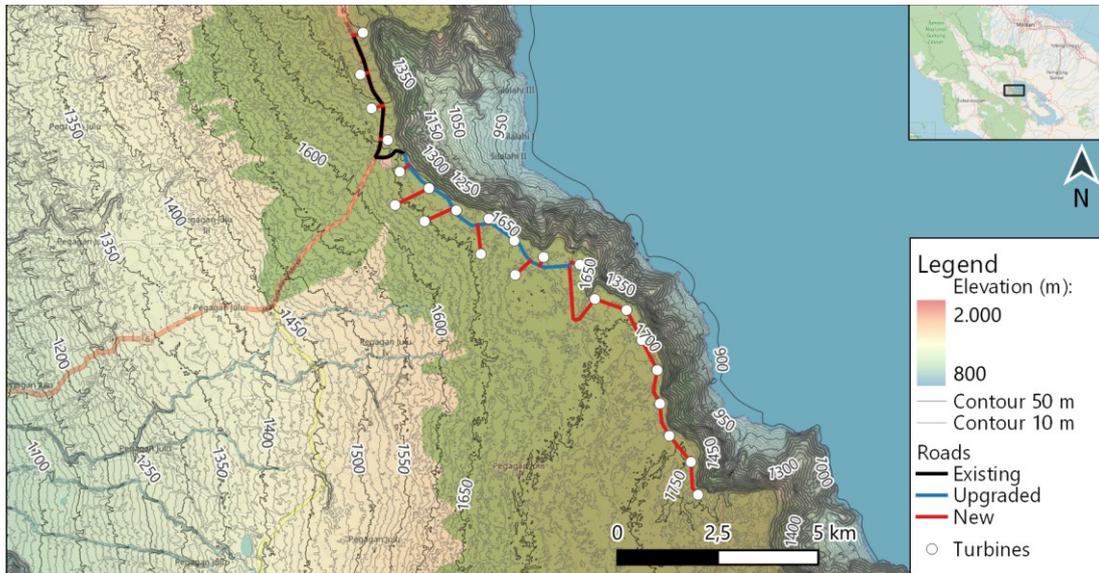
Jalan utama utara-selatan (jalan nasional Medan-Sidikalang; lihat Gambar 23) mengarah melalui bagian pertama dari lokasi proyek. Di luar dari jalan ini hanya terdapat dua jalan lain di daerah tersebut; satu jalan menuju Danau Toba (Desa Paropo) dan satu jalan layanan (mungkin milik PLN; lihat Gambar 23) tegak lurus ke bibir kawah. Jalan layanan terbuat dari beton dan mengarah dari kompleks pembangkit listrik tenaga air (PLTA) ke tangki penampung di tengah lereng menuju danau. Jalan layanan ini memberikan akses ke sekitar setengah dari lokasi PLTB di wilayah ini, dengan jarak 5 km. Penggunaan kembali jalan ini akan mengurangi biaya pembangunan jalan secara signifikan, sekaligus meminimalkan dampak ekologis terhadap hutan di sekitarnya.



Gambar 23. Jalan utama Medan-Sidikalang (kiri) dan jalan layanan PLN di dalam area lokasi proyek (kanan).



Tidak ada jalan lain yang tersedia, sehingga untuk semua lokasi potensial turbin lainnya, jalan akses baru harus dibangun seperti yang dapat dilihat pada Gambar 24. Karena topografi di dalam lokasi cukup datar dan mudah diakses dengan baik, hal ini seharusnya tidak menjadi kendala besar dari perspektif konstruksi.



Gambar 24. Tata letak jalan awal.

Untuk studi kelayakan, kami sarankan untuk melihat poin-poin berikut mengenai transportasi turbin angin:

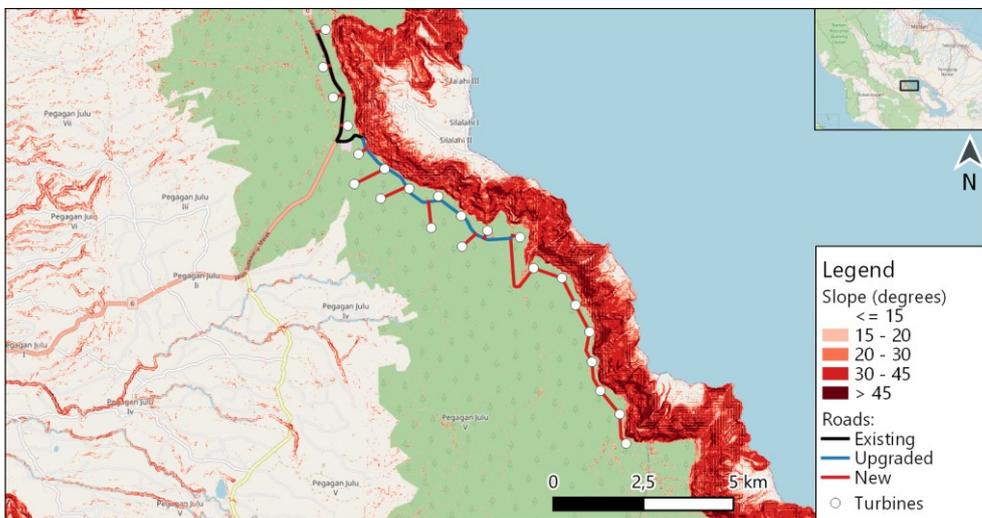
- Tanyakan apakah ada rencana untuk perbaikan jalan di jalan selatan Merek, karena semua bagian jalan lainnya baru-baru ini telah ditingkatkan. Mungkin saja bagian ini akan ditingkatkan juga, dan investasi ke untuk perbaikan mungkin tidak diperlukan; dan
- Perbaikan tikungan tajam di selatan dari Sibolangit kemungkinan harus dilakukan bekerja sama dengan PDAM, karena terdapat lokasi ekstraksi air yang dekat dengan jalan.



2.5 Geologi dan kegempaan

Dataran di daerah ini didominasi oleh keberadaan Kaldera Toba, kawah gunung berapi yang memanjang dengan ukuran 100 x 30 km. Di lokasi tersebut, ketinggian bibir kawah ada di sekitar 1.700 m di atas permukaan laut. Dinding kawah, satu lereng terus menerus, mengarah ke Danau Toba dengan ketinggian air 905 m.

Di dalam lokasi, variasi topografi sangat terbatas. Dataran landai ke arah barat, jauh dari kaldera (kawah gunung berapi yang runtuh). Tanah terdiri dari abu vulkanik (*tephra*), tidak ditemukan singkapan batu yang diamati selama kunjungan lokasi dan juga yang tidak diperkirakan berdasarkan sejarah geologi lokasi tersebut. Untuk penyalarsan jalan di dalam lokasi, tidak diperlukan perhatian khusus untuk melewati lereng curam dan / atau tempat dengan batuan keras.



Gambar 25. Kondisi kemiringan dengan penyalarsan jalan. Semua jalan dan platform dapat dibangun di dataran yang relatif datar (<15 derajat).

Dari perspektif dataran, topografi dalam lokasi PLTB cocok untuk pengembangan PLTB karena semua jalan dan platform dapat dibangun di dataran yang datar (lihat Gambar 25). Namun, dataran datar ini berbatasan dengan tepi kaldera. Karena turbin angin dibangun dekat dengan tepian ini, perhatian khusus harus diberikan pada stabilitas tanah. Jarak aman minimum antara turbin dan tepi kaldera harus diselidiki lebih lanjut selama tahap kelayakan.

Subbagian berikutnya akan menjelaskan secara khusus geologi dan kegempaan di daerah tersebut secara lebih mendalam.



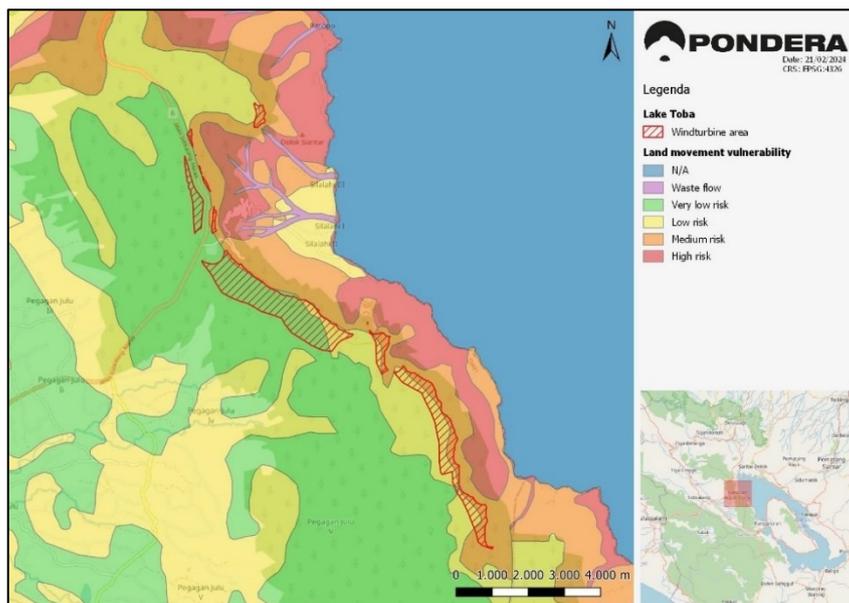
2.5.1 Geologi

Tanah di lokasi PLTB terdiri dari *Ignimbrite* yang dilas (endapan aliran piroklastik) (Chesner, 2012). Tanah ini adalah endapan material seperti abu yang sangat halus dengan beberapa batu besar di antaranya, sebagian besar berukuran hingga beberapa cm. Selama kunjungan lapangan, ditentukan bahwa endapan ini dapat dengan mudah dipisahkan / dihancurkan dengan tangan, dan harus dilihat sebagai sedimen dan bukan sebagai batuan padat (lihat Gambar 26).



Gambar 26. Singkapan di samping jalan layanan. Sedimen digali oleh derek untuk konstruksi jalan. Lebar singkapan pada gambar adalah ~3 m.

Geologi ini dikombinasikan dengan topografi yang membuat kemiringan kaldera rentan terhadap pergerakan tanah. Indeks Kerentanan Gerakan Tanah memberikan gambaran tentang kerentanan gerakan tanah berdasarkan kecuraman lereng, jenis tanah, curah hujan, kegempaan, dll. Gambar 27 memvisualisasikan indeks kerentanan gerakan tanah di dalam dan sekitar area WTG.



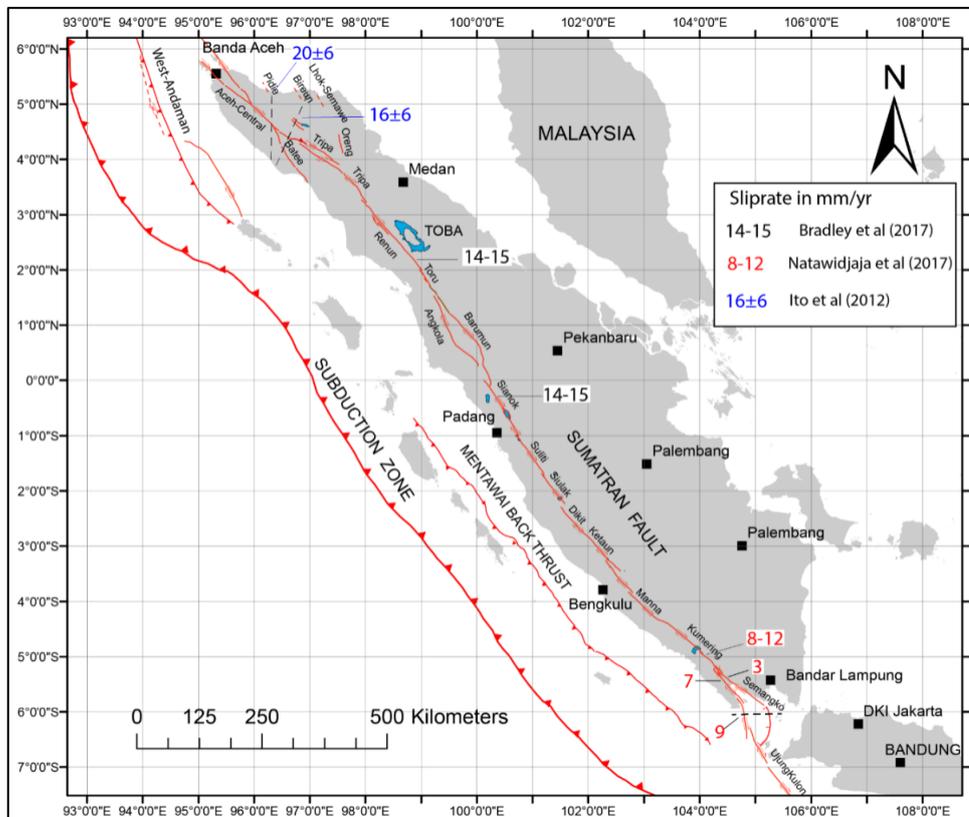
Gambar 27. Indeks kerentanan pergerakan tanah untuk Dairi.



Stabilitas dan kemampuan tanah untuk membawa turbin angin lebih dekat ke tepi kaldera (di mana kecepatan angin yang lebih tinggi diperkirakan) harus diselidiki lebih lanjut selama tahap kelayakan. Ini dapat dilakukan dengan penyelidikan tanah geoteknik (menentukan karakteristik tanah seperti kuat geser, kepadatan, permeabilitas, dll.), dan analisis stabilitas tanah tersebut.

2.5.2 Kegempaan

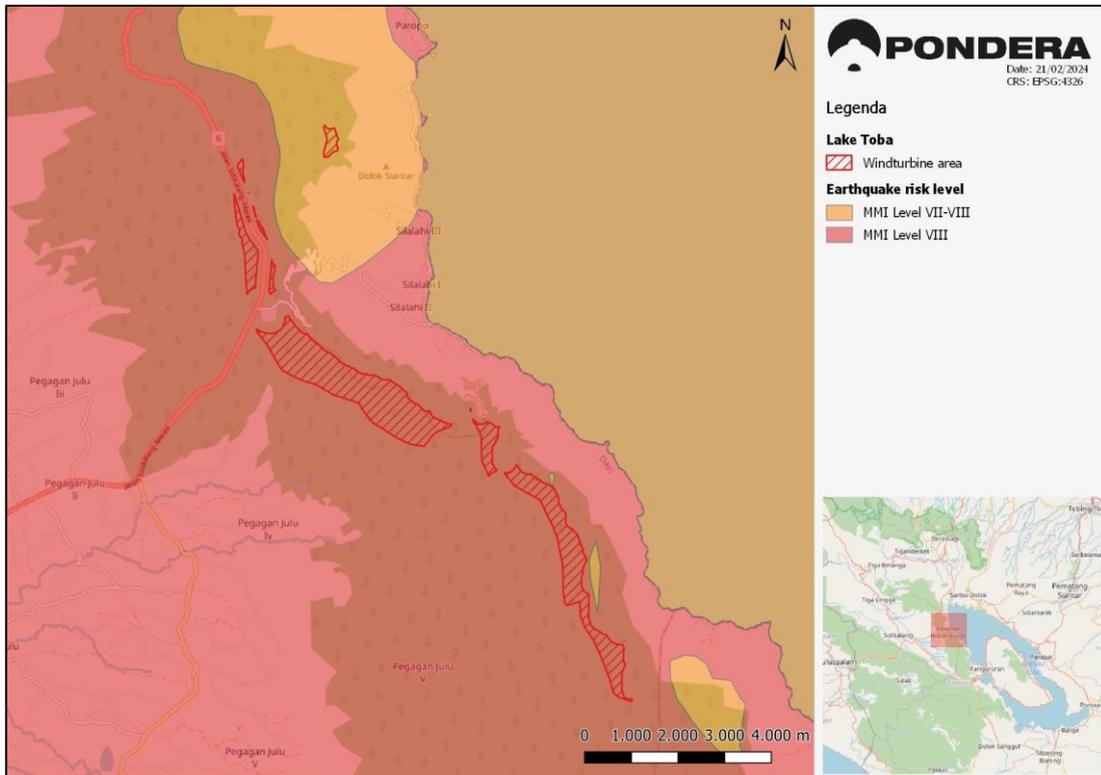
Lokasi proyek tersebut terletak relatif dekat dengan Sesar Besar Sumatra (lihat Gambar 28). Sesar ini merupakan kumpulan patahan dekstral yang membentang di seluruh panjang pulau dengan total panjang ~ 1.900 km. Sesar tersebut mengakomodasi pergerakan antara konvergensi lempeng miring antara lempeng samudera Indo-Australia dan menimpa lempeng benua Sumatra-Eurasia. Laju geser (pergerakan antar pelat) diperkirakan 14-15 mm/tahun. Gerakan ini tidak konstan, tetapi terjadi secara berkala saat terjadi gempa bumi. Rata-rata, gempa besar terjadi setiap 5 tahun sekali di sepanjang sistem patahan sepanjang 1900 km (Natawidjaja, 2018).



Gambar 28. Lokasi umum sistem Sesar Besar Sumatra, membentang di sepanjang pulau.



Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), sebagian besar wilayah tersebut berpotensi dilanda gempa kuat dengan intensitas lebih besar dari VIII pada skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Gambar 29 menunjukkan representasi visual dari tingkat risiko gempa bumi di dalam dan sekitar area WTG.



Gambar 29. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Dairi.

Skala MMI mengklasifikasikan gempa bumi berdasarkan dampak di permukaan daripada energi yang dilepaskan (seperti skala Richter). Intensitas VIII didefinisikan sebagai:

"Kerusakan ringan pada struktur yang dirancang khusus; kerusakan yang cukup besar pada bangunan besar biasa dengan keruntuhan sebagian. Kerusakan sangat besar pada struktur yang dibangun dengan buruk. Jatuhnya cerobong asap, tumpukan pabrik, kolom, monumen, dinding. Furnitur berat terbalik. Pasir dan lumpur dikeluarkan dalam jumlah kecil. Perubahan air sumur. Pengendara terganggu."

Data ini hanya memberikan kesan umum tentang besarnya gempa bumi yang dapat diperkirakan. Selama studi kelayakan, percepatan tanah puncak maksimum yang diharapkan harus dihitung untuk penilaian bahaya yang lebih tepat akibat gempa bumi.



2.6 Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan

2.6.1 Kesan umum

Sebagian besar area proyek yang dibayangkan (>90%) ditutupi oleh hutan primer (lihat Gambar 30) dan merupakan bagian dari area hutan memanjang yang lebih besar dengan panjang sekitar 60 kilometer. Karena ketinggian dan suhu, tinggi pohon dibatasi sekitar 15 m.

Di dalam lokasi proyek, hutan telah dibagi menjadi beberapa bagian terpisah oleh jalan, bangunan dan saluran listrik (lihat Gambar 31). Di dekat jalan utama, di dalam area lokasi, terdapat bagian dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) PLN (Gambar 32). Hal ini merupakan bagian dari kompleks PLTA Lau Renun, dengan dua turbin dan total kapasitas masing-masing 41 MW. Turbin (yang terdapat di danau) digerakkan oleh air yang mengalir secara gravitasi dari sungai-sungai sekitarnya ke Danau Toba.

Terlepas dari jalan utama, ada satu jalan sejajar dengan tepi kaldera mengarah ke tangki penampung (bagian dari kompleks pembangkit listrik tenaga air) di tengah jalan dari kaldera ke danau. Jalan masuk ke jalan kerikil ini terhalang bebatuan. Saluran listrik memotong lokasi yang menghubungkan pembangkit listrik dengan jaringan listrik yang ada. Di bawah jaringan listrik, hutan telah ditebangi (lihat Gambar 31).

Gambar 30, Gambar 31, dan Gambar 32 menunjukkan kesan umum dari lokasi di dekat kaldera.



Gambar 30. Kesan lokasi. Tepi kaldera dengan hutan lebat. Sebuah jalan layanan kecil dari pembangkit listrik tenaga air melewatinya, yang dapat dilihat di foto ini sebagai bukaan di kanopi.



Gambar 31. Tepian kaldera yang berhutan lebat. Di tengahnya terlihat jalan menuju Medan, di ujung kanan dan kiri terlihat beberapa kabel listrik. Hutan di bawah jaringan listrik telah ditebang.



Gambar 32. Kompleks PLTA Lau Renun, bagian dari PLTA. Turbinnya sendiri terletak di danau.



2.6.2 Keanekaragaman hayati dan dampak lingkungan

Karena sebagian besar lokasi tersebut ditutupi oleh hutan primer, maka diperkirakan bahwa daerah ini merupakan area dengan keanekaragaman hayati yang tinggi (lihat Tabel 1). Seluruh area lokasi tersebut terletak di dalam Hutan Lindung Kabupaten Dairi. Pembangunan di kawasan hutan tersebut kemungkinan akan berdampak pada keanekaragaman hayati dan lingkungan. Dampak utamanya adalah:

Dampak keanekaragaman hayati:

- Fragmentasi habitat (terutama jalan dan jalur transmisi)
- Pembukaan area: perambahan, penebangan liar, pemakai tanah tanpa izin, perburuan, pertanian
- Tabrakan burung & kelelawar (turbin)

Dampak lingkungan:

- Risiko erosi dan tanah longsor (jalan, platform)
- Meningkatnya kekeruhan di aliran sungai dan sungai akibat erosi
- Dampak visual turbin
- Kerlipan & kebisingan frekuensi rendah

Karena keberadaan pembangkit listrik tenaga air, fragmentasi habitat telah terjadi di sebagian besar lokasi. Hanya di bagian tenggara lokasi yang belum terjadi fragmentasi hutan. Pembangunan jalan baru di kawasan ini, dan di sepanjang jalan akses PLN yang sudah ada akan semakin membuka kawasan tersebut. Tanpa mitigasi yang tepat, hal ini dapat menyebabkan pembukaan hutan (ilegal) lebih lanjut dan pembangunan.

Flora dan fauna yang diamati:

Menurut database keanekaragaman hayati online *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), beberapa spesies hewan dan tumbuhan diamati di daerah tersebut (lihat Gambar 33) yang dikategorikan dalam kategori daftar merah global IUCN (*International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species*). Kategorisasi umumnya didasarkan pada tingkat penurunan populasi, rentang geografis, jika spesies memiliki ukuran populasi kecil, jika spesies hidup di daerah terbatas atau sangat kecil, dan jika analisis kuantitatif menunjukkan probabilitas tinggi spesies punah di alam liar¹⁰. Diurutkan dari yang paling parah hingga yang paling tidak terancam, kategorinya adalah sebagai berikut: Punah (*Extinct* atau EX), Punah di Alam Liar (*Extinct in the Wild* atau EW), Kritis atau Sangat Terancam Punah (*Critically Endangered* atau CR), Terancam (*Endangered* atau EN), Rentan (*Vulnerable* atau VU), Hampir Terancam (*Near Threatened* atau NT), Risiko Rendah (*Least Concern* atau LC), Data Kurang (*Data Deficient* atau DD), dan Tidak Dievaluasi (*Not Evaluated* atau NE).

¹⁰ <https://www.britannica.com/topic/IUCN-Red-List-of-Threatened-Species>

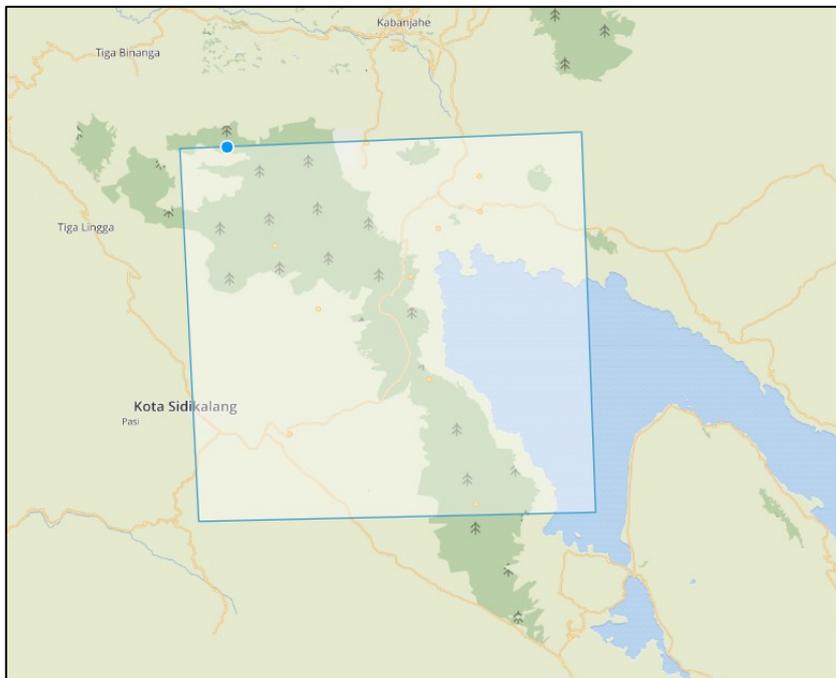


Tabel 1. Daftar fauna yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN

Hewan	Nama dalam Bahasa Inggris	Status
<i>Symphalangus syndactylus</i>	<i>Siamang (gibbon)</i>	Terancam (EN)
<i>Macaca fascicularis</i>	<i>Con Song Long-tailed Macaque</i>	Terancam (EN)
<i>Acridotheres javanicus</i>	<i>Javan Myna</i>	Rentan (VU)
<i>Buceros bicornis</i>	<i>Great Hornbill</i>	Rentan (VU)
<i>Pycnonotus bimaculatus</i>	Orange-spotted Bulbul	Hampir Terancam (NT)
<i>Lophura inornata</i>	Salvadori's Pheasant	Hampir Terancam (NT)
<i>Psilopogon mystacophanos</i>	Red-throated Barbet	Hampir Terancam (NT)
<i>Prinia familiaris</i>	Bar-winged Prinia	Hampir Terancam (NT)

Tabel 2. Daftar flora yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN

Tumbuhan	Nama dalam Bahasa Inggris	Status
<i>Nepenthes rigidifolia</i>		Sangat Terancam Punah (CR)
<i>Paphiopedilum tonsum</i>	-	Terancam Punah (EN)
<i>Nepenthes spectabilis</i>	-	Rentan (VU)
<i>Nepenthes mikei</i>	-	Rentan (VU)
<i>Nepenthes rhombicaulis</i>	-	Rentan (VU)



Gambar 33. Daerah di mana flora dan fauna yang disebutkan di atas telah diamati (meliputi lokasi PLTB yang dibayangkan).



Menurut Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Dairi (RTRW 2014-2034) sebagaimana diatur dalam Peraturan Daerah Kabupaten Dairi 7/2014, beberapa pembangunan masih diperbolehkan di dalam kawasan lindung. Berikut ini adalah kondisi yang paling penting:

Peraturan zonasi kawasan hutan lindung sebagaimana dimaksud dalam Pasal 74 ayat (1) huruf a diatur sebagai berikut:

- a. *Pemanfaatan kawasan hutan lindung dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:*
 - 1 *tidak mengurangi, mengubah atau menghilangkan fungsi utamanya;*
 - 2 *pengolahan lahan terbatas;*
 - 3 *tidak menimbulkan dampak negatif pada aspek biofisik dan sosial-ekonomi;*
 - 4 *tidak menggunakan peralatan mekanik dan alat berat; dan*
 - 5 *Jangan membangun sarana dan prasarana yang mengubah pemandangan alam.*
- b. *Kegiatan penambangan di kawasan hutan lindung masih diperbolehkan sepanjang tidak dilakukan secara terbuka, dengan ketentuan kawasan bekas tambang tersebut harus direklamasi agar dapat berfungsi kembali sebagai kawasan lindung kembali.*

Namun, ketika izin dari pemerintah diberikan, pendanaan internasional juga menjadi hal yang perlu diperhatikan. Pendanaan internasional untuk pembangunan di dalam hutan lindung tidak diberikan dengan mudah. Pengaruh terhadap lingkungan dan keanekaragaman hayati harus dibatasi sebanyak mungkin dan setiap kerugian harus dikompensasi.

Dampak terhadap keanekaragaman hayati dan lingkungan dapat diminimalkan ketika poin-poin berikut diperhitungkan:

- Memanfaatkan kembali infrastruktur yang ada sebanyak mungkin, seperti koneksi saluran listrik yang ada ke jaringan listrik dan jalan akses;
- Hindari pembangunan jalan dan/atau saluran listrik yang menyebabkan hutan yang ada terbagi menjadi beberapa bagian, dan gunakan tata letak yang sama untuk jalan dan jaringan listrik antara turbin untuk menghindari fragmentasi habitat;
- Idealnya hanya dibuat satu titik akses yang harus dibuat untuk memasuki PLTB untuk membatasi pembukaan area untuk kegiatan lain seperti penebangan liar dan perburuan / penangkapan liar; dan
- Membatasi jumlah hutan yang dibuka di sekitar setiap turbin angin (umumnya antara 50 hingga 100 x 100 m). Ruang ini digunakan untuk derek dan penyimpanan. Dengan menggunakan *self-climbing crane* dan bukan *crane* tradisional, ruang ini dapat diminimalkan. Dengan perencanaan yang matang, penyimpanan sementara sudu turbin angin di sisi samping jalan dan bukan di samping turbin juga dapat mengurangi area yang diperlukan di sekitar turbin angin.

Sebagai bagian dari Analisis Dampak Lingkungan dan Sosial, studi dasar keanekaragaman hayati, penilaian risiko dan langkah-langkah mitigasi harus dilakukan selama fase kelayakan.

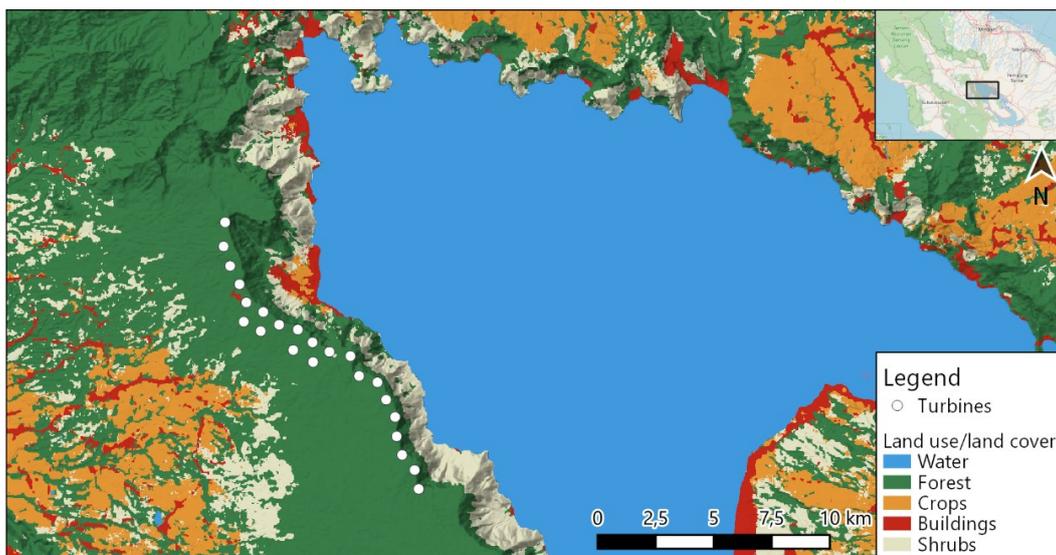
2.6.3 Dampak sosial

Selain beberapa rumah di dalam dan dekat kompleks pembangkit listrik, area di dalam dan tepat di sekitar PLTB dihuni oleh manusia (lihat Gambar 34). Turbin potensial ditempatkan pada jarak setidaknya 300 meter dari beberapa rumah yang ada. Bangunan yang ada merupakan rumah bagi para pekerja PLN dan beberapa keluarga yang mengelola toko-toko dan restoran di persimpangan



jalan. Di sebelah timur PLTB terletak desa Paropo, yang sebagian besar terdiri dari nelayan, pemilik toko kecil, dan petani kecil. Beberapa hotel dan penginapan tersedia untuk mengakomodasi wisatawan (terutama lokal).

Oleh karena itu, dampak sosial kurang lebih terbatas pada kehadiran visual turbin di dekat tepi kaldera, dan dampak penutupan jalan selama transportasi. Ketika turbin ditempatkan di dekat tepian, turbin akan terlihat dari jarak jauh, yang dapat memengaruhi bagaimana lokasi dilihat dari sudut pandang wisatawan.



Gambar 34. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2022). Area di sekitar PLTB sebagian besar ditutupi oleh hutan dan semak belukar. Membandingkan data dengan citra satelit yang sebenarnya, beberapa lahan pertanian tandus antara desa Paropo dan turbin diidentifikasi sebagai bangunan.

Keistimewaan fitur geologi kaldera Toba dan topografi yang dihasilkannya membuat daerah ini dicap sebagai destinasi wisata nasional dan internasional. Kawasan ini diakui sebagai Geopark oleh UNESCO. Di Indonesia, terdapat 10 Geopark (misalnya Raja Ampat, Gunung Ijen, Gunung Rinjani). Di dalam kaldera, banyak hotel dan resor dapat ditemukan. Oleh karena itu, turbin angin yang terletak di tepi (di mana angin berlimpah) juga berpotensi terlihat dari jarak jauh. Hal ini dapat menyebabkan resistensi lokal dari industri perhotelan. Namun, kaldera Toba sangat besar (30 x 100 km), dan turbin angin tidak akan terlihat dari semua sisi kaldera atau Pulau Samosir.

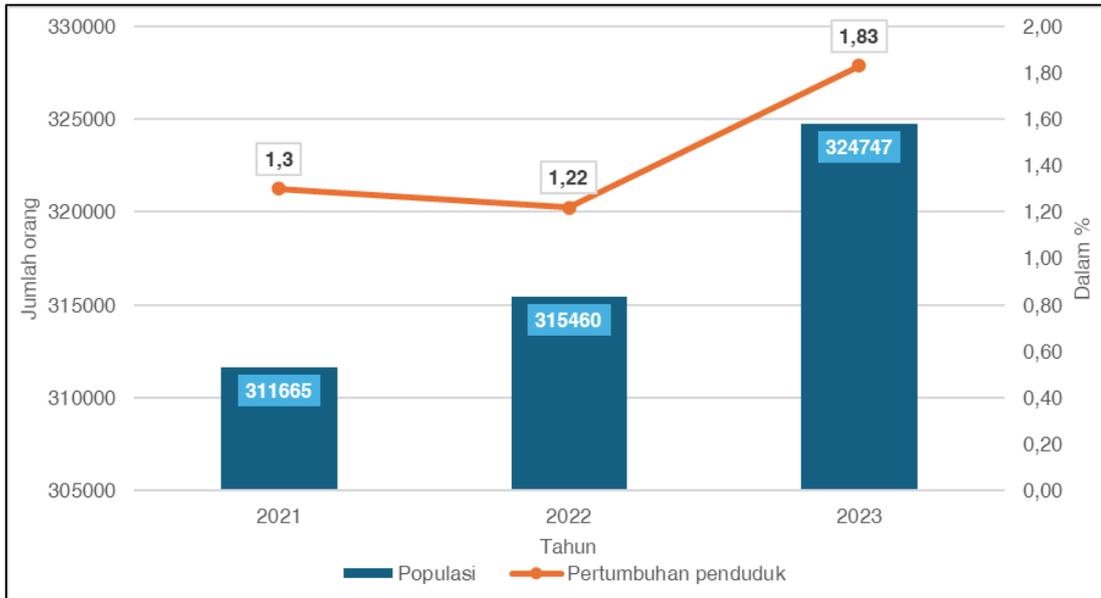
Menurut informasi online dari geoparktoolkit.org, tujuan Geopark adalah untuk *'merangsang kegiatan ekonomi dalam kerangka pembangunan berkelanjutan. (...) Oleh karena itu, semua Geopark memiliki kewenangan, dengan bantuan UNESCO, untuk mendorong pembangunan sosial-ekonomi yang berkelanjutan secara budaya dan lingkungan.'* Dengan pendekatan yang tepat, diharapkan PLTB bisa masuk dalam kerangka kerja yang disebutkan di atas. Menempatkan turbin jauh dari tepi dapat membuat turbin tersebut tidak terlihat dari dasar tepi kaldera dekat Desa Paropo (lihat Gambar 34), tetapi tidak dari jarak yang lebih besar seperti sisi berlawanan dari kaldera atau dari bagian Pulau Samosir. Namun, karena kelembaban yang tinggi di daerah tropis ini, sisi berlawanan dari kaldera sering kali hampir tidak terlihat pada pagi dan sore hari.

Paragraf berikutnya memberikan gambaran tentang statistik populasi dan pekerjaan di kabupaten ini.



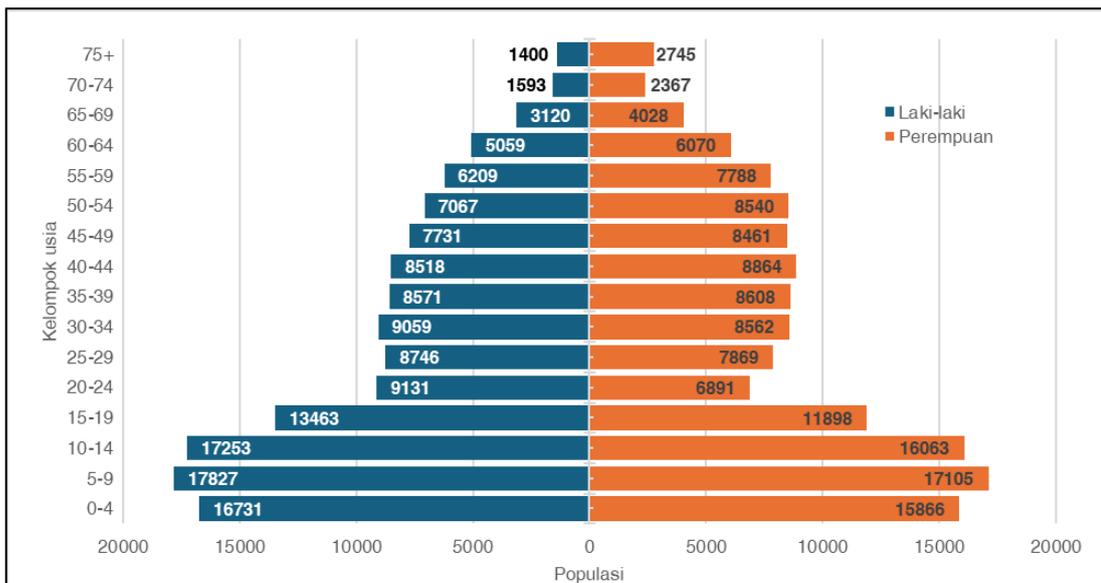
Populasi

Jumlah penduduk di Kabupaten Dairi mengalami sedikit peningkatan dari 311.665 jiwa pada tahun 2021 menjadi 324.747 jiwa pada tahun 2023. Namun, pertumbuhan penduduk berfluktuasi dari 1,3% pada tahun 2021 menjadi 1,83% pada tahun 2023. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 35.



Gambar 35. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Kabupaten Dairi dari tahun 2021 hingga 2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Dairi \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).

Piramida penduduk Kabupaten Dairi pada tahun 2018 ditampilkan pada Gambar 36. Total populasi pria dan wanita dari usia 0 hingga 75+ tahun hampir sama. Sementara itu, rasio gender di kabupaten ini sebesar 1,004 pada tahun 2022.



Gambar 36. Piramida penduduk di Kabupaten Dairi tahun 2018 (Sumber: [Statistik Kabupaten Dairi \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).



Pekerjaan, pendidikan, dan pengembangan

Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) adalah perkiraan proporsi penduduk usia kerja yang terlibat aktif dalam angkatan kerja. Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) adalah proporsi populasi usia kerja yang tidak aktif terlibat dalam angkatan kerja. Kedua data ketenagakerjaan ini ditampilkan pada Tabel 3. TPAK di Dairi pada tahun 2023 sebesar 84,81%, menurun dari tahun sebelumnya. Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) pada tahun yang sama sebesar 1,23%, meningkat dari tahun sebelumnya.

Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Dairi pada tahun 2021-2023 (Sumber: [BPS Kabupaten Dairi](#)).

Metrik (dalam%)	Tahun		
	2021	2022	2023
Partisipasi angkatan kerja	85,73	85,01	84,81
Tingkat pengangguran	1,49	0,88	1,23

Jumlah pekerja menurut pendidikan tertinggi dari tahun 2023 disajikan pada Tabel 4. Secara keseluruhan, angkatan kerja didominasi oleh pekerja yang pendidikan tertingginya adalah sekolah menengah atas. kelompok terbesar kedua adalah lulusan sekolah menengah pertama, diikuti oleh sekolah dasar.

Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Dairi pada tahun 2023 (Sumber: [BPS Kabupaten Dairi](#)).

Pencapaian pendidikan	Bekerja	Tidak Bekerja	Jumlah Penduduk Aktif Secara Ekonomi	Persentase Pekerja yang Aktif Secara Ekonomi (%)
Sekolah dasar (SD)	36.793	528	37.321	98,59
Sekolah menengah pertama (SMP)	47.689	148	47.837	99,69
Sekolah menengah atas (SMA)	61.893	1.522	63.415	97,60
Sekolah menengah kejuruan (SMK)	25.446	-	25.446	100
Diploma I/II/III	6.146	-	6.146	100
Universitas	16.993	237	17.230	98,62
Total	194.960	2.435	197.395	98,77

Angka Partisipasi Murni dalam data demografis mewakili rasio pendaftaran untuk kelompok usia yang sesuai dengan usia sekolah resmi di tingkat dasar atau menengah, dengan total populasi kelompok usia yang sama pada tahun tertentu. Angka yang sesuai di kabupaten pada tahun 2022-2023 disajikan pada Tabel 5.



Tabel 5. Angka Partisipasi Murni di Kabupaten Dairi pada tahun 2022-2023 (Sumber: [BPS Kabupaten Dairi \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).

Angka partisipasi murni	Tahun	
	2022	2023
Tingkat pendidikan		
Sekolah dasar	93,78	99,28
Sekolah menengah pertama	87,70	77,47
Sekolah menengah atas	90,19	71,73
Universitas	23,97	11,70

Jumlah fasilitas pendidikan di Kabupaten Dairi ditunjukkan pada Tabel 6. Pada tahun 2023-2024, terdapat 261 unit SD 12 unit SD Islam. Selanjutnya, ada 63 SMP dan 3 SMP Islam. Jumlah SMA, SMK, dan SMA Islam masing-masing ada 24, 16, dan 3.

Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Dairi tahun 2023-2024 (Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024).

Jenis Sekolah	Negara	Swasta	Total
Sekolah dasar	245	16	261
Madrasah Ibtidaiyah (Sekolah dasar Islam)	4	8	12
Sekolah menengah pertama	37	26	63
Madrasah Tsanawiyah (Sekolah menengah Islam)	1	2	3
Sekolah menengah atas	13	11	24
Sekolah menengah kejuruan	6	10	16
Madrasah Aliyah (Sekolah menengah Islam)	1	2	3

Indeks Pembangunan Manusia (HDI) mengukur pencapaian pembangunan manusia berdasarkan sejumlah komponen dasar kualitas hidup, yang didasarkan pada tiga dimensi:

- Hidup panjang dan sehat (melalui angka harapan hidup saat lahir);
- Pengetahuan (melalui indikator angka melek huruf dan rata-rata lama sekolah), dan
- Kehidupan yang layak (melalui indikator daya beli masyarakat untuk sejumlah kebutuhan pokok).

Indeks Pembangunan Manusia di Kabupaten Dairi dari tahun 2021 hingga 2023 mengalami kenaikan dari 71,84 menjadi 75,18, seperti terlihat pada Tabel 7



Tabel 7.



Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Dairi pada tahun 2021-2023 (Sumber: [BPS Kabupaten Dairi \(bps.go.id\)](https://bps.kabupatendairi.go.id)).

Metrik	Tahun		
	2021	2022	2023
Indeks Pembangunan Manusia	71,84	72,56	75,18
Indeks Pemberdayaan Gender	61,11	62,57	62,34
Indeks Pembangunan Gender	98,05	98,15	98,44

Indeks Pemberdayaan Gender (GEI) mengukur ketidaksetaraan gender dalam tiga dimensi mendasar:

- Partisipasi dan pengambilan keputusan dalam hal ekonomi;
- Partisipasi dan pengambilan keputusan dalam hal politik; dan
- Kekuasaan atas sumber daya ekonomi.

GEI di kabupaten dari tahun 2021 hingga 2023 menunjukkan peningkatan keseluruhan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Indeks Pembangunan Gender (GDI) adalah ukuran ketidaksetaraan gender berdasarkan pencapaian dalam tiga dimensi mendasar:

- Kesehatan (melalui angka harapan hidup wanita dan pria saat lahir);
- Pendidikan (melalui perkiraan lama bersekolah bagi anak-anak perempuan dan laki-laki, dan rata-rata lama bersekolah untuk orang dewasa perempuan dan laki-laki usia 25 tahun dan lebih tua); dan
- Penguasaan atas sumber daya ekonomi (via perkiraan pendapatan perempuan dan laki-laki).

GDI di kabupaten tersebut dari tahun 2021 hingga 2023 menunjukkan tren yang secara umum meningkat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

2.7 Desain jaringan transmisi

2.7.1 Titik koneksi

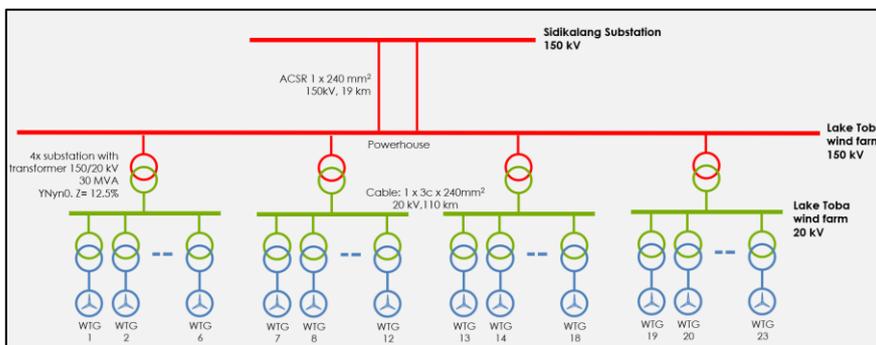
Berdasarkan lokasi tata letak awal PLTB yang dibayangkan, titik koneksi terdekat ke jaringan PLN yang ada telah ditentukan. Gardu induk PLN 150 kV (ULTG) Sidikalang yang terletak di sebelah timur desa Sidikalang dipilih untuk studi ini. Foto udara gardu induk ini termasuk dalam Gambar 37. Karena studi saat ini tidak termasuk studi interkoneksi jaringan listrik, diasumsikan bahwa PLTB dapat dihubungkan ke jaringan yang ada, hal ini tidak mempengaruhi fungsi jaringan secara negatif, dan oleh karena itu sistem baterai tidak diperlukan. Selain itu, diasumsikan bahwa busbar tersedia di gardu induk untuk menghubungkan PLTB dengan gardu induk.



Gambar 37. Lokasi Gardu Induk PLN (ULTG) Sidikalang 150 kV. Sumber: Google Maps.

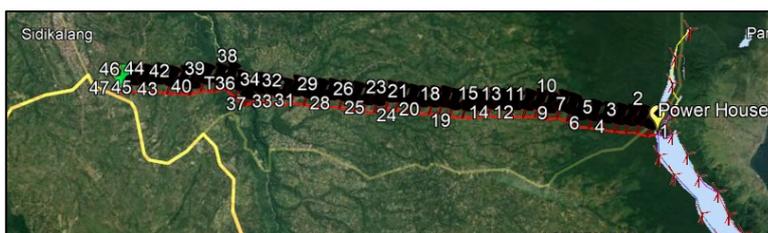
2.7.2 Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi

Pada Gambar 38, desain skematis jaringan transmisi dan distribusi diilustrasikan. Masing-masing 23 turbin angin akan memiliki keluaran 20 kV (melalui transformator 5 MVA per turbin angin) yang didistribusikan melalui kabel distribusi. Per rangkaian dengan maksimal 6 turbin angin, listrik yang dihasilkan didistribusikan ke salah satu dari empat gardu induk di PLTB. Di gardu induk ini, tegangan diubah menjadi 150 kV. Dari gardu induk, kabel 150 kV disatukan dan dihubungkan ke rumah pembangkit di perbatasan PLTB. Saluran transmisi udara mengangkut listrik yang dihasilkan dari rumah pembangkit ke titik koneksi, gardu induk Sidikalang.



Gambar 38. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Dairi yang dibayangkan.

Saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu induk PLN diasumsikan sebagai garis lurus antara kedua lokasi, meliputi 19 km seperti yang divisualisasikan pada Gambar 39. Sebanyak 48 menara transmisi direncanakan dengan jarak perantara antara menara sebesar 340-450 m.



Gambar 39. Representasi skematis dari posisi saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu induk Sidikalang.



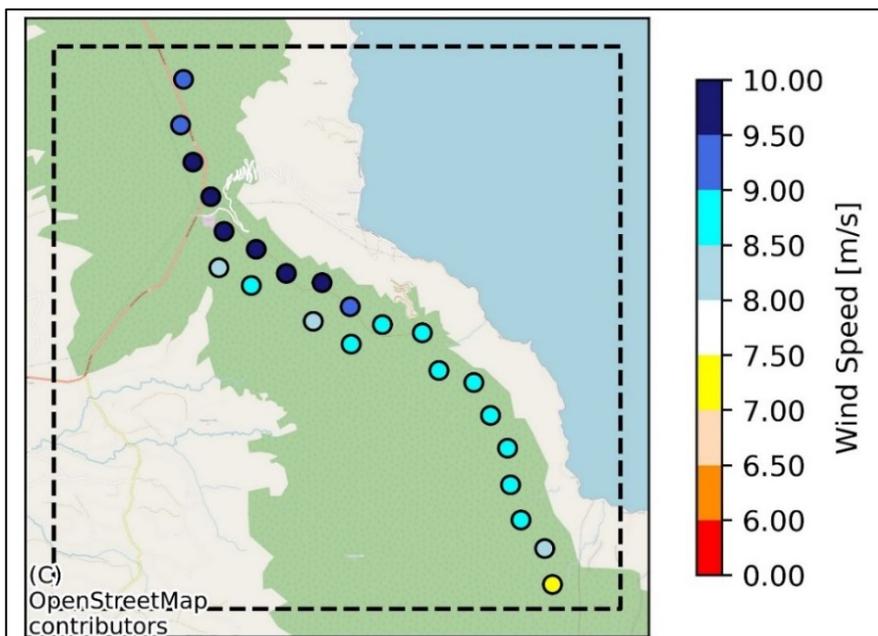
2.8 Asesmen keluaran energi

Keluaran energi disajikan sebagai rata-rata tahunan dan oleh karena itu disebut Produksi Energi Tahunan (*Annual Energy Production/AEP*). AEP bruto dimodelkan dengan menggabungkan iklim angin jangka panjang yang dihitung dan spesifikasi turbin angin dari kurva dayanya.

Untuk asesmen keluaran energi PLTB Dairi, kecepatan angin jangka panjang ditentukan berdasarkan Simulasi Eddy Besar (*Large-Eddy Simulations/LES*) dengan model ASPIRE dari Whiffle. Kekuatan utama dari model LES ini adalah kemampuannya untuk memberikan representasi terperinci dari pola aliran yang kompleks. Hal ini penting karena WTG yang dipertimbangkan sebagian ditempatkan di dataran yang kompleks dengan intensitas turbulensi tinggi.

Resolusi horizontal LES adalah 100 m dan resolusi dalam arah vertikal adalah 40 m. Klimatologi didasarkan pada pilihan 50 hari representatif yang dipilih antara tahun 2002 dan 2024. Pemilihan dilakukan berdasarkan data kecepatan angin dari titik grid ERA5 terdekat pada ketinggian 100 m dan memperhitungkan variasi iklim angin akibat El Niño dan La Niña.

Gambar 40 menunjukkan klimatologi yang dihasilkan di lokasi WTG. Kecepatan angin jangka panjang yang dimodelkan, yang dirata-ratakan dari semua 23 WTG pada ketinggian naf yang direncanakan yaitu 140 m, adalah 9,0 m / s. Harus dicatat bahwa kecepatan angin rata-rata di *Global Wind Atlas* (GWA), jauh lebih rendah (7,6 m / s). Namun demikian, verifikasi model numerik melalui pengukuran sangat penting, dan dalam hal ini, model LES yang lebih rumit digunakan untuk analisis lebih lanjut. Tren kecepatan angin konsisten antara data jangka panjang dan GWA: WTG yang lebih dekat ke punggung memiliki kecepatan angin tertinggi (hingga 9,9 m / s). Di bagian tenggara daerah tersebut, kecepatan angin terendah ditemukan (7,2 m / s). AEP kemudian dihitung berdasarkan kurva daya WTG referensi 4 MW dengan diameter rotor hampir 170 m dan ketinggian naf 140 m.



Gambar 40. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dari model ASPIRE pada ketinggian 140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbatas hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna di dalam lingkaran menunjukkan kecepatan angin rata-rata jangka panjang masing-masing.



2.8.1 Rugi-rugi energi

AEP neto dihitung dengan mengurangi rugi rugi produksi energi dari AEP bruto. Hal ini merupakan rugi rugi karena sejumlah penyebab, seperti tidak tersedianya turbin angin dan rugi rugi terkait kinerja atau rugi rugi kelistrikan. Rugi rugi ini ditentukan baik oleh perhitungan atau oleh penilaian ahli dan dimasukkan sebagai nilai persentase AEP tidak termasuk rugi rugi olakan.

Dalam laporan ini, AEP bersih ditampilkan sebagai AEP P50. Nilai P50 adalah tingkat kepercayaan statistik yang menunjukkan nilai AEP yang dapat dilampaui dengan probabilitas 50%. Dengan kata lain, P50 AEP adalah produksi energi tahunan rata-rata yang diharapkan selama masa pakai PLTB. Tabel 8 menyajikan perkiraan rugi rugi di tingkat PLTB.

Tabel 8. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB

Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
Interaksi	Rugi-rugi olakan [%]	2,0%	Rugi-rugi olakan adalah pengaruh agregat pada produksi energi oleh PLTB, yang dihasilkan dari perubahan kecepatan angin yang disebabkan oleh <i>downwind</i> dari turbin angin satu sama lain. Rugi-rugi olakan dimodelkan menggunakan model standar NO Jensen (RISØ / EMD) (versi PARK2 – 2018) di windPRO, menghasilkan rugi-rugi olakan keseluruhan sebesar 2,0%.
	Rugi-rugi halangan [%]	0,0%	PLTB tidak hanya berinteraksi dengan kecepatan angin hilir (yaitu rugi-rugi olakan), tetapi juga berinteraksi dengan penurunan kecepatan angin hulu. Pengurangan kecepatan angin hulu ini disebut efek penyumbatan. Model <i>Self Similar</i> oleh Forsting (2016) ¹¹ dengan parameterisasi linier digunakan untuk menghitung halangan. Halangan 0% diperkirakan untuk tata letak di Dairi.
Ketersediaan	Ketidakterediaan [%]	4,0%	Rugi-rugi produksi ini berkaitan dengan periode turbin angin yang tidak beroperasi karena pemeliharaan, kerusakan dan reorientasi nasel. Rugi-rugi sebesar 4,0% diperhitungkan untuk PLTB dengan lebih dari 5 WTG.
	<i>Balance of Plant</i> [%]	0,1%	Rugi-rugi <i>Balance of Plant</i> terjadi karena tidak tersedianya transformator stasiun atau jalan akses dan karenanya menghambat operasi normal PLTB.
	Waktu henti jaringan listrik [%]	0,5%	Rugi-rugi waktu henti jaringan disebabkan oleh tidak tersedianya jaringan dari operator jaringan listrik.
Performa	Rugi-rugi kurva daya [%]	2,0%	Rugi-rugi kurva daya adalah hasil dari operasi turbin angin yang kurang optimal. Hal ini terjadi ketika turbin angin

¹¹ Meyer Forsting, A. R., Troldborg, N., & Gaunaa, M. (2016). The flow upstream of a row of aligned wind turbine rotors and its effect on power production. *Wind Energy*, 20(1), 63–77.



Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
			beroperasi di luar kondisi desain kurva daya. Rugi-rugi kinerja konservatif sebesar 2,0% diasumsikan karena tidak ada kurva daya spesifik lokasi yang tersedia.
	Histerisis angin kencang [%]	0,5%	Pada kecepatan angin <i>cut-out</i> , turbin angin dimatikan sebagai tindakan pencegahan keamanan. Model perhitungan mengasumsikan bahwa turbin angin beroperasi penuh sampai kecepatan angin <i>cut-out</i> dan dimatikan dari titik itu. Pada kenyataannya, jika kecepatan angin berfluktuasi di sekitar kecepatan angin <i>cut-out</i> , turbin angin akan mati sampai kecepatan angin di bawah kecepatan angin <i>re-cut</i> . Rugi-rugi sebesar 0,5% diasumsikan.
	Ketidaksejajaran geleng [%]	0,0%	Rugi-rugi ketidaksejajaran geleng disebabkan oleh ketidakmampuan WTG untuk menyelaraskan diri sepenuhnya dengan arah angin aktual dan karenanya kehilangan potensi produksi. Alasannya bisa jadi sistem operasi lama yang tidak mampu mengukur arah angin saat ini secara akurat. Hal ini diasumsikan tidak akan terjadi.
Kelistrikan	Rugi-rugi kelistrikan [%]	2,0%	Rugi-rugi kelistrikan pada kabel daya terjadi karena resistensi kabel, yang meningkatkan suhu kabel dan mengakibatkan hilangnya daya ini. Nilai konservatif diasumsikan sebesar 2, 0%.
	Rugi-rugi transformator [%]	1,0%	Transformator WTG mengonsumsi energi saat level tegangan meningkat. Karena rugi-rugi transformator tidak tergabung dalam kurva P-V, rugi-rugi sebesar 1,0% diasumsikan.
	Konsumsi listrik WTG [%]	0,1%	Turbin angin membutuhkan listrik untuk mendukung kegiatan operasional seperti sistem perangkat lunak. Rugi-rugi energi sebesar 0,1% diasumsikan.
Lingkungan	Pematan karena lapisan es, petir dll. [%]	0,3%	Pematan merupakan tindakan keamanan yang diperlukan selama periode dingin ketika es menumpuk di sudu atau selama badai petir. Tidak ada lapisan es yang diperkirakan di lokasi ini. Rugi-rugi akibat petir sebesar 0,3% diasumsikan.
	Degradasi sudu [%]	1,3%	Seiring waktu, efisiensi aerodinamis sudu turbin angin menurun karena degradasi. Untuk turbin angin darat, ini terutama disebabkan oleh bahan organik, partikel debu, dan partikel lainnya yang terakumulasi pada sudu. Efek ini menumpuk dari waktu ke waktu. Rugi-rugi degradasi tahunan sebesar 0,1% diasumsikan. Selama masa pakai 25 tahun, diperkirakan rugi-rugi sebesar 1,3%.



Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
	Suhu tinggi dan rendah [%]	2,0%	Penurunan suhu terjadi ketika turbin angin beroperasi di luar kisaran suhu operasi. Rugi-rugi diperkirakan 2,0%.
	Pertumbuhan & penebangan pohon [%]	0,0%	Turbin angin diposisikan di hutan dan perubahan ketinggian pohon atau penebangan pohon dapat menyebabkan kekasaran yang berbeda dan perubahan kecepatan angin. Namun, karena ketinggian pohon yang terbatas (sekitar 15 m), dan tidak ada penebangan pohon yang substansial yang diperkirakan, dalam hal ini tidak ada kerugian tambahan yang diperhitungkan.
Pembatasan	Pembatasan jaringan [%]	0,0%	Rugi-rugi akibat pembatasan jaringan tidak dipertimbangkan untuk PLTB ini.
	Pembatasan kebisingan [%]	0,0%	Turbin angin beroperasi dalam mode daya yang mengurangi kebisingan untuk meminimalkan tingkat kebisingan di rumah-rumah terdekat. Karena lokasi ini terletak di daerah terpencil, tidak ada rugi-rugi yang diharapkan.
	Pembatasan kedipan bayangan [%]	0,0%	Kedipan bayangan adalah efek ketika sudu rotor secara berkala menimbulkan bayangan ke area tertentu. Pembatasan kedipan bayangan diperkenalkan dengan tujuan mengurangi efek signifikan pada perumahan. Karena lokasi ini terletak di daerah terpencil, tidak ada rugi-rugi yang diperkirakan.
	Mitigasi burung/kelelawar [%]	0,0%	Analisis lengkap tentang habitat potensial burung dan/atau kelelawar yang dilindungi akan dilakukan dalam studi kelayakan. Pada saat ini, rugi-rugi ini diasumsikan 0,0%.
	Manajemen sektor angin [%]	0,0%	Untuk menjamin masa pakai WTG yang diharapkan, apa yang disebut dengan studi Asesmen Lokasi dilakukan oleh produsen WTG. Ketika Asesmen Lokasi ini menunjukkan beban yang melebihi pada komponen WTG, berdasarkan kondisi iklim tertentu, ada kebutuhan untuk mengubah mode operasi normal WTG ke program alternatif. Hal ini sering termasuk penerapan mode daya yang dikurangi yang sering mengakibatkan rugi-rugi produksi. Pada saat ini diasumsikan 0,0%.
Sub-total rugi-rugi non-interaksi [%]		13,0%	Akumulasi semua rugi-rugi yang disebutkan di atas, tidak termasuk rugi-rugi olakan. Berdasarkan $1-(1-\text{rugi-rugi A}) \times (1-\text{rugi-rugi B}) \times (1-\text{rugi-rugi C}) \dots$ dll.
Total rugi-rugi [%]		14,8%	Akumulasi semua rugi-rugi yang disebutkan di atas, termasuk rugi-rugi olakan. Berdasarkan $1-(1-\text{rugi-rugi A}) \times (1-\text{rugi-rugi B}) \times (1-\text{rugi-rugi C}) \dots$ dll.



2.8.2 Keluaran energi termasuk ketidakpastian

Memasukkan ketidakpastian model mengarah pada peningkatan keandalan penilaian sumber daya angin. Biasanya, P90 AEP digunakan untuk mengekspresikan dampak ketidakpastian. P90 adalah tingkat kepercayaan statistik yang menunjukkan nilai AEP yang dapat dilampaui dengan probabilitas 90%. Ketika distribusi probabilitas normal diasumsikan, nilai Pxx ditemukan melalui rumus berikut: $P90 = P50 * (1 - 1,28 * \sigma)$. Ketidakpastian [dalam %] ditetapkan sebagai σ .

Di sini kami mengasumsikan ketidakpastian konservatif sebesar 20% karena perhitungan murni didasarkan pada model numerik dan tidak ada pengukuran yang dilakukan di tempat pada tahap ini. Nilai P90 yang dihasilkan diberikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Keluaran energi untuk semua 23 WTG di PLTB Dairi.

Parameter [Unit]	Jumlah
Jumlah WTG baru	23
Nilai Daya per WTG [MW]	4,0
Total Nilai Daya [MW]	92,0
Diameter rotor [m]	~170
Tinggi naf [m]	140
Kepadatan udara [kg/m ³]	0,986
Kecepatan angin [m/s]	9,0
Hasil bruto [MWh/th]	507.848
Hasil bruto termasuk efek olakan [MWh/th]	497.691
P50 [MWh/th]¹²	432.897
P90 (25 th) [MWh/th]	321.941
P50 [jam/th]	4.705
P90 (25 th) [jam/th]	3.499

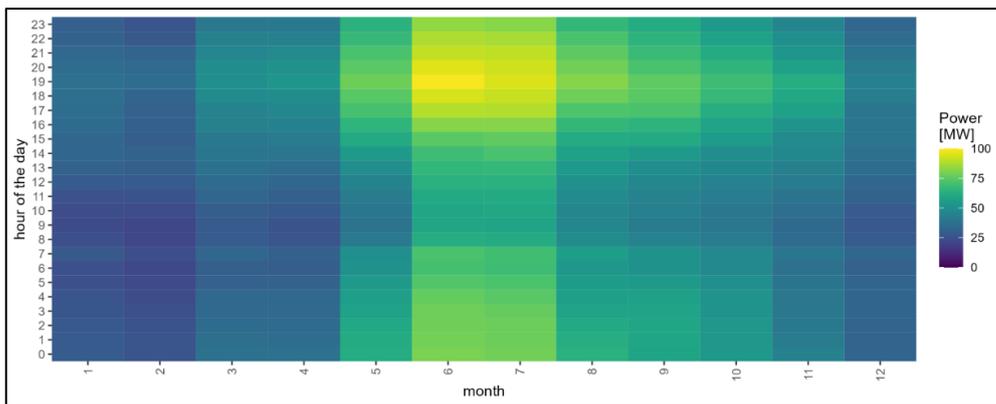
2.8.3 Variasi keluaran daya

Dalam Subbagian 2.8.2, kami telah memberikan perkiraan produksi tahunan P50, setara dengan 432.897 MWh per tahun. Sebelumnya, selama penilaian sumber daya angin pertama di Subbagian 2.2.2 kami telah menunjukkan bahwa untuk lokasi ini terdapat variasi yang besar dalam kecepatan angin sepanjang tahun, dengan kecepatan angin tertinggi selama bulan-bulan musim panas. Variabilitas ini memiliki efek langsung terhadap total keluaran daya PLTB pada saat-saat tertentu dalam setahun.

¹² Perhatikan bahwa nilai P50 didasarkan pada perhitungan LES dengan kecepatan angin rata-rata lebih tinggi dari *Global Wind Atlas*. Kedua model didasarkan pada data model ERA5 yang mendasarinya. Ketidakpastian dalam AEP akan berkurang setelah pengukuran di lokasi dilakukan. Sampai pengukuran dilakukan, hasil penelitian ini harus diinterpretasikan dengan hati-hati.



Gambar 41 menunjukkan keluaran daya PLTB rata-rata untuk setiap bulan, dibagi lagi menjadi jam selama sehari penuh. Data masukan untuk angka ini berasal dari pemodelan ASPIRE yang dikombinasikan dengan variabilitas rata-rata EMD-WRF dalam kecepatan angin sepanjang tahun. Ilustrasi grafis ini relevan untuk diperhitungkan dalam studi kelayakan interkoneksi jaringan listrik pada studi selanjutnya untuk lokasi proyek ini.



Gambar 41. Gambaran umum variasi bulanan dari keluaran daya rata-rata PLTB per jam dalam sehari berdasarkan nilai P50 dari Subbagian 2.8.2 dalam kombinasi dengan variasi bulanan dan per jam dalam kecepatan angin dari EMD-WRF (lihat juga Gambar 8).

2.9 Asesmen kasus bisnis

2.9.1 Asumsi komponen

Untuk menentukan kasus bisnis untuk PLTB, perlu untuk mengukur parameter biaya input dan menentukan asumsi yang digunakan. Ini dikategorikan dalam:

- Pekerjaan persiapan
- Turbin angin
- Pekerjaan sipil
- Pekerjaan kelistrikan
- Pengeluaran operasional

Dalam subparagraf berikut, masing-masing kategori di atas dijelaskan lebih lanjut.

Pekerjaan persiapan

Pekerjaan persiapan berikut harus dilaksanakan sebelum dimulainya sebagian besar pekerjaan desain dan pastinya sebelum dimulainya konstruksi. Biaya untuk pekerjaan persiapan ini termasuk dalam kasus bisnis:

- Studi pra-kelayakan
- Studi kelayakan penuh
- Penilaian dampak jaringan listrik
- Pengajuan izin
- Survei
 - Topografi
 - Evaluasi pelabuhan
 - Kondisi jalan



- Geologi
- Geoteknik
- Lingkungan
- Sosial
- Pengukuran angin (2 tiang pengukuran meteorologis + 1 LiDAR, selama 2 tahun)
- Pembebasan lahan, dengan asumsi Rp 200.000 /m² + pajak 5% untuk tanah kualitas rendah, Rp 520.000 /m² + 5% untuk lahan subur sedang, yang akan digunakan untuk:
 - Permukaan jalan baru
 - Permukaan diameter rotor
 - Permukaan peningkatan jalan
 - Permukaan rumah pembangkit dan gardu induk
 - Permukaan menara transmisi

Turbin angin

Jumlah komponen yang relevan untuk pemasangan 23 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Kuantitas turbin angin relevan untuk PLTB Dairi yang dibayangkan.

Komponen utama	Jumlah
Nasel termasuk generator (4 MW)	23 buah
Sudu (85 m)	69 buah
Segmen menara (tinggi total 140 m)	138 buah

Selanjutnya, asumsi (biaya) berikut digunakan dalam kasus bisnis:

- Produsen turbin angin Republik Rakyat Tiongkok (RRT) digunakan sebagai turbin referensi. Pabrik ini sejauh ini memiliki rekam jejak terbatas di luar RRT tetapi dapat menawarkan harga yang kompetitif. Jaminan kualitas melalui referensi klien, sertifikasi internasional, tes penerimaan pabrik, tes penerimaan lokasi, garansi kualitas, dll. diperlukan;
- Semua komponen turbin angin dikirim dari RRT ke Pelabuhan Belawan (Medan) dan melalui transportasi darat membawa lokasi PLTB;
- Diasumsikan bea masuk sebesar 5% berlaku untuk generator dan sudu, dan sebesar 15% untuk bagian menara¹³;
- Biaya tersebut sudah termasuk transportasi, sewa *crane*, instalasi, dan *commissioning*.

¹³ Asumsi berdasarkan laporan PwC berjudul *Power in Indonesia: Investment and Taxation Guide* (Agustus 2023, Edisi ke-7)



Pekerjaan sipil

Kuantitas yang relevan untuk pekerjaan sipil yang diperlukan untuk pemasangan 23 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Jalan (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Pembangunan jalan berkerikil baru di dalam lokasi PLTB	13 km
	Peningkatan jalan yang sudah ada (layanan jalan PLN)	5.5 km
	Upgrading existing road (transport route Medan to site) a tikungan tajam near Sibolangit village and a section south of Merek.	2.5 km
Memperkuat jembatan (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Penguatan jembatan beton	4 jembatan
	Penguatan jembatan baja	2 jembatan
Fondasi (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Jangkar (72 per fondasi)	1,656 buah
	Kandang jangkar	23 buah
	Beton (230 m ³ per fondasi)	5,290 m ³
	Baja (35 ton per fondasi)	805 ton
Crane hardstand (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	<i>Crane hardstand</i> (50 x 100 m) menggunakan kerikil	23 <i>hardstand</i>

Selanjutnya, asumsi (biaya) berikut digunakan dalam kasus bisnis:

- Pekerjaan sipil termasuk desain, material, transportasi, dan tenaga kerja;
- Penguatan jembatan jalan raya dikecualikan (5 jembatan di jalan tol di sekitar Medan dan ke pelabuhan). Diasumsikan bahwa ini cukup kuat;
- Ada risiko biaya tambahan (tersembunyi) yang substansial. Misalnya, kebutuhan untuk memperkuat dermaga pembongkaran di pelabuhan atau untuk membuat area *lay-down* yang besar karena tantangan logistik di pelabuhan. Hal ini memerlukan analisis lebih lanjut dalam studi kelayakan berikutnya;
- Jumlah biaya yang digunakan dalam kasus bisnis didasarkan pada praktik terbaik, penelitian sekunder, dan kunjungan lapangan terbatas yang menimbulkan ketidakpastian yang signifikan dalam asumsi biaya.



Pekerjaan kelistrikan

Daftar kuantitas untuk pekerjaan kelistrikan berikut telah ditentukan untuk PLTB pada Tabel 12.

Tabel 12. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan.

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Saluran transmisi (19 km, 48 menara)	Menara transmisi	48 unit
	Konduktor	1 set
	Isolator dan fitting; Tipe Normal	1 set
	Kabel <i>ACSR Hawk</i> 240 mm ²	1 set
	Kabel GSW 70 mm ²	1 set
	Kabel OPGW 70 mm ²	1 set
Rumah pembangkit (1 untuk seluruh PLTB)	<i>Switchgear</i> MV yang masuk	23 unit
	<i>Switchgear</i> LV	1 unit
	<i>DC Supplies</i>	1 unit
	Proteksi petir	1 unit
	Transformator 20 kV (5 MVA)	23 unit
	Kabel 2x3C 300 mm	567 m
Pekerjaan listrik PLTB (antara pembangkit tenaga listrik, gardu induk dan turbin angin)	<i>Switchgear</i>	23 unit
	Kabel MVAC (1 x 3c x 240) 50 dan 300 meter	111 km
	Sistem Penumaian	1 unit
	Sistem Kontrol &; Pemantauan	1 unit
	Sistem Proteksi Kebakaran	1 unit
	Sistem Hidran	1 unit
	Fasilitas Air (Bersih dan Kotor)	1 unit
Gardu induk (empat untuk seluruh PLTB)	Transformator 150/20 kV 30 MVA	4 unit
	Resistor <i>Grounding</i> Netral	4unit
	<i>Switchyard</i>	1 unit
	<i>Bay</i> masuk/keluar, <i>coupler</i> , <i>busbar</i> , Panel RCP	4 set
	<i>Switchgear</i> LV	1 set
	Sistem SAS/SCADA	1 set



Selanjutnya, asumsi (biaya) berikut digunakan dalam kasus bisnis:

- Pekerjaan kelistrikan termasuk desain, bahan, transportasi dan tenaga kerja;
- Karena studi saat ini tidak termasuk studi kelayakan interkoneksi jaringan listrik, diasumsikan bahwa PLTB dapat dihubungkan ke jaringan yang ada, tidak mempengaruhi fungsi jaringan secara negatif, dan oleh karena itu tidak diperlukan sistem baterai; dan
- Diasumsikan bahwa *busbar* tersedia di gardu induk untuk menghubungkan PLTB dengan gardu induk.

Pengeluaran operasional

Biaya berikut diperkirakan akan dikeluarkan ketika PLTB mulai beroperasi (juga disebut sebagai *Commercial Operation Date* atau CoD) hingga akhir masa pakai desain PLTB (25 tahun):

- Biaya pemeliharaan dan layanan turbin angin, pekerjaan sipil dan pekerjaan kelistrikan
- Biaya operasi bisnis, misalnya manajemen aset, manajemen keuangan, manajemen PJBL, dll.
- Kompensasi penggunaan hutan sekitar 50% dari lokasi proyek, dengan asumsi Rp 2 juta/ha/tahun.
- Asuransi (misalnya asuransi kerusakan mesin, kewajiban pihak ketiga).

2.9.2 Asumsi biaya

Dalam tabel di bawah ini, asumsi biaya per komponen biaya tercantum yang berfungsi sebagai masukan untuk kasus bisnis. Kasus bisnis membedakan antara DEVEX (belanja pengembangan atau *development expenditure*, sebelum CoD), CAPEX (belanja modal atau *capital expenditure*) dan OPEX (belanja operasional atau *operational expenditure*). Karena ketidakpastian dan informasi terbatas yang menjadi dasar asumsi biaya, kisaran biaya (sebagai persentase dari biaya dasar) didefinisikan untuk masing-masing komponen biaya. Persebaran kisaran biaya tergantung pada ketidakpastian asumsi biaya.

Misalnya, untuk pekerjaan sipil, asumsi biaya memiliki ketidakpastian yang tinggi karena pengaruh survei fisik terhadap keputusan desain dan oleh karena itu harga konstruksi. Biaya turbin angin memiliki persebaran yang lebih kecil karena ketidakpastian disebabkan terutama oleh fluktuasi global, bukan oleh keputusan desain (seri produk).

Akumulasi rentang biaya akhirnya mengarah pada total biaya investasi batas bawah, dasar, dan batas atas. Dari sini, biaya per MW dihitung, yang merupakan indikasi seberapa tinggi investasi untuk PLTB tertentu ini dibandingkan dengan rata-rata global (berada di USD 1,3 juta/MW untuk tahun 2024¹⁴) dan dengan 7 lokasi lainnya.

¹⁴ Sumber: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/actual-and-forecast-onshore-wind-costs-2016-2025>



Tabel 13. Asumsi biaya per komponen biaya.

Komponen biaya	Biaya dasar termasuk PPN	Komentar	Kisaran biaya
Persiapan pekerjaan	USD 2.240.000	DEVEX: Sebelum Pemenuhan Pembiayaan	90% - dasar -120%
Manajemen proyek	USD 6.225.000	DEVEX: Sampai CoD	Dasar
Turbin angin	USD 64.108.000	CAPEX: termasuk transportasi dan instalasi	90% - dasar -120%
Pekerjaan sipil: fondasi	USD 9.216.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: jalan	USD 8.363.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: <i>crane hardstands</i>	USD 1.265.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan kelistrikan	USD 30.369.000	CAPEX	90% - dasar -120%
Pembebasan lahan	USD 9.549.000	CAPEX	90% - dasar -150%
Kontingensi risiko	USD 10.009.000	DEVEX + CAPEX	Dasar
Total biaya investasi batas bawah (DEVEX + CAPEX)	USD 126.978.000	Biaya investasi per MW: USD 1.380.000	
Total biaya investasi dasar (DEVEX + CAPEX)	USD 141.373.000	Biaya investasi per MW: USD 1.537.000	
Total biaya investasi batas atas (DEVEX + CAPEX)	USD 174.913.000	Biaya investasi per MW: USD 1.901.000	
Pengeluaran operasional dasar (OPEX)	USD 2.759.000 / tahun	Biaya operasional per MW/tahun: USD 30.000	

2.9.3 Parameter keuangan

Asumsi parameter keuangan berikut diterapkan dalam kasus bisnis:

- PLTB memiliki masa pakai desain 25 tahun;
- Periode penyusutan 25 tahun;
- Konstruksi dimulai pada tahun 2028,
- Pengadaan komponen PLTB diasumsikan pada tahun 2026, di mana indeksasi tahunan sebesar 3% digunakan pada tingkat harga pada tahun 2024;
- Pengeluaran operasional akan diindeks sebesar 5%;
- *Gearing* pinjaman sebesar 70%, ekuitas sebesar 30%;
- Jangka waktu utang adalah 10 tahun, struktur pembayaran anuitas;
- Tingkat bunga utang adalah 9,0%;
- Pajak properti dan pajak perusahaan sudah termasuk;
- Semua biaya sudah termasuk PPN;



- Biaya manajemen proyek atas nama pengembang sampai CoD diasumsikan sebesar 5% dari total biaya;
- Anggaran kontingensi risiko diasumsikan sebesar 8% dari total biaya termasuk biaya manajemen proyek;
- Setelah 25 tahun, nilai sisa PLTB yang ditransfer adalah sebesar USD 0 ke PLN;
- Struktur tarif sesuai dengan Peraturan Presiden 112/2022 digunakan. Peraturan ini mendefinisikan sebagai berikut:
 - Tarif batas atas per kWh pada tahun 1-10 untuk PLTB >20 MW = $9,54 \times$ faktor lokasi (menjadi 1,1 untuk Sumatra Utara) = USD 10,49 sen/kWh
 - Tarif batas atas per kWh pada tahun 11-25 untuk PLTB >20 MW = USD 5,73 sen/kWh
 - Kasus bisnis mengasumsikan PJBL dengan tarif batas atas yang sudah dijelaskan di atas. Dalam praktiknya, pengembang mungkin harus bernegosiasi dengan PLN tentang hal ini yang akan mengarah pada tarif PJBL yang lebih rendah.
 - Tidak ada pemisahan komponen untuk struktur tarif yang digunakan, yaitu pada O&M dan pekerjaan kelistrikan.
- Dalam PJBL, tidak ada Energi Kontrak Tahunan (*Annual Contracted Energy* atau ACE) yang berlaku.

2.9.4 Hasil asesmen kasus bisnis

Berdasarkan keluaran energi yang dihitung dalam Subbagian 2.8.2, asumsi biaya sebagaimana tercantum dalam Subbagian 2.9.2, dan parameter keuangan yang diasumsikan dalam Subbagian 2.9.3, kasus bisnis PLTB telah ditentukan untuk skenario biaya batas bawah, dasar dan atas. Kasus bisnis ini mengarah pada hasil berikut:

Tabel 14. Hasil asesmen kasus bisnis.

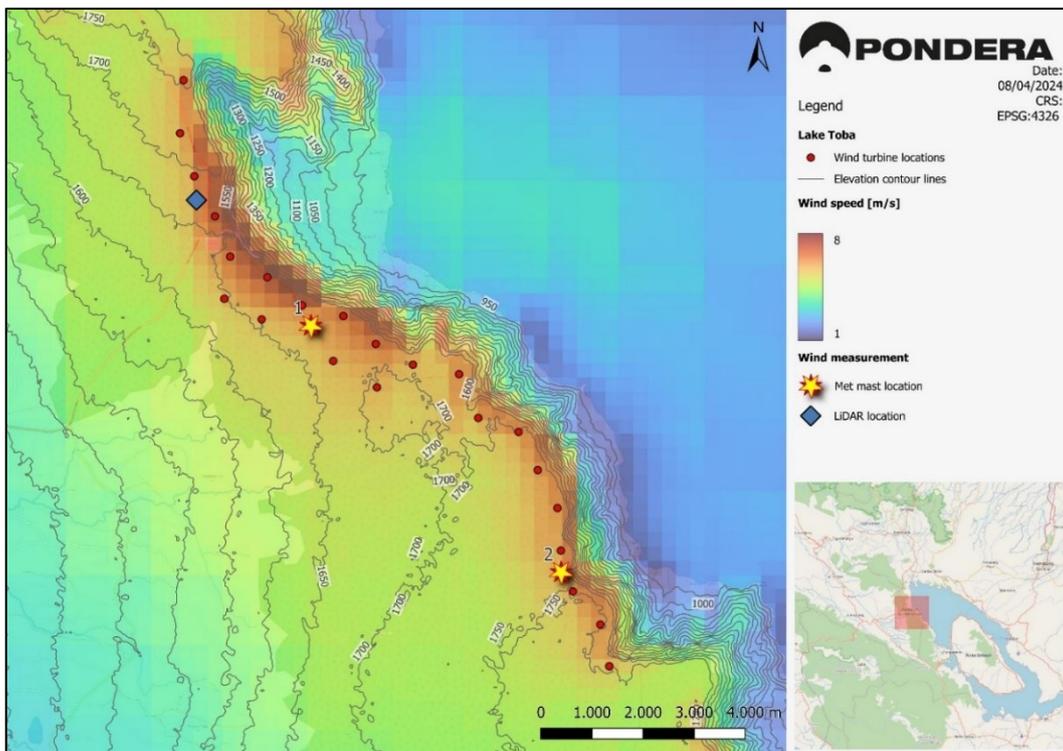
Hasil kasus bisnis	Skenario biaya batas bawah	Skenario biaya dasar	Skenario biaya batas atas
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR) Proyek (sebelum pajak) di P50	28,75%	25,40%	19,62%
Rata-rata <i>Debt Service Coverage Ratio</i> (DSCR) di P90	1,69	1,53	1,27
Laba bersih di P50 selama 25 tahun	USD 373.619.000	USD 356.350.000	USD 316.159.000



3 Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan analisis yang dilakukan dan data yang tersedia, disimpulkan bahwa kelayakan tekno-ekonomi keseluruhan dari PLTB di dekat Danau Toba di Kabupaten Dairi dapat menjanjikan. Kecepatan angin rata-rata 9,0 m / s (meskipun dengan ketidakpastian tinggi untuk diminimalkan dalam studi lebih lanjut) merupakan kontributor signifikan terhadap kasus bisnis yang berpotensi menjanjikan. Hal tersebut dikombinasikan dengan turbin angin yang tersedia pada tingkat harga yang kompetitif, dataran yang mudah diakses, dan jarak ke jaringan PLN yang ada, dapat menghasilkan kasus bisnis yang menguntungkan (dari perspektif pengembang proyek) dan berpotensi memberikan kelayakan teknis yang baik. Namun, PLTB yang dibayangkan mengandung risiko yang harus dipertimbangkan oleh pengembang dan investor. Hal ini dapat diringkas dalam daftar risiko non-limitatif berikut, termasuk rekomendasi tindakan mitigasi masing-masing:

- **Sumber daya angin:** Masih ada ketidakpastian yang signifikan pada sumber daya angin di daerah tersebut sebagaimana ditentukan dalam penelitian ini. Variasi hasil antara model yang berbeda menunjukkan bahwa validasi sumber daya angin di awal proses pengembangan sangat penting. Oleh karena itu, disarankan agar pengukuran angin dilakukan di daerah tersebut. Kami merekomendasikan menempatkan dua tiang pengukuran meteorologis setidaknya di dua lokasi dan LiDAR di satu lokasi di lokasi ini setidaknya selama dua tahun (untuk mencakup variasi musiman kecepatan angin; lihat Gambar 42). Latar belakang gambar tersebut adalah kecepatan angin dari *Global Wind Atlas* (GWA). Elevasi ditunjukkan dengan garis kontur. Titik merah menunjukkan lokasi turbin angin. Ikon kuning menunjukkan posisi global lokasi tiang pengukuran meteorologis yang direkomendasikan. Lokasi pengukuran LiDAR tambahan ditunjukkan dengan ikon berlian biru.



Gambar 42. Lokasi tiang pengukuran meteorologis dan LiDAR yang direkomendasikan.



Satu tiang pengukuran harus diposisikan lebih di bagian tengah lokasi dan satu di daerah selatan sehingga pengukuran mencakup keseluruhan variasi kecepatan angin di daerah tersebut. Selain itu, disarankan untuk menyebarkan LiDAR di wilayah utara pada tahap selanjutnya untuk memperoleh data angin tambahan dan mengurangi ketidakpastian.

Karena variasi ketinggian yang besar di Danau Toba, turbin angin bisa mengalami *up-* dan *downdrafts*. Inilah sebabnya mengapa tiang pengukuran meteorologis di dekat punggung kaldera yang curam lebih dipilih. Hal ini adalah rekomendasi kami secara khusus untuk memasang anemometer ultrasonik 3D di tiang pengukuran, yang tidak hanya mengukur kecepatan horizontal tetapi juga kecepatan vertikal angin. Di bagian utara lokasi, variasi ketinggian kurang menonjol, dan turbin angin lebih jauh dari punggung. Di sini pengukuran LiDAR temporal secara bersamaan dapat dipertimbangkan untuk menentukan gradien kecepatan angin di area tersebut.

- **Penggunaan lahan dan perizinan:** Seperti yang dapat diperoleh Gambar 34 dan Subbagian 2.2.5, PLTB yang direncanakan berada di Kawasan Hutan Lindung, dan oleh karena itu perlu untuk mendapatkan persetujuan dan izin khusus dari pihak berwenang. Mempertimbangkan tindakan yang diperlukan ini, penting juga bagi pengembang untuk menilai penggunaan / kepemilikan lahan secara lebih rinci sejak awal dalam proses pengembangan. Pengembang disarankan untuk terlebih dahulu berkonsultasi dengan pihak berwenang tentang kesediaan dan kemungkinan untuk menerbitkan persetujuan dan izin tersebut, dan pendekatan dengan pemilik lahan yang relevan tentang kemungkinan mencapai kesepakatan tentang lahan tersebut.
- **Transportasi:** Analisis aksesibilitas terbatas telah dilakukan untuk prospektus ini, menyimpulkan bahwa Pelabuhan Medan adalah titik awal yang paling cocok untuk transportasi darat. Untuk memastikan bahwa pelabuhan di Medan cocok untuk pembongkaran dan penyimpanan komponen turbin angin, penilaian yang lebih ekstensif perlu dilakukan di pelabuhan yang dapat memerlukan konsultasi dengan pemilik pelabuhan. Selain itu, diperlukan penyelarasan dengan pihak berwenang setempat untuk perbaikan jalan di selatan Merek di masa mendatang. Untuk perbaikan tikungan tajam di selatan Sibolangit, diperlukan penyelarasan dengan PDAM karena ada lokasi ekstraksi air yang dekat dengan jalan. Selain memiliki izin dari otoritas terkait untuk melanjutkan dengan perbaikan, akan bermanfaat juga untuk menjajaki potensi keterkaitan antara usulan perbaikan yang ini dengan proyek (pemerintah) lainnya. Oleh karena itu, perbaikan tersebut dapat bermanfaat bagi semua pihak. Survei logistik yang lebih ekstensif direkomendasikan untuk dilakukan sebagai bagian dari studi kelayakan di masa mendatang untuk mendapatkan detail lebih lanjut tentang (penyesuaian) infrastruktur yang diperlukan.
- **Geologi:** Berdasarkan tingkat studi yang dilakukan untuk prospektus ini, masih ada ketidakpastian yang signifikan termasuk dalam desain dan konstruksi fondasi, jalan, dan *hardstand crane*, karena keadaan geologis dan dampak dari keadaan ini. Oleh karena itu, disarankan untuk menyelidiki lebih lanjut stabilitas dan kemampuan tanah untuk menahan beban turbin angin lebih dekat ke tepi kaldera (di mana kecepatan angin yang lebih tinggi diharapkan) selama tahap kelayakan. Hal ini dapat dilakukan dengan penyelidikan geoteknik (menentukan karakteristik tanah seperti kuat geser, kepadatan, permeabilitas, dll.), dan selanjutnya analisis stabilitas tanah.



- **Kegempaan:** PLTB yang dibayangkan direncanakan di daerah dengan risiko gempa bumi (mirip dengan banyak lokasi lain di Indonesia). Selama studi kelayakan, percepatan puncak tanah maksimum yang diharapkan harus dihitung untuk penilaian bahaya yang lebih tepat akibat gempa bumi. Studi ini juga harus melihat cara-cara yang mungkin untuk mengurangi risiko gempa yang teridentifikasi. Desain fondasi setidaknya harus memenuhi standar internasional untuk mengurangi risiko gempa.
- **Lingkungan:** Danau Toba dan tanah sekitarnya merupakan tujuan wisata penting dan dapat dipengaruhi oleh turbin angin di dekatnya dengan ketinggian ujung lebih dari 200 m. Kehadiran PLTB ini dapat menyebabkan oposisi dari pemangku kepentingan lokal dan kelompok lingkungan pada pengembangan PLTB. Oleh karena itu, disarankan untuk melibatkan para pemangku kepentingan ini di awal pengembangan PLTB, untuk mengidentifikasi dan mengurangi keberatan spesifik dari masing-masing pemangku kepentingan.
- **Flora dan fauna:** Diperkirakan spesies flora dan fauna yang hampir terancam, rentan, terancam, dan sangat terancam punah berada di area PLTB yang dibayangkan. Oleh karena itu, kemungkinan pengembangan PLTB akan berpengaruh pada keanekaragaman hayati. Hal yang juga harus dipertimbangkan adalah pendanaan internasional untuk pembangunan di dalam hutan tidak diberikan dengan mudah. Oleh karena itu, disarankan bahwa sebagai bagian dari Analisis Dampak Lingkungan dan Sosial, studi dasar keanekaragaman hayati, dan penilaian risiko dan langkah-langkah mitigasinya dilakukan selama studi kelayakan.
- **Koneksi jaringan dan PJBL:** PLTB tersebut dirancang untuk dihubungkan ke jaringan PLN. Hal ini mengasumsikan bahwa grid dapat mengintegrasikan 92 MW energi angin (dengan keluaran yang bersifat variabel), dan bahwa gardu induk di Sidakalang cocok untuk memfasilitasi koneksi jaringan PLTB. Asumsi tersebut harus diverifikasi selama studi kelayakan. Selain itu, hasil penilaian kasus bisnis saat ini didasarkan pada asumsi bahwa PJBL menggunakan tarif batas atas listrik sebagaimana diatur dalam Peraturan Presiden 112/2022, dan bahwa tidak ada Energi Kontrak Tahunan (ACE) yang diterapkan. Kondisi PJBL yang sebenarnya tergantung pada PLN dan bagaimana proses tender diatur. Penyelarasan awal dengan PLN pada kondisi PJBL ini dan pengaturan proses tender direkomendasikan.

Berdasarkan daftar risiko di atas dan langkah-langkah mitigasi yang direkomendasikan, dan sebagai langkah selanjutnya dalam pengembangan PLTB, disarankan untuk memprioritaskan pelaksanaan pengukuran angin di tempat untuk memvalidasi kecepatan angin aktual di daerah tersebut. Sejalan dengan pengukuran, penting untuk mulai terlibat dan menyelaraskan dengan pemangku kepentingan terkait dan otoritas lokal tentang kesediaan mereka untuk berkolaborasi dalam pengembangan energi angin di lokasi ini.



4 Sanggahan

Prospektus PLTB ini telah ditulis dengan hati-hati berdasarkan penilaian yang dilakukan oleh empat pihak berpengalaman di sektor energi angin (Pondera, Witteveen+Bos, Quadran, dan BITA). Namun, selain kunjungan lapangan selama dua hari ke daerah tersebut, penilaian telah dilakukan melalui penelitian sekunder berdasarkan data dan informasi yang tersedia untuk umum. Sifat dan keakuratan data dan informasi yang digunakan untuk laporan sangat menentukan keakuratan dan ketidakpastian rekomendasi dan hasil laporan ini. Selanjutnya, verifikasi dan validasi melalui survei fisik, pengukuran, desain, perhitungan, dan konsultasi pemangku kepentingan diperlukan untuk menentukan kelayakan tekno-ekonomi definitif dari PLTB terkait. Oleh karena itu, tidak ada hak yang dapat diperoleh dari informasi dan hasil yang disajikan. Untuk beberapa situs, para pengembang telah memulai studi tindak lanjut dan oleh karena itu mungkin sampai pada pertimbangan dan kesimpulan yang berbeda berdasarkan data yang mereka dapatkan. Penggunaan prospektus PLTB ini terbatas untuk menginformasikan Pemerintah Indonesia, pengembang, dan investor tentang potensi indikatif dari lokasi yang disajikan untuk pengembangan energi angin. Penulis laporan ini tidak bertanggung jawab atas segala konsekuensi yang mungkin timbul dari penggunaan laporan yang tidak tepat.

Sanggahan

Informasi yang diberikan dalam dokumen ini diberikan "sebagaimana adanya", tanpa jaminan dalam bentuk apa pun, baik tersurat maupun tersirat, termasuk, tanpa batasan, jaminan kelayakan untuk diperdagangkan, kesesuaian untuk tujuan tertentu, dan tidak adanya pelanggaran. UNOPS secara khusus tidak memberikan jaminan atau pernyataan apa pun mengenai keakuratan atau kelengkapan informasi tersebut. Dalam keadaan apa pun, UNOPS tidak akan bertanggung jawab atas segala kerugian, kerusakan, kewajiban, atau biaya yang dikeluarkan atau diderita yang diklaim sebagai akibat dari penggunaan informasi yang terdapat di sini, termasuk, tanpa batasan, segala kesalahan, kekeliruan, kelalaian, gangguan, atau penundaan sehubungan dengan hal tersebut. Dalam keadaan apa pun, termasuk namun tidak terbatas pada kelalaian, UNOPS atau afiliasinya tidak akan bertanggung jawab atas segala kerusakan langsung, tidak langsung, insidental, khusus, atau konsekuensial, meskipun UNOPS telah diberitahu tentang kemungkinan kerusakan tersebut. Dokumen ini juga dapat berisi saran, pendapat, dan pernyataan dari dan dari berbagai penyedia informasi. UNOPS tidak menyatakan atau mendukung keakuratan atau keandalan saran, pendapat, pernyataan, atau informasi lain yang diberikan oleh penyedia informasi mana pun. Ketergantungan pada saran, pendapat, pernyataan, atau informasi lain tersebut juga menjadi risiko pembaca sendiri. Baik UNOPS maupun afiliasinya, maupun agen, karyawan, penyedia informasi, atau penyedia konten masing-masing, tidak bertanggung jawab kepada pembaca atau siapa pun atas ketidakakuratan, kesalahan, kelalaian, gangguan, penghapusan, cacat, perubahan, atau penggunaan konten apa pun di sini, atau atas ketepatan waktu atau kelengkapannya.