

# Pengembangan Energi Angin Proyek 68 MW di Probolinggo – Lumajang,

Jawa Timur

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 Seoul Province Republic of Korea

Kantor Vietnam

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

#### Judul halaman

Tipe dokumen Prospektus PLTB

Nama provek

Probolinggo - Lumajang, Jawa Timur - 68 MW

Nomor versi V5.0

Tanggal 31 Agustus 2024

Klien

**UNOPS - ETP** 

Penulis

Pondera, Witteveen+Bos, BITA, dan Quadran

gecertificeerd

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 PLTB Probolinggo – Lumajang, Jawa Timur – 68 MW 2				
	2.1 Pengenalan lokasi PLTB				
	2.1.1 2.1.2 2.1.3	Lokasi geografis Status dalam RUPTL PLN 2021-2030 Status pengembangan	:		
	2.2 Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan				
	2.2.1 2.2.2 2.2.3 2.2.4 2.2.5 2.2.6	Pendekatan Sumber daya dan karakteristik angin Topografi Penggunaan lahan	1 1 1 1 1		
	2.3 Tata le	etak awal PLTB	16		
		ibilitas PLTB			
	2.4.1 2.4.2 2.4.3	Pengaturan transportasi Indonesia Transportasi dari pelabuhan ke lokasi PLTB Transportasi di dalam lokasi	1° 18 2°		
	2.5 Kondisi geologi dan kegempaan		2		
	2.5.1 2.5.2	Geologi Kegempaan	2; 2;		
	2.6 Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan		2		
	2.6.1 2.6.2 2.6.3		2 <sup>2</sup> 3 <sup>3</sup>		
	2.7 Desain	n jaringan transmisi	4		
	2.7.1 2.7.2	Titik koneksi Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi	4:		
	2.8 Asesmen keluaran energi		43		
	2.8.1 2.8.2 2.8.3	Rugi-rugi energi Keluaran energi termasuk ketidakpastian Variasi keluaran daya	4· 4· 4·		
	2.9 Asesmen kasus bisnis				
	2.9.2	Asumsi komponen Asumsi biaya Parameter keuangan Hasil asesmen kasus bisnis	44 57 57 54		
3	Kesimpulan dan Rekomendasi 55				
4	Sanggahan 59				









# Daftar Gambar

Gambar 1. Peta Provinsi Jawa Timur di mana wilayah dari PLTB Probolinggo – Lumajang yang	
dibayangkan berada	2
Gambar 2. Peta sistem ketenagalistrikan Jawa Timur di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030) _	4
Gambar 3. Proyeksi produksi listrik dan beban puncak di Jawa Timur (Sumber: RUPTL PLN 2021-	
2030)	5
Gambar 4. Kapasitas pembangkit tambahan yang direncanakan untuk Jawa Timur (IPP: Independent	nt
Power Producer, Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)	5
Gambar 5. Area pencarian di Probolinggo –Lumajang dengan distribusi kecepatan angin. Kotak	
pembatas putus-putus berwarna ungu menunjukkan seluruh area pencarian. Bilah warna menunjukk	kan
kecepatan angin rata-rata di atas 6 m / s pada ketinggian 100 m menurut klimatologi <i>Global Wind At</i>	las
(GWA)	7
Gambar 6. Tampilan yang diperbesar pada area pencarian Probolinggo – Lumajang, dengan sebara	ุงท
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 data per jam tahun 2004-2015. Sumber: EMI	D-
WRF	9
${\it Gambar~9.}\ Topografi\ area\ WTG\ Probolinggo-Lumajang,\ menunjukkan\ kemiringan\ (dalam\ derajat;$	
menurut perhitungan berdasarkan data FABDEM) di wilayah tersebut.	_10
Gambar 10. Zona pengecualian di wilayah Probolinggo – Lumajang berdasarkan penggunaan lahan	١.
Sumber: ESRI dan OSM	_11
Gambar 11. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Probolinggo (RTRW 2010-2029) dilapisi	
dengan area WTG final.	_12
Gambar 12. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Lumajang (RTRW 2023-2043) dilapisi deng	gan
kawasan WTG final.	_14
Gambar 13. Area WTG final berdasarkan kriteria pembatasan. Sumber: Gambar Satelit Google	_15
Gambar 14. Tata letak awal PLTB di area WTG final.	_16
Gambar 15. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m	
melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udata dan telekomunikasi dengan tiang	g 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,	,
	_17
Gambar 16. Citra satelit Pelabuhan Surabaya. Jalan masuk/keluar di bagian barat pelabuhan dan	
masuk jalan raya sejajar sehingga pelabuhan ini cocok untuk pengangkutan komponen turbin angin	
yang panjang	
,	
Gambar 18. Jalan regional antara jalan raya dan lokasi (Probolinggo-Lumajang). Jalan ini sangat leb	oar
dibandingkan dengan kebanyakan jalan daerah di Pulau Jawa	_20
Gambar 19. Ketinggian jembatan di atas permukaan jalan tampak lebih dari 4,2 m. Sebagai	
perbandingan, tinggi Toyota Innova Reborn ini sesuai spesifikasinya adalah 1,795 m	_20
Gambar 20. Ilustrasi jembatan baja (kiri) dan jembatan beton lebar (kanan)	21









Gambar 21. Kesan jalan/jalan setapak di bagian utara lokasi. Terdapat beberapa jalan aspal yang le	ebih
besar, tetapi kebanyakan dari jalan tersebut perlu diperlebar	_21
Gambar 22. Kesan jalan/jalan setapak di bagian selatan lokasi. Jalan-jalan ini terutama dibangun ur	าtuk
sepeda motor dan sesekali digunakan oleh mobil atau truk kecil	_21
Gambar 23. Tata letak jalan di dalam lokasi. Bagian selatan dari lokasi ini dipisahkan oleh jurang.	
Beberapa turbin di bagian selatan terhubung ke bagian utara lokasi	_22
Gambar 24. Peta geologi lokasi. Turbin direpresentasikan oleh titik-titik putih dengan garis hitam.	
Warna-warna tersebut menunjukkan formasi geologi di permukaan. Turbin paling utara terletak di	
sedimen (tanah liat, pasir dan kerikil, Qa), yang lain di puing-puing vulkanik (Qvt dan Qvl) atau	
mungkin di batuan ekstrusi yang lebih keras (aliran lava, QvII)	_23
Gambar 25. Indeks kerentanan gerakan tanah untuk Probolinggo – Lumajang	_24
Gambar 26. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Probolinggo – Lumajang	_25
Gambar 27. Risiko likuefaksi (MEMR). Area kuning (Sedang) berada pada risiko sedang terhadap	
likuefaksi, sedangkan wilayah merah muda cerah (Tinggi) berada pada risiko tinggi dan hijau cerah	
(Rendah) berada pada risiko rendah terhadap likuefaksi	_26
Gambar 28. Ketinggian di sekitar lokasi. Wilayah utara terletak di dataran pantai, sedangkan daerah	l
selatan terletak di kaki Gunung Bromo	_27
Gambar 29. Kesan bagian dari utara lokasi. Ladang kecil dipisahkan oleh semak-semak dan	
pepohonan. Kelompok rumah dan desa tersebar di seluruh area	_28
Gambar 30. Kesan lain dari bagian dari utara lokasi. Ladang kecil dipisahkan oleh semak-semak da	n
pepohonan.	_28
Gambar 31. Kesan daerah selatan. Ini terdiri dari daerah yang lebih lebat dengan ladang dan desa	
kecil. Sudut pandang ini menghadap ke dasar Gunung Bromo.	_29
Gambar 32. Kesan lain dari daerah selatan. Sudut pandang ini menghadap Gunung Penawangan,	
dengan dataran pantai di latar belakang	_30
Gambar 33. Ngarai dengan lereng curam. Tiga turbin dibayangkan di sisi kiri ngarai. Sudut pandang	j ini
menghadap dataran pantai (bagian utara lokasi di latar belakang	_30
Gambar 34. Kesan daerah selatan, yang terdiri dari hutan, ladang, dan desa-desa kecil	_31
Gambar 35. Area di mana flora dan fauna yang disebutkan di atas telah diamati (meliputi lokasi PLT	В
yang dibayangkan). Seluruh pengamatan ini dikategorikan sebagai 'risiko rendah' atau 'tidak	
dievaluasi'.	_32
Gambar 36. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2023).	_34
Gambar 37. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Kabupaten Probolinggo pada	
tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id))	_35
Gambar 38. Piramida kependudukan di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2022 (Sumber: Statistik	
Kabupaten Probolinggo (bps.go.id))	_35
Gambar 39. Laju pertumbuhan penduduk dan tahunan penduduk di Kabupaten Lumajang pada tahu	
2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).	_36
Gambar 40. Piramida kependudukan di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021 (Sumber: Statistik	
Kabupaten Lumajang (bps.go.id))	_36
Gambar 41. Lokasi gardu induk PLN Probolinggo 150 kV. Sumber: Google Maps.	_41
Gambar 42. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Probolinggo – Lumajang yan	-
dibayangkan	_42
Gambar 43. Representasi skematis posisi saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan ga	
induk Probolinggo.	42









Gambar 44. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dengan model windPRO pada ketinggia	an
140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbingkai hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna dalam	
lingkaran menunjukkan kecepatan angin rata-rata jangka panjang masing-masing.	_43
Gambar 45. Gambaran umum variasi bulanan dari keluaran daya rata-rata PLTB per jam dalam seh	ıari
berdasarkan nilai P50 dari Subbagian 2.8.2 dalam kombinasi dengan variasi bulanan dan per jam	
dalam kecepatan angin dari EMD-WRF.	_48
Gambar 46. Lokasi tiang pengukuran meteorologis dan LIDAR yang direkomendasikan.	56









# Daftar Tabel

Tabel 1. Daftar fauna yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kate	gori
daftar merah global IUCN	_33
Tabel 2. Daftar flora yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut katego	ori
daftar merah global IUCN	_33
Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten	
Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS Jawa Timur dan BPS Kabupaten Probolinggo).	_37
Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Probolinggo mulai tahun 2023	
(Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id))	_37
Tabel 5. Angka partisipasi murni di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS	
Kabupaten Probolinggo)	_38
Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2023 (Sumber: Statistik Kabupa	ten
Probolinggo (bps.go.id)).	_38
Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan	
Gender di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo	)
(bps.go.id)).	_39
Tabel 8. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran di Kabupaten Lumajang pada	
tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).	_39
Tabel 9. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Lumajang mulai tahun 2023	
(Sumber: BPS Kabupaten Lumajang).	_40
Tabel 10. Angka partisipasi murni di Kabupaten Lumajang pada tahun 2019-2023 (Sumber: BPS	
Kabupaten Probolinggo)	_40
Tabel 11. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Lumajang pada tahun 2023 (Sumber: BPS Kabupaten	
Lumajang)	_40
Tabel 12. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembanguna	n
Gender di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang	
(bps.go.id))	_41
Tabel 13. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB.	_44
Tabel 14. Keluaran energi untuk semua 17 WTG di PLTB Probolinggo – Lumajang.	_47
Tabel 15. Jumlah turbin angin yang relevan untuk PLTB Probolinggo – Lumajang yang dibayangkan	1.49
Tabel 16. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.	_50
Tabel 17. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan	_51
Tabel 18. Asumsi biaya per komponen biaya	_52
Tabel 19. Hasil asesmen kasus bisnis.	54









## 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 Ponorogo. 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
- 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







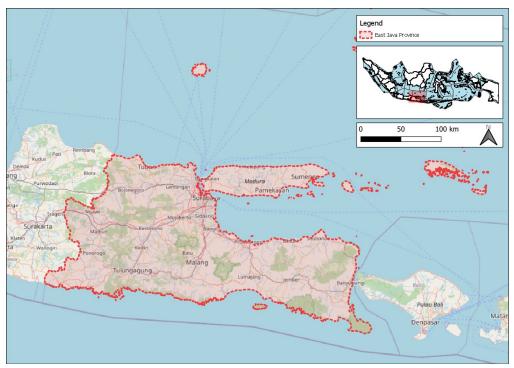


## 2 Analisis PLTB Probolinggo – Lumajang, Jawa Timur – 68 MW

#### 2.1 Pengenalan lokasi PLTB

Bagian ini memperkenalkan lokasi PLTB, yaitu Jawa Timur (Probolinggo - Lumajang) dalam tiga bagian: (1) lokasi geografis, (2) status dalam RUPTL, dan (3) status pengembangan.

#### 2.1.1 Lokasi geografis



Gambar 1. Peta Provinsi Jawa Timur di mana wilayah dari PLTB Probolinggo – Lumajang yang dibayangkan berada.

Gambar 1 menunjukkan Jawa Timur, sebuah provinsi yang terletak di ujung timur Pulau Jawa dan di sebelah barat Pulau Bali. Di pulau tersebut, provinsi ini berbatasan dengan provinsi Jawa Tengah. Di ujung timur Jawa Timur merupakan lokasi Selat Bali. Provinsi Jawa Timur memiliki luas 48.037 km². Pada tahun 2022, populasi di provinsi ini berjumlah sekitar 41,1 juta<sup>1</sup>, menjadikannya provinsi terpadat ketiga di negara ini2. Provinsi ini berada di peringkat ke-11 berdasarkan PDB (Produk Domestik Bruto/GDP) per kapita provinsi yang jumlahnya Rp 66,36 juta<sup>3</sup>. Selain itu pertumbuhan ekonomi provinsi ini tahun 2023 (c-to-c) adalah 4,95%4. Sebagai konteks, pertumbuhan ekonomi di Indonesia pada tahun tersebut adalah 5,05% (c-to-c).5

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





<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> https://jatim.bps.go.id/indicator/12/375/1/jumlah-penduduk-provinsi-jawa-timur.html

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> https://sulut.bps.go.id/indicator/12/958/1/jumlah-penduduk-menurut-provinsi-di-indonesia.html

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

https://jatim.bps.go.id/id/pressrelease/2024/02/05/1456/ekonomi-jawa-timur-tahun-2023-tumbuh-4-95-persen-ekonomi-jawa-timur-triwulan-iv-2023-tumbuh-4-69-persen--y-on-y---ekonomi-jawa-timur-triwulan-iv-2023-tumbuh--0-89-persen--q-to-q-.html



Jawa Timur adalah salah satu pusat ekonomi terbesar di Indonesia bagian tengah dan timur. Provinsi ini berkontribusi terhadap 14% dari pertumbuhan ekonomi nasional<sup>6</sup>. Ada beberapa daerah pengolahan industri di provinsi ini, termasuk Surabaya, Sidoarjo, Gresik, Mojokerto, dan Pasuruan. Fasilitas pengolahan baru sedang dikembangkan lebih lanjut di Nganjuk, Madiun, dan Ngawi<sup>6</sup>. Contoh barang industri unggulan yang diproduksi di Jawa Timur adalah rokok, semen, kendaraan militer, kertas, dan rangkaian kereta api. Selain itu, Jawa Timur juga menjadi lokasi penghasil ladang minyak terbesar di Indonesia di blok Cepu<sup>7</sup>, serta fasilitas pengolahan gas Jambaran Tiung Biru yang baru saja diresmikan.

Di Jawa Timur, terdapat 9 Kawasan Industri. Lima perkebunan terbesar berdasarkan luas adalah sebagai berikut8:

- 1. Kawasan Industri Maspion (1.143 ha)
- Taman Industri Ngoro (600 ha)
- 3. Kawasan Industri Rembang Pasuruan (558.49 ha)
- 4. Taman Industri Safe N Lock Eco (372,2 ha)
- 5. Kawasan Industri Surabaya Rungkut (332.35 ha)

Perlu diperhatikan bahwa beberapa Kawasan Industri tersebut mungkin sudah memiliki pembangkit listrik khusus untuk memenuhi kebutuhan listrik masing-masing. Sementara itu, terdapat dua Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) di Jawa Timur, yaitu, KEK Gresik dan KEK Singhasari. KEK yang pertama diresmikan pada tahun 2022 dan direncanakan menjadi lokasi pabrik kaca, smelter, dan fasilitas pengolahan CPO. KEK ini juga dilengkapi dengan kawasan perumahan seluas 800 ha dan kawasan pelabuhan seluas 400 ha karena kawasan tersebut berada di dekat Selat Madura9. Di sisi lain, KEK yang terakhir mulai beroperasi pada tahun 2022, dan difokuskan pada pengembangan pariwisata, teknologi digital, pendidikan, dan industri kreatif<sup>10</sup>.

Dalam Lampiran E RUPTL PLN 2021-2030, PLN mencantumkan strategi pemenuhan permintaan listrik baru/tambahan dari konsumen listrik 'besar' di Jawa Timur, yaitu:

- 1. KEK Singhasari (10 M)
- 2. Kawasan Industri Bangkalan
- 3. Kawasan Industri Maspion (200 MVA pada tahun 2021-2030)
- 4. Kawasan Industri Tuban (80 MVA pada tahun 2025)
- 5. Destinasi Wisata Prioritas Bromo-Tengger-Semeru (2 MVA)
- 6. Smelter CV Sumber Mas (9,8 MW pada tahun 2021)
- 7. Smelter PT Freeport Indonesia (150 MW pada tahun 2023)

Subbagian selanjutnya akan menjelaskan proyeksi tingkat permintaan listrik provinsi, yang antara lain mempertimbangkan permintaan masa depan dari konsumen yang disebutkan di atas.

<sup>10</sup> https://singhasari.co.id/aktivitas/







<sup>6</sup> https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/11/19/menakar-resiliensi-ekonomi-jatim-ditengah-resesi-global-dantahun-politik

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/terbesar-di-indonesia-produksi-minyak-lapangan-banyuurip-capai-30-produksi-nasional

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> https://regionalinvestment.bkpm.go.id/pir/kawasan-industri-kek/

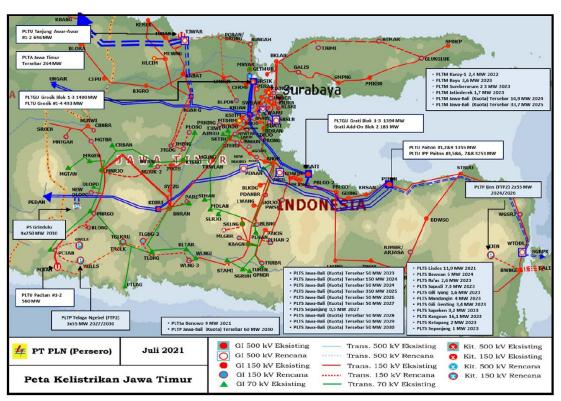
<sup>9</sup> https://www.jiipe.com/en/home/kawasanDetail/id/1



Perlu diperhatikan bahwa ada deretan pegunungan di bagian tengah-selatan Jawa Timur. Pegunungan tersebut antara lain Gunung Liman, Gunung Kawi, Gunung Arjuna, Gunung Bromo, Gunung Semeru, dan Gunung Argopuro. Kehadiran pegunungan ini dapat menghasilkan karakteristik angin yang menarik di daerah sekitarnya. Dalam penelitian ini, karakteristik angin dianalisis di empat kabupaten (Kediri, Ponorogo, dan Probolinggo - Lumajang). Dalam prospektus ini, lokasi PLTB yang dipertimbangkan terletak di Kabupaten Probolinggo dan Kabupaten Lumajang. Lokasi ini akan disebut sebagai PLTB Probolinggo - Lumajang.

#### 2.1.2 Status dalam RUPTL PLN 2021-2030

Gambar 2 menggambarkan sistem kelistrikan di Jawa Timur. Sistem ini didukung oleh saluran transmisi 500 kV, 150 kV, dan 70 kV. Selain itu, sistem ini terhubung ke Pulau Madura, yang terletak di timur laut provinsi tersebut. Diperkirakan pada tahun 2025 akan ada jalur transmisi 500 kV yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Bali melalui Jawa Timur, seperti yang ditunjukkan pada bagian kanan gambar. Menurut RUPTL PLN 2021-2030, beban puncak provinsi ini pada tahun 2020 sebesar 5.935 MW. Sementara itu, tingkat produksi listrik dan beban puncak diproyeksikan akan terus tumbuh pada tahun 2021-2030, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Proyeksi ini didasarkan pada asumsi bahwa tingkat pertumbuhan permintaan rata-rata adalah 3,7% per tahun.



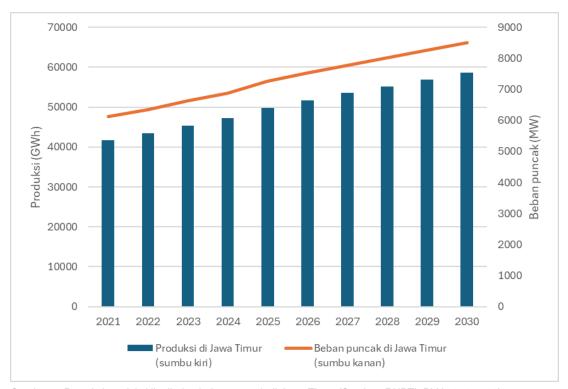
Gambar 2. Peta sistem ketenagalistrikan Jawa Timur di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)







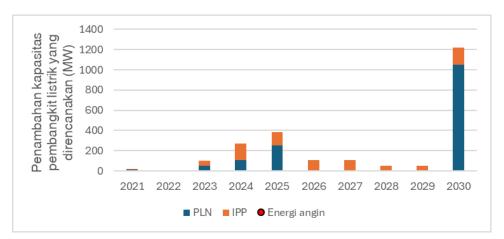




Gambar 3. Proyeksi produksi listrik dan beban puncak di Jawa Timur (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)

Ringkasan perencanaan pengembangan pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 4. . Gambar ini mencakup pembangkit listrik energi konvensional dan terbarukan. Pembangkit listrik tambahan dikategorikan menjadi dua sumber, yaitu, PLN dan Independent Power Producer (IPP). Tidak ada alokasi untuk energi angin pada tahun 2021-2030. Namun, RUPTL mengidentifikasi potensi tenaga angin/bayu di Jawa Timur sebagai berikut:

- Banyuwangi (75 MW)
- Probolinggo (50 MW)
- Tuban (66 MW)
- Tuban (140 MW untuk PLTS dan PLTB)



Gambar 4. Kapasitas pembangkit tambahan yang direncanakan untuk Jawa Timur (IPP: Independent Power Producer, Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)









#### 2.1.3 Status pengembangan

Ada beberapa kegiatan pengembangan energi angin yang sedang berlangsung di Jawa Timur. Pada akhir tahun 2023, diketahui salah satu pengembang telah menginisiasi pembangunannya dan dalam proses mendapatkan izin di Kabupaten Blitar<sup>11</sup>, yang berada di dekat pantai selatan Jawa Timur. Pada awal tahun 2023, seorang investor swasta disebut sedang mempelajari kelayakan pembangunan PLTB di wilayah pesisir Munjungan, Kabupaten Trenggalek<sup>12</sup>. Akhirnya pada tahun 2020, PLN berencana membangun PLTB berkapasitas 50 MW di Kabupaten Banyuwangi setelah menyelesaikan studi kelayakannya<sup>13</sup>. Konstruksi tersebut direncanakan akan dimulai pada tahun 2021<sup>14</sup>, namun belum ada informasi lebih lanjut mengenai kelanjutannya hingga saat tulisan ini dibuat.

#### 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 Error! Reference source not f ound.. 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

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> https://www.antaranews.com/berita/1946676/pemkab-banyuwangi-indonesia-power-kembangkan-listrik-tenagabayu







<sup>11</sup> https://surabaya.kompas.com/read/2023/12/22/153732378/pemkab-sebut-investor-china-akan-bangun-pltb-rp-125-triliun-di-blitar

<sup>12</sup> https://jatim.antaranews.com/berita/673947/investor-jajaki-potensi-pengembangan-pltb-trenggalek

<sup>13</sup> https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4912684/pln-akan-bangun-pltb-di-banyuwangi-diklaim-terbesar-dipulau-jawa



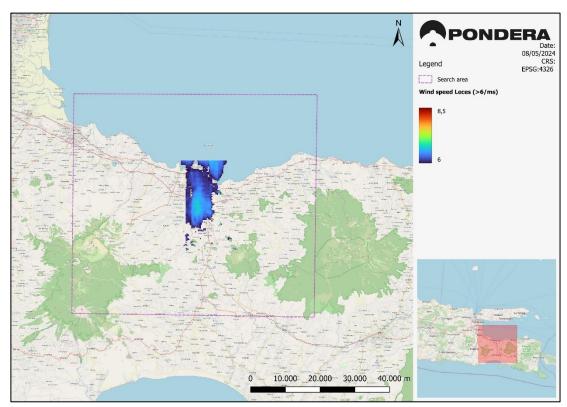
pengembangan PLTB dengan batasan/ketentuan signifikan yang harus dipenuhi (go zone dengan batasan), atau tidak dapat mengakomodasi pengembangan PLTB (no-go zone). Zona ini ditentukan dengan mempertimbangkan penggunaan lahan, yaitu keberadaan cagar alam, kawasan lindung, dan bandara, serta jalur perairan 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 sekitar dan dalam Kabupaten Probolinggo dan Lumajang. Dalam gambar tersebut, area dengan kecepatan angin rata-rata lebih dari 6 m/s ditunjukkan oleh "piksel" dengan warna berbeda seperti yang dijelaskan oleh bilah warna. Dapat disimpulkan bahwa sumber daya angin yang menjanjikan sebagian besar berlokasi di sekelompok wilayah, sedangkan wilayah kecil lainnya tersebar dalam jarak yang jauh.



Gambar 5. Area pencarian di Probolinggo -Lumajang dengan distribusi kecepatan angin. Kotak pembatas putusputus 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).

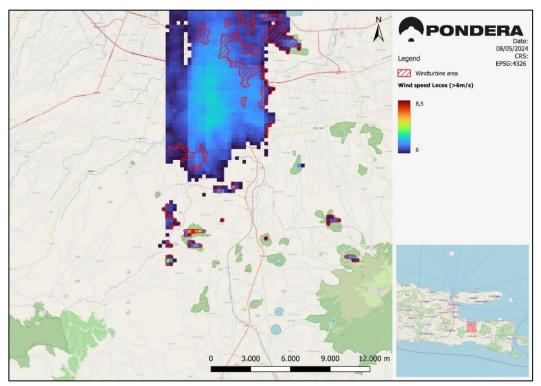








Mengingat sifat area yang tersebar dengan kecepatan angin yang menjanjikan, area pencarian selanjutnya dibatasi pada satu area yang lebih kecil dan kontinu untuk menjaga kelayakan proyek. Alasan di balik hal ini adalah untuk menghindari biaya yang tinggi dan kompleksitas pembangunan koneksi listrik (misalnya 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 Probolinggo – Lumajang, 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 arah angin rata-rata jangka panjang untuk wilayah Ponorogo. Seperti yang dapat diinterpretasikan dari gambar ini, iklim angin di daerah tersebut terutama terdiri dari angin yang berasal dari arah selatan.

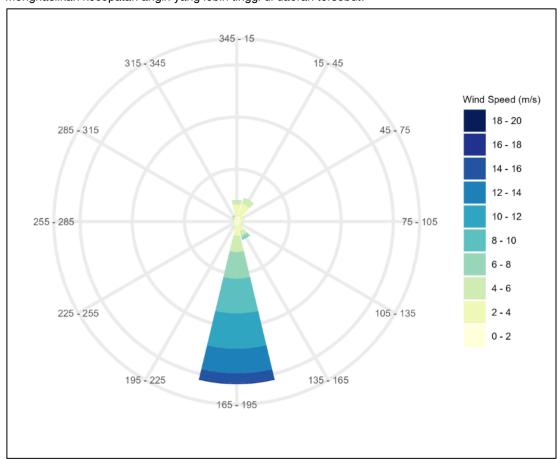
Pada Gambar 8, sebaran kecepatan angin sepanjang hari untuk setiap bulan per tahun divisualisasikan. Kecepatan angin tertinggi diamati di antara bulan Juni dan Oktober, ketika zona konveksi intertropis (ITCZ), diposisikan di utara lokasi Oleh karena itu, periode ini juga dapat dibedakan dari bulan-bulan lainnya berdasarkan arah angin selatan yang berlaku. Kira-kira dari bulan November hingga Mei (meskipun waktunya dapat bervariasi dari tahun ke tahun), kecepatan angin terendah diamati ketika ITCZ melewati situs ke arah selatan. Seperti yang diperkirakan, selama bulanbulan ini sebagian besar angin 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



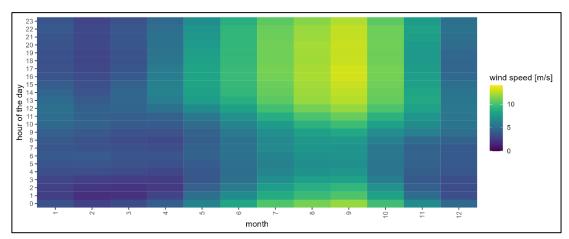




lebih lemah, sementara selama tahun La Niña, angin tersebut menjadi lebih kuat, sehingga menghasilkan kecepatan angin yang lebih tinggi di daerah tersebut.



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 data per jam tahun 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.

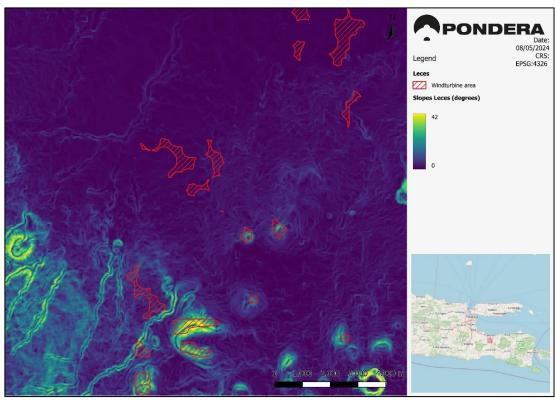






#### 2.2.3 Topografi

Gambar 9 menunjukkan topografi area pencarian di wilayah Probolinggo - Lumajang. 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 Probolinggo - Lumajang, menunjukkan kemiringan (dalam derajat; menurut perhitungan berdasarkan data FABDEM) di wilayah tersebut.



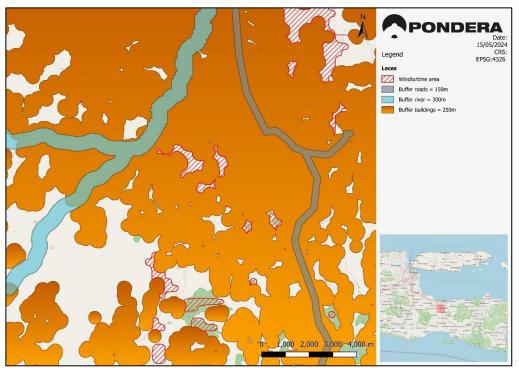






#### 2.2.4 Penggunaan lahan

Seperti yang 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 memberikan zona pengecualian penggunaan lahan (lihat Gambar 10). Zona pengecualian ini diambil dari pertimbangan 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 Probolinggo - Lumajang berdasarkan penggunaan lahan. Sumber: ESRI dan OSM.

#### 2.2.5 Persyaratan perizinan khusus

Seperti disebutkan, wilayah WTG berada di dekat perbatasan dua kabupaten, yaitu Kabupaten Probolinggo dan Kabupaten Lumajang. Oleh karena itu, persyaratan perizinan di kedua lokasi ini diteliti dalam Subbagian ini.

#### Kabupaten Probolinggo

Pelapisan antara Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Probolinggo (RTRW) 2010-2029 dengan area WTG di kabupaten ini ditunjukkan pada Gambar 11. Seperti yang disimpulkan dari gambar, area WTG bersinggungan dengan jenis penggunaan lahan berikut:

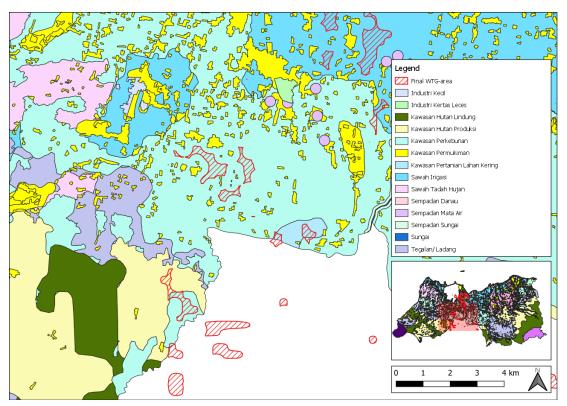
- 1. Kawasan Perkebunan
- 2. Kawasan Hutan Produksi
- Kawasan Pertanian Lahan Kering
- 4. Kawasan Sawah Irigasi
- Kawasan Permukiman











Gambar 11. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Probolinggo (RTRW 2010-2029) dilapisi dengan area WTG final.

Di kabupaten ini, sebagian besar wilayah WTG bertumpang tindih dengan Kawasan Perkebunan. Kawasan ini biasanya dimiliki oleh perusahaan (swasta atau milik negara) atau masyarakat setempat. Kasus yang pertama ditandai dengan budidaya satu jenis tanaman. Sebaliknya, pada kasus terakhir, kawasan tersebut biasanya dibudidayakan dengan beberapa jenis tanaman. Jika kawasan tersebut bukan bagian dari Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KPPB), maka Kawasan Perkebunan dapat digunakan untuk pengembangan PLTB (dan jenis kegiatan pembangkit listrik dan transmisi lainnya untuk kepentingan umum) setelah perjanjian pembelian atau sewa diperoleh dengan pemilik lahan15.

Sebagian kecil dari area WTG terletak di Kawasan Hutan Produksi. 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), sehingga pengembang PLTB di masa yang akan datang harus mengajukan permohonan izin 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.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Mengacu pada UU 22/2019, Perpres 59/2019, dan PP 1/2011.









Bagian dari area WTG di Kawasan Sawah Irigasi diasumsikan diperlakukan sama dengan Kawasan Pertanian Lahan Basah. Dapat diasumsikan juga bahwa kedua Kawasan Sawah Irigasi berada di bawah kepemilikan masyarakat. Jika kawasan tersebut bukan merupakan sawah lindung (Lahan Sawah Dilindungi/LSD), maka kawasan tersebut dapat digunakan untuk pengembangan PLTB (dan jenis kegiatan pembangkit listrik dan transmisi lainnya untuk kepentingan umum) setelah melalui perjanjian pembelian atau sewa dengan pemilik lahan<sup>15</sup>. Namun, jika kawasan tersebut dianggap sebagai sawah lindung, maka kawasan tersebut hanya dapat digunakan untuk pengembangan PLTB apabila ada izin dari Menteri ATR/BPN, sesuai dengan Peraturan Presiden No. 59/2019 tentang Pengendalian Alih Fungsi Lahan Sawah.

Bagian dari wilayah WTG yang tumpang tindih dengan Kawasan Pertanian Lahan Kering diasumsikan dimiliki oleh masyarakat, perusahaan swasta, atau perusahaan milik negara. Pengembangan PLTB (dan jenis kegiatan pembangkit listrik dan transmisi lainnya untuk kepentingan umum) di daerah ini dimungkinkan jika daerah tersebut bukan bagian dari Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan, dan setelah perjanjian pembelian atau sewa dicapai dengan pemilik lahan<sup>15</sup>.

Terakhir, bagian dari area WTG yang berada di Kawasan Permukiman diasumsikan milik masyarakat. Pengembangan PLTB di lokasi ini dimungkinkan selama perjanjian pembelian atau sewa dicapai dengan pemilik lahan.

Perlu dicatat bahwa RTRW Kabupaten Probolinggo yang diperoleh adalah untuk tahun 2010-2029. Belum diketahui apakah telah diterbitkan Peraturan Daerah mengenai RTRW baru, atau apakah RTRW baru masih direvisi/disiapkan. Oleh karena itu, diperlukan konfirmasi dari instansi yang sesuai di Kabupaten Probolinggo. Jika sudah ada Peraturan Daerah RTRW yang baru, maka RTRW yang digunakan dalam laporan ini tidak berlaku lagi. Namun, jika RTRW belum direvisi atau masih direvisi, maka RTRW yang dianalisis ini masih berlaku.

#### Kabupaten Lumajang

Pelapisan antara Rencana Tata Ruang (RTRW) Kabupaten Lumajang 2023-2043 dengan area WTG di kabupaten ini ditunjukkan pada Gambar 12. Seperti yang disimpulkan dari gambar, kawasan WTG bersinggungan dengan jenis penggunaan lahan berikut:

- 1. Kawasan Hutan Produksi Tetap
- 2. Kawasan Perkebunan

Pengembangan PLTB di Kawasan Hutan Produksi Tetap dimungkinkan dalam keadaan tertentu, seperti yang telah dijelaskan di atas (yaitu sehubungan dengan Kawasan Hutan Produksi). Persetujuan Penggunaan Kawasan Hutan harus diperoleh dari KLHK oleh pengembang. Konsekuensi lain yang mungkin terjadi termasuk pembayaran pendapatan negara bukan pajak dan penanaman rehabilitasi.

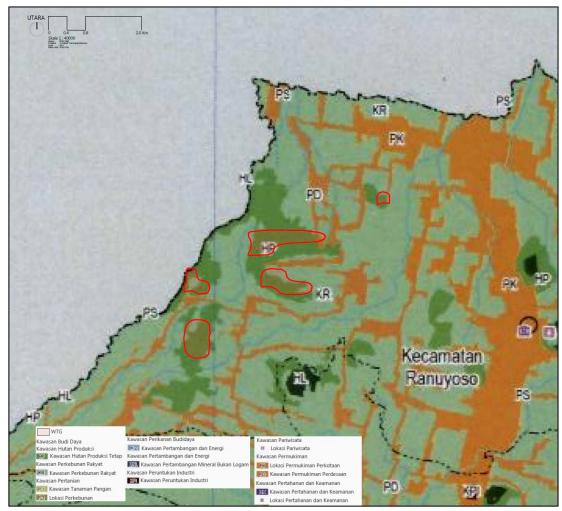
Seperti yang juga dijelaskan di atas, Kawasan Perkebunan dapat digunakan untuk pengembangan PLTB (dan jenis kegiatan pembangkit listrik dan transmisi lainnya untuk kepentingan umum) selama kawasan tersebut bukan bagian dari Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KPPB), dan perjanjian pembelian atau sewa dicapai dengan pemilik lahan<sup>15</sup>.







Karena RTRW yang dianalisis Lumajang relatif baru dipublikasikan (dibandingkan dengan kabupaten lain sebagai bagian dari penelitian ini), dapat diasumsikan bahwa rencana tata ruang masih efektif pada saat penulisan.



Gambar 12. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Lumajang (RTRW 2023-2043) dilapisi dengan kawasan WTG final.

Kemudian di Bagian 2.3, akan ditunjukkan bahwa turbin angin yang dibayangkan ditempatkan di bagian barat daya dari area WTG final. Dengan demikian, jenis penggunaan lahan yang relevan untuk PLTB Probolinggo – Lumajang adalah Kawasan Perkebunan dan Kawasan Hutan Produksi (Tetap). Area PLTB secara kasar dibagi menjadi dua bagian yang sama (50/50) berdasarkan jenis penggunaan lahan masing-masing. Nilai dan biaya yang dikeluarkan dari jenis penggunaan lahan ini diperhitungkan dalam kalkulasi kasus bisnis (lihat Bagian 2.9).

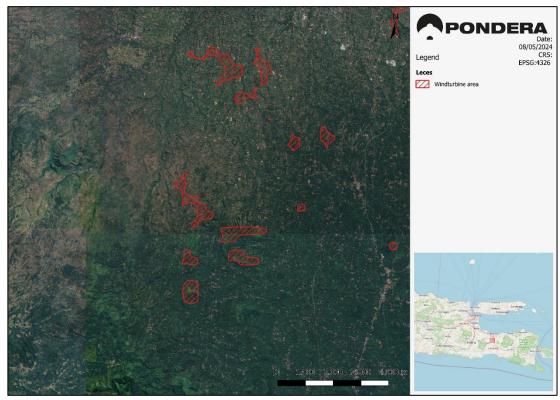






#### 2.2.6 Area WTG final

Gambaran umum area WTG final terhadap citra satelit di lokasi dapat ditemukan pada Gambar 13. Area ini memenuhi semua kriteria seperti yang divisualisasikan pada gambar sebelumnya.



Gambar 13. Area WTG final berdasarkan kriteria pembatasan. Sumber: Gambar Satelit Google.

#### Keterbatasan

Seperti disebutkan sebelumnya, parameter yang membentuk area WTG final 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 batasan); dan
- 3. Data jalan utama yang berasal dari OSM juga mencakup jalan kecil; akibatnya, kumpulan data ini mungkin terlalu membatasi dalam beberapa kasus.





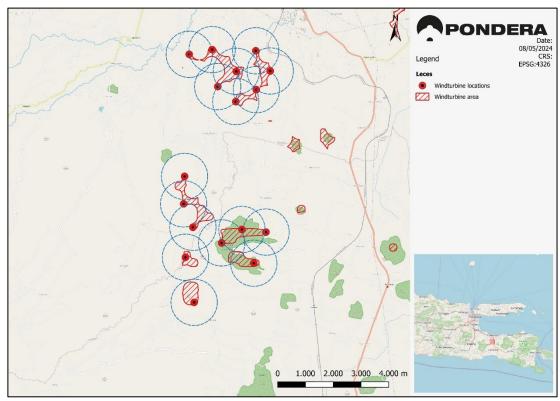


#### 2.3 Tata letak awal PLTB

Tata letak PLTB didasarkan pada area WTG yang disediakan di Bagian 2.2. Sementara area WTG tersebar secara signifikan, tata letak awal PLTB dirancang berdasarkan penggabungan sebanyak mungkin posisi turbin angin. Hal ini mencegah, misalnya, pembangunan jalan dan kabel ke satu lokasi turbin angin, sehingga tidak efektif dari segi biaya. Oleh karena itu, kami telah memilih bagian tengahselatan area WTG ini untuk analisis lebih lanjut, juga karena iklim angin yang lebih menjanjikan.

Karena iklim angin Indonesia umumnya terdiri dari daerah dengan kecepatan angin yang rendah hingga sedang, maka jenis turbin angin yang sesuai dengan kondisi angin tersebut harus dipilih. Untuk tata letak PLTB sementara, digunakan turbin angin referensi 4 MW dengan diameter rotor hampir 170 m dan tinggi naf 140 m. Hal ini membuat tinggi puncak total sekitar 220-225 m. Untuk mengurangi rugirugi akibat 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 14. Tata letak awal PLTB di area WTG final.









Gambar 14 menampilkan gambaran umum lokasi turbin angin di area WTG final. Sebanyak 17 turbin angin diposisikan ke area tersebut, dengan total kapasitas terpasang yang dibayangkan sebesar 68 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 menjamin jarak setidaknya 5 kali diameter rotor.

#### 2.4 Aksesibilitas PLTB

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

#### 2.4.1 Pengaturan transportasi Indonesia

Di luar kota besar, sistem jalan regional digunakan untuk hampir semua transportasi (lihat Gambar 15). 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.



Gambar 15. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udata dan telekomunikasi dengan tiang di kedua sisi jalan. Bangunanbangunan 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.

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.









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, sering kali 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.

Namun, khusus untuk lokasi ini, transportasi mungkin tidak terlalu menjadi masalah karena pintu keluar jalan raya direncanakan tepat di dasar PLTB yang dibayangkan. Transportasi di lokasi ini mungkin jauh lebih mudah dibandingkan dengan situs lain di Pulau Jawa dan Sumatra.

#### 2.4.2 Transportasi dari pelabuhan ke lokasi PLTB

Semua pelabuhan utama Jawa terletak di pesisir utara, berbatasan dengan Laut Jawa yang lebih tenang dibandingkan dengan Samudra Hindia di pesisir selatan. Sebagian besar pengangkutan barang jarak jauh dilakukan melalui bagian utara pulau. Pelabuhan Surabaya (yaitu Pelabuhan Tanjung Perak) adalah pelabuhan utama terdekat, pada jarak sekitar 100 km dari lokasi (lihat Gambar 16). Dari Pelabuhan Surabaya, titik akses jalan raya terletak tepat di pintu masuk/keluar pelabuhan. Pelabuhan Probolinggo juga dapat dipertimbangkan pada tahap selanjutnya. Namun, pelabuhan itu saat ini tidak memiliki fasilitas untuk impor komponen utama turbin angin (misalnya crane yang sesuai, area penyimpanan yang memadai) dan rute keluar dari pelabuhan ke jalan raya disertai dengan tantangan logistik.

Ketika satu atau lebih PLTB yang dibayangkan di Jawa Timur dibangun transportasi untuk semua lokasi melalui satu titik akses mungkin memiliki keuntungan (yaitu kontak dengan pelabuhan dan otoritas, kontrak, investigasi pelabuhan, penyimpanan sementara yang dapat digunakan ulang, dll.).











Gambar 16. Citra satelit Pelabuhan Surabaya. Jalan masuk/keluar di bagian barat pelabuhan dan masuk jalan raya sejajar sehingga pelabuhan ini cocok untuk pengangkutan komponen turbin angin yang panjang.

Akses dari Pelabuhan Surabaya ke lokasi digambarkan pada Gambar 17. Probolinggo (daerah Leces) dapat dicapai melalui jalan raya dengan pintu keluar ~5 km di bagian utara dari tepi utara lokasi. Dari sana, jalan regional yang lebar membentang ke selatan ke Kabupaten Lumajang. Perluasan jalan raya direncanakan ke arah selatan dan terdapat jalan regional di sebelah timur (sedangkan lokasinya terletak di sisi barat). Artikel berita menyebutkan bahwa pembangunan akan dilakukan pada 2025-2029, tetapi belum ada informasi lebih lanjut yang ditemukan.



Gambar 17. Jalan terbesar dari Pelabuhan Surabaya ke lokasi.









Jalan regional tersebut cukup lebar dan berkualitas, serta lebih dekat dengan lokasi (lihat Gambar 18). Dengan demikian, jalan raya tambahan yang tersedia dari Probolinggo ke selatan mungkin tidak akan terlalu berdampak pada kelayakan finansial proyek.



Gambar 18. Jalan regional antara jalan raya dan lokasi (Probolinggo-Lumajang). Jalan ini sangat lebar dibandingkan dengan kebanyakan jalan daerah di Pulau Jawa.

Di jalan raya/jalan tol, diharapkan tidak ada peningkatan jalan karena jalan tol dan akses jalan lebar di semua ruas. Namun, faktor pembatasnya mungkin adalah tingginya banyak jembatan di atas jalan tol. Rambu-rambu mengenai jarak bebas tidak jelas karena terdapat rambu 4,2 m (di jembatan) dan 5,1 m (sisi jalan). Ketinggian ini sangat penting untuk diameter dasar menara turbin, karena ketinggian ini dapat membatasi diameter dasar yang dapat digunakan. Dasar tersebut biasanya diangkut secara horizontal dan diproduksi sebagai satu bagian.

Berdasarkan metode yang cukup sederhana (lihat Gambar 19), ketinggian ~6 m antara permukaan jalan dan jembatan diperoleh (3,5x Toyota Innova Reborn dengan ketinggian 1,795 m sesuai spesifikasinya, yang setara dengan 6,3 m). Meskipun metode ini tidak sepenuhnya dapat diandalkan, ketinggiannya tampaknya jauh lebih tinggi dari tinggi maksimum yang ditunjukkan yaitu 4,2 m.



Gambar 19. Ketinggian jembatan di atas permukaan jalan tampak lebih dari 4,2 m. Sebagai perbandingan, tinggi Toyota Innova Reborn ini sesuai spesifikasinya adalah 1,795 m.









Antara jalan raya dan lokasi, 6 jembatan harus dilintasi di jalan regional. Sebagian besar jembatan terbuat dari beton (panjang antara 37 dan 7 m) dan satu jembatan baja (panjang 45 m). Jembatan baja ditutup pada bagian atasnya. Diperkirakan beberapa jembatan mungkin perlu diperkuat sebelum pengangkutan berat dapat dilakukan. Gambar 20 menampilkan contoh jembatan baja dan jembatan beton.





Gambar 20. Ilustrasi jembatan baja (kiri) dan jembatan beton lebar (kanan)

#### 2.4.3 Transportasi di dalam lokasi

Di dalam lokasi, hanya jalan sempit dan berkelok-kelok yang menghubungkan berbagai desa dan/atau rumah yang terpencil. Di bagian utara situs (lihat Gambar 21), jaringan jalan lebih padat daripada bagian selatan. Sebagian besar jalan ini dibangun terutama untuk sepeda motor dan sesekali digunakan oleh mobil atau truk kecil. Terutama di bagian selatan lokasi (lihat Gambar 22), jalan-jalan sempit ini harus ditingkatkan secara signifikan. Namun, penggunaan kembali jalan-jalan ini masih lebih murah dibandingkan dengan membangun jalan dari awal, terutama karena banyaknya lahan yang tidak perlu dibeli jika jalan umum yang ada ditingkatkan.





Gambar 21. Kesan jalan/jalan setapak di bagian utara lokasi. Terdapat beberapa jalan aspal yang lebih besar, tetapi kebanyakan dari jalan tersebut perlu diperlebar.





Gambar 22. Kesan jalan/jalan setapak di bagian selatan lokasi. Jalan-jalan ini terutama dibangun untuk sepeda motor dan sesekali digunakan oleh mobil atau truk kecil.





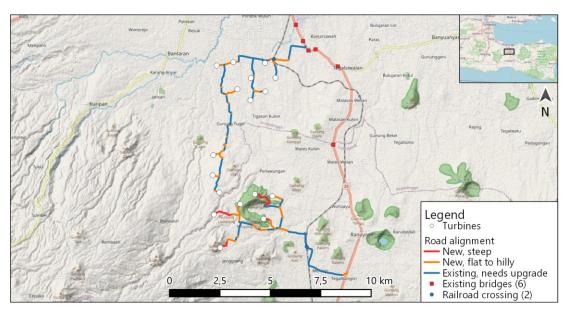




Di bagian selatan lokasi, ngarai yang dalam mengalir di antara lokasi turbin. Tidak ada jalan yang menghubungkan satu sisi ke sisi lainnya. Mungkin tidak hemat biaya untuk membangun jalan baru melalui jurang ini, termasuk jembatan kecil untuk melewati sungai di dasarnya.

Terutama di bagian selatan lokasi, terdapat beberapa jembatan kecil di atas beberapa sungai kecil. Diperkirakan tidak ada jembatan yang harus dibangun, tetapi juga dapat digantikan dengan goronggorong besar. Biaya untuk penyeberangan ini diperkirakan berada dalam kisaran biaya -20 hingga +50% dari pembangunan jalan yang tidak diperhitungkan secara terpisah.

Sebanyak 15,1 km jalan baru harus dibangun, dan 19,7 km jalan yang ada harus ditingkatkan (digambarkan dengan garis biru pada Gambar 23). 3,5 km jalan baru mengarah melalui dataran curam (digambarkan dengan garis merah pada Gambar 23), sedangkan 11,6 km sisanya melalui dataran datar-berbukit. Di daerah yang curam, jalan harus dipotong ke sisi perbukitan, yang mengakibatkan jumlah pemotongan dan penimbunan serta biaya yang lebih tinggi.



Gambar 23. Tata letak jalan di dalam lokasi. Bagian selatan dari lokasi ini dipisahkan oleh jurang. Beberapa turbin di bagian selatan terhubung ke bagian utara lokasi.

Di antara lokasi dan jalan utama, berjalan satu jalur kereta api non-listrik. Rel kereta api ini perlu dilintasi di dua tempat. Salah satu tempat ini berada di atas perlintasan (sempit) yang ada. Sejumlah USD 100.000 dicadangkan untuk biaya tambahan konstruksi dan izin dari KAI (Perusahaan Kereta Api Indonesia).

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

- Menanyakan atau mengukur ketinggian yang akurat antara permukaan jalan dan jembatan di jalan tol. Ketinggian jembatan terendah dapat menjadi faktor pembatas diameter yang digunakan untuk dasar menara turbin; dan
- Konsultasikan dengan KAI tentang kemungkinan peraturan untuk meningkatkan atau membangun perlintasan baru kereta api.







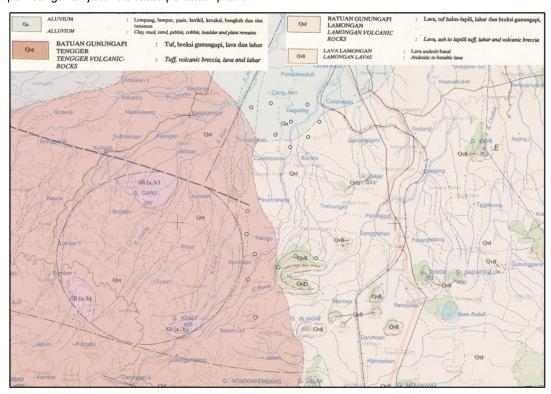


#### 2.5 Kondisi geologi dan kegempaan

PLTB yang dibayangkan terletak di ujung bawah lereng timur kompleks Gunung Bromo/Gunung Semeru yang aktif. Kawah aktif terdekat (Gunung Bromo) terletak pada jarak 26,6 km dari turbin terdekat.

#### 2.5.1 Geologi

Sedikit informasi spesifik yang ditemukan tentang geologi lokal di sekitar PLTB. Peta geologi lokasi ditunjukkan pada Gambar 24. Karena turbin terletak di ujung bawah lereng gunung berapi Bromo (barat) dan Lemongan (timur), permukaan bawah sebagian besar terdiri dari puing-puing vulkanik dan abu akibat letusan gunung berapi Bromo dan Lemongan di masa lalu. Aliran lava (batuan keras) dari kawah-kawah ini mungkin tidak akan mencapai lokasi tersebut. Ngarai yang dalam di lokasi menunjukkan bahwa material tersebut mudah terkikis dan mungkin mudah digali selama pembangunan jalan dan/atau perataan platform.



Gambar 24. Peta geologi lokasi. Turbin direpresentasikan oleh titik-titik putih dengan garis hitam. Warna-warna tersebut menunjukkan formasi geologi di permukaan. Turbin paling utara terletak di sedimen (tanah liat, pasir dan kerikil, Qa), yang lain di puing-puing vulkanik (Qvt dan Qvl) atau mungkin di batuan ekstrusi yang lebih keras (aliran lava, QvII).

Di dalam dan sekitar bagian selatan situs, banyak bukit kecil melingkar yang dapat dilihat pada peta topografi. Kemungkinan besar bukit ini adalah intrusi, yang terbentuk oleh lubang vertikal kecil (tanggul) yang berasal dari ruang magma yang lebih dalam yang pernah atau pernah terhubung dengan gunung berapi Lemongan. Lebih dekat ke Gunung Lemongan, lebih banyak bangunan serupa yang dapat ditemukan. Kemungkinan bukit-bukit ini terdiri dari material yang jauh lebih keras (aliran lava) daripada lingkungan sekitarnya (puing-puing vulkanik).

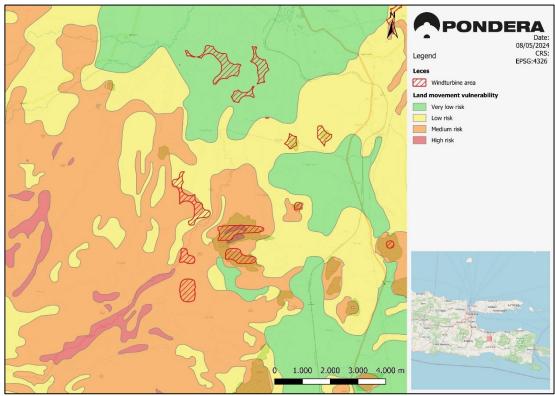






Jika aliran lahar yang ada di sekitar Gunung Penyangcang harus dipotong untuk pembangunan jalan, maka hal ini akan meningkatkan biaya secara signifikan pada ruas tersebut.

Gambar 25 memvisualisasikan Indeks Kerentanan Gerakan Tanah di dalam dan sekitar area WTG. Sebagian besar turbin diperkirakan berada di area dengan kerentanan sangat rendah, rendah, dan sedang. Sementara itu, satu turbin berada di area dengan risiko tinggi.



Gambar 25. Indeks kerentanan gerakan tanah untuk Probolinggo - Lumajang

Ngarai yang dalam di daerah tersebut menunjukkan bahwa material tanah mudah terkikis dan kurang kohesi. Khusus untuk turbin yang dibangun di dekat ngarai dan lereng yang lebih curam, stabilitas dan kemampuan tanah untuk membawa turbin angin harus diselidiki lebih lanjut pada tahap kelayakan. Hal ini dapat dilakukan dengan penyelidikan geoteknik tanah (menentukan karakteristik tanah seperti kuat geser, kepadatan, permeabilitas, dll.), dan analisis stabilitas tanah berikut, yang dikombinasikan dengan studi LiDAR.

Jenis pergerakan tanah lainnya adalah likuefaksi, tetapi ini lebih terkait dengan aktivitas seismik dan termasuk dalam Subbagian Error! Reference source not found..







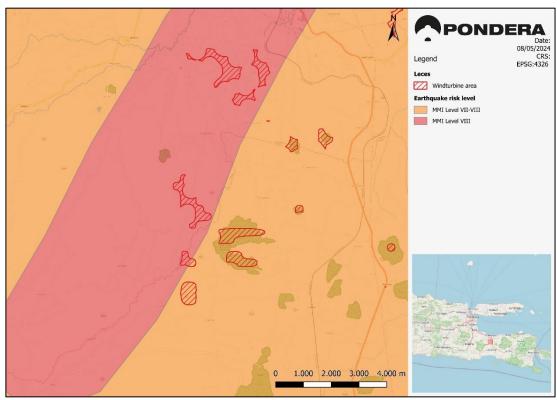


#### 2.5.2 Kegempaan

Menurut peta geologi (lihat Gambar 24), beberapa patahan terlihat di daerah terdekat. Hal ini kemungkinan besar terkait dengan aktivitas vulkanik. Karena gunung berapi ini masih aktif, gempa bumi masih dapat diperkirakan terjadi. Namun, menurut database USGS, tidak ada gempa bumi kerak (kedalaman <40 km) yang tercatat di wilayah dekat (50 x 50 km) lokasi tersebut sejak dimulainya pengukuran akurat pada tahun 1960-an.

Terlepas dari patahan ini, zona subduksi besar terletak di selatan Pulau Jawa. Pergerakan di zona subduksi ini adalah 7 cm/tahun, yang mengakibatkan gempa bumi biasa. Sebagian besar berkekuatan 4 hingga 5, dan kadang-kadang lebih tinggi. Menurut USGS, sejak tahun 1990, tiga gempa bumi besar (>M 7,0) terjadi di selatan Jawa (M 7,0, 7,7, dan 7,8).

Menurut Kementerian ESDM, sebagian besar wilayah berpotensi dilanda gempa bumi dengan intensitas VII hingga VIII pada skala Modified Mercalli Intensity (MMI). Gambar 26 memberikan representasi visual dari tingkat risiko gempa bumi di dalam dan sekitar area WTG.



Gambar 26. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Probolinggo – Lumajang.

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

VII: "Kerusakan dapat diabaikan pada bangunan dengan desain dan konstruksi yang baik; tetapi kerusakan ringan hingga sedang pada bangunan biasa yang dibangun dengan baik; kerusakan cukup parah pada bangunan yang dibangun dengan buruk atau dirancang dengan buruk; beberapa cerobong asap rusak. Diperhatikan oleh pengendara."

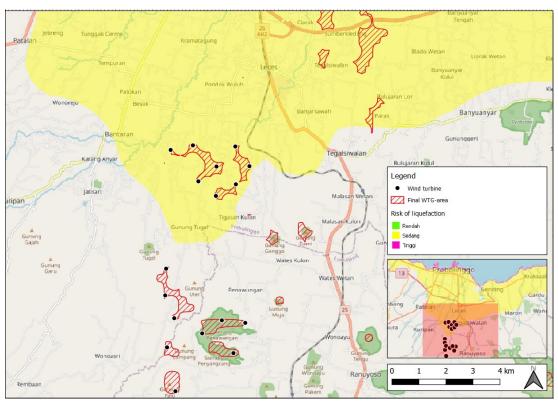






VIII: "Kerusakan ringan pada struktur yang dirancang khusus; kerusakan parah pada bangunan besar biasa dengan keruntuhan sebagian. Kerusakan parah pada bangunan yang dibangun dengan buruk. Runtuhnya cerobong asap, cerobong pabrik, kolom, monumen, dinding. Perabotan berat terbalik. Pasir dan lumpur dikeluarkan dalam jumlah kecil. Perubahan dalam air sumur. Pengemudi 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.



Gambar 27. Risiko likuefaksi (MEMR). Area kuning (Sedang) berada pada risiko sedang terhadap likuefaksi, sedangkan wilayah merah muda cerah (Tinggi) berada pada risiko tinggi dan hijau cerah (Rendah) berada pada risiko rendah terhadap likuefaksi.

Menurut KESDM (lihat Gambar 27), bagian utara lokasi (delapan dari tujuh belas lokasi turbin angin) terletak di daerah dengan risiko likuefaksi 'sedang'. Hal ini adalah fenomena di mana tanah/sedimen setelah gempa bumi dapat berperilaku sebagai cairan/lumpur dan mengalir ke ketinggian yang lebih rendah (10 hingga 100 meter). Selama tahap kelayakan, risiko likuefaksi harus diteliti lebih lanjut dengan memeriksa karakteristik tanah dan hidrogeologi setempat.





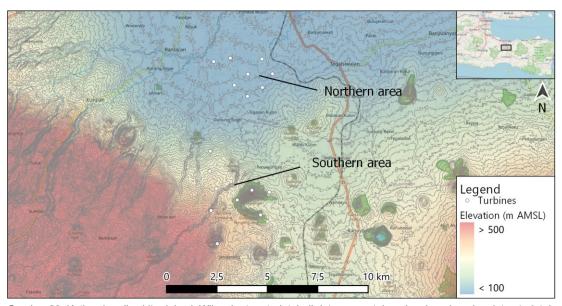




#### 2.6 Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan

#### 2.6.1 Kesan umum

Bagian utara dan bagian selatan lokasi tersebut berbeda satu sama lain baik dalam topografi, penggunaan lahan, dan kepadatan penduduk. Meskipun masih berada pada ketinggian 80 hingga 100 m di atas permukaan laut, bagian utara terletak di daerah yang dapat dihitung sebagai dataran pantai. Bagian selatan terletak di kaki Gunung Bromo. Kedua area ditampilkan pada Gambar 28.



Gambar 28. Ketinggian di sekitar lokasi. Wilayah utara terletak di dataran pantai, sedangkan daerah selatan terletak di kaki Gunung Bromo.









#### Bagian utara lokasi

Daerah ini ditutupi oleh ladang pertanian kecil, sebagian besar jagung/jagung dan tebu, dipisahkan satu sama lain oleh deretan semak dan pohon (lihat Error! Reference source not found. dan Gambar 30). Desa-desa kecil (berkisar antara ~5 hingga ~100 rumah) dan beberapa bangunan terpencil tersebar di seluruh area. Topografinya datar, dengan aliran sungai yang dangkal. Aliran sungai ini tampaknya hampir kering, dan sebagian besar mengalir selama dan setelah hujan.



Gambar 29. Kesan bagian dari utara lokasi. Ladang kecil dipisahkan oleh semak-semak dan pepohonan. Kelompok rumah dan desa tersebar di seluruh area.



Gambar 30. Kesan lain dari bagian dari utara lokasi. Ladang kecil dipisahkan oleh semak-semak dan pepohonan.







#### Bagian selatan lokasi

Bagian selatan lebih banyak vegetasi dibandingkan dengan daerah utara. Lebih dari 50% area ini ditutupi oleh petak hutan atau kelompok pohon dan semak-semak. Ladang pertanian (kebanyakan jagung/jagung, tebu, dan berbagai tanaman pangan) terletak di antara petak hutan dan desa. Hutan tersebut digunakan untuk kehutanan skala kecil dan mungkin untuk berburu dan menangkap burung, karena senapan berburu dan perangkap burung diamati selama kunjungan lokasi.

Topografinya berbukit-bukit, dengan beberapa sungai yang lebih dalam, hingga kedalaman 10 m. Ngarai yang lebih dalam membelah area tersebut dari arah barat daya ke timur laut, memisahkan tiga turbin barat dari turbin lainnya. Tidak ada jalan yang menghubungkan kedua sisi ngarai ini. Seperti yang dapat dilihat pada Subbagian 2.4.3, jalan akses turbin barat ini terhubung ke bagian utara lokasi karena topografi ini. Termasuk pembebasan lahan, peningkatan jalan yang sudah ada lebih murah dibandingkan dengan membangun jalan pegunungan baru yang melintasi ngarai dan jembatan.

Di dalam lokasi, sisa gunung berapi kecil menjulang setinggi 150 hingga 250 meter di atas permukaan tanah di sekitarnya Daerah tersebut sedikit lebih jarang penduduknya dibandingkan dengan daerah utara. Selain itu, ilustrasi bagian selatan lokasi tersebut disajikan pada Gambar 31, Gambar 32, Gambar Gambar 33, dan Gambar 34.



Gambar 31. Kesan daerah selatan. Ini terdiri dari daerah yang lebih lebat dengan ladang dan desa kecil. Sudut pandang ini menghadap ke dasar Gunung Bromo.









Gambar 32. Kesan lain dari daerah selatan. Sudut pandang ini menghadap Gunung Penawangan, dengan dataran pantai di latar belakang.



Gambar 33. Ngarai dengan lereng curam. Tiga turbin dibayangkan di sisi kiri ngarai. Sudut pandang ini menghadap dataran pantai (bagian utara lokasi di latar belakang.









Gambar 34. Kesan daerah selatan, yang terdiri dari hutan, ladang, dan desa-desa kecil

# 2.6.2 Keanekaragaman hayati dan dampak lingkungan

Meskipun manusia hadir di seluruh area tersebut, dan tidak ada hutan berkelanjutan yang terletak di dalam lokasi tersebut, sebagian besar area tersebut masih ditumbuhi banyak tumbuhan. Terutama di bagian selatan lokasi, keanekaragaman hayati mungkin masih tinggi, karena di dekatnya terdapat pegunungan kecil dan ngarai tertutup sepenuhnya oleh hutan. Hutan di ngarai tersebut ditandai sebagai Hutan Lindung. Dampak utama dari pengembangan PLTB adalah:

# Dampak keanekaragaman hayati:

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

#### 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 kehadiran dan pengaruh manusia dalam skala besar di wilayah tersebut, pembukaan kawasan sudah terjadi hampir di seluruh wilayah.



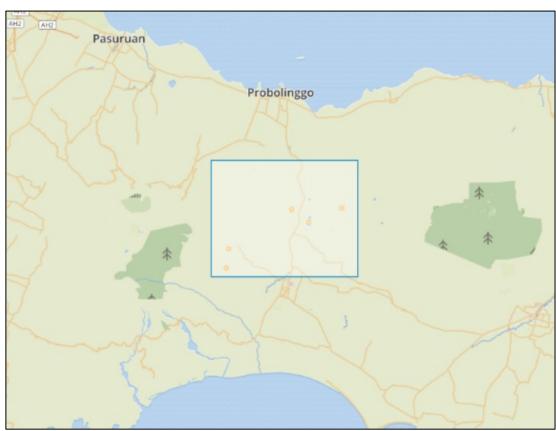






#### Flora dan fauna yang diamati:

Menurut database keanekaragaman hayati daring Global Biodiversity Information Facility (GBIF), tidak ada spesies hewan atau tumbuhan yang terancam diamati di daerah tersebut dalam beberapa waktu terakhir (lihat Gambar 35) 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 liar<sup>16</sup>. 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).



Gambar 35. Area di mana flora dan fauna yang disebutkan di atas telah diamati (meliputi lokasi PLTB yang dibayangkan). Seluruh pengamatan ini dikategorikan sebagai 'risiko rendah' atau 'tidak dievaluasi'.

Dalam tabel berikut, flora dan fauna yang diamati yang dikategorikan setidaknya 'hampir terancam' tercantum. Spesies berwarna abu-abu adalah penampakan bersejarah (1920-1930) atau tanggal yang tidak diketahui. Tidak diketahui apakah spesies ini masih ada di kawasan tersebut, tetapi tidak ada dalam database sebagai spesies yang diamati pada masa sekarang.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> 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 Bahasa Inggris	Status
Macaca fascicularis	Con Song Long-tailed Macaque	Terancam (EN)
Gonocephalus kuhlii	- (spesies kadal)	Rentan (VU)
Trachypithecus auratus	East Javan Langur	Rentan (VU)
Rasbora lateristriata	Sidestrap rasbora	Rentan (VU)
Calidris ruficollis	Red-Necked Stint	Hampir Terancam (NT)

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

Tumbuhan	Nama Bahasa Inggris	Status
Dipterocarpus retusus	Hollong	Terancam (EN)
Pandanus faviger	-	Hampir Terancam (NT)

Dampak terhadap keanekaragaman hayati dan lingkungan dapat diminimalkan jika mempertimbangkan poin-poin berikut:

- 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; 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.



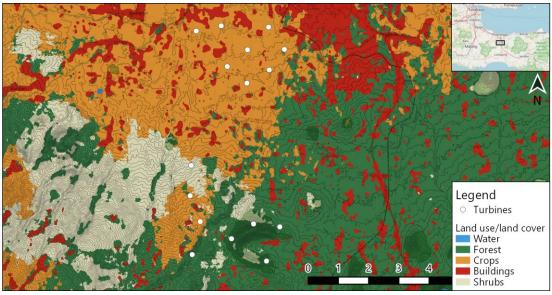






#### 2.6.3 Dampak sosial

Seperti yang digambarkan pada Gambar 36, banyak desa kecil terletak di daerah tersebut. Turbin yang dibayangkan ditempatkan di antara desa-desa ini. Beberapa bangunan yang ada terletak di dekat (< 300 m) lokasi turbin yang direncanakan saat ini, namun turbin ini dapat dipindahkan selama studi kelayakan untuk memastikan jarak yang cukup. Desa-desa di dalam area PLTB (baik di wilayah utara maupun selatan) sebagian besar terdiri dari petani skala kecil. Tidak ada aktivitas besar lainnya yang diamati selama kunjungan lapangan.



Gambar 36. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2023).

Dampak sosial dapat dibagi menjadi beberapa aspek:

- Kehilangan lahan pertanian yang akan digunakan untuk jalan atau platform baru;
- Konstruksi sementara di jalan, platform dan turbin (penurunan aksesibilitas dan kebisingan);
- Transportasi sementara bahan bangunan dan turbin (penurunan aksesibilitas dan kebisingan); dan
- Dampak visual jangka panjang dari turbin di daerah tersebut; dan
- Peningkatan mobilitas setelah peningkatan jalan umum.

Dengan penggunaan lahan saat ini, dampak visual di bagian selatan (timur ngarai) lokasi mungkin cukup terbatas. Selama kunjungan lapangan, hanya beberapa pemandangan terbuka yang diamati, dan jangkauan jarak pandang hampir selalu kurang dari 50 meter karena vegetasi yang tinggi dan lebat.

Sebagian besar wilayah selatan sulit dijangkau dengan transportasi lain selain dengan berjalan kaki atau sepeda motor. Mobilitas penduduk di dekatnya kemungkinan akan meningkat ketika jalan umum ditingkatkan, sehingga mempersingkat waktu perjalanan antara daerah selatan dan jalan utama menuju Probolinggo - Lumajang.

Paragraf berikutnya memberikan gambaran statistik populasi dan pekerjaan di Kabupaten Probolinggo dan Lumajang.





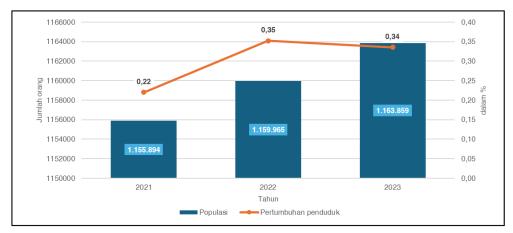




# Populasi

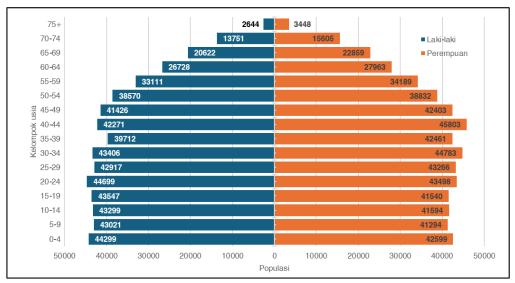
#### **Probolinggo**

Grafik populasi dan tingkat pertumbuhan penduduk tahunan ditunjukkan pada Gambar 37. Terlihat bahwa laju pertumbuhan penduduk tahunan di kabupaten tersebut naik dari 0,22% pada tahun 2021 menjadi 0,34% pada tahun 2023. Jumlah penduduk meningkat dari 1.155.894 orang pada tahun 2021 menjadi 1.163.859 orang pada tahun 2023.



Gambar 37. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id)).

Piramida penduduk kabupaten ditunjukkan pada Gambar 38. Perlu diperhatikan bahwa rasio gender adalah 0,97 pada tahun 2022.



Gambar 38. Piramida kependudukan di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2022 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id)).

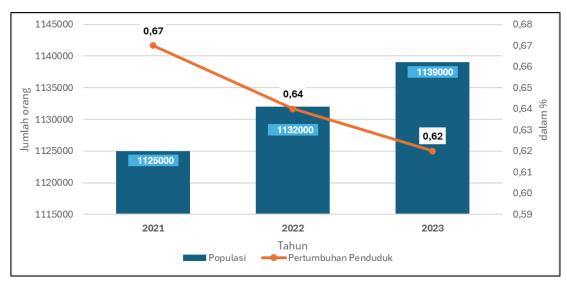






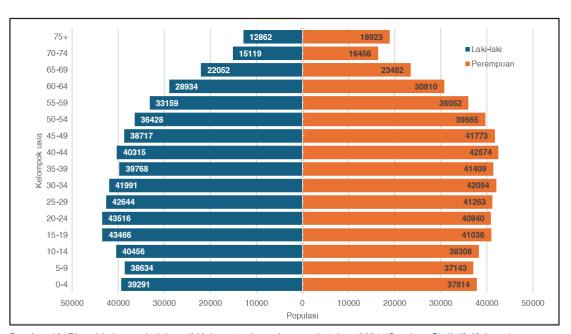
# Lumajang

Grafik populasi dan tingkat pertumbuhan populasi tahunan ditunjukkan pada Gambar 39. Terlihat bahwa laju pertumbuhan penduduk tahunan di kabupaten tersebut menurun dari 0,67% pada tahun 2021 menjadi 0,62% pada tahun 2023. Sementara itu, jumlah penduduk meningkat dari 1.125.000 orang pada tahun 2021 menjadi 1.139.000 orang pada tahun 2023.



Gambar 39. Laju pertumbuhan penduduk dan tahunan penduduk di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).

Piramida penduduk kabupaten ini ditampilkan pada Gambar 40. Perlu diperhatikan bahwa rasio gender adalah 0,9779 pada tahun 2022.



Gambar 40. Piramida kependudukan di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).









Pekerjaan, pendidikan, dan pembangunan

#### **Probolinggo**

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. Angka ini ditampilkan pada Tabel 3. Selama periode tahun 2021-2023, angka partisipasi angkatan kerja dan angka pengangguran menurun.

Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS Jawa Timur dan BPS Kabupaten Probolinggo).

Metrik (dalam %)	Tahun			
	2021	2022	2023	
Partisipasi angkatan kerja	73,24	71,56	69,48	
Tingkat pengangguran	4,55	3,25	3,24	

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

Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Probolinggo mulai tahun 2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id)).

Pencapaian pendidikan	Bekerja	Tidak Bekerja	Jumlah Penduduk Aktif Secara Ekonomi	Persentase Pekerja yang Aktif Secara Ekonomi (%)
Sekolah dasar (SD)	355.505	1.975	358.480	99,17
Sekolah menengah pertama (SMP)	97.522	5.109	102.631	95,02
Sekolah menengah atas (SMA)	130.601	11.103	142.704	91,52
Universitas	33.775	460	34.235	98,66
Total	617.403	20.647	638.050	96,76

Angka Partisipasi Murni dalam data demografis mewakili rasio antara jumlah pendaftaran untuk kelompok usia yang sesuai dengan usia sekolah resmi di tingkat dasar atau menengah, dengan total populasi pada kelompok usia yang sama pada tahun tertentu. Angka ini ditunjukkan pada Tabel 5.









Tabel 5. Angka partisipasi murni di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: BPS Kabupaten Probolinggo)

Angka partisipasi murni	Tahun			
Tingkat pendidikan	2021	2022	2023	
Sekolah dasar (SD)	97,55	99,91	99,67	
Sekolah menengah pertama (SMP)	70,39	70,83	77,30	
Sekolah menengah atas(SMA)	38,45	42,05	52,39	

Jumlah fasilitas pendidikan di kabupaten, menurut tingkat pendidikan yang berbeda, pada tahun 2023 ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id)).

Jenis sekolah	Jumlah fasilitas
Taman kanak-kanak (TK)	505
Raudatul Athfal (Taman kanak-kanak Islam)	410
Sekolah dasar (SD)	626
Madrasah Ibtidaiyah (Sekolah dasar Islam)	414
Sekolah menengah pertama (SMP)	218
Madrasah Tsanawiyah (Sekolah menengah pertama Islam)	222
Sekolah menengah atas (SMA)	76
Sekolah menengah kejuruan(SMK)	58
Madrasah Aliyah (Sekolah menengah atas Islam)	133
Universitas	8

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 ini dari tahun 2021 hingga 2023 mengalami tren peningkatan secara umum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.









Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Probolinggo pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Probolinggo (bps.go.id)).

Metrik	Tahun		
Wettik	2021	2022	2023
Indeks Pembangunan Manusia	68.94	69.56	70.36
Indeks Pemberdayaan Gender	68.22	68.69	68.75
Indeks Pembangunan Gender	85.63	86.33	86.76

Indeks Pemberdayaan Gender (GEI) mengukur ketimpangan 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 ini dari tahun 2021 hingga 2023 menunjukkan tren peningkatan secara 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 ini sejak tahun 2021 hingga 2023 menunjukkan tren peningkatan secara umum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

#### Lumajang

Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) dan Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) ditampilkan pada Tabel 8. Selama tahun 2021-2023, angka partisipasi angkatan kerja mengalami peningkatan, sedangkan angka pengangguran berfluktuasi.

Tabel 8. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).

Metrik (dalam %)	Tahun			
wetrik (dalam 70)	2021	2022	2023	
Partisipasi angkatan kerja	66,2	66,8	68,5	
Tingkat pengangguran	3,51	4,91	3,67	

Jumlah pekerja menurut pendidikan tertinggi dari tahun 2023 disajikan pada Tabel 9. Secara keseluruhan angkatan kerja didominasi oleh pekerja yang pendidikan tertingginya adalah sekolah dasar. Kelompok terbesar kedua adalah sekolah menengah atas, diikuti oleh sekolah menengah pertama.







Tabel 9. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Lumajang mulai tahun 2023 (Sumber: BPS Kabupaten Lumajang).

Pencapaian pendidikan	Bekerja	Tidak Bekerja	Jumlah Penduduk Aktif Secara Ekonomi	Persentase Pekerja yang Aktif Secara Ekonomi (%)
Sekolah dasar (SD)	329.416	7.400	336.816	97,80
Sekolah menengah pertama (SMP)	102.018	3.605	105.623	96,59
Sekolah menengah atas (SMA)	127.070	9.706	136.776	92,90
Universitas	41.043	2.115	43.158	95,10
Total	599.547	22.826	622.373	96,33

Angka partisipasi murni kabupaten ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Angka partisipasi murni di Kabupaten Lumajang pada tahun 2019-2023 (Sumber: BPS Kabupaten Probolinggo)

Angka partisipasi murni	Tahun		
Tingkat pendidikan	2019	2022	2023
Sekolah dasar	97,06	99,95	99,41
Sekolah menengah pertama	76,9	79,05	84,21
Sekolah menengah atas	44,42	46,10	49,18

Jumlah fasilitas pendidikan di kabupaten, menurut jenjang pendidikan yang berbeda, pada tahun 2023 ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Lumajang pada tahun 2023 (Sumber: BPS Kabupaten Lumajang).

Jenis sekolah	Jumlah fasilitas
Taman kanak-kanak (TK)	454
Raudatul Athfal (Taman kanak-kanak Islam)	190
Sekolah dasar (SD)	557
Madrasah Ibtidaiyah (Sekolah dasar Islam)	207
Sekolah menengah pertama (SMP)	143
Madrasah Tsanawiyah (Sekolah menengah pertama Islam)	139
Sekolah menengah atas (SMA)	30
Sekolah menengah kejuruan (SMK)	40
Madrasah Aliyah (Sekolah menengah atas Islam)	88
Universitas (pada tahun 2021)	10









Indeks Pembangunan Manusia di Kabupaten Lumajang dari tahun 2021 hingga 2023 naik dari 67,65 menjadi 69,37, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa GEI dan GDI meningkat selama periode yang sama.

Tabel 12. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Lumajang pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Lumajang (bps.go.id)).

Metrik	Tahun			
Metrik	2021	2022	2023	
Indeks Pembangunan Manusia	67.65	68.48	69.37	
Indeks Pemberdayaan Gender	59.38	59.61	59.88	
Indeks Pembangunan Gender	88.39	88.77	89.06	

# 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 Probolinggo 150 kV yang terletak di selatan pusat kota Probolinggo dipilih untuk studi ini. Foto udara gardu induk ini disertakan dalam Gambar 41. 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 41. Lokasi gardu induk PLN Probolinggo 150 kV. Sumber: Google Maps.



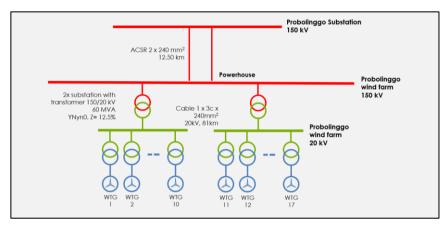






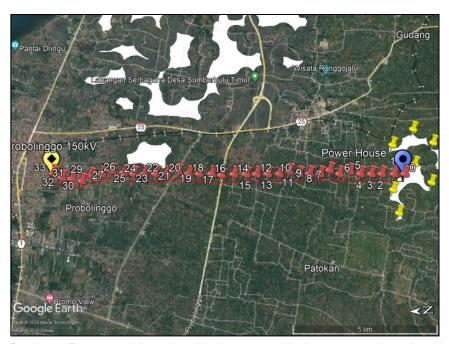
#### 2.7.2 Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi

Pada Gambar 42, desain skematis jaringan transmisi dan distribusi diilustrasikan. Masing-masing 17 turbin angin akan memiliki keluaran 20 kV (melalui transformator 5 MVA per turbin angin) yang didistribusikan melalui kabel distribusi. Per rangkaian dengan maksimal 10 turbin angin, listrik yang dihasilkan didistribusikan ke salah satu dari dua gardu induk di dalam 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 Probolinggo.



Gambar 42. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Probolinggo – Lumajang yang dibayangkan.

Saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu induk PLN diasumsikan sebagai garis lurus antara kedua lokasi, meliputi 12,5 km seperti yang divisualisasikan pada Gambar 43. Sebanyak 34 menara transmisi direncanakan dengan jarak perantara antara menara sebesar 340-450 m.



Gambar 43. Representasi skematis posisi saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu induk Probolinggo.







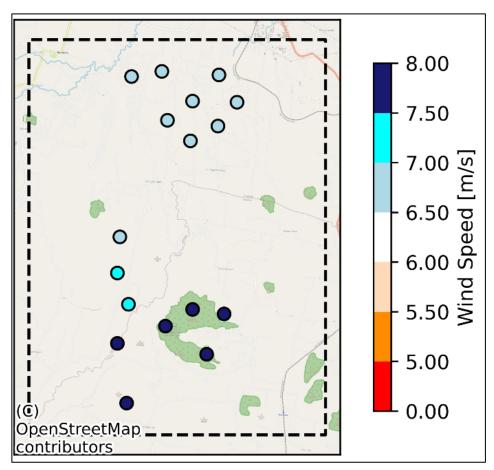


# 2.8 Asesmen keluaran energi

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 penilaian hasil energi situs Probolinggo – Lumajang, kecepatan angin jangka panjang ditentukan berdasarkan iklim angin umum Global Wind Atlas (GWA) dan pemodelan windPRO. Titik jaringan skala meso GWA memberikan pandangan global pertama mengenai pola aliran dan kecepatan angin di wilayah tersebut.

Gambar 44 menunjukkan klimatologi yang dihasilkan di lokasi WTG. Kecepatan angin jangka panjang yang dimodelkan, yang rata-rata dari semua 17 WTG pada ketinggian naf yang direncanakan yaitu 140 m, adalah 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 44. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dengan model windPRO pada ketinggian 140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbingkai hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna 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 13 menyajikan perkiraan rugi-rugi pada tingkat PLTB.

Tabel 13. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB.

Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Penjelasan
Interaksi	Rugi-rugi olakan [%]	4,8%	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 4.8%.
	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) <sup>17</sup> dengan parameterisasi linier digunakan untuk menghitung halangan. Halangan 0% diperkirakan untuk tata letak di Probolinggo – Lumajang
Ketersediaan	Ketidaktersedia an [%]	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.
	Balance of Plant [%]	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.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> 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	Penjelasan
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 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	Pematian karena lapisan es, petir dll. [%]	0,3%	Pematian 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	Jumlah	Penjelasan
	energi		
	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 rumahrumah 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/kelelaw ar [%]	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-(1rugi-rugi A)*(1-rugi-rugi B)*(1-rugi-rugi C)* dll.
Total rugi-rugi		15,6%	Akumulasi semua rugi-rugi yang disebutkan di atas, termasuk rugi-rugi olakan. Berdasarkan 1-(1-rugi-rugi A)*(1-rugi-rugi B)*(1-rugi-rugi C)* 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 \*  $(1 - 1,28 \cdot \sigma)$ . Ketidakpastian [dalam %] ditetapkan sebagai  $\sigma$ .

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 14.

Tabel 14. Keluaran energi untuk semua 17 WTG di PLTB Probolinggo - Lumajang.

Parameter [Satuan]	Jumlah
Jumlah WTG baru	17
Nilai Daya per WTG [MW]	4,0
Total Nilai Daya [MW]	68,0
Diameter rotor [m]	~170
Tinggi naf [m]	140
Kepadatan udara [kg/m³]	1,136
Kecepatan angin [m/s]	7,2
Hasil bruto [MWh/th]	309.857
Hasil bruto termasuk efek olakan [MWh/th]	301.056
P50 [MWh/th]	261.831
P90 (25 th) [MWh/th]	194.721
P50 [jam/th]	3.850
P90 (25 th) [jam/th]	2.864

# 2.8.3 Variasi keluaran daya

Dalam Subbagian 2.8.2, kami telah memberikan perkiraan produksi tahunan P50, setara dengan 261.831 MWh per tahun. Sebelumnya, selama penilaian sumber daya angin pertama di Subbagian 2.2.2, kami telah menunjukkan bahwa untuk lokasi ini ada variasi yang besar dalam kecepatan angin sepanjang tahun, dengan kecepatan angin tertinggi selama bulan-bulan musim panas. Variabilitas ini memiliki efek langsung pada total keluaran daya PLTB pada saat-saat tertentu dalam setahun.

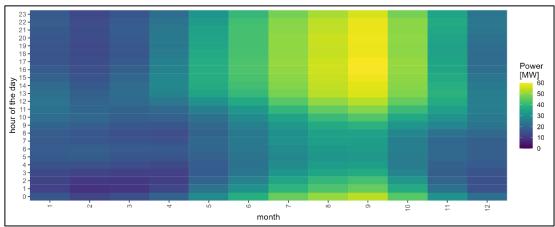








Gambar 45 menunjukkan keluaran daya PLTB rata-rata untuk setiap bulan, dibagi lagi menjadi jam selama sehari penuh. Data masukan untuk angka ini berasal dari pemodelan ASPIRE yang dikombinasikan dengan variabilitas rata-rata EMD-WRF dalam kecepatan angin sepanjang tahun. Ilustrasi grafis ini relevan untuk diperhitungkan dalam studi kelayakan interkoneksi jaringan listrik pada studi selanjutnya untuk lokasi proyek ini.



Gambar 45. 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.

#### 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 dilakukan sebelum dimulainya sebagian besar pekerjaan desain dan pasti 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 0
- Geoteknik
- Lingkungan
- Sosial
- Pengukuran angin (2 tiang pengukuran meteorologis selama 1 tahun)
- Pembebasan lahan, dengan asumsi Rp 200.000 /m² + pajak 5% untuk tanah kualitas rendah, Rp 520.000 /m<sup>2</sup> + 5% untuk lahan subur sedang, yang akan digunakan untuk:
  - Permukaan jalan baru
  - Permukaan diameter rotor
  - o Permukaan peningkatan jalan
  - Permukaan rumah pembangkit dan gardu induk
  - o Permukaan menara transmisi

#### Turbin angin

Jumlah yang relevan untuk pemasangan 17 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Jumlah turbin angin yang relevan untuk PLTB Probolinggo - Lumajang yang dibayangkan.

Komponen utama	Jumlah
Nasel termasuk generator (4 MW)	17 buah
Sudu (85 m)	51 buah
Segmen menara (tinggi total 140 m)	102 buah

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

- Produsen turbin angin Republik Rakyat Tiongkok (RRT) digunakan sebagai turbin referensi. Pabrikan 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 Surabaya dan melalui transportasi darat membawa lokasi PLTB;
- Diasumsikan bea masuk sebesar 5% berlaku untuk generator dan sudu, dan sebesar 15% untuk bagian menara 18;
- Biaya tersebut sudah termasuk transportasi, sewa crane, instalasi, dan commissioning.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> 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 17 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Jalan (termasuk desain, material, transportasi, tenaga	Pembangunan jalan berkerikil baru di dalam lokasi PLTB	14 km
kerja)	Peningkatan jalan yang sudah ada	20 km
Memperkuat jembatan	Penguatan jembatan beton	5 jembatan
(termasuk desain, material, transportasi, tenaga kerja)	Jangkar (72 per fondasi)	1 jembatan
Fondasi (termasuk desain,	Kandang jangkar	1,224 buah
bahan, transportasi, tenaga	Beton (230 m³ per fondasi)	17 buah
kerja)	Baja (35 ton per fondasi)	3.910 m <sup>3</sup>
	Crane hardstand (50 x 100 m) menggunakan kerikil	595 ton
Crane hardstands (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Pembangunan jalan berkerikil baru di dalam lokasi PLTB	17 hardstand

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

- Pekerjaan sipil termasuk desain, material, transportasi, dan tenaga kerja;
- Sebuah jalan raya menghubungkan Pelabuhan Surabaya ke Probolinggo, dan jalan wilayah yang lebar menghubungkan Probolinggo ke daerah ~3 km sebelah timur lokasi. Tidak ada peningkatan jalan yang diperkirakan pada jalan-jalan ini, kecuali untuk memperkuat beberapa jembatan di jalan regional;
- Di dalam lokasi, jalannya sangat sempit dan melewati desa-desa kecil. Sebagian besar jalan ini diperuntukkan bagi sepeda motor dan kadang-kadang mobil atau truk. Hampir seluruh jalan mulai dari jalan utama regional hingga ke lokasi harus diperlebar dan dibangun ulang tikungannya;
- 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 terbatas untuk pekerjaan kelistrikan telah ditentukan untuk PLTB pada Tabel 17.

Tabel 17. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Saluran transmisi	Menara transmisi	34 unit
(19 km, 48 menara)	Konduktor	1 set
	Isolator dan fiting; Tipe Normal	1 set
	Kabel ACSR Hawk 240 mm <sup>2</sup>	1 set
	Kabel GSW 70 mm <sup>2</sup>	1 set
	Kabel OPGW 70 mm <sup>2</sup>	1 set
Rumah pembangkit	Switchgear MV yang masuk	17 unit
(1 untuk seluruh PLTB)	Switchgear LV	1 unit
	DC Supplies	1 unit
	Proteksi petir	1 unit
	Kabel 2x3C 300 mm	567 m
Pekerjaan listrik PLTB (antara	Transformator 20 kV (5 MVA)	17 unit
pembangkit tenaga listrik, gardu induk dan turbin angin)	Switchgear	17 unit
illouk dan turbin angin)	Kabel MVAC (1 x 3c x 240) 50 dan 300 meter	81 km
	Sistem Pembumian	1 set
	Sistem Kontrol &; Pemantauan	1 set
	Sistem Proteksi Kebakaran	1 set
	Sistem Hidran	1 set
	Fasilitas Air (Bersih dan Kotor)	1 set
Gardu induk	Transformator 150/20 kV 30 MVA	2 unit
(dua untuk seluruh PLTB)	Resistor <i>Grounding</i> Netral	2 unit
	Switchyard	1 unit
	Bay masuk/keluar, coupler, busbar, Panel RCP	2 set
	Switchgear 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,
- Kompensasi penggunaan hutan sekitar 50% dari lokasi proyek, dengan asumsi Rp 2 iuta/ha/tahun
- Asuransi (misalnya asuransi kerusakan mesin, kewajiban pihak ketiga)

#### 2.9.2 Asumsi biava

Dalam Tabel 18, 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 masingmasing 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 2024)19 dan dengan 7 lokasi lainnya.

Tabel 18. Asumsi biava per komponen biava.

Komponen biaya	Biaya dasar termasuk PPN	Komentar	Julat biaya
Pekerjaan persiapan	USD 2.525.000	DEVEX: Sebelum Pemenuhan Pembiayaan	90% - dasar -120%
Manajemen proyek	USD 5.383.000	DEVEX: Sampai CoD	Dasar

<sup>19</sup> Sumber: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/actual-and-forecast-onshore-wind-costs-2016-2025









Komponen biaya	Biaya dasar termasuk PPN	Komentar	Julat biaya
Turbin angin	USD 47.384.000	CAPEX: termasuk transportasi dan instalasi	90% - dasar -120%
Pekerjaan sipil: fondasi	USD 6.812.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: jalan	USD 12.945.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: <i>crane</i> hardstand	USD 1.885.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan kelistrikan	USD 21.021.000	CAPEX	90% - dasar -120%
Pembebasan lahan	USD 15.095.000	CAPEX	90% - dasar -150%
Kontingensi risiko	USD 8.613.000	DEVEX + CAPEX	Dasar
Total biaya investasi batas bawah (DEVEX + CAPEX)	USD 108.732.000	Biaya investasi per MW	: USD 1.599.000
Total biaya investasi batas dasar (DEVEX + CAPEX)	USD 121.663.000	Biaya investasi per MW: USD 1.789.000	
Total biaya investasi batas atas (DEVEX + CAPEX)	USD 154.218.000	Biaya investasi per MW: USD 2.268.000	
Pengeluaran operasional dasar (OPEX)	USD 2.093.000 / tahun	Biaya operasional per MW / tahun: USD 31.000	

# 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 x faktor lokasi (menjadi 1,1 untuk jaringan listrik Jamali) = USD 9,54 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 19. Hasil asesmen kasus bisnis.

Hasil kasus bisnis	Skenario biaya batas bawah	Skenario biaya batas dasar	Skenario biaya batas atas
Internal Rate of Return (IRR) Proyek (sebelum pajak) di P50	16,08%	13,75%	9,48%
Rata-rata <i>Debt Service Coverage Ratio</i> (DSCR) di P90	1,09	0,99	0,81
Laba bersih di P50 selama 25 tahun	USD 150.155.000	USD 134.675.000	USD 95.760.000









# 3 Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan analisis yang dilakukan dan data yang tersedia, disimpulkan bahwa kelayakan teknoekonomi keseluruhan dari PLTB di Probolinggo – Lumajang dapat menjanjikan berdasarkan hasil IRR dan DSCR. Kecepatan angin rata-rata 7,2 m/s (meskipun harus divalidasi dengan pengukuran angin) merupakan kontributor signifikan untuk kasus bisnis yang berpotensi menjanjikan. Namun, pengoptimalan dapat diupayakan untuk lebih meningkatkan kasus bisnis untuk proyek ini. Komponen tertentu meningkatkan biaya investasi secara signifikan. Penguatan 6 jembatan merupakan faktor biaya utama (+/- 3,5% dari biaya investasi) untuk PLTB ini. Selain itu, biaya untuk membangun jalan baru, peningkatan jalan, dan jalur kereta api juga signifikan (+/- 8% dari biaya investasi). Dalam studi lanjutan, tujuannya adalah untuk menemukan penghematan biaya untuk biaya ini (lihat rekomendasi khusus di bawah Transportasi).

Selain potensi optimalisasi biaya, PLTB yang dibayangkan juga mengandung risiko lain yang harus dipertimbangkan oleh pengembang dan investor. Hal ini dapat diringkas dalam daftar risiko nonlimitatif berikut, termasuk rekomendasi tindakan mitigasi masing-masing:

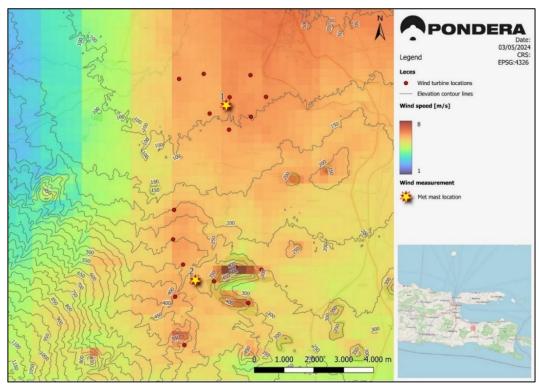
Sumber daya angin: Masih ada ketidakpastian yang signifikan pada sumber daya angin di daerah tersebut seperti yang ditentukan oleh penelitian ini. Variasi hasil antara model yang berbeda menunjukkan bahwa validasi sumber daya angin di awal proses pengembangan sangat penting. Kami merekomendasikan untuk menempatkan setidaknya dua tiang pengukuran meteorologis untuk pengumpulan data setidaknya selama satu tahun untuk mencakup bagian utara dan selatan PLTB (lihat Gambar 46). Di latar belakang gambar tersebut adalah kecepatan angin dari Global Wind Atlas (GWA). Elevasi ditunjukkan dengan garis kontur. Titik berwarna merah menunjukkan lokasi turbin angin. Sementara itu, ikon kuning menunjukkan posisi global lokasi dari tiang pengukuran meteorologis yang direkomendasikan.











Gambar 46. Lokasi tiang pengukuran meteorologis dan LIDAR yang direkomendasikan.

- Penggunaan lahan dan perizinan: Seperti yang dapat diperoleh dari Gambar 36 dan Subbagian 2.2.5, PLTB direncanakan kira-kira 50/50 di antara Kawasan Hutan Produksi dan Kawasan Perkebunan. Pengembang ke depannya wajib 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 Surabaya adalah yang paling cocok sebagai titik awal untuk transportasi melalui darat. Untuk memastikan bahwa pelabuhan di Surabaya membongkar dan menyimpan komponen turbin angin, penilaian yang lebih luas perlu dilakukan di pelabuhan yang dapat memerlukan konsultasi dengan pemilik pelabuhan. Selain itu, sebagian besar jalan menuju lokasi dalam kondisi baik dan digunakan sehari-hari dengan lalu lintas yang padat. Namun, penting untuk menanyakan atau mengukur ketinggian yang akurat antara permukaan jalan dan jembatan di jalan tol. Ketinggian jembatan terendah mungkin merupakan faktor pembatas diameter yang digunakan untuk dasar menara turbin. Selain itu, perlintasan rel kereta api di dua lokasi tersebut memerlukan investigasi lebih lanjut mengenai penyesuaian dan penyelarasan yang diperlukan dengan KAI (Persero). Terakhir, optimalisasi perlu dilakukan untuk menekan biaya perkuatan 8 jembatan tersebut. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kekuatan jembatanjembatan tersebut saat ini dan perlu tidaknya penguatan.









Jika penguatan jembatan diperlukan, perlu diselidiki apakah dana infrastruktur Pemerintah tersedia untuk menutupi sebagian biaya penguatan tersebut.

- 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. Hal ini perlu ditentukan melalui penyelidikan geoteknik, yang menentukan beberapa karakteristik tanah (misalnya kuat geser, kepadatan, permeabilitas dll.), dan analisis stabilitas tanah berikut dalam kombinasi dengan studi LiDAR untuk pemetaan topografi yang lebih tepat.
- 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 kemungkinan cara untuk mengurangi risiko gempa yang teridentifikasi. Selain itu, pada tahap kelayakan, risiko likuefaksi juga harus dipertimbangkan secara lebih rinci dengan memeriksa karakteristik tanah dan hidrogeologi setempat.
- Lingkungan: Meskipun lokasi PLTB bukan di daerah padat penduduk, akan ada dampak visual pada daerah tersebut karena penggunaan turbin angin dengan ketinggian ujung 200 m. Kehadiran PLTB ini dapat menyebabkan oposisi dari pemangku kepentingan lokal dan kelompok lingkungan terhadap 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 bahwa terdapat spesies flora dan fauna yang hampir terancam, rentan, dan terancam di area PLTB yang dibayangkan. Beberapa spesies hewan dan tumbuhan diamati di daerah yang dikategorikan dalam kategori daftar merah global IUCN. Kemungkinan pengembangan PLTB akan berpengaruh pada keanekaragaman hayati. Hal yang juga perlu dipertimbangkan, 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 langkahlangkah mitigasinya dilakukan selama studi kelayakan.
- Koneksi jaringan dan PJBL: PLTB terkait dirancang untuk terhubung ke jaringan PLN. Ini mengasumsikan bahwa jaringan dapat mengintegrasikan 68 MW energi angin (dengan keluaran variabel), dan bahwa gardu induk di Probolinggo cocok untuk memfasilitasi koneksi jaringan PLTB. Asumsi tersebut harus diverifikasi selama studi kelayakan. Selain itu, hasil asesmen 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. di sini, atau atas ketepatan waktu atau kelengkapannya.



