



LAPORAN

Pengembangan Energi Angin Proyek 80 MW di Gunung Kidul, DI Yogyakarta 2024

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



Pondera

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

Mailbox 919
6800 AX Arnhem

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

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

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

Judul Halaman

Tipe dokumen
Prospektus PLTB

Nama proyek
Gunung Kidul, DI Yogyakarta – 80 MW

Nomor versi
V5.0

Tanggal
31 Agustus 2024

Klien
UNOPS – ETP

Penulis
Pondera, Witteveen+Bos, BITA, dan Quadran

Diperiksa oleh
ETP

Sanggahan

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



ENERGY
TRANSITION
PARTNERSHIP



UNOPS



PONDERA





Daftar Isi

1	Pendahuluan Prospektus PLTB 1	
2	Analisis PLTB Gunung Kidul, DI Yogyakarta – 80 MW 2	
2.1	Pengenalan lokasi PLTB	2
2.1.1	Lokasi geografis	2
2.1.2	Status dalam RUPTL PLN 2021-2030	3
2.1.3	Status dari pengembangan	4
2.2	Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan	5
2.2.1	Pendekatan	5
2.2.2	Sumber daya dan karakteristik angin	6
2.2.3	Topografi	9
2.2.4	Penggunaan lahan	10
2.2.5	Persyaratan perizinan khusus	11
2.2.6	Area WTG final	13
2.3	Tata letak awal PLTB	14
2.4	Aksesibilitas PLTB	15
2.4.1	Keadaan transportasi Indonesia	15
2.4.2	Transportasi dari pelabuhan ke lokasi	16
2.4.3	Transportasi di dalam lokasi	22
2.5	Kondisi geologi dan kegempaan	24
2.5.1	Geologi	24
2.5.2	Kegempaan	25
2.6	Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan	27
2.6.1	Kesan umum	27
2.6.2	Keanekaragaman hayati dan dampak lingkungan	28
2.6.3	Dampak sosial	31
2.7	Desain jaringan transmisi	36
2.7.1	Titik koneksi	36
2.7.2	Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi	36
2.8	Asesmen keluaran energi	38
2.8.1	Rugi-rugi energi	38
2.8.2	Keluaran energi termasuk ketidakpastian	41
2.8.3	Variasi keluaran daya	42
2.9	Asesmen kasus bisnis	43
2.9.1	Asumsi komponen	43
2.9.2	Asumsi biaya	46
2.9.3	Parameter keuangan	48
2.9.4	Hasil asesmen kasus bisnis	49
3	Kesimpulan dan Rekomendasi	50
4	Sanggahan	53



Daftar Gambar

Gambar 1. Peta Provinsi DI Yogyakarta di mana wilayah dari PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan berada.	2
Gambar 2. Peta sistem kelistrikan DI Yogyakarta di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).	3
Gambar 3. Proyeksi produksi listrik dan beban puncak di DI Yogyakarta (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030)	4
Gambar 4. Area pencarian di DI Yogyakarta dengan sebaran kecepatan angin. Kotak pembatas putus-putus berwarna ungu menunjukkan seluruh area pencarian. Bilah warna menunjukkan kecepatan angin rata-rata di atas 6 m/s pada ketinggian 100 m menurut klimatologi <i>Global Wind Atlas</i> (GWA)	6
Gambar 5. Tampilan yang diperbesar pada area pencarian DI Yogyakarta, dengan fokus di Kabupaten Gunung Kidul, beserta sebaran kecepatan angin. Poligon dengan arsir berwarna merah mewakili area WTG final yang memenuhi semua kriteria. Kecepatan angin rata-rata di atas ambang batas 6 m/s pada ketinggian 100 m ditampilkan berdasarkan GWA.	7
Gambar 6. 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.	8
Gambar 7. 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.	8
Gambar 8. Topografi area WTG Gunung Kidul, menunjukkan kemiringan (dalam derajat; menurut perhitungan berdasarkan data FABDEM) di wilayah tersebut.	9
Gambar 9. Zona pengecualian di kawasan Gunung Kidul berdasarkan penggunaan lahan dan wilayah pemukiman. Sumber: ESRI dan OSM.	10
Gambar 10. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Gunung Kidul (RTRW 2010-2030) ditumpuk dengan area WTG final.	11
Gambar 11. Area WTG akhir berdasarkan kriteria pembatasan. Sumber: Gambar Satelit Google.	13
Gambar 12. Tata letak awal PLTB di area WTG final.	14
Gambar 13. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udara dan telekomunikasi dengan tiang di kedua sisi jalan. Bangunan-bangunan berada dalam jarak yang dekat. Di dalam kota dan kota yang lebih besar, jalan pada umumnya sedikit lebih lebar, namun dengan lebih banyak kabel udara, tiang, dan papan reklame.	15
Gambar 14. Pelabuhan Semarang dengan titik masuk jalan lingkar di dekat pelabuhan.	17
Gambar 15. Pelabuhan Surabaya. Jalan masuk / keluar bagian barat pelabuhan dan masuk jalan raya sejalan, yang membuat pelabuhan ini cocok untuk pengangkutan komponen turbin angin yang panjang.	17
Gambar 16. 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.	18
Gambar 17. Rute dari jalan tol ke lokasi. Jalan tol dari Semarang dan Surabaya tidak ditampilkan karena diasumsikan cukup lebar dan tidak bermasalah. Sebagian jalan tol dari Klaten ke Yogyakarta masih dalam tahap pembangunan dan diperkirakan akan dapat beroperasi pada tahun 2025.	18
Gambar 18. Perlintasan jalur kereta api di Jl. Prambanan.	19
Gambar 19. Persimpangan Jl. Piyungan-Prambanan/Jl. Wonosari.	19
Gambar 20. Tikungan tajam 1 di jalan nasional 3, di tenggara Yogyakarta.	20
Gambar 21. Tikungan tajam 2 di jalan nasional 3, di tenggara Yogyakarta. Kedua tikungan tajam berada di tanjakan yang sama berjarak sekitar 1,5 km dari satu sama lain.	20



Gambar 22. Contoh jembatan baja (kiri) dan jembatan beton (kanan)	21
Gambar 23. Garis merah adalah kemungkinan jalan baru untuk mengelilingi pusat Semanu, yang memiliki jalan sempit dan belokan tajam.	21
Gambar 24. Jalan yang menghubungkan Semanu dengan desa-desa di dalam lokasi. Jalan harus dibersihkan dari pohon/dahan yang menjuntai dan di tikungan mungkin diperlukan pelebaran. Diperkirakan setelah konstruksi, seluruh jalan perlu diaspal karena angkutan yang berat.	22
Gambar 25. Tata letak jalan di dalam lokasi proyek. Tata letak ini tidak menggunakan jalan yang ada di dalam desa karena rekonstruksi besar-besaran yang diperkirakan.	22
Gambar 26. Jalan yang akan ditingkatkan.	23
Gambar 27. Ladang di mana jalan baru dapat dibangun.	23
Gambar 28. Peta geologi wilayah. Warna-warna menunjukkan formasi geologi di permukaan. Formasi biru terbesar adalah Formasi Wonosari, yang terdiri dari karbonat. Lokasi proyek ditampilkan dalam kotak merah.	24
Gambar 29. Indeks kerentanan pergerakan lahan untuk Gunung Kidul.	25
Gambar 30. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Gunung Kidul.	26
Gambar 31. Gambaran daerah tersebut. Banyak bukit kecil dengan lembah di antaranya yang digunakan oleh petani dan ditempati oleh pedesaan kecil.	27
Gambar 32. Gambaran daerah tersebut. Kemiringan bukit bisa sangat curam.	27
Gambar 33. Gambaran daerah tersebut. Di beberapa daerah, jalan yang ada dapat ditingkatkan dan digunakan sebagai jalan akses.	28
Gambar 34. Gambaran daerah tersebut. Jalan sempit di sebelah kanan, lembah di tengah, dan bukit kecil curam di sebelah kiri.	28
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'.	30
Gambar 36. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2023). Area di sekitar turbin angin sebagian ditutupi oleh tanaman pangan. Puncak bukit, yang sebagian besar merupakan hutan pertanian, direpresentasikan sebagai tanaman pangan dalam kumpulan data ini.	31
Gambar 37. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	32
Gambar 38. Piramida kependudukan di Kabupaten Gunung Kidul tahun 2020 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	32
Gambar 39. Lokasi gardu induk PLN Semanu 150 kV. Sumber: Google Maps.	36
Gambar 40. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan	37
Gambar 41. Representasi skematis dari posisi saluran transmisi udara antara pembangkit listrik dan gardu induk Semanu	37
Gambar 42. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dengan model windPRO pada ketinggian 140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbatas hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna di dalam lingkaran menunjukkan kecepatan angin rata-rata jangka panjang masing-masing.	38
Gambar 43. Lokasi tiang pengukuran meteorologis yang direkomendasikan.	51



Daftar Tabel

Tabel 1. Daftar fauna yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN	29
Tabel 2. Daftar flora yang diamati (sumber: GBIF) yang setidaknya hampir terancam menurut kategori daftar merah global IUCN	29
Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	33
Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Gunung Kidul tahun 2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	33
Tabel 5. Angka Partisipasi Murni di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2022-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	35
Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Gunung Kidul Tahun 2022 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	35
Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: Statistik Kabupaten Gunung Kidul (bps.go.id)).	35
Tabel 8. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB.	39
Tabel 9. Keluaran energi untuk semua 20 WTG di PLTB Gunung Kidul.	42
Tabel 10. Jumlah turbin angin relevan untuk PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan.	44
Tabel 11. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.	44
Tabel 12. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan.	45
Tabel 13. Asumsi biaya per komponen biaya.	47
Tabel 14. Hasil asesmen kasus bisnis.	49



1 Pendahuluan Prospektus PLTB

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

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

Bagian 2.1: Pengenalan lokasi

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

Bagian 2.2: Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan

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

Bagian 2.3: Desain tata letak awal PLTB

Bagian 2.4: Aksesibilitas

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

Bagian 2.5: Kondisi geologi dan kegempaan

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

Bagian 2.7: Desain jaringan transmisi

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

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

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

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

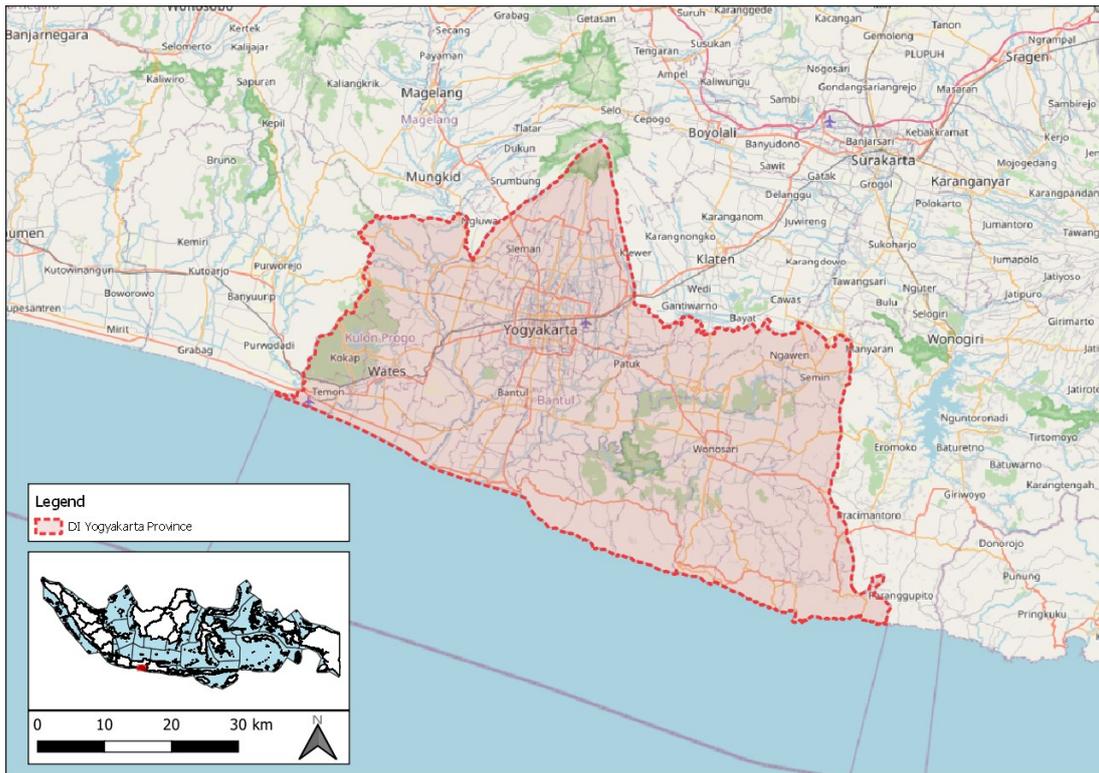


2 Analisis PLTB Gunung Kidul, DI Yogyakarta – 80 MW

2.1 Pengenalan lokasi PLTB

Bagian ini memperkenalkan lokasi PLTB, yaitu Gunung Kidul, DI Yogyakarta dalam tiga bagian: (1) lokasi geografis, (2) status dalam RUPTL, dan (3) status pengembangan.

2.1.1 Lokasi geografis



Gambar 1. Peta Provinsi DI Yogyakarta di mana wilayah dari PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan berada.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, DI Yogyakarta adalah sebuah provinsi yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa, berbatasan dengan Samudra Hindia. Hanya ada satu provinsi yang bersebelahan dengan DI Yogyakarta, yaitu Jawa Tengah. Meliputi area yang relatif kecil (dibandingkan dengan PLTB lainnya yang dinilai di Komponen 3) seluas 3.186 km², DI Yogyakarta adalah rumah bagi sekitar 3,8 juta orang pada tahun 2022¹. PDB (Produk Domestik Bruto/GDP) per kapita provinsi ini adalah Rp 44,04 juta, menempati peringkat ke-26 di antara semua provinsi di tanah air². Selain itu, pertumbuhan ekonomi provinsi ini sebesar 5,07% pada tahun 2023 (c-to-c)³. Sebagai konteks, pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun tersebut adalah 5,05% (c-to-c)⁴.

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

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

³ <https://yogyakarta.bps.go.id/pressrelease/2024/02/05/1595/pertumbuhan-ekonomi-diy-triwulan-iv-2023.html>

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



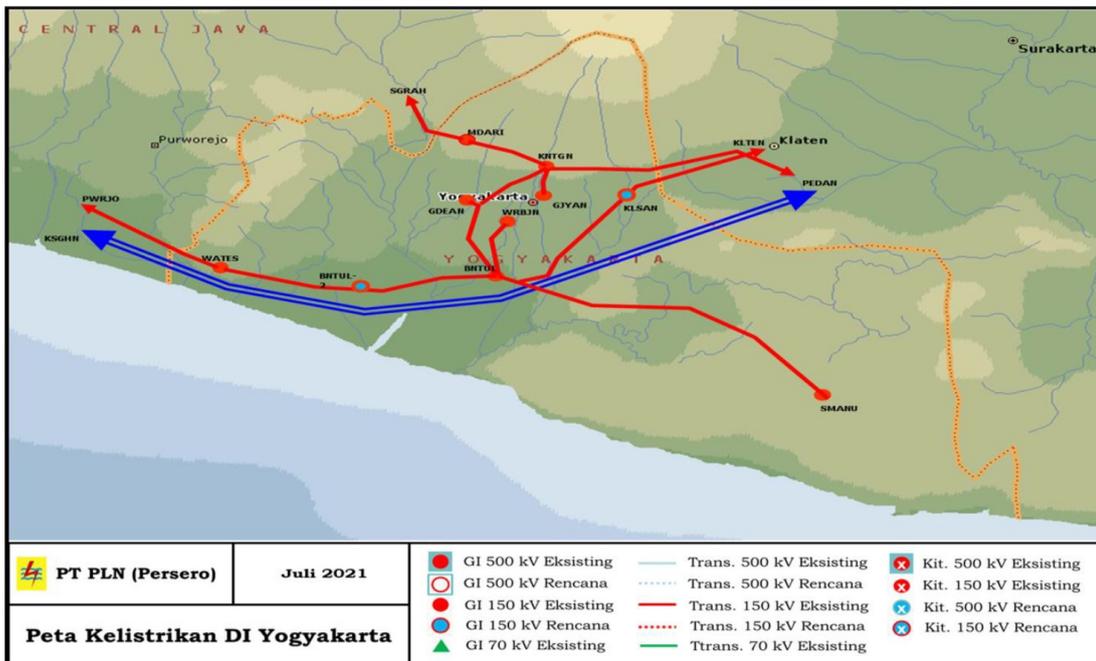
Seperti Aceh, DI Yogyakarta juga merupakan salah satu daerah istimewa Indonesia meskipun karena alasan yang berbeda. DI Yogyakarta diberikan otonomi khusus karena provinsi ini diperintah oleh Kesultanan Yogyakarta. Sejak 2012, jabatan Gubernur dan Wakil Gubernur masing-masing dipegang oleh Sultan dan Adipati.

Selain itu, provinsi ini dikenal dengan peninggalan sejarah berupa bangunan (misalnya candi dan istana) atau hal-hal lain (misalnya budaya, makanan, dan seni). Hal ini membuat DI Yogyakarta menjadi tujuan populer bagi wisatawan. Selain pariwisata, kegiatan ekonomi utama lainnya di provinsi ini termasuk pendidikan (tinggi) dan pertanian/peternakan.

Hanya ada satu Kawasan Industri di provinsi ini, yaitu Kawasan Industri Piyungan⁵, meskipun ada masalah yang muncul dalam beberapa tahun terakhir terkait pengembangannya⁶. Selain itu, tidak ada konsumen listrik 'besar' baru di provinsi ini yang tercantum dalam Lampiran E RUPTL PLN 2021-2030. Meskipun demikian, jaringan di DI Yogyakarta terhubung dengan jaringan transmisi Jawa-Madura-Bali yang luas. Oleh karena itu, listrik yang dihasilkan di provinsi dapat ditransmisikan ke daerah lain dalam jaringan. Pada subbagian berikutnya, tingkat permintaan listrik yang diproyeksikan provinsi akan disajikan.

Lokasi PLTB yang dipertimbangkan terletak di Kabupaten Gunung Kidul, di ujung tenggara DI Yogyakarta.

2.1.2 Status dalam RUPTL PLN 2021-2030



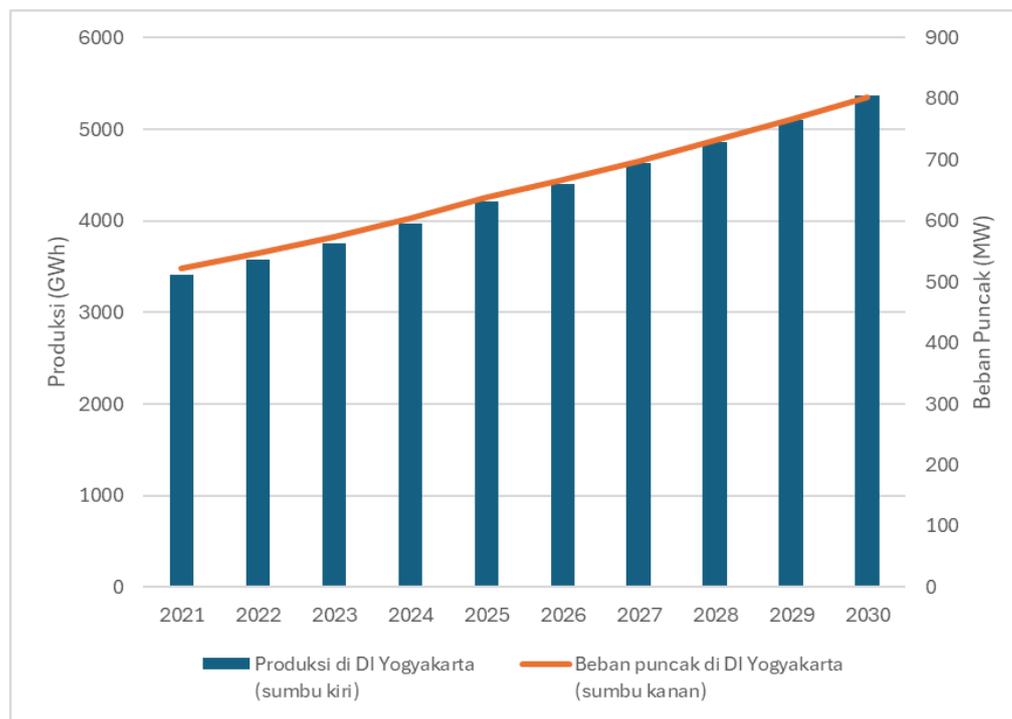
Gambar 2. Peta sistem kelistrikan DI Yogyakarta di RUPTL (Sumber: RUPTL PLN 2021-2030).

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

⁶ <https://www.medcom.id/nasional/daerah/akW5JBqN-pengelolaan-kawasan-industri-piyungan-yogyakarta-bermasalah>



Gambar 2 Gambar 2 menggambarkan sistem kelistrikan DI Yogyakarta. Sistem ini mencakup jalur transmisi 150 kV yang menghubungkan beberapa gardu induk di provinsi ini dan sistem Jawa-Madura-Bali yang lebih luas. Ada juga saluran transmisi 500 kV melintasi DI Yogyakarta dan terhubung dengan sistem yang lebih luas. Menurut RUPTL PLN 2021-2030, beban puncak provinsi ini pada tahun 2020 adalah 450 MW. Dalam periode tahun 2021-2030, tingkat produksi energi dan beban puncak diproyeksikan akan terus meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 Gambar 3. Proyeksi ini didasarkan pada asumsi bahwa tingkat pertumbuhan permintaan tahunan rata-rata akan menjadi 4,88% per tahun.



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

Menurut RUPTL, belum ada rencana penambahan lebih banyak pembangkit listrik di DI Yogyakarta pada tahun 2021-2030. Sebagai gantinya, RUPTL mencantumkan dua PLTB potensial yang akan dikembangkan di masa depan: Gunung Kidul (10 MW) dan Samas Bantul (50 MW). Lokasi sebelumnya kemungkinan besar akan tumpang tindih, seluruhnya atau sebagian, dengan area PLTB yang dinilai dalam prospektus ini.

2.1.3 Status dari pengembangan

Setidaknya ada satu pengembang yang aktif di Bantul, DI Yogyakarta. UPC Renewables Indonesia memulai pengembangan PLTB 50 MW mereka di Pantai Samas, Bantul, sebelum pengembangan dikatakan dibatalkan pada tahun 2019 karena alasan teknis⁷. Salah satu masalahnya adalah pembebasan lahan, karena lokasi PLTB yang dibayangkan sebagian dibangun di atas sebidang tanah milik Sultan⁸. Pada tahun 2014, Pemerintah Kabupaten Gunung Kidul bekerja sama dengan Badan

⁷ <https://www.antaranews.com/berita/999364/proyek-pengembangan-pltb-pantai-selatan-bantul-tidak-berlanjut>

⁸ <https://www.liputan6.com/bisnis/read/3080227/terkendala-pembebasan-lahan-proyek-pltb-samas-berhenti>



Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) untuk mengembangkan PLTB skala kecil di Baron Techno Park. Beberapa turbin angin dipasang untuk tujuan penelitian⁹. Akan tetapi, tidak ada perkembangan lebih lanjut yang terjadi setelahnya.

2.2 Ketersediaan sumber daya angin dan penggunaan lahan

2.2.1 Pendekatan

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

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

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

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

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

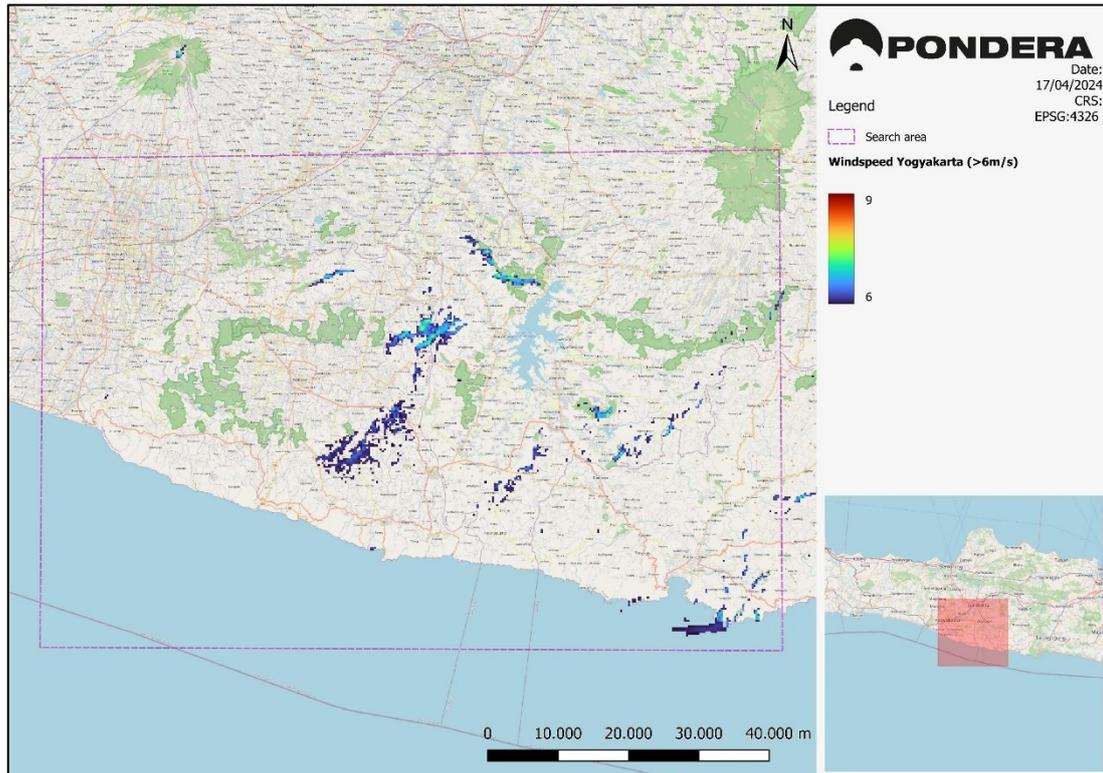
- Cagar alam dan kawasan lindung (dengan penyangga 300 m)
- Bandara (dengan penyangga 3.000 m)
- Jalur perairan dan badan air (dengan penyangga 300 m)

⁹ <https://nasional.tempo.co/read/558192/gunung-kidul-siapkan-listrik-tenaga-angin>



2.2.2 Sumber daya dan karakteristik angin

Gambar 4 menunjukkan lokasi pencarian awal (dibatasi oleh kotak putus-putus berwarna ungu) di DI Yogyakarta. 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 terletak di beberapa lokasi yang tersebar, yang terpisah pada jarak yang jauh.

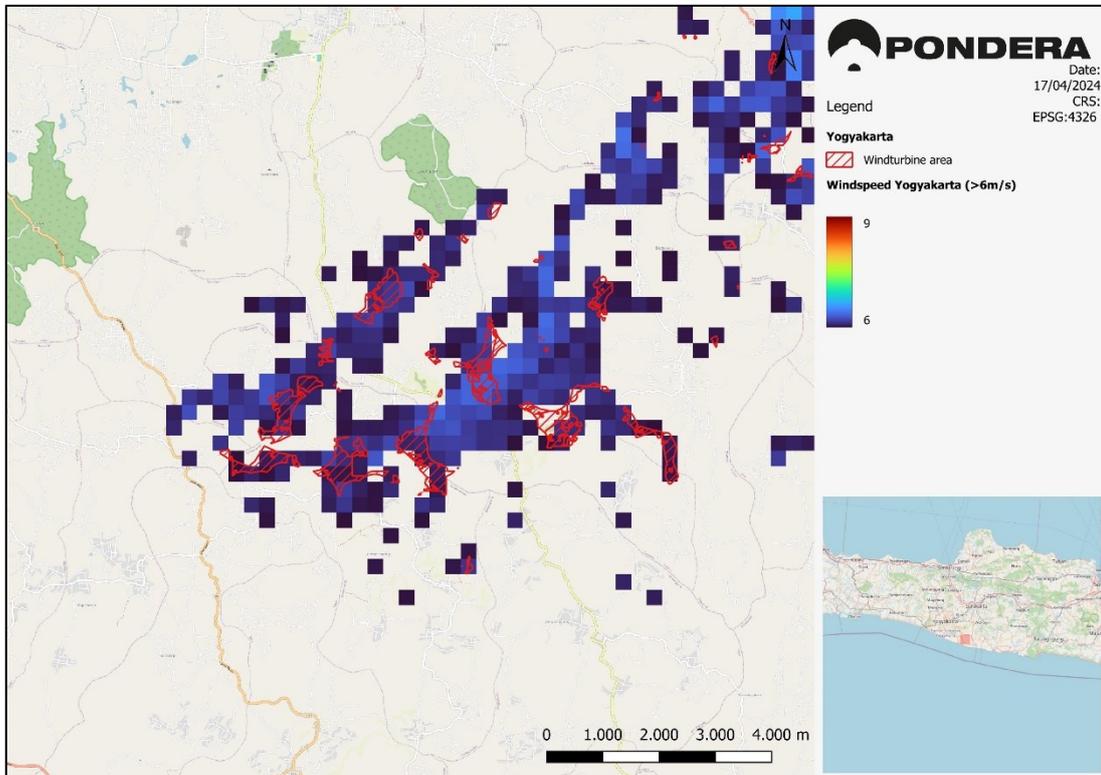


Gambar 4. Area pencarian di DI Yogyakarta dengan sebaran kecepatan angin. Kotak pembatas putus-putus berwarna ungu menunjukkan seluruh area pencarian. Bilah warna menunjukkan kecepatan angin rata-rata di atas 6 m/s pada ketinggian 100 m menurut klimatologi *Global Wind Atlas* (GWA)

Mempertimbangkan 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 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.



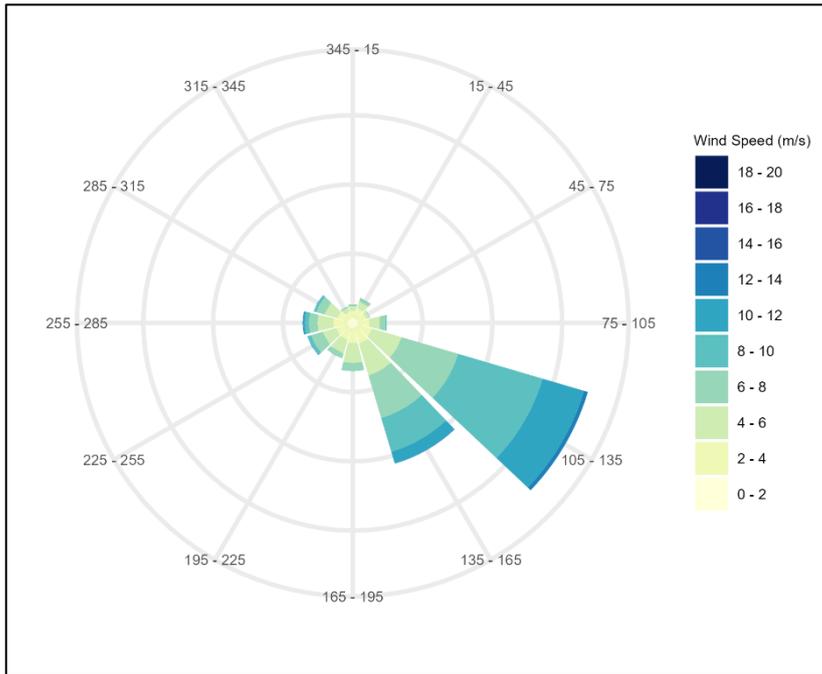
Gambar 5 menunjukkan peta yang diperbesar dari area kontinu ini yang telah dipelajari lebih lanjut pada langkah-langkah selanjutnya. Gambar tersebut juga dilengkapi dengan area WTG final untuk memberikan gambaran tentang tingkat kecepatan angin di lokasi tersebut.



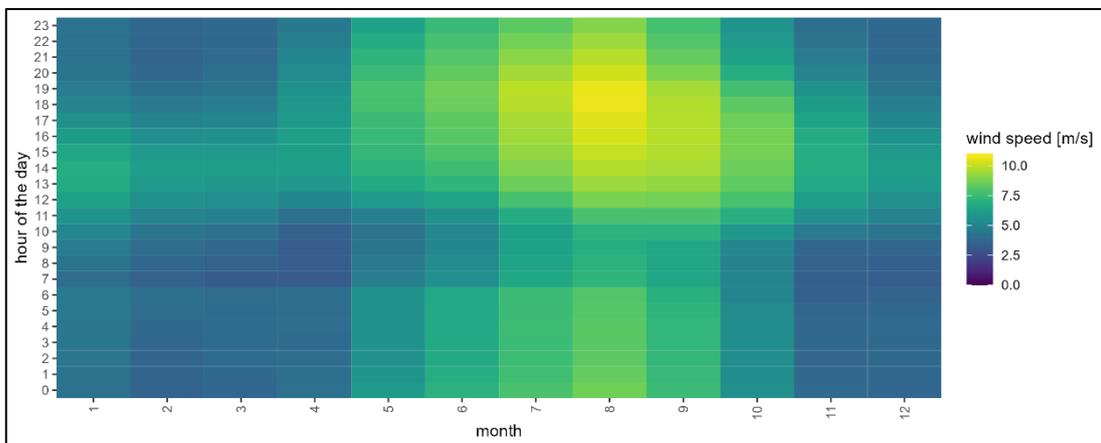
Gambar 5. Tampilan yang diperbesar pada area pencarian DI Yogyakarta, dengan fokus di Kabupaten Gunung Kidul, beserta sebaran kecepatan angin. Poligon dengan arsiran berwarna merah mewakili area WTG final yang memenuhi semua kriteria. Kecepatan angin rata-rata di atas ambang batas 6 m/s pada ketinggian 100 m ditampilkan berdasarkan GWA.

Selain itu, Gambar 6 memvisualisasikan sebaran rata-rata arah angin jangka panjang untuk wilayah DI Yogyakarta, khususnya di Kabupaten Gunung Kidul. Seperti yang dapat diinterpretasikan dari gambar ini, iklim angin di daerah tersebut terutama terdiri dari angin yang berasal dari arah tenggara.

Pada Gambar 7, sebaran kecepatan angin sepanjang hari untuk setiap bulan per tahun divisualisasikan. Kecepatan angin tertinggi diamati antara Juni dan Oktober, ketika zona konveksi intertropis (ITCZ), diposisikan di utara lokasi. Oleh karena itu, periode ini juga dapat dibedakan dari bulan-bulan lain dengan arah angin tenggara yang berlaku. Kira-kira dari bulan November hingga bulan Mei (meskipun waktunya dapat bervariasi dari tahun ke tahun), kecepatan angin terendah diamati ketika ITCZ melewati lokasi menuju ke arah selatan. Selain pola kecepatan dan arah angin tahunan, 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, menghasilkan kecepatan angin yang lebih tinggi di daerah tersebut.



Gambar 6. 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.

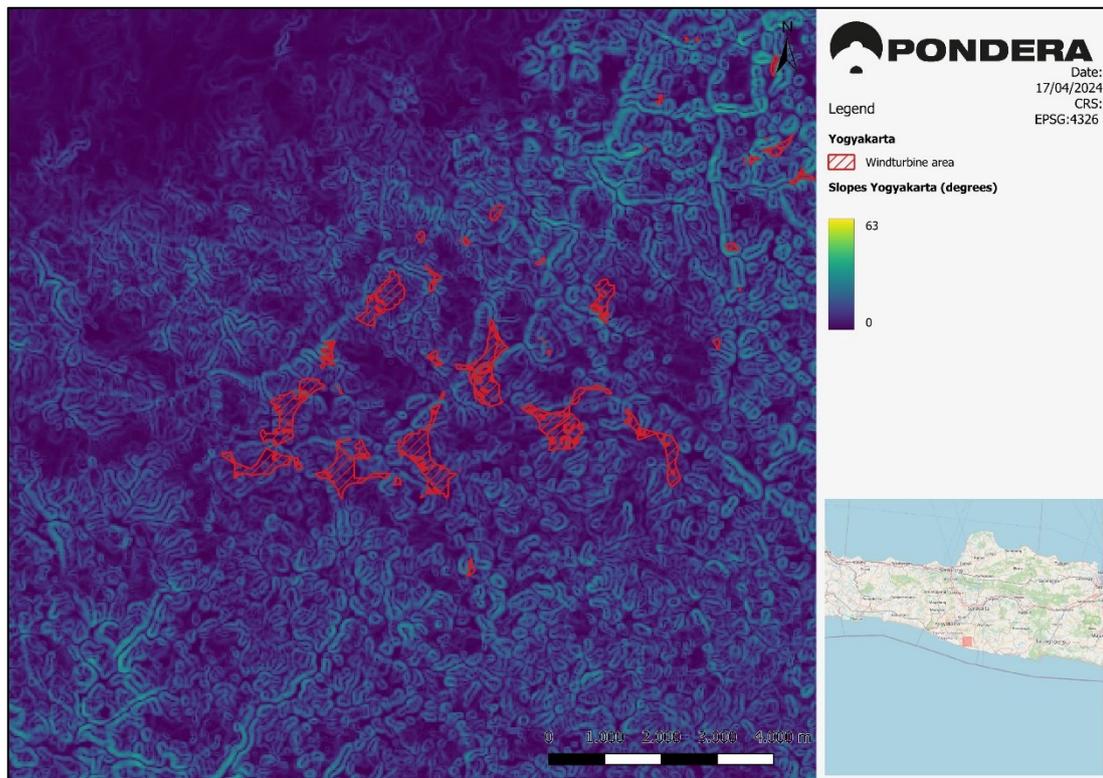


Gambar 7. Sebaran kecepatan angin sepanjang hari, divisualisasikan per bulan dalam setahun. Berdasarkan klimatologi 10 tahun, termasuk seri waktu data per jam tahun 2004-2015. Sumber: EMD-WRF.



2.2.3 Topografi

Gambar 8 menunjukkan topografi area pencarian di wilayah Gunung Kidul. Poligon dengan arsir berwarna merah mewakili area WTG final yang memenuhi semua kriteria. Kecuraman atau kemiringan dataran dinyatakan 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 dikecualikan 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 8. Topografi area WTG Gunung Kidul, 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 9). Zona pengecualian tidak dipertimbangkan pada tahap selanjutnya dalam studi ini. Akibatnya, analisis ini menghasilkan area WTG final yang ditandai dengan poligon dengan arsir berwarna merah pada Gambar 9.



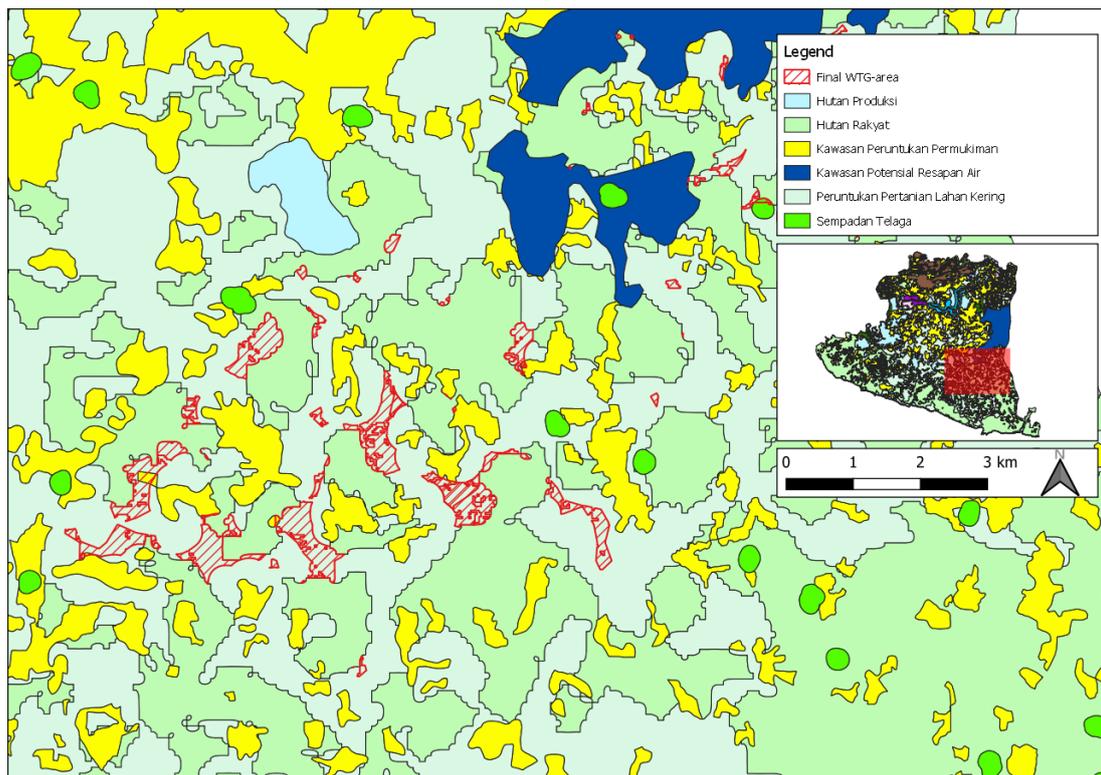
Gambar 9. Zona pengecualian di kawasan Gunung Kidul berdasarkan penggunaan lahan dan wilayah pemukiman.
Sumber: ESRI dan OSM.



2.2.5 Persyaratan perizinan khusus

Gambar 10 menunjukkan tumpang tindih antara Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Gunung Kidul (RTRW) 2010-2030 dan area WTG final. Menurut gambar tersebut, area WTG final (area kontinu dengan kecepatan angin yang menjanjikan) terletak pada jenis penggunaan lahan berikut:

1. Kawasan Pertanian Lahan Kering
2. Kawasan Permukiman



Gambar 10. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Gunung Kidul (RTRW 2010-2030) ditumpang dengan area WTG final.

Sebagian besar area WTG final terletak di Kawasan Pertanian Lahan Kering. Kawasan ini biasanya dimiliki oleh masyarakat setempat. Jika kawasan tersebut bukan bagian dari Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KPPB), maka Kawasan Pertanian Lahan Kering dapat digunakan untuk pengembangan PLTB (dan jenis kegiatan pembangkit listrik dan transmisi lainnya untuk kepentingan umum) setelah perjanjian pembelian atau sewa diperoleh dengan pemilik lahan¹⁰. Sementara itu, sebagian kecil dari area WTG final berpotongan dengan Kawasan Permukiman. Untuk memfasilitasi pengembangan PLTB di daerah ini, maka harus dibuat kesepakatan dengan pemilik lahan baik untuk membeli atau menyewa tanah tersebut. Biaya yang terkait dengan pembebasan lahan untuk PLTB telah diperhitungkan dalam kalkulasi bisnis yang dibuat di Bagian 2.9.

¹⁰ Mengacu pada UU 22/2019, Perpres 59/2019, dan PP 1/2011.

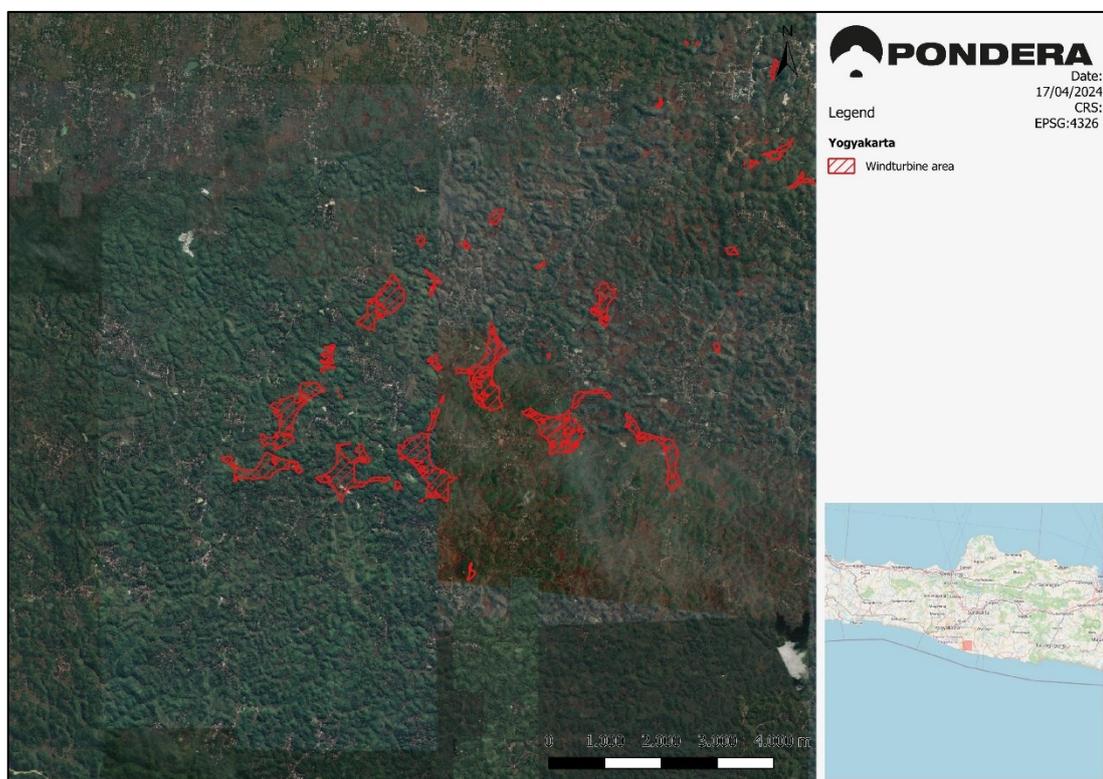




Perlu diketahui bahwa RTRW yang diperoleh adalah untuk tahun 2010-2030. Belum diketahui apakah telah diterbitkan Peraturan Daerah mengenai RTRW baru, atau apakah RTRW baru masih direvisi/disiapkan. Oleh karena itu, diperlukan konfirmasi dari instansi yang sesuai di Gunung Kidul. Jika sudah ada Peraturan Daerah RTRW yang baru, maka RTRW yang digunakan dalam laporan ini sudah tidak berlaku lagi. Namun, jika RTRW tersebut belum direvisi atau masih direvisi, maka RTRW yang dianalisis masih berlaku.

2.2.6 Area WTG final

Gambaran umum area WTG final terhadap citra satelit di lokasi dapat ditemukan pada Gambar 11. Area ini memenuhi semua kriteria seperti yang divisualisasikan pada gambar sebelumnya.



Gambar 11. Area WTG akhir 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 di Bagian 2.4 hingga Bagian 2.6), dari mana kesimpulan umum kemudian ditarik untuk menganalisis lebih lanjut area WTG final. Kunjungan lapangan telah menunjukkan bahwa secara umum:

1. Data kawasan pemukiman yang diperoleh dari basis data ESRI memberikan perkiraan yang lebih rendah terhadap bangunan di wilayah tersebut, dan oleh karena itu, dalam beberapa kasus, mungkin diperlukan zona pengecualian tambahan pada tahap proyek selanjutnya;



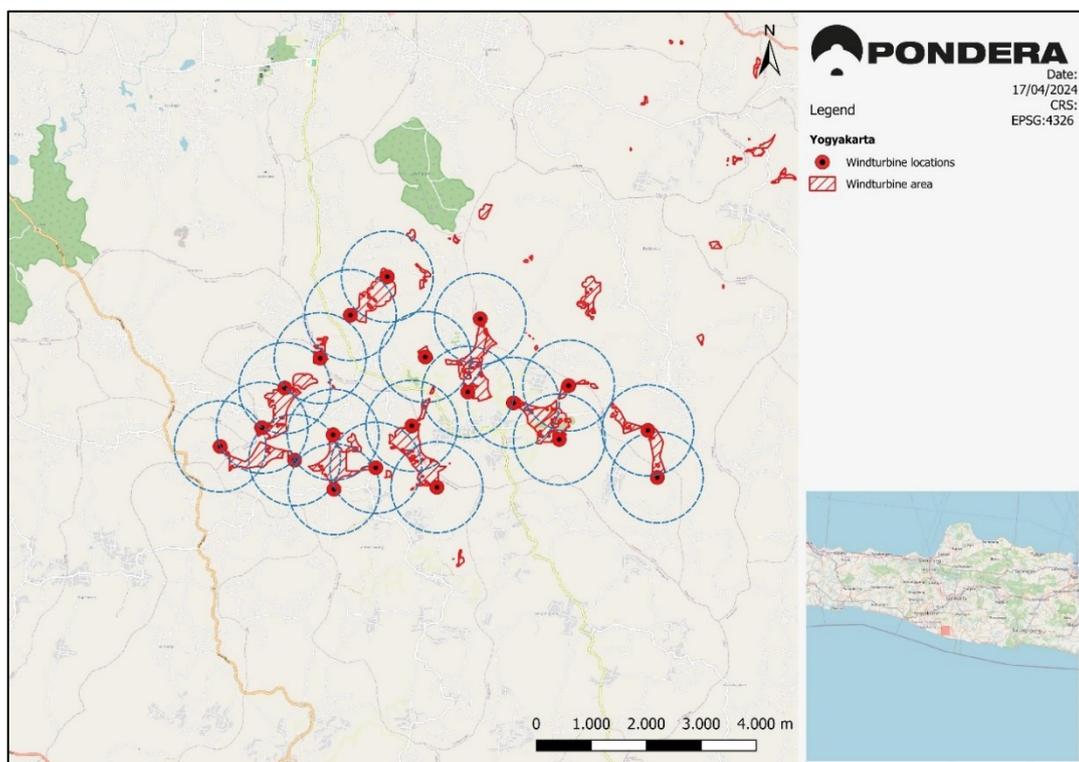
2. Dalam beberapa kasus, saluran air terlalu membatasi (mengingat besarnya aliran sungai), sehingga saluran tersebut dikeluarkan dari analisis (yaitu saluran air tersebut tidak dianggap sebagai pembatasan); dan
3. Data jalan utama yang berasal dari OSM juga mencakup jalan kecil; Akibatnya, kumpulan data ini mungkin terlalu membatasi dalam beberapa kasus.

2.3 Tata letak awal PLTB

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

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

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



Gambar 12. Tata letak awal PLTB di area WTG final.



Gambar 12 menampilkan gambaran lokasi turbin angin di area WTG final. Sebanyak 20 turbin angin diposisikan ke daerah tersebut, dengan total kapasitas terpasang yang dibayangkan sebesar 80 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 suatu jarak setidaknya 5 kali diameter rotor.

2.4 Aksesibilitas PLTB

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

2.4.1 Keadaan transportasi Indonesia

Di luar kota besar, sistem jalan regional digunakan untuk hampir semua transportasi (lihat Gambar 13). Jalan-jalan ini mengarah melalui pusat kota, kota kecil, dan desa yang mereka layani. Jalan lingkar di sekitar kota disediakan untuk beberapa kota besar seperti Jakarta, Bandung, Medan, Yogyakarta, dan Surabaya. Dalam banyak kasus, hanya satu jalan regional utama yang tersedia untuk pergi dari satu kota ke kota lain. Hal ini mengakibatkan situasi di mana semua lalu lintas menggunakan jalan yang sama, yaitu pejalan kaki (termasuk kelompok anak sekolah, petani, dll.), sepeda motor, mobil, ambulans, angkutan umum, truk lokal yang lebih kecil, dan truk besar untuk transportasi jarak jauh. Sementara beberapa ruas jalan raya tersedia di Pulau Sumatra dan masih banyak lagi yang sedang direncanakan atau sedang dibangun, sejauh ini hanya Pulau Jawa yang memiliki jalan raya yang menghubungkan bagian barat dan timur pulau tersebut. Jalan raya ini terletak di sisi utara Pulau Jawa yang lebih padat penduduknya dan memiliki dataran yang lebih datar.



Gambar 13. Tata letak jalan khas di pedesaan Indonesia. Jalan berliku selebar ~ 6 hingga 7 m melayani lalu lintas lokal, regional, dan nasional. Kabel listrik udara dan telekomunikasi dengan tiang di kedua sisi jalan. Bangunan-bangunan berada dalam jarak yang dekat. Di dalam kota dan kota yang lebih besar, jalan pada umumnya sedikit lebih lebar, namun dengan lebih banyak kabel udara, tiang, dan papan reklame.



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

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

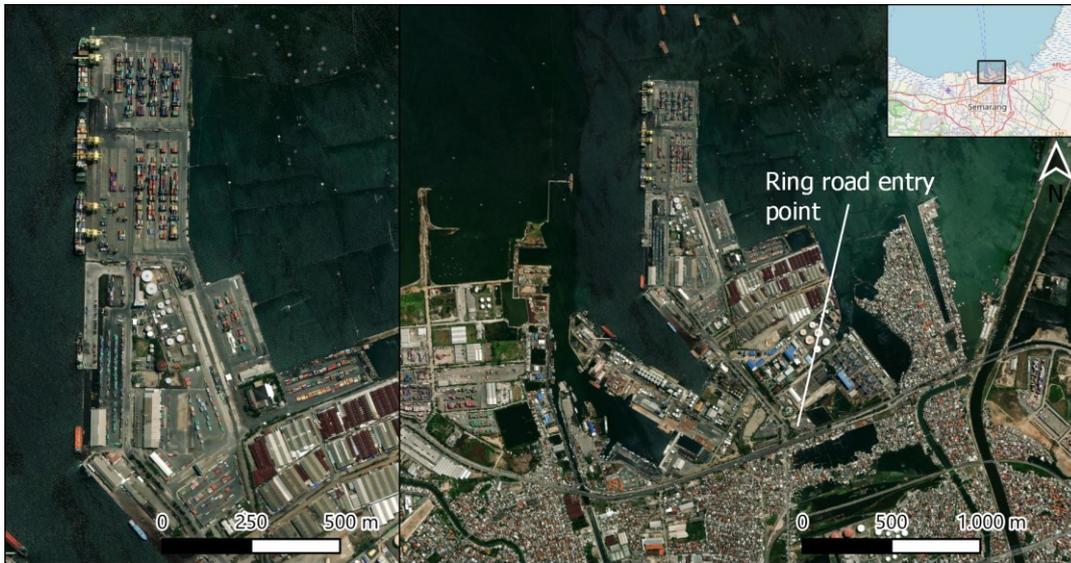
2.4.2 Transportasi dari pelabuhan ke lokasi

Semarang atau Surabaya – lokasi

Aksesibilitas pada pesisir selatan Jawa terbatas, baik di laut maupun di darat. Hanya beberapa pelabuhan perikanan kecil yang terletak di pantai yang sebagian besar berbatu. Garis pantai tidak terlindungi dari gelombang lautan terbuka. Jalan di pantai selatan sebagian besar merupakan jalan lokal hingga regional, dan berkelok-kelok melalui perbukitan dan pegunungan. Pengangkutan barang jarak jauh sebagian besar dilakukan melalui bagian utara dari pulau. Semua transportasi melalui laut di wilayah ini terjadi melalui pelabuhan utama Semarang (Pelabuhan Tanjung Emas; lihat Gambar 14) dan Surabaya (Pelabuhan Tanjung Perak; lihat Gambar 15) di pesisir utara, di Laut Jawa yang lebih tenang. Kedua pelabuhan terhubung dengan baik oleh jalan raya/jalan tol. Di Semarang, jalan lingkar terhubung dengan jalan raya/jalan tol. Di Surabaya, pintu masuk jalan raya terletak tepat di pintu masuk pelabuhan.

Meskipun Pelabuhan Semarang lebih dekat (~170 vs ~360 km), Pelabuhan Surabaya juga dapat digunakan. PLTB lain yang dibayangkan di Jawa Timur dalam penelitian ini (Ponorogo, Kediri, dan Probolinggo) terletak lebih dekat ke Surabaya daripada Semarang. Ketika satu atau lebih dari PLTB tersebut 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.).

Baik dari Semarang maupun Surabaya, sistem jalan tol selesai hanya sampai Solo/Surakarta. Jalan tol menuju Yogyakarta sedang dalam proses pembangunan dan/atau hampir selesai di beberapa bagian. Ruas Solo-Klaten dibuka pada April 2024, sedangkan ruas hingga pintu keluar Prambanan dan pintu keluar Purwomartani diperkirakan akan dibuka akhir tahun ini atau tahun depan.



Gambar 14. Pelabuhan Semarang dengan titik masuk jalan lingkar di dekat pelabuhan.



Gambar 15. Pelabuhan Surabaya. Jalan masuk / keluar bagian barat pelabuhan dan masuk jalan raya sejalan, yang membuat pelabuhan ini cocok untuk pengangkutan komponen turbin angin yang panjang.

Hingga saat ini, tidak ada peningkatan jalan yang diharapkan karena jalan tol sudah lebar di semua ruas (2 jalur + bahu darurat). 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.

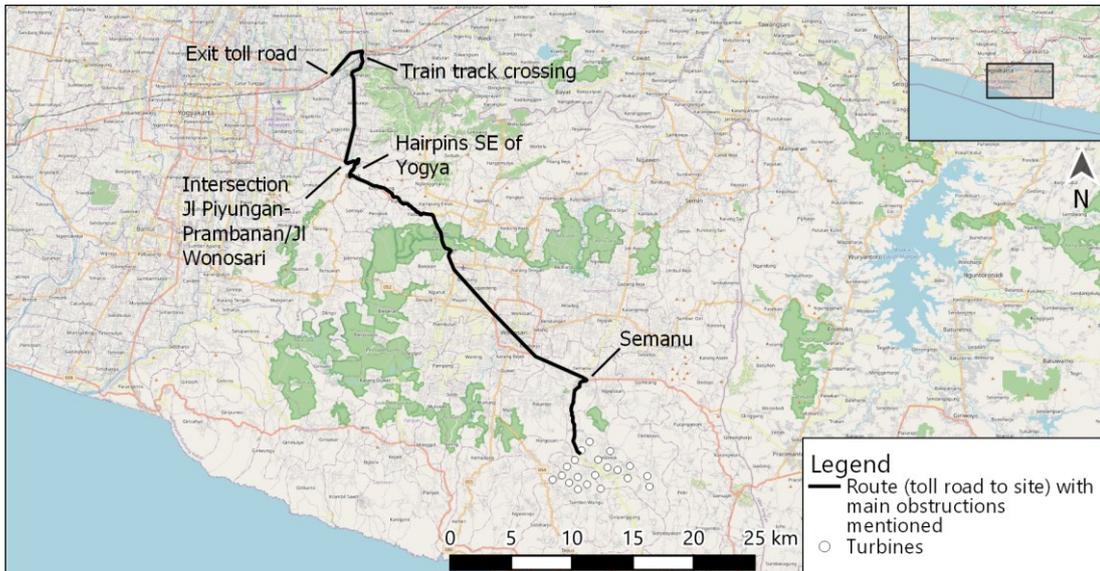


Berdasarkan metode yang cukup sederhana (lihat Gambar 16), ketinggian ~6 m antara permukaan jalan dan jembatan diperoleh (3,5x Toyota Innova Reborn dengan ketinggian 1,795 m sesuai spesifikasinya, yang setara dengan 6,3 m). Meskipun metode ini tidak sepenuhnya dapat diandalkan, ketinggiannya tampaknya jauh lebih tinggi dari tinggi maksimum yang ditunjukkan yaitu 4,2 m.



Gambar 16. 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.

Dari pintu keluar Purwomartani, rute yang diusulkan adalah ke selatan melalui jalan 086 (Jl. Prambanan) ke jalan nasional 3 (Jl. Wonosari) menuju Gunung Kidul/Wonosari. Di tenggara Yogyakarta, jalan akan menanjak ke dataran tinggi. Jalan ini memiliki dua tikungan tajam di pendakian ini.



Gambar 17. Rute dari jalan tol ke lokasi. Jalan tol dari Semarang dan Surabaya tidak ditampilkan karena diasumsikan cukup lebar dan tidak bermasalah. Sebagian jalan tol dari Klaten ke Yogyakarta masih dalam tahap pembangunan dan diperkirakan akan dapat beroperasi pada tahun 2025.



Jalan ini melintasi beberapa jembatan dan jalur kereta api, yang telah dialiri listrik. Berdasarkan rambu-rambu, kabel listrik berada pada ketinggian 4,6 m, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 18. Perlintasan jalur kereta api di Jl. Prambanan.. Perencanaan yang cermat dengan KAI (Perusahaan Kereta Api Indonesia) diperlukan ketika kabel perlu dilepas sementara.



Gambar 18. Perlintasan jalur kereta api di Jl. Prambanan.

Persimpangan dari jalan 086 (Jl. Piyungan - Prambanan) ke jalur nasional 3 (Jl. Wonosari) merupakan persimpangan yang berbelok 90 derajat, seperti yang divisualisasikan pada Gambar 19. Di seberang persimpangan terdapat sebidang tanah tandus (100 x 40 hingga 50 m) dengan beberapa bangunan sementara (seperti pos polisi) yang secara teoritis dapat digunakan untuk manuver.



Gambar 19. Persimpangan Jl. Piyungan-Prambanan/Jl. Wonosari.



Di jalan utama menuju Gunung Kidul, beberapa tikungan tajam mengarah ke bukit yang curam. Tikungan tajam tersebut sempit dan mungkin perlu diperlebar atau setidaknya pohon-pohon harus ditebang untuk menciptakan lebih banyak ruang untuk bermanuver. Dua dari tikungan tajam tersebut ditampilkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.



Gambar 20. Tikungan tajam 1 di jalan nasional 3, di tenggara Yogyakarta.



Gambar 21. Tikungan tajam 2 di jalan nasional 3, di tenggara Yogyakarta. Kedua tikungan tajam berada di tanjakan yang sama berjarak sekitar 1,5 km dari satu sama lain.

Untuk semua perubahan yang diperlukan pada perlintasan jalur kereta api, persimpangan di Jl. Piyungan-Prambanan/Jl. Wonosari dan kemungkinan perbaikan pada tikungan tajam tersebut. Biaya perbaikan yang diasumsikan termasuk dalam kalkulasi kasus bisnis dalam Subbagian 2.9.



Jembatan

Jalan dari Yogyakarta (jalan tol) menuju ke lokasi melintasi 21 jembatan dan 3 gorong-gorong besar atau jembatan yang sangat kecil. Jembatan tersebut berkisar dari beton kecil (10 m) hingga jembatan beton yang lebih besar (60 m). Dalam beberapa kasus, jembatan baja dan jembatan beton terletak bersebelahan. Contoh jembatan ini ditunjukkan pada Gambar 22.



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

Kota Semanu

Dari jalan utama, jalan yang lebih kecil dari Semanu mengarah ke lokasi proyek. Jalan yang ada membentang melalui pusat kota ini dan pasarnya. Komponen besar mungkin tidak dapat diangkut melalui kota dalam konfigurasi saat ini.

Gambar 23 menunjukkan solusi yang mungkin bagaimana pusat kota dan pasar dapat dikelilingi tanpa membongkar bangunan. Jalan sementara di sisi barat kota kurang layak karena ada sungai mengalir melalui bagian barat kota, sehingga jembatan lain harus dibangun.



Gambar 23. Garis merah adalah kemungkinan jalan baru untuk mengelilingi pusat Semanu, yang memiliki jalan sempit dan belokan tajam.



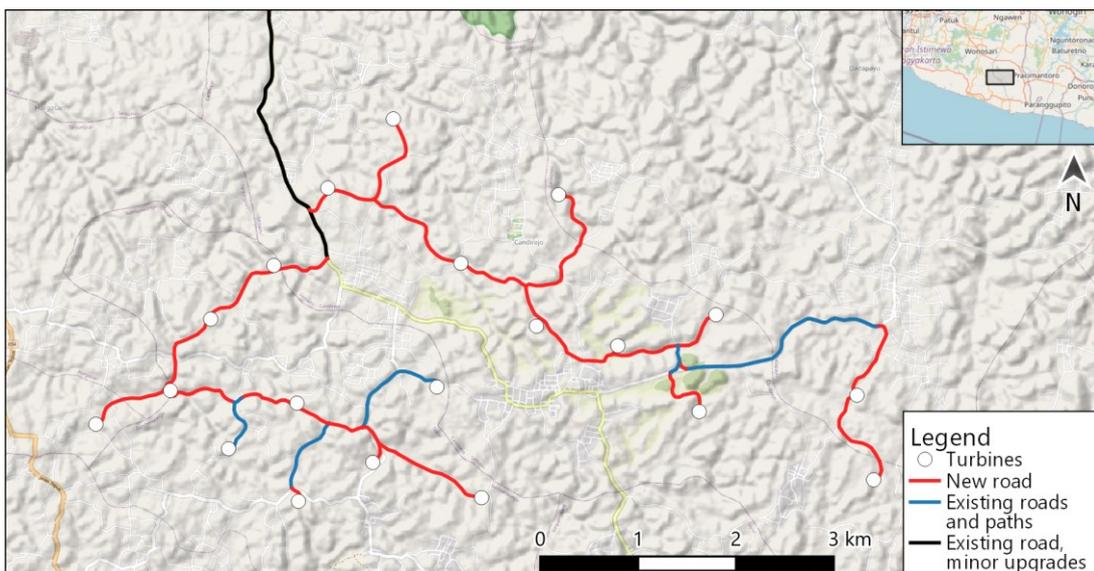
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24, jalan aspal menghubungkan Semanu ke beberapa desa di dalam lokasi proyek. Jalan dari Semanu berkelok-kelok melalui lembah, diperlukan sedikit rekonstruksi (pelebaran) di tikungan untuk mengakomodasi komponen turbin besar.



Gambar 24. Jalan yang menghubungkan Semanu dengan desa-desa di dalam lokasi. Jalan harus dibersihkan dari pohon/dahan yang menjuntai dan di tikungan mungkin diperlukan pelebaran. Diperkirakan setelah konstruksi, seluruh jalan perlu diaspal karena angkutan yang berat.

2.4.3 Transportasi di dalam lokasi

Di dalam lokasi, jalan akses baru harus dibangun ke lokasi turbin angin yang dibayangkan. Untuk tata letak jalan yang diusulkan (lihat Gambar 25), jalan akses ini terhubung satu sama lain dan tidak menggunakan jalan lokal yang sempit sebagai tumpuan. Penggunaan jalan lokal ini dihindari karena jalan yang tersedia sempit dan berkelok-kelok melalui pedesaan dengan rumah-rumah yang dekat dengan jalan. Ketika jalan yang ada ini digunakan, diperlukan rekonstruksi besar di dalam desa-desa.



Gambar 25. Tata letak jalan di dalam lokasi proyek. Tata letak ini tidak menggunakan jalan yang ada di dalam desa karena rekonstruksi besar-besaran yang diperkirakan.



Jalan baru harus dibangun sepanjang 18,28 km dan jalan yang akan ditingkatkan sepanjang 5,20 km, belum termasuk peningkatan kecil pada jalan ke lokasi (ditunjukkan sebagai garis hitam pada Gambar 25). Gambar 26 merupakan contoh jalan lama yang memerlukan peningkatan. Selain itu, Gambar 27 menyajikan lahan terbuka di mana jalan baru dapat dibangun.



Gambar 26. Jalan yang akan ditingkatkan.



Gambar 27. Ladang di mana jalan baru dapat dibangun.

Untuk studi kelayakan, kami sarankan 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;
- Menanyakan tentang kemungkinan perbaikan jalan antara jalan tol dekat Yogyakarta (dekat Prambanan) dan Gunung Kidul. Artikel daring menunjukkan bahwa setelah jalan tol selesai dibangun dan peningkatan jalan mungkin dapat terjadi untuk lebih meningkatkan koneksi ke Gunung Kidul; dan
- Periksa apakah perlu untuk melepas kabel listrik kereta api pada perlintasan jalur kereta api.

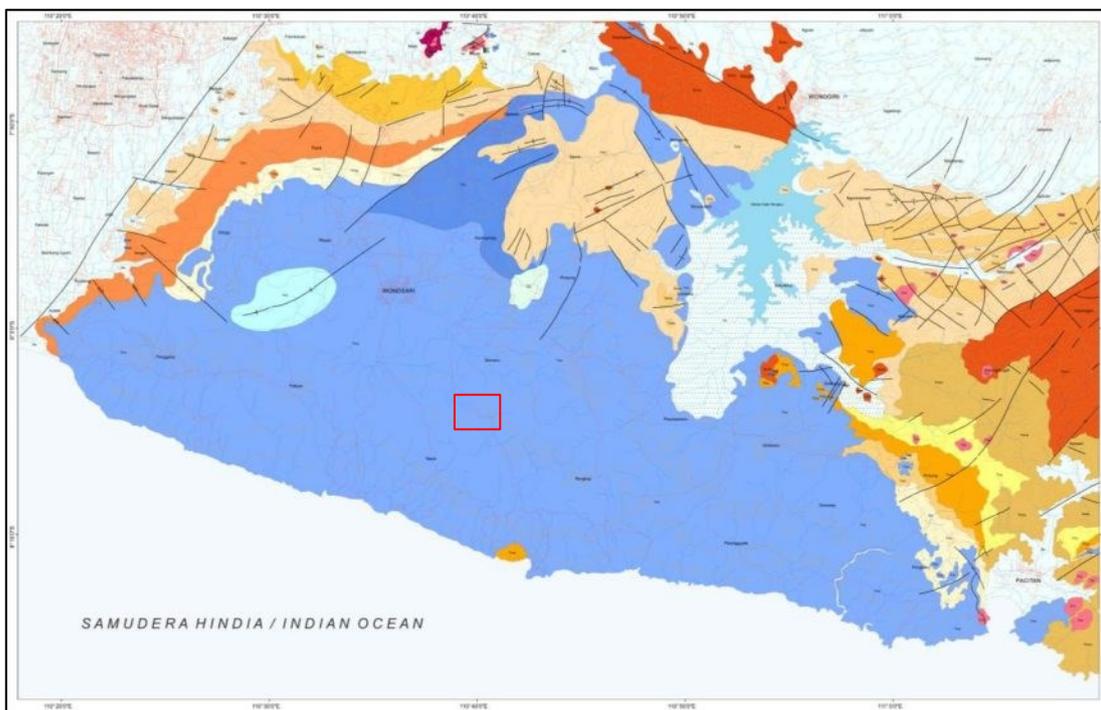


2.5 Kondisi geologi dan kegempaan

Lokasi proyek ini terletak di 'Pegunungan Sewu', dataran tinggi berbukit/pegunungan yang membentang di sepanjang pesisir selatan di Gunung Kidul dan Kabupaten Wonogiri.

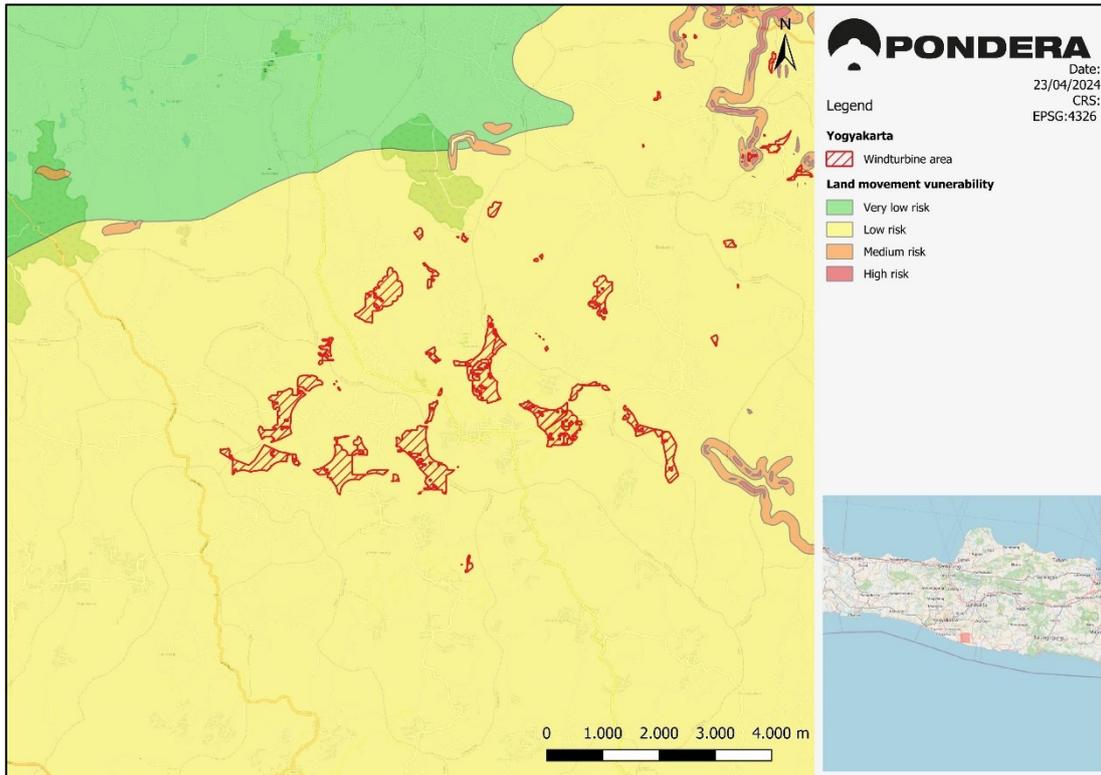
2.5.1 Geologi

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 28, batuan di permukaan di lokasi PLTB berasal dari Formasi Wonosari, terdiri dari batu kapur kristal, batu kapur terumbu, batu pasir karbonat, batu lanau karbonat, batu kapur klastik, dan batu lanau yang mengandung lignit. Batu kapur terdiri dari fragmen fosil, fragmen kerang, dan kalsit (Kurniandi et al., 2017).



Gambar 28. Peta geologi wilayah. Warna-warna menunjukkan formasi geologi di permukaan. Formasi biru terbesar adalah Formasi Wonosari, yang terdiri dari karbonat. Lokasi proyek ditampilkan dalam kotak merah.

Batuan karbonat terletak di permukaan dan membentuk 'Pegunungan Sewu', yang menciptakan lanskap karst. Lanskap ini adalah hasil dari pelapukan batuan (relatif mudah) dengan pembubaran karbonat dalam air. Di daerah tersebut, diketahui terdapat beberapa gua vertikal dan horizontal yang lebih besar (yaitu Gua Jomblang, Gua Setro). Kemungkinan besar di dalam lokasi tersebut terdapat gua atau rongga yang lebih kecil di bawah permukaan. Selama asesmen geoteknik, perhatian khusus diperlukan untuk keberadaan rongga ini tepat di bawah dan di sekitar turbin angin yang dibayangkan.



Gambar 29. Indeks kerentanan pergerakan lahan untuk Gunung Kidul.

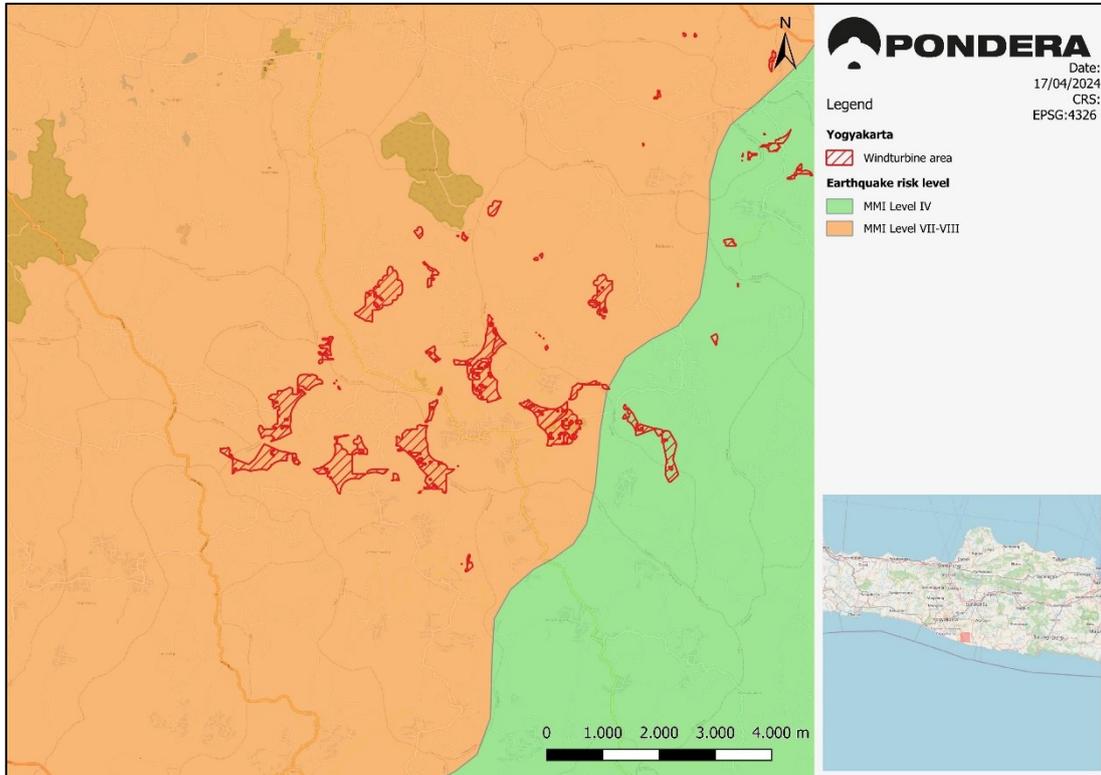
Gambar 29 memvisualisasikan indeks kerentanan pergerakan lahan tanah di dalam dan sekitar area WTG. Menurut Indeks Kerentanan Pergerakan Lahan, daerah dengan lereng curam lebih rentan terhadap gerakan tanah / tanah longsor. Meskipun lokasi PLTB yang dibayangkan dianggap memiliki kerentanan pergerakan tanah yang rendah, direkomendasikan penyelidikan lebih lanjut. Pada tahap kelayakan, stabilitas lereng perlu diselidiki lebih lanjut dengan investigasi geoteknik tanah, 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 akurat.

2.5.2 Kegempaan

Menurut peta geologi (lihat Gambar 28), tidak ada patahan yang diamati di daerah terdekat. Sesar terdekat berada di dekat tepi dataran tinggi, di tenggara Yogyakarta dan antara Yogyakarta dan Wonogiri. Terlepas dari patahan ini, zona subduksi besar terletak di selatan 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 terjadi tiga gempa bumi besar (>M 7,0) di selatan Jawa (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 30 memberikan representasi visual dari tingkat risiko gempa bumi di dalam dan sekitar area WTG.



Gambar 30. Tingkat bahaya dan risiko gempa bumi di Gunung Kidul.

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.



2.6 Keanekaragaman hayati, kondisi sosio-ekonomi dan lingkungan

2.6.1 Kesan umum

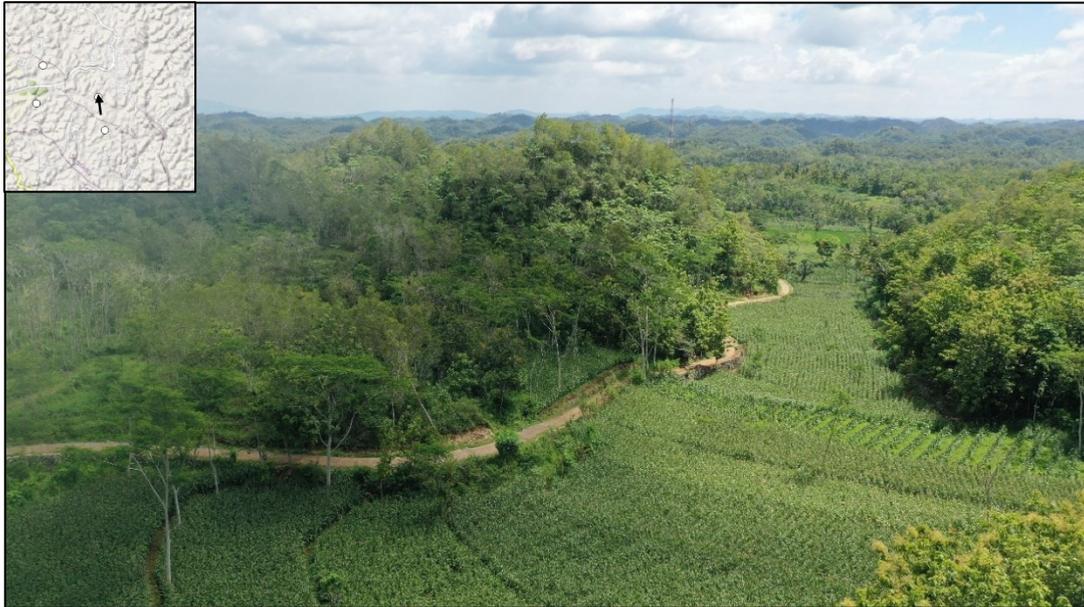
Topografi dan penggunaan lahan sangat homogen di seluruh lokasi proyek. Dataran tersebut terdiri dari perbukitan kecil yang curam (umumnya 150 x 300 x 30 hingga 40 m) yang digunakan untuk agroforestri, dan lembah-lembah di antaranya digunakan oleh petani. Jagung adalah tanaman utama yang dibudidayakan. Kesan umum area tersebut digambarkan pada Gambar 31, Gambar 32, Gambar 33, dan Gambar 34.



Gambar 31. Gambaran daerah tersebut. Banyak bukit kecil dengan lembah di antaranya yang digunakan oleh petani dan ditempati oleh pedesaan kecil.



Gambar 32. Gambaran daerah tersebut. Kemiringan bukit bisa sangat curam.



Gambar 33. Gambaran daerah tersebut. Di beberapa daerah, jalan yang ada dapat ditingkatkan dan digunakan sebagai jalan akses.



Gambar 34. Gambaran daerah tersebut. Jalan sempit di sebelah kanan, lembah di tengah, dan bukit kecil curam di sebelah kiri.

2.6.2 Keanekaragaman hayati dan dampak lingkungan

Di daerah lembah, hampir semua daerah digunakan untuk pertanian. Kemiringan dan puncak bukit digunakan untuk agroforestri atau hutan. Hutan primer tidak ada di dalam lokasi proyek. Di lereng bukit, beberapa tambang terbuka skala kecil yang sedang atau aktif menggali batuan karbonat untuk semen. Diperkirakan bahwa daerah ini bukan lokasi dengan peringkat tertinggi dalam hal keanekaragaman hayati. Hutan (agroforestri dan hutan 'tidak terpakai') terbagi oleh ladang pertanian di



lembah. Hal ini berarti bahwa habitat hewan di hutan sudah terbagi menjadi bagian-bagian kecil. Dampak utamanya adalah:

Dampak keanekaragaman hayati:

- Tabrakan burung & kelelawar (turbin)
- 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, diperkirakan dampak ekstra karena pembangunan PLTB terbatas pada tabrakan burung dan kelelawar dan dampak visual.

Flora dan fauna yang diamati:

Menurut basis data keanekaragaman hayati daring *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), ada satu spesies hewan yang baru-baru ini diamati yang dikategorikan dalam kategori daftar merah global IUCN (*International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species*) di daerah tersebut (lihat Gambar 35). 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 liar¹¹. 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). Dalam tabel berikut, flora dan fauna yang diamati yang dikategorikan setidaknya 'hampir terancam' tercantum.

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

Hewan	Nama Bahasa Inggris	Status
<i>Acridotheres javanicus</i>	<i>Javan Myna</i>	Rentan (VU)

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

Tumbuhan	Nama Bahasa Inggris	Status
-	-	-

¹¹ <https://www.britannica.com/topic/IUCN-Red-List-of-Threatened-Species>



Dua spesies burung, yaitu *Enicurus ruficapillus* (hampir terancam) dan *Geokichla interpres* (terancam), diamati pada tahun 1930-an, dan didasarkan pada spesimen yang diawetkan. Tidak diketahui apakah spesies ini masih ada di daerah tersebut, tetapi spesies tersebut tidak ada dalam basis data sebagai spesies yang diamati pada masa kini.

Walaupun tanpa adanya spesies yang terancam, pembangunan tersebut masih akan berpengaruh pada keanekaragaman hayati. Pengaruh terhadap lingkungan dan keanekaragaman hayati harus dibatasi sebanyak mungkin.



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'.

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

- Memanfaatkan kembali sebanyak mungkin infrastruktur yang tersedia atau layak, seperti jalan akses yang ada di dalam area tersebut;
- 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.

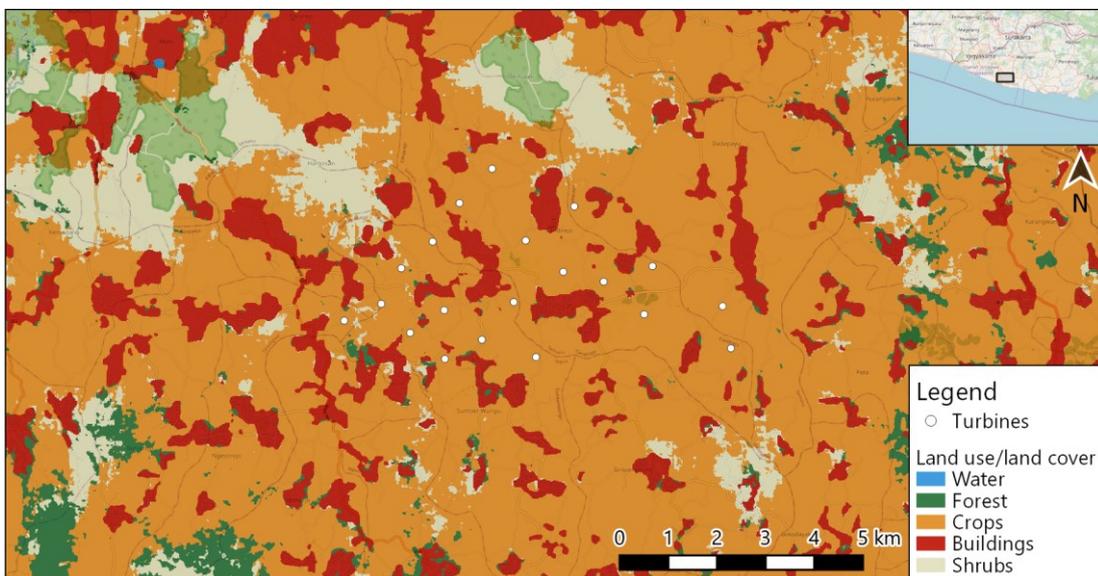


2.6.3 Dampak sosial

Pemukiman terdapat di seluruh wilayah. Pedesaan kecil dan rumah-rumah terpencil terletak di lembah di antara perbukitan, tetapi tidak semua lembah berpenduduk (lihat Gambar 36). Turbin potensial ditempatkan pada jarak setidaknya 300 meter dari pemukiman tersebut.

Dampak sosial dapat dibagi menjadi beberapa aspek:

- Hilangnya 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);
- Dampak visual jangka panjang dari turbin di daerah tersebut; dan
- Peningkatan mobilitas antara kawasan tertentu ketika jalan diperbaiki.



Gambar 36. Peta penggunaan lahan berdasarkan citra satelit (ESRI/Sentinel 2, 2023). Area di sekitar turbin angin sebagian ditutupi oleh tanaman pangan. Puncak bukit, yang sebagian besar merupakan hutan pertanian, direpresentasikan sebagai tanaman pangan dalam kumpulan data ini.

Karena turbin sebagian besar dibangun di lembah dan/atau perbukitan yang tidak berpenghuni dan jauh dari desa, dampak sosialnya terutama terbatas pada hilangnya lahan pertanian, berkurangnya aksesibilitas selama pembangunan jalan, serta dampak transportasi dan visual.

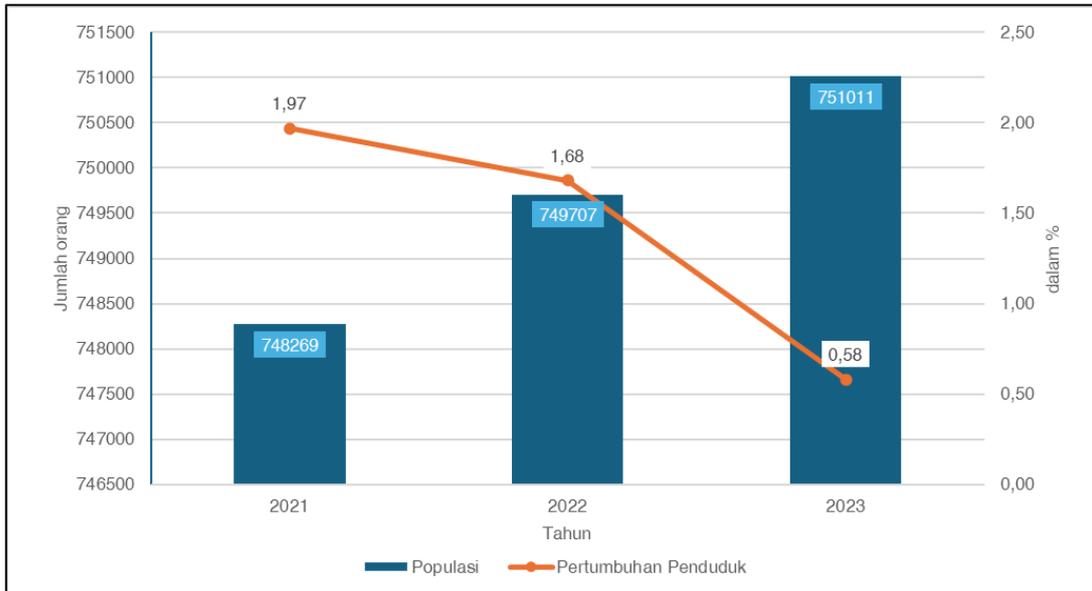
Penduduk pedesaan di dalam kawasan PLTB terdiri dari gabungan petani, toko kecil dan pemilik restoran (*warung*). Di daerah tersebut, beberapa tambang kecil (tambang terbuka) aktif untuk penambangan batu kapur untuk produksi semen. Kegiatan komersial utama terkonsentrasi di kota-kota terdekat seperti Semanu dan Wonosari.

Paragraf berikutnya memberikan gambaran statistik populasi dan pekerjaan di kabupaten tersebut.



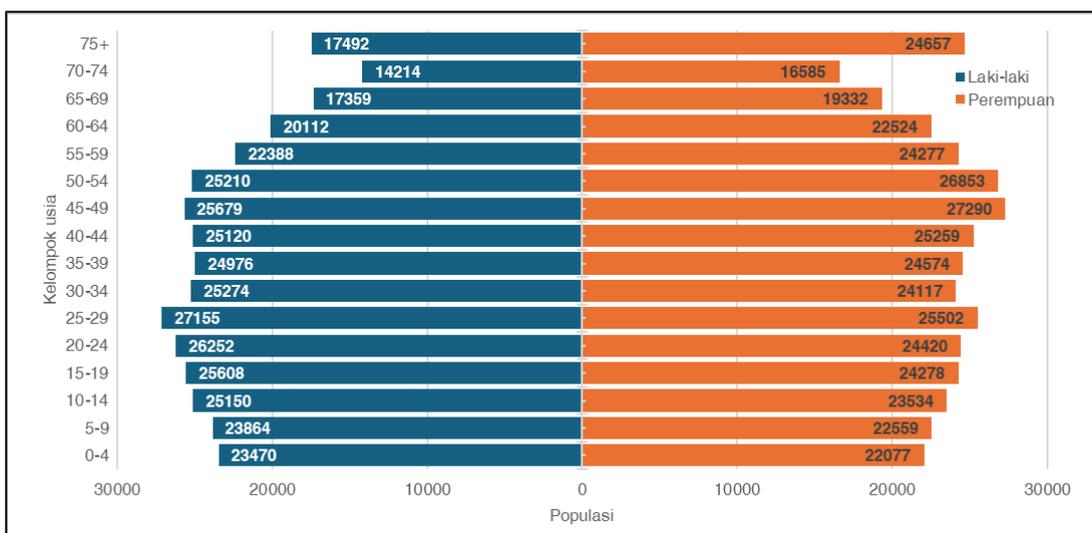
Populasi

Grafik populasi dan tingkat pertumbuhan penduduk tahunan ditunjukkan pada Gambar 37. Angka pertumbuhan penduduk tahunan di Gunung Kidul menurun dari 1,97% pada tahun 2021 menjadi 0,58% pada tahun 2023. Selain itu, populasinya sedikit meningkat pada periode tahun 2019-2021.



Gambar 37. Laju pertumbuhan penduduk dan penduduk tahunan di Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).

Piramida penduduk kabupaten ditampilkan pada Gambar 38. Sementara itu, rasio gender di Gunung Kidul pada tahun 2023 adalah 0,98.



Gambar 38. Piramida kependudukan di Kabupaten Gunung Kidul tahun 2020 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).



Pekerjaan, pendidikan, dan pembangunan

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 tersebut ditampilkan pada Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja di Gunung Kidul pada tahun 2023 adalah sebesar 76,66%, meningkat dari dua tahun sebelumnya. Sementara itu, ada sedikit peningkatan tingkat pengangguran dari tahun 2022 ke tahun 2023.

Tabel 3. Tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).

Metrik (dalam %)	Tahun		
	2021	2022	2023
Partisipasi angkatan kerja	75,99	74,07	76,66
Tingkat pengangguran	2,20	2,08	2,09

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

Tabel 4. Pekerja menurut pendidikan tertinggi (orang) di Kabupaten Gunung Kidul tahun 2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](https://bps.go.id)).

Pencapaian pendidikan	Bekerja	Tidak Bekerja	Jumlah Penduduk Aktif Secara Ekonomi	Persentase Pekerja yang Aktif Secara Ekonomi (%)
Sekolah dasar (SD)	201.158	661	201.819	99,67
Sekolah menengah pertama (SMP)	95.658	2.334	97.992	97,62
Sekolah menengah atas (SMA)	130.956	6.148	137.104	95,52
Universitas	31.414	647	32.061	97,98
Total	459.186	9.790	468.976	97,91

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



Tabel 5.



Tabel 5. Angka Partisipasi Murni di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2022-2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](#)).

Angka partisipasi murni	Tahun	
	2022	2023
Tingkat pendidikan		
Sekolah dasar	99,02	98,89
Sekolah menengah pertama	90,93	83,03
Sekolah menengah atas	63,29	66,81

Jumlah fasilitas pendidikan di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2022 ditunjukkan pada TabelTabel 6. Secara keseluruhan terdapat 549 SD dan 43 SMP.

Tabel 6. Fasilitas pendidikan di Kabupaten Gunung Kidul Tahun 2022 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](#)).

	Jumlah Sekolah dasar	Jumlah Sekolah dasar Islam	Jumlah Sekolah menengah pertama	Jumlah Sekolah menengah pertama Islam	Jumlah Taman kanak-kanak	Jumlah Taman kanak-kanak Islam
Unit sekolah	466	83	31	12	573	97

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 Gunung Kidul dari tahun 2021 hingga 2023 menunjukkan peningkatan keseluruhan, seperti yang ditunjukkan pada TabelTabel 7.

Tabel 7. Indeks Pembangunan Manusia, Indeks Pemberdayaan Gender, dan Indeks Pembangunan Gender di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2021-2023 (Sumber: [Statistik Kabupaten Gunung Kidul \(bps.go.id\)](#)).

Metrik	Tahun		
	2021	2022	2023
Indeks Pembangunan Manusia	70,37	71,18	71,46
Indeks Pemberdayaan Gender	76,70	77,93	77,30
Indeks Pembangunan Gender	85,31	85,82	85,93

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 Kabupaten Gunung Kidul dari tahun 2021 hingga 2023 secara keseluruhan meningkat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7Tabel 7.



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

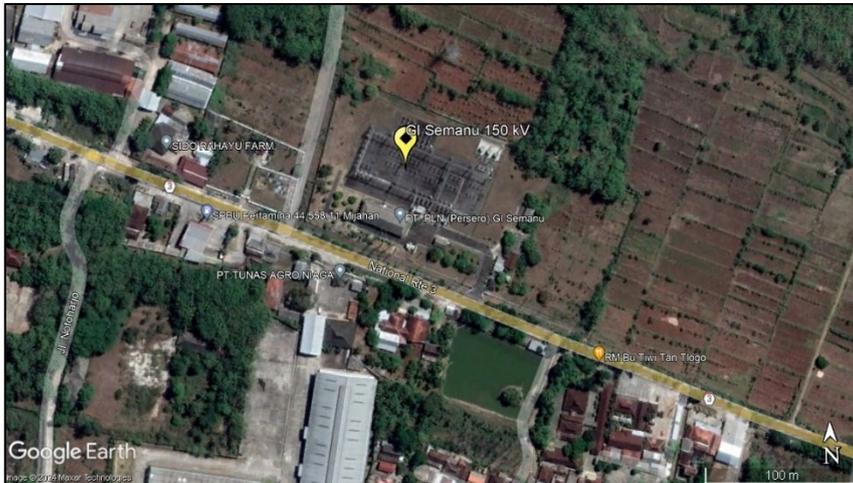
- Kesehatan (melalui angka harapan hidup wanita dan pria saat lahir);
- Pendidikan (melalui perkiraan lama bersekolah bagi anak-anak perempuan dan laki-laki, dan rata-rata lama bersekolah untuk orang dewasa perempuan dan laki-laki usia 25 tahun dan lebih tua); dan
- Penguasaan atas sumber daya ekonomi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

GDI di Kabupaten Gunung Kidul pada tahun 2021 hingga 2023 mengalami peningkatan yang stabil, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

2.7 Desain jaringan transmisi

2.7.1 Titik koneksi

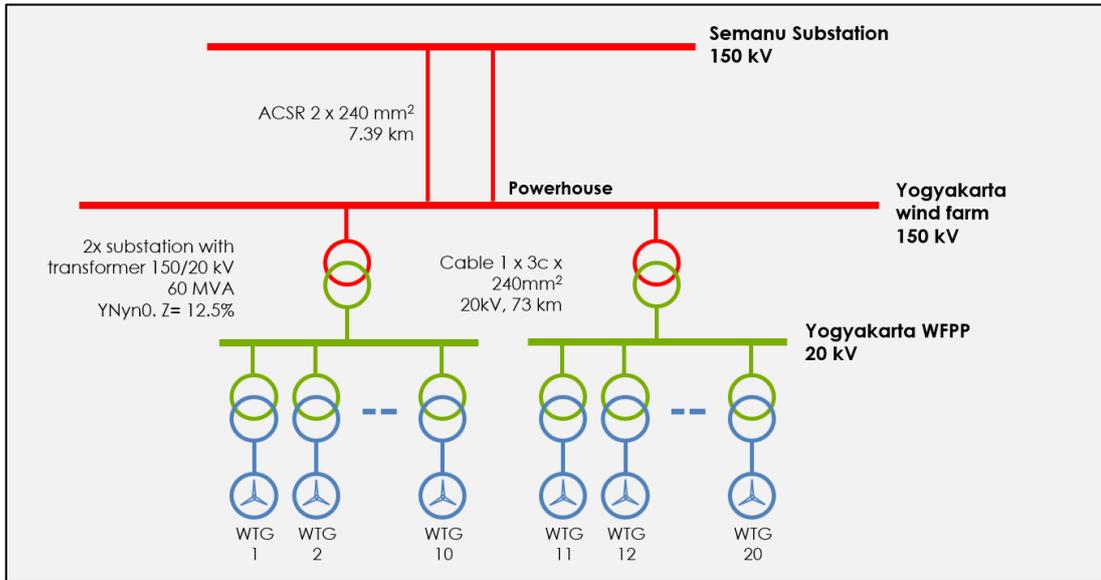
Berdasarkan lokasi tata letak awal PLTB yang dibayangkan, titik koneksi terdekat ke jaringan PLN yang ada telah ditentukan. Gardu induk PLN Semanu 150 kV yang terletak di sebelah timur desa Wonosari dipilih untuk studi ini. Foto udara gardu induk ini terdapat pada Gambar 39. Karena studi saat ini tidak termasuk studi interkoneksi jaringan listrik, diasumsikan bahwa PLTB dapat dihubungkan ke jaringan yang ada, 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 39. Lokasi gardu induk PLN Semanu 150 kV. Sumber: Google Maps.

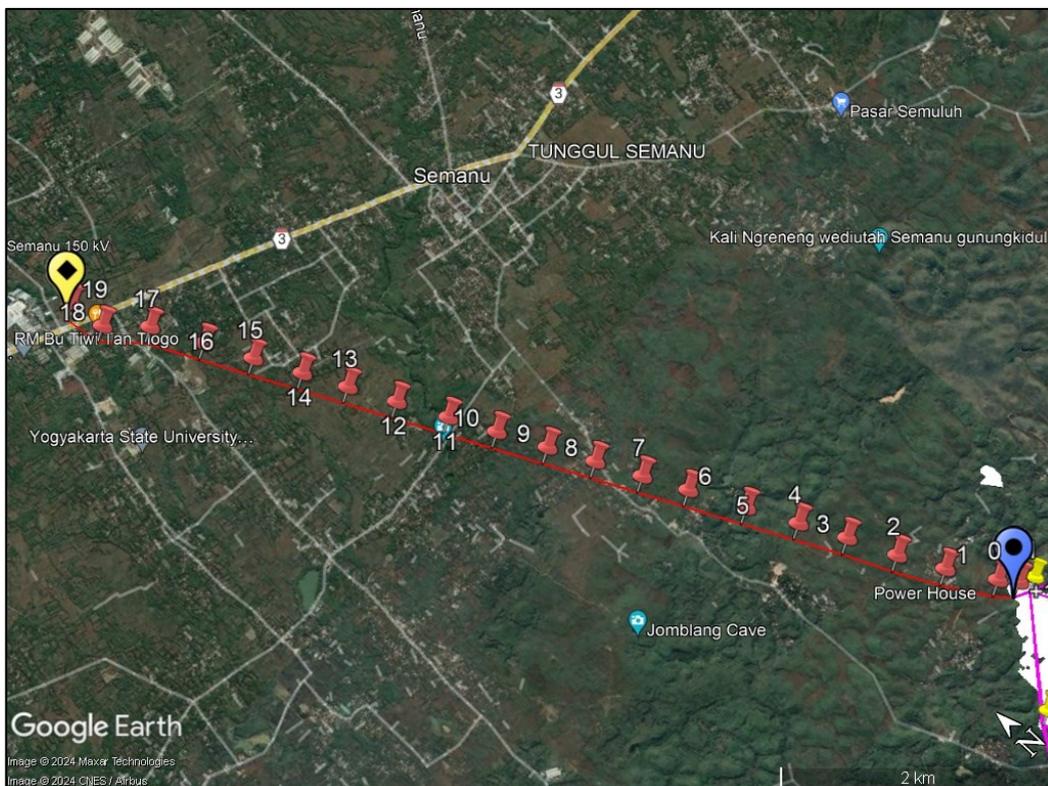
2.7.2 Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi

Pada Gambar 40, desain skematis jaringan transmisi dan distribusi diilustrasikan. Masing-masing 20 turbin angin akan memiliki keluaran 20 kV (melalui transformator 5 MVA per turbin angin) yang didistribusikan melalui kabel distribusi. Per rangkaian maksimal 10 turbin angin, listrik yang dihasilkan didistribusikan ke salah satu dari dua gardu induk di PLTB. Di gardu induk ini, tegangan diubah menjadi 150 kV. Dari gardu induk, kabel 150 kV disatukan dan dihubungkan ke rumah pembangkit di perbatasan PLTB. Saluran transmisi udara mengangkut listrik yang dihasilkan dari rumah pembangkit ke titik koneksi, gardu induk Semanu.



Gambar 40. Desain skematis jaringan transmisi dan distribusi di PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan

Saluran transmisi udara antara rumah pembangkit dan gardu PLN diasumsikan sebagai garis lurus antara kedua lokasi, meliputi 7 km seperti yang divisualisasikan pada Gambar 41. Sebanyak 21 menara transmisi direncanakan dengan jarak perantara antar menara sebesar 340-450 m.



Gambar 41. Representasi skematis dari posisi saluran transmisi udara antara pembangkit listrik dan gardu induk Semanu

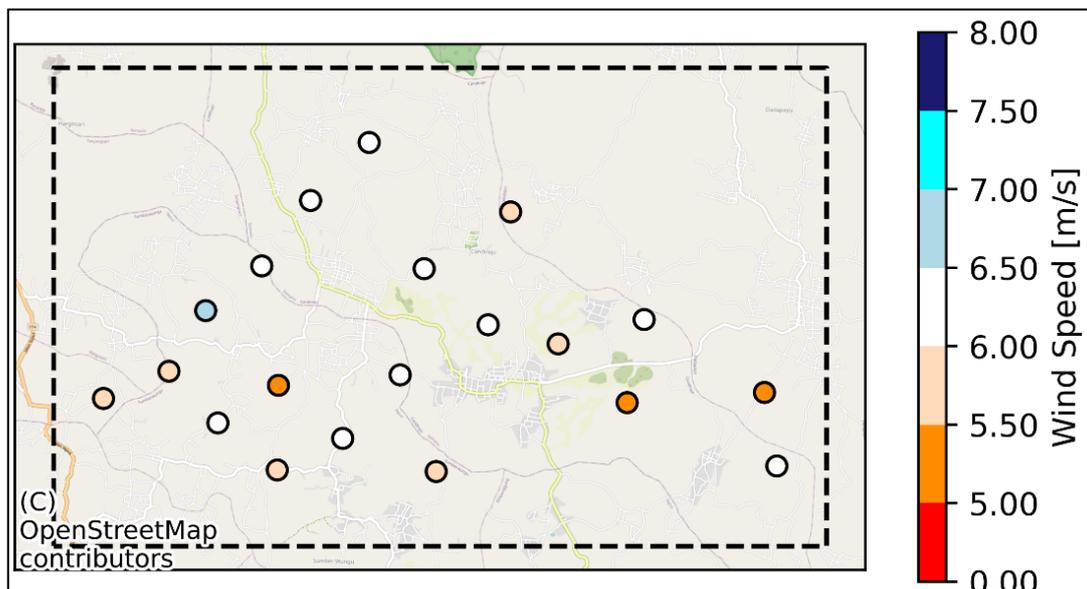


2.8 Asesmen keluaran energi

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

Untuk asesmen keluaran energi PLTB Gunung Kidul, 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 42 menunjukkan klimatologi yang dihasilkan di lokasi WTG. Kecepatan angin jangka panjang yang dimodelkan, yang dirata-ratakan dari semua 20 WTG pada ketinggian naf yang direncanakan yaitu 140 m, adalah 6,0 m/s. AEP kemudian dihitung berdasarkan kurva daya WTG referensi 4 MW dengan diameter rotor hampir 170 m dan ketinggian naf 140 m.



Gambar 42. Hasil kecepatan angin rata-rata jangka panjang dengan model windPRO pada ketinggian 140 m di lokasi turbin. Lingkaran berbatas hitam mewakili turbin angin, sedangkan warna di dalam lingkaran menunjukkan kecepatan angin rata-rata jangka panjang masing-masing.

2.8.1 Rugi-rugi energi

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

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



Tabel 8. Rugi-rugi yang diperkirakan di tingkat PLTB.

Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
Interaksi	Rugi-rugi olakan [%]	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) ¹² dengan parameterisasi linier digunakan untuk menghitung halangan. Halangan 0% diperkirakan untuk tata letak di Gunung Kidul.
Ketersediaan	Ketidakterediaan [%]	4,0%	Rugi-rugi produksi ini berkaitan dengan periode turbin angin yang tidak beroperasi karena pemeliharaan, kerusakan dan reorientasi nasel. Rugi-rugi sebesar 4,0% diperhitungkan untuk PLTB dengan lebih dari 5 WTG.
	<i>Balance of Plant</i> [%]	0,1%	Rugi-rugi <i>Balance of Plant</i> terjadi karena tidak tersedianya transformator stasiun atau jalan akses dan karenanya menghambat operasi normal PLTB.
	Waktu henti jaringan listrik [%]	0,5%	Rugi-rugi waktu henti jaringan disebabkan oleh tidak tersedianya jaringan dari operator jaringan listrik.
Performa	Rugi-rugi kurva daya [%]	2,0%	Rugi-rugi kurva daya adalah hasil dari operasi turbin angin yang kurang optimal. Hal ini terjadi ketika turbin angin 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.

¹² Meyer Forsting, A. R., Troldborg, N., & Gaunaa, M. (2016). The flow upstream of a row of aligned wind turbine rotors and its effect on power production. *Wind Energy*, 20(1), 63–77.



Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
	Ketidaksejajaran geleng [%]	0,0%	Rugi-rugi ketidaksejajaran geleng disebabkan oleh ketidakmampuan WTG untuk menyelaraskan diri sepenuhnya dengan arah angin aktual dan karenanya kehilangan potensi produksi. Alasannya bisa jadi sistem operasi lama yang tidak mampu mengukur arah angin saat ini secara akurat. Hal ini diasumsikan tidak akan terjadi.
Kelistrikan	Rugi-rugi kelistrikan [%]	2,0%	Rugi-rugi kelistrikan pada kabel daya terjadi karena resistensi kabel, yang meningkatkan suhu kabel dan mengakibatkan hilangnya daya ini. Nilai konservatif diasumsikan sebesar 2, 0%.
	Rugi-rugi transformator [%]	1,0%	Transformator WTG mengonsumsi energi saat level tegangan meningkat. Karena rugi-rugi transformator tidak tergabung dalam kurva P-V, rugi-rugi sebesar 1,0% diasumsikan.
	Konsumsi listrik WTG [%]	0,1%	Turbin angin membutuhkan listrik untuk mendukung kegiatan operasional seperti sistem perangkat lunak. Rugi-rugi energi sebesar 0,1% diasumsikan.
Lingkungan	Pematan karena lapisan es, petir dll. [%]	0,3%	Pematan merupakan tindakan keamanan yang diperlukan selama periode dingin ketika es menumpuk di sudu atau selama badai petir. Tidak ada lapisan es yang diperkirakan di lokasi ini. Rugi-rugi akibat petir sebesar 0,3% diasumsikan.
	Degradasi sudu [%]	1,3%	Seiring waktu, efisiensi aerodinamis sudu turbin angin menurun karena degradasi. Untuk turbin angin darat, ini terutama disebabkan oleh bahan organik, partikel debu, dan partikel lainnya yang terakumulasi pada sudu. Efek ini menumpuk dari waktu ke waktu. Rugi-rugi degradasi tahunan sebesar 0,1% diasumsikan. Selama masa pakai 25 tahun, diperkirakan rugi-rugi sebesar 1,3%.
	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.



Kategori	Tipe rugi-rugi energi	Jumlah	Keterangan
	Pembatasan kebisingan [%]	0,0%	Turbin angin beroperasi dalam mode daya yang mengurangi kebisingan untuk meminimalkan tingkat kebisingan di rumah-rumah terdekat. Karena lokasi ini terletak di daerah terpencil, tidak ada rugi-rugi yang diharapkan.
	Pembatasan kedipan bayangan [%]	0,0%	Kedipan bayangan adalah efek ketika sudu rotor secara berkala menimbulkan bayangan ke area tertentu. Pembatasan kedipan bayangan diperkenalkan dengan tujuan mengurangi efek signifikan pada perumahan. Karena lokasi ini terletak di daerah terpencil, tidak ada rugi-rugi yang diperkirakan.
	Mitigasi burung/kelelawar [%]	0,0%	Analisis lengkap tentang habitat potensial burung dan/atau kelelawar yang dilindungi akan dilakukan dalam studi kelayakan. Pada saat ini, rugi-rugi ini diasumsikan 0,0%.
	Manajemen sektor angin [%]	0,0%	Untuk menjamin masa pakai WTG yang diharapkan, apa yang disebut dengan studi Asesmen Lokasi dilakukan oleh produsen WTG. Ketika Asesmen Lokasi ini menunjukkan beban yang melebihi pada komponen WTG, berdasarkan kondisi iklim tertentu, ada kebutuhan untuk mengubah mode operasi normal WTG ke program alternatif. Hal ini sering termasuk penerapan mode daya yang dikurangi yang sering mengakibatkan rugi-rugi produksi. Pada saat ini diasumsikan 0,0%.
Sub-total rugi-rugi non-interaksi [%]		13,0%	Akumulasi semua rugi-rugi yang disebutkan di atas, tidak termasuk rugi-rugi olakan. Berdasarkan $1 - (1 - \text{rugi-rugi A}) * (1 - \text{rugi-rugi B}) * (1 - \text{rugi-rugi C}) * \dots$ dll.
Total rugi-rugi [%]		17,2%	Akumulasi semua rugi-rugi yang disebutkan di atas, termasuk rugi-rugi olakan. Berdasarkan $1 - (1 - \text{rugi-rugi A}) * (1 - \text{rugi-rugi B}) * (1 - \text{rugi-rugi C}) * \dots$ dll.

2.8.2 Keluaran energi termasuk ketidakpastian

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

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

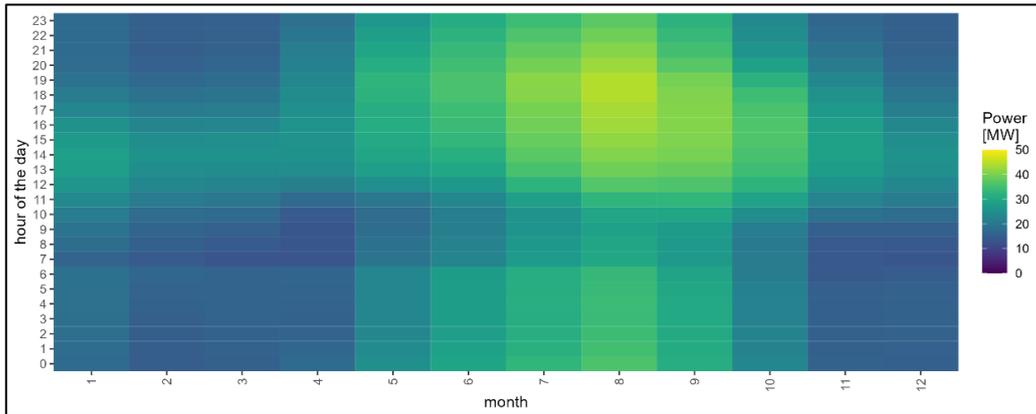


Tabel 9. Keluaran energi untuk semua 20 WTG di PLTB Gunung Kidul.

Parameter [Unit]	Nilai
Jumlah WTG baru	20
Nilai Daya per WTG [MW]	4,0
Total Nilai Daya [MW]	80,0
Diameter rotor [m]	~170
Tinggi naf [m]	140
Kepadatan udara [kg/m ³]	1,129
Kecepatan angin [m/s]	6,0
Hasil bruto [MWh/th]	263.586
Hasil bruto termasuk efek olakan [MWh/th]	251.048
P50 [MWh/th]	218.339
P90 (25 th) [MWh/th]	188.885
P50 [jam/th]	2.729
P90 (25 th) [jam/th]	2.361

2.8.3 Variasi keluaran daya

Dalam Subbagian 2.8.2, kami telah memberikan perkiraan produksi tahunan P50, setara dengan 218.339 MWh per tahun. Sebelumnya, selama penilaian sumber daya angin pertama di Subbagian **Error! Reference source not found.**, 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 39 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 39: Gambaran umum variasi bulanan dari keluaran daya rata-rata PLTB per jam dalam sehari berdasarkan nilai P50 dari Subbagian 2.8.2 dalam kombinasi dengan variasi bulanan dan per jam dalam kecepatan angin dari EMD-WRF (lihat juga Gambar 8).

2.9 Asesmen kasus bisnis

2.9.1 Asumsi komponen

Untuk menentukan kasus bisnis untuk PLTB, perlu untuk mengukur parameter biaya masukan 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
 - Geoteknik
 - Lingkungan
 - Sosial
- Pengukuran angin (3 tiang pengukuran meteorologis selama 1 tahun)



- Pembebasan lahan, dengan asumsi Rp 200.000 /m² + pajak 5% untuk tanah kualitas rendah, Rp 520.000 /m² + 5% untuk lahan subur sedang, yang akan digunakan untuk:
 - Permukaan jalan baru
 - Permukaan diameter rotor
 - Permukaan peningkatan jalan
 - Permukaan rumah pembangkit dan gardu induk
 - Permukaan menara transmisi

Turbin angin

Jumlah yang relevan untuk pemasangan 20 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada TabelTabel 10.

Tabel 10. Jumlah turbin angin relevan untuk PLTB Gunung Kidul yang dibayangkan.

Komponen utama	Jumlah
Nasel termasuk generator (4 MW)	20 buah
Sudu (85 m)	60 buah
Segmen menara (tinggi total 140m)	120 buah

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

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

Pekerjaan sipil

Kuantitas yang relevan untuk pekerjaan sipil yang diperlukan untuk pemasangan 20 turbin angin di PLTB ditunjukkan pada TabelTabel 11.

Tabel 11. Daftar asumsi tentang komponen pekerjaan sipil.

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Jalan (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Pembangunan jalan berkerikil baru di dalam lokasi PLTB	18 km
	Peningkatan jalan yang sudah ada	12 km
Memperkuat jembatan (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Penguatan jembatan beton	23 jembatan

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



Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Fondasi (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	Jangkar (72 per fondasi)	1.440 buah
	Kandang jangkar	20 buah
	Beton (230 m ³ per fondasi)	4.600 m ³
	Baja (35 ton per fondasi)	700 ton
Crane hardstand (termasuk desain, bahan, transportasi, tenaga kerja)	<i>Crane hardstand</i> (50 x 100 m) menggunakan kerikil	20 <i>hardstand</i>

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

- Pekerjaan sipil termasuk desain, material, transportasi, dan tenaga kerja;
- Sebagian besar jalan menuju lokasi dalam kondisi baik dan digunakan sehari-hari dengan lalu lintas yang padat. Dari pelabuhan Semarang dan Surabaya, jalan raya sudah selesai atau sedang dibangun hingga Yogyakarta. Sampai di lokasi, diperkirakan tidak ada desain ulang besar-besaran, kecuali perkuatan jembatan dan desain ulang kecil jalan di Semanu;
- Di dalam lokasi, sebagian besar jalan baru direncanakan karena jalan yang ada (beraspal) sempit dan mengarah melalui desa-desa kecil yang menyisakan sedikit ruang;
- Ada risiko biaya tambahan (tersembunyi) yang substansial. Misalnya, kebutuhan untuk memperkuat dermaga pembongkaran di pelabuhan atau untuk membuat area *lay-down* yang besar karena tantangan logistik di pelabuhan. Hal ini memerlukan analisis lebih lanjut dalam studi kelayakan berikutnya;
- Jumlah biaya yang digunakan dalam kasus bisnis didasarkan pada praktik terbaik, penelitian sekunder dan kunjungan lapangan terbatas yang menimbulkan ketidakpastian yang signifikan dalam asumsi biaya.

Pekerjaan kelistrikan

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

Tabel 12. Daftar asumsi pada komponen pekerjaan kelistrikan.

Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
Saluran transmisi (6 km, 48 menara)	Menara transmisi	21 unit
	Konduktor	1 set
	Isolator dan fitting; Tipe Normal	1 set
	Kabel <i>ACSR Hawk</i> 240 mm ²	1 set
	Kabel GSW 70 mm ²	1 set
	Kabel OPGW 70 mm ²	1 set
Rumah pembangkit (1 untuk seluruh PLTB)	<i>Switchgear MV</i> yang masuk	20 unit
	<i>Switchgear LV</i>	1 unit
	<i>DC Supplies</i>	1 unit
	Proteksi petir	1 unit



Komponen utama	Sub-komponen	Jumlah
	Kabel 2x3C 300 mm	567 m
Pekerjaan listrik PLTB (antara pembangkit tenaga listrik, gardu induk dan turbin angin)	Transformator 20 kV (5 MVA)	20 unit
	<i>Switchgear</i>	20 unit
	Kabel MVAC (1 x 3c x 240) 50 dan 300 meter	73 km
	Sistem Penumbumian	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 (dua untuk seluruh PLTB)	Transformator 150/20 kV 30 MVA	2 unit
	Resistor <i>Grounding</i> Netral	2 unit
	<i>Switchyard</i>	1 unit
	<i>Bay</i> masuk/keluar, <i>coupler</i> , <i>busbar</i> , Panel RCP	2 set
	<i>Switchgear LV</i>	1 set
	Sistem SAS/SCADA	1 set

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

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

Pengeluaran operasional

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

- Biaya pemeliharaan dan layanan turbin angin, pekerjaan sipil dan pekerjaan kelistrikan
- Biaya operasi bisnis, misalnya manajemen aset, manajemen keuangan, manajemen PJBL, dll.
- Tidak diperlukan kompensasi untuk penggunaan lahan hutan
- Asuransi (misalnya asuransi kerusakan mesin, kewajiban pihak ketiga)

2.9.2 Asumsi biaya

Dalam tabel di bawah ini Tabel 13, asumsi biaya per komponen biaya tercantum yang berfungsi sebagai masukan untuk kasus bisnis. Kasus bisnis membedakan antara DEVEX (belanja



pengembangan atau *development expenditure*, sebelum CoD), CAPEX (belanja modal atau *capital expenditure*) dan OPEX (belanja operasional atau *operational expenditure*). Karena ketidakpastian dan informasi terbatas yang menjadi dasar asumsi biaya, kisaran biaya (sebagai persentase dari biaya dasar) didefinisikan untuk masing-masing komponen biaya. Persebaran kisaran biaya tergantung pada ketidakpastian asumsi biaya.

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

Akumulasi rentang biaya akhirnya mengarah pada total biaya investasi batas bawah, dasar, dan batas atas. Dari sini, biaya per MW dihitung, yang merupakan indikasi seberapa tinggi investasi untuk PLTB tertentu ini dibandingkan dengan rata-rata global (berada di USD 1.3 juta/MW untuk tahun 2024)¹⁴ dan dengan 7 lokasi lainnya.

Tabel 13. Asumsi biaya per komponen biaya.

Komponen biaya	Biaya dasar termasuk PPN	Komentar	Kisaran biaya
Persiapan pekerjaan	USD 2.765.000	DEVEX: Sebelum Pemenuhan Pembiayaan	90% - dasar -120%
Manajemen proyek	USD 6.164.000	DEVEX: Sampai CoD	Dasar
Turbin angin	USD 55.746.000	CAPEX: termasuk transportasi dan instalasi	90% - dasar -120%
Pekerjaan sipil: fondasi	USD 8.014.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: jalan	USD 15.503.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan sipil: <i>crane hardstands</i>	USD 2.450.000	CAPEX	80% - dasar -150%
Pekerjaan kelistrikan	USD 19.378.000	CAPEX	90% - dasar -120%
Pembebasan lahan	USD 21.434.000	CAPEX	90% - dasar -150%
Kontingensi risiko	USD 9.863.000	DEVEX + CAPEX	Dasar
Total biaya investasi batas bawah (DEVEX + CAPEX)	USD 126.452.000	Biaya investasi per MW: USD 1.581.000	
Total biaya investasi dasar (DEVEX + CAPEX)	USD 141.578.000	Biaya investasi per MW: USD 1.770.000	
Total biaya investasi batas atas (DEVEX + CAPEX)	USD 180.857.000	Biaya investasi per MW: USD 2.261.000	
Pengeluaran operasional dasar (OPEX)	USD 2.404.000 / tahun	Biaya operasional per MW/tahun: USD 30.000	

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



2.9.3 Parameter keuangan

Asumsi parameter keuangan berikut diterapkan dalam kasus bisnis:

- PLTB memiliki masa pakai desain 25 tahun;
- Periode penyusutan 25 tahun;
- Konstruksi dimulai pada tahun 2028,
- Pengadaan komponen PLTB diasumsikan pada tahun 2026, di mana indeksasi tahunan sebesar 3% digunakan pada tingkat harga pada tahun 2024;
- Pengeluaran operasional akan diindeks sebesar 5%;
- *Gearing* pinjaman sebesar 70%, ekuitas sebesar 30%;
- Jangka waktu utang adalah 10 tahun, struktur pembayaran anuitas;
- Tingkat bunga utang adalah 9,0%;
- Pajak properti dan pajak perusahaan sudah termasuk;
- Semua biaya sudah termasuk PPN;
- Biaya manajemen proyek atas nama pengembang sampai CoD diasumsikan sebesar 5% dari total biaya;
- Anggaran kontingensi risiko diasumsikan sebesar 8% dari total biaya termasuk biaya manajemen proyek;
- Setelah 25 tahun, nilai sisa PLTB yang ditransfer adalah sebesar USD 0 ke PLN;
- Struktur tarif sesuai dengan Peraturan Presiden 112/2022 digunakan. Peraturan ini mendefinisikan sebagai berikut:
 - Tarif batas atas per kWh pada tahun 1-10 untuk PLTB >20 MW = $9,54 \times \text{faktor lokasi}$ (menjadi 1,0 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 **Error! Reference source not found.**, asumsi biaya sebagaimana tercantum dalam Subbagian 2.9.2, dan parameter keuangan yang diasumsikan dalam Subbagian 2.9.3, kasus bisnis PLTB telah ditentukan untuk skenario biaya batas bawah, dasar, dan atas. Kasus bisnis ini mengarah pada hasil berikut:

Tabel 14. Hasil asesmen kasus bisnis.

Hasil kasus bisnis	Skenario biaya batas bawah	Skenario biaya dasar	Skenario biaya batas atas
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR) Proyek (sebelum pajak) di P50	8,40%	6,61%	3,20%
Rata-rata <i>Debt Service Coverage Ratio</i> (DSCR) di P90	0,90	0,82	0,66
Laba bersih di P50 selama 25 tahun	USD 58.488.000	USD 43.708.000	USD 4.547.000



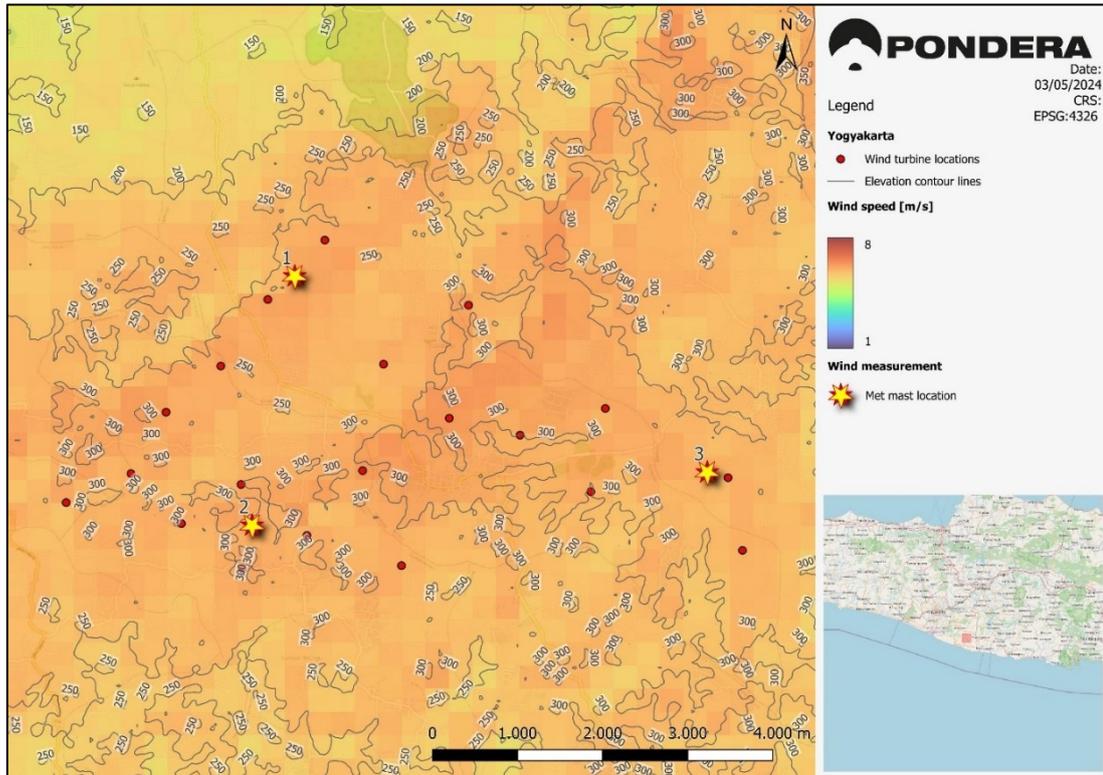
3 Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan analisis yang dilakukan, disimpulkan bahwa kelayakan tekno-ekonomi keseluruhan dari PLTB di wilayah Gunung Kidul memerlukan peningkatan. Penyebab utama hal ini adalah kecepatan angin yang lebih rendah yang ada di wilayah tersebut. Berdasarkan penilaian sumber daya angin awal yang berasal dari *Global Wind Atlas*, tidak diperkirakan kecepatan angin yang jauh lebih tinggi dari 6 m/s. Selain itu, selama tahap pemodelan angin, kecepatan angin rata-rata jangka panjang di beberapa lokasi turbin angin ternyata berada di bawah angka ini (lihat Gambar 42). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek topografi pada karakteristik angin, yang pada tingkat lebih rendah menonjol ketika membuat peta kecepatan angin berdasarkan *Global Wind Atlas*.

Hal ini tidak berarti bahwa kemungkinan adanya PLTB di Gunung Kidul harus dihapuskan sepenuhnya. Kami merekomendasikan untuk mempertimbangkan kembali tata letak lokasi selama studi lanjutan, di mana fokusnya adalah pada lokasi turbin angin di mana kecepatan angin rata-rata jangka panjang melebihi 6 m/s. Hal ini dapat menghasilkan PLTB berukuran sekitar 30-40 MW, dengan potensi hasil energi rata-rata yang lebih tinggi per turbin angin. Selain itu, komponen tertentu meningkatkan biaya investasi secara signifikan. Penguatan 23 jembatan merupakan faktor utama biaya (+/- 7% dari biaya investasi) untuk PLTB ini. Dalam studi lanjutan, tujuannya adalah untuk menemukan penghematan biaya untuk biaya ini (lihat rekomendasi khusus di bawah *Transportasi*). Terakhir, biaya pembebasan lahan untuk proyek ini cukup signifikan (+/- 15% dari biaya investasi). Hal ini disebabkan oleh rencana untuk membangun PLTB di daerah kesuburan sedang, yang memiliki biaya akuisisi lebih tinggi dibandingkan tanah berkualitas rendah di daerah terpencil. Selain mencoba bernegosiasi untuk harga pembebasan lahan yang lebih rendah, lebih sedikit turbin angin dan lebih sedikit infrastruktur akan membutuhkan lebih sedikit pembebasan lahan. Pengoptimalan dapat diupayakan untuk menurunkan biaya ini.

Selain kurangnya sumber daya angin di beberapa lokasi turbin angin, PLTB yang dibayangkan mengandung risiko lain yang harus diperhitungkan oleh pengembang dan investor. Hal ini dapat diringkas dalam daftar risiko non-limitatif berikut, termasuk rekomendasi tindakan mitigasi masing-masing:

- **Sumber daya angin:** Masih ada ketidakpastian yang signifikan pada sumber daya angin di daerah 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 setidaknya untuk menempatkan tiga tiang pengukuran meteorologis untuk pengumpulan data setidaknya selama satu tahun (lihat Gambar 43). 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. Ikon kuning menunjukkan posisi global lokasi dari tiang pengukuran meteorologis yang direkomendasikan.



Gambar 43. Lokasi tiang pengukuran meteorologis yang direkomendasikan.

- **Penggunaan lahan dan perizinan:** Seperti yang dapat dilihat dari Gambar 36 dan Subbagian 2.2.5, PLTB direncanakan di Kawasan Pertanian Lahan Kering. Oleh karena itu, perlu adanya kesepakatan dengan pemilik lahan untuk memperoleh atau menyewakan lahan tersebut. Mempertimbangkan tindakan yang diperlukan ini, penting juga bagi pengembang untuk menilai penggunaan / kepemilikan lahan secara lebih rinci sejak awal dalam proses pengembangan. Pengembang direkomendasikan untuk terlebih dahulu melakukan pendekatan kepada pemilik lahan yang relevan tentang kemungkinan mencapai kesepakatan tentang lahan tersebut.
- **Transportasi:** Analisis aksesibilitas terbatas telah dilakukan untuk prospektus ini. Untuk memastikan bahwa pelabuhan di Semarang atau Surabaya cocok untuk pembongkaran dan penyimpanan komponen turbin angin, penilaian yang lebih ekstensif perlu dilakukan pada pelabuhan yang dapat memerlukan konsultasi dengan pemilik pelabuhan. Sebagian besar jalan menuju lokasi dalam kondisi baik dan digunakan sehari-hari dengan lalu lintas yang padat. Namun, di dalam lokasi proyek sebagian besar jalan baru direncanakan sedangkan jalan yang sudah ada (beraspal) sempit dan melewati desa-desa kecil sehingga hanya menyisakan sedikit ruang. Optimalisasi harus diupayakan untuk menurunkan biaya pembangunan jalan baru. Hal yang sama berlaku untuk penguatan 23 jembatan. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kekuatan jembatan saat ini dan perlunya penguatan. Jika penguatan jembatan diperlukan, ada baiknya diselidiki apakah dana infrastruktur Pemerintah tersedia untuk menutupi sebagian dari biaya penguatan. Secara umum, survei logistik yang lebih ekstensif direkomendasikan untuk dilakukan sebagai bagian dari studi kelayakan di masa mendatang untuk mendapatkan detail lebih lanjut tentang (penyesuaian) infrastruktur yang diperlukan.



- **Geologi:** Berdasarkan tingkat studi yang dilakukan untuk prospektus ini, masih ada ketidakpastian yang signifikan termasuk dalam desain dan konstruksi fondasi, jalan, dan *hardstand crane*, karena keadaan geologis dan dampak dari keadaan ini. Oleh karena itu, disarankan untuk menyelidiki lebih lanjut stabilitas dan kemampuan tanah untuk menahan beban turbin angin. Hal ini perlu ditentukan melalui penyelidikan geoteknik, yang menentukan beberapa karakteristik tanah (misalnya kuat geser, kepadatan, permeabilitas dll.), dan analisis stabilitas tanah tersebut 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. Desain fondasi setidaknya harus memenuhi standar internasional untuk mengurangi risiko gempa.
- **Lingkungan:** Meskipun lokasi PLTB bukan daerah padat penduduk, akan ada dampak visual pada daerah tersebut karena penggunaan turbin angin dengan ketinggian ujung lebih dari 200 m. Kehadiran PLTB ini dapat menimbulkan 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 spesies fauna yang rentan berada di area PLTB yang dibayangkan. Oleh karena itu, kemungkinan pengembangan PLTB akan berpengaruh pada keanekaragaman hayati. Juga disarankan bahwa sebagai bagian dari Analisis Dampak Lingkungan dan Sosial, studi dasar keanekaragaman hayati, dan penilaian risiko dan langkah-langkah mitigasinya dilakukan selama studi kelayakan.
- **Koneksi jaringan dan PJBL:** PLTB tersebut dirancang untuk dihubungkan ke jaringan PLN. Hal ini mengasumsikan bahwa jaringan listrik dapat mengintegrasikan 80 MW energi angin (dengan keluaran yang bersifat variabel), dan bahwa gardu induk di Semanu cocok untuk memfasilitasi koneksi jaringan PLTB. Asumsi ini 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.