



LAPORAN

PETA JALAN **Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia** **2024**

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

PETA JALAN **Pengembangan Energi** **Angin Darat di Indonesia**

2024

Dokumen ini dibuat sebagai bagian dari Proyek 'Pengembangan Energi Angin di Indonesia: Rencana Investasi' oleh *Southeast Asia Energy Transition Partnership (ETP)*

Sambutan

Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi

Sebagai upaya mitigasi perubahan iklim, Indonesia berkomitmen untuk mencapai target *Enhanced Nationally Determined Contribution*, yaitu penurunan emisi gas karbon pada tahun 2030 sebesar 32% (upaya sendiri) dan 43% (dengan bantuan internasional). Pencapaian target ini salah satunya diwujudkan melalui peningkatan target bauran energi terbarukan, yaitu sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Salah satu jenis pembangkit energi terbarukan yang memegang peranan penting adalah PLTB, yang berpotensi mengurangi emisi karbon secara signifikan di sektor ketenagalistrikan, memperkuat ketahanan energi nasional, meningkatkan kualitas lingkungan hidup, dan mendorong pembangunan ekonomi lokal.

Dokumen *Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia* merincikan upaya pengembangan PLTB darat yang telah dilakukan, kesenjangan dan hambatan yang dijumpai dalam percepatan pengembangan PLTB berikutnya, dan langkah-langkah yang perlu diambil oleh para pemangku kepentingan secara kronologis untuk mengatasi kesenjangan dan hambatan tersebut. Peta Jalan ini merupakan hasil dari studi yang bertujuan untuk memandu pengembangan sektor energi angin, menawarkan pendekatan sistematis yang dapat diadopsi oleh semua pemangku kepentingan, serta mendorong pengambilan keputusan berdasarkan informasi dalam pengembangan PLTB ke depannya.

Proses perumusan Peta Jalan telah melalui serangkaian proses yang melibatkan pemangku kepentingan utama di sektor energi angin dari pihak swasta dan publik, serta dari lembaga nasional maupun internasional. Adanya Peta Jalan ini diharapkan dapat menyamakan pandangan dan pemahaman para pemangku kepentingan dalam mendorong pengembangan PLTB selanjutnya. Peta Jalan ini juga diharapkan memotivasi semua pihak untuk berpartisipasi aktif dalam perumusan dan penerapan kebijakan pemerintah dalam mewujudkan transisi energi. Kita dapat secara kolektif mewujudkan komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi karbon dan memerangi perubahan iklim global.

Kami berharap Peta Jalan ini bermanfaat bagi seluruh pemangku kepentingan dan mendorong langkah konkret untuk mengakselerasi transisi energi di Indonesia. Mari kita terus berkolaborasi untuk menciptakan masa depan yang lebih baik dan berkelanjutan bagi generasi berikutnya.

Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi,

Prof. Dr. Eng. Eniya Listiani Dewi



"Harapan kami adalah agar Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat dapat menyamakan pandangan, wawasan, visi, serta langkah yang perlu ditempuh demi mewujudkan percepatan pengembangan sektor energi angin di Indonesia. Bersama-sama, mari kita dukung transisi energi di Indonesia menuju masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan."

Kata Pengantar

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, dengan ini kami sampaikan bahwa laporan “Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia” telah selesai disusun. Laporan ini merupakan salah satu keluaran dari proyek *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Proyek ini bertujuan untuk mendorong transisi energi dan pengembangan energi terbarukan, khususnya energi angin darat, di Indonesia. Potensi energi angin darat yang signifikan di Indonesia perlu dimanfaatkan dengan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang sebagai upaya untuk mencapai target bauran energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Pemanfaatan ini juga penting untuk mendukung komitmen Pemerintah Indonesia mencapai *Net Zero Emissions* (NZE) pada tahun 2060, atau lebih cepat.

Laporan ini adalah Laporan I dari proyek *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Laporan ini merangkum kondisi pengembangan PLTB darat di Indonesia, kerangka regulasi yang terkait, kesenjangan dan tantangan dalam pengembangan PLTB, dan rekomendasi tindakan yang bersifat kronologis, yang bisa dipertimbangkan para pemangku kepentingan untuk mengatasi tantangan tersebut. Kami berharap bahwa laporan ini bisa menyajikan masukan yang bermanfaat bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan dalam menentukan langkah-langkah ke depannya demi mengakselerasi pengembangan sektor energi angin di Indonesia.

Peta Jalan ini merupakan hasil dari studi yang bertujuan untuk memandu pengembangan sektor energi angin, menawarkan pendekatan sistematis yang dapat diadopsi oleh semua pemangku kepentingan, serta mendorong pengambilan keputusan berdasarkan informasi dalam pengembangan PLTB ke depannya. Harapannya, laporan ini bisa menjadi masukan bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan dalam menentukan langkah-langkah ke depannya demi mengakselerasi pengembangan sektor energi angin di Indonesia.

Selain laporan ini, keluaran lainnya dari proyek ini meliputi “Asesmen Perizinan dan Peraturan Energi Angin Darat” (Laporan II), “Buklet Pengembangan Energi Angin: Asesmen 8 lokasi di daratan Pulau Sumatra dan Jawa” (Laporan III), dan “Panduan Peluang Investasi dan Akses terhadap Keuangan untuk Proyek Energi Angin Indonesia” (Laporan IV).

Akhir kata, izinkan kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kerja sama dan masukan yang berharga seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan ini, terutama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Pemerintah Daerah dan Dinas-Dinas terkait, para anggota Kelompok Kerja Teknis Energi Angin (*Wind Power Technical Working Group*), para pengembang energi angin, dan pihak-pihak lainnya.

Jakarta, 13 Desember 2023

Tim Penyusun

Kolofon

Nama dokumen

Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia

Nomor versi

V5.0

Tanggal

13 Desember 2023

Nama Proyek

Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan

Nomor Proyek

EAPMCO/TH/2023/002 - RFP/2022/44553

Klien

Southeast Asia Energy Transition Partnership (ETP)

Penulis

Pondera & Indonesian Institute for Energy Economics (IIEE)

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.



Ringkasan Eksekutif

Latar Belakang

Energi memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan penduduk Indonesia dan untuk pengembangan masa depan Indonesia. Menurut *Indonesia Energy Transition Outlook* oleh IRENA (2022), permintaan energi negara akan meningkat lebih dari tiga kali lipat dari sekarang karena meningkatnya populasi dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Publikasi tersebut juga menyatakan bahwa tingkat permintaan listrik pada tahun 2050 diperkirakan lima kali lipat dari tingkat yang sesuai pada tahun 2022. Untuk memenuhi permintaan tersebut, Indonesia harus mempertimbangkan dengan cermat sumber daya energi yang akan dieksploitasi sesuai dengan dorongan transisi energi.

Di Indonesia, angin adalah sumber energi terbarukan yang signifikan yang dapat dimanfaatkan. Indonesia diperkirakan memiliki potensi energi angin sebesar 155 GW, terdiri dari 60,6 GW dari energi angin darat dan 94,2 GW dari energi angin lepas pantai (BBSP KEBTKE, 2023). Namun, pemanfaatan energi angin saat ini hanya sebesar 154,3 MW, atau kurang dari 0,1% dari potensi yang ada.

Mengingat potensi yang sangat besar namun kurang dimanfaatkan, penting untuk mengidentifikasi hambatan dan masalah yang perlu dipecahkan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan dalam Kebijakan Energi Nasional dan komitmen internasional yang telah dibuat. *Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia* ini dibuat untuk mengidentifikasi peluang dan kesulitan ini, dan dimaksudkan sebagai panduan untuk mencapai tujuan pengembangan energi angin Indonesia. Meskipun telah ada banyak penelitian dan upaya sebelumnya tentang topik ini, peta jalan ini bertujuan untuk menyusun hasilnya menjadi satu laporan komprehensif, yang akan berfungsi sebagai peta jalan khusus untuk sektor energi angin Indonesia.

Relevansi dengan tujuan proyek

Rencana aksi (studi) ini merupakan bagian dari proyek yang berjudul *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Proyek ini diinisiasi oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 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 Perjanjian Paris dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. UNOPS adalah pengelola dana dan tuan rumah Sekretariat ETP.

Tujuan dari peta jalan ini selaras dengan visi keseluruhan ESDM sebagai penerima manfaat utama, yaitu dengan memberikan bantuan teknis kepada ESDM dalam rangka mengatasi tantangan dalam pengembangan energi terbarukan (termasuk energi angin) di Indonesia. Selama perumusan peta jalan ini, kegiatan keterlibatan dengan pemangku kepentingan utama baik dari sektor publik dan swasta, serta aktor nasional dan internasional, diadakan melalui wawancara, konsultasi, dan organisasi acara Kelompok Kerja Teknis Tenaga Angin atau *Wind Power Technical Working Group* (TWG) di mana hasil awal disebarluaskan, dan umpan balik diterima.

Peta jalan ini juga selaras dengan tujuan proyek. Secara khusus, peta jalan ini berkontribusi pada pemenuhan dua tujuan proyek, yaitu: (i) mengumpulkan, menginventarisasi, dan menyusun studi dan pekerjaan sebelumnya berkaitan dengan sektor angin di Indonesia; dan (ii) menetapkan peta jalan bertahap untuk pengembangan sektor angin di Indonesia. Selain itu, dua hasil menyeluruh dari proyek ini dibahas melalui peta jalan ini: (i) menetapkan peta jalan pengembangan sektor angin untuk memandu pengembangan sektor, menyoroti kesenjangan dan hambatan dan menawarkan pendekatan sistematis yang dapat diadopsi oleh semua pemangku kepentingan; dan (ii) mendorong pengambilan keputusan berdasarkan informasi tentang pengembangan energi angin di Indonesia. Selanjutnya, peta jalan ini berfungsi sebagai dasar untuk keluaran berikutnya yang dibuat dalam keseluruhan proyek (*Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*) yaitu Komponen 2: Penilaian perizinan dan regulasi untuk angin darat (*Permitting and regulation assessment for onshore wind*); Komponen 3: Pemetaan potensi energi angin, analisis kesenjangan dan pemilihan lokasi (*Wind energy potential mapping, gap analysis and site selection*); dan Komponen 4: Panduan Peluang Investasi untuk Proyek Angin Indonesia dan Laporan Akses ke Keuangan (*Investment Opportunities Guide for Indonesian Wind Projects and Access to Finance Report*). Untuk ketiga Komponen ini (akan diterbitkan pada tahun 2024), temuan dari peta jalan ini digunakan sebagai konteks untuk studi lanjutan.

Pendekatan

Berdasarkan kedua tujuan proyek tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian di bawah ini:

1. Apa pelajaran yang didapat dari studi dan proyek sebelumnya di sektor energi angin darat Indonesia?
2. Berdasarkan pelajaran yang didapat, apa kesenjangan/hambatan yang ada dan menghambat percepatan pengembangan proyek angin darat di masa depan?
3. Apa langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi kesenjangan/hambatan tersebut, siapa yang perlu mengambil langkah-langkah yang mana, dan kapan serta bagaimana langkah-langkah tersebut harus diambil?

Hasil

Tabel di bawah ini memberikan identifikasi dari tantangan dan pelajaran yang dipetik dari studi dan proyek angin darat sebelumnya di Indonesia.

Klasifikasi tantangan dalam pengembangan energi angin

Kategori	Deskripsi	Konsekuensi	Urgensi untuk mengatasi hambatan
Ketersediaan data angin	<ul style="list-style-type: none"> Keterbatasan ketersediaan data angin jangka panjang yang akurat Tingkat ketidakpastian model skala meso yang tinggi sebagai alternatif data angin jangka panjang Beban keuangan investasi untuk pengukuran angin selama proses tender oleh pengembang Kemungkinan lebih rendah untuk mencapai <i>financial close</i> untuk suatu proyek akibat ketidakpastian data angin Ketidakpastian perilaku angin selama operasi PLTB, mengakibatkan kesulitan bagi PLN untuk memprediksi produksi listrik 	Data angin memiliki prioritas tertinggi dalam kasus bisnis PLTB, oleh karena itu, tantangan ini menciptakan profil risiko tinggi bagi pengembang dan investor yang ingin terlibat dalam pengembangan energi angin di Indonesia. Profil risiko ini dapat mengakibatkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, suku bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut memutuskan untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Ketersediaan data spasial dan proses yang terstandarisasi	<ul style="list-style-type: none"> Tidak adanya pedoman yang jelas di Indonesia mengenai kriteria dan pertimbangan analisis untuk dampak teknis, lingkungan, dan sosial dari sebuah PLTB Kurangnya data spasial (perencanaan) yang bersifat digital atau beresolusi tinggi yang dapat diakses dan konsisten untuk mendukung penyeleksian lokasi potensial dan perancangan tata letak PLTB Kurangnya standarisasi dalam proses pengembangan, termasuk studi prasyarat minimum, pedoman studi kelayakan, dll. 	Tidak tersedianya data spasial tidak hanya menghambat pengembang, tetapi juga para pemangku kepentingan dalam menentukan lokasi optimal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Tanpa proses yang terstandarisasi, durasi pengembangan proyek bisa semakin panjang, dan kesulitan dapat timbul saat membandingkan penawaran.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Kebijakan/regulasi dan perizinan	<ul style="list-style-type: none"> Ketidakpastian dan seringnya perubahan kebijakan oleh Pemerintah telah menciptakan risiko bagi investor dan dapat memengaruhi kelayakan keuangan proyek-proyek Implementasi yang tidak konsisten dari regulasi yang sudah ada Penundaan dalam proses perizinan dan pembebasan lahan 	Untuk investasi jangka panjang (misalnya, rangkaian proyek), para pengembang dan investor memerlukan lingkungan regulasi yang stabil sebelum masuk ke suatu negara. Tantangan-tantangan ini menciptakan profil risiko tinggi bagi mereka untuk masuk ke Indonesia, dan sebagai akibatnya, kondisi ini dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, suku bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak memilih untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka menengah
Penelitian dan pengembangan	<ul style="list-style-type: none"> Kurangnya kegiatan Penelitian dan Pengembangan (R&D) untuk pengembangan dan penerapan energi bayu untuk membangun sektor yang matang di Indonesia. 	Tanpa pengetahuan yang memadai tentang energi angin di Indonesia, tantangan-tantangan jangka panjang yang lebih besar (seperti ketersediaan data angin, stabilitas jaringan listrik, dan rantai pasok lokal) tidak dapat diatasi dengan baik atau hanya dengan dukungan dari luar negeri.	Dibutuhkan solusi jangka panjang

Kategori	Deskripsi	Konsekuensi	Urgensi untuk mengatasi hambatan
Kapasitas industri	<ul style="list-style-type: none"> Investasi besar dan rangkaian proyek yang diperlukan untuk membangun rantai pasokan lokal Kurangnya pengetahuan lokal tentang teknologi Keterbatasan tenaga kerja lokal yang terampil tersedia 	Ketergantungan pada teknologi dari luar negeri menciptakan kerentanan dalam hal kenaikan biaya, jaminan kualitas, dan tantangan geopolitik. Selain itu, hal ini dapat menyebabkan hilangnya kesempatan bagi Indonesia untuk meningkatkan kesejahteraan tenaga kerja di sektor ini.	Dibutuhkan solusi jangka panjang
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi yang memiliki potensi energi angin tidak selalu dekat dengan jaringan listrik yang terintegrasi dengan baik; kurangnya infrastruktur sistem transmisi dan distribusi. Sulit untuk menjamin stabilitas dan keandalan tenaga angin mengingat sifat intermitennya; sementara itu, BESS (<i>battery energy storage system</i>) masih relatif mahal untuk diproduksi dan diintegrasikan dengan pembangkit listrik tenaga angin. Kurangnya infrastruktur pendukung seperti akses ke pelabuhan dan jalan. 	Tidak adanya infrastruktur yang tepat dapat meningkatkan biaya pengembangan proyek, karena biaya harus mencakup perbaikan infrastruktur (yang juga memperpanjang durasi proyek). Jika biaya ini harus ditanggung oleh pengembang proyek dan terlalu signifikan, kelayakan proyek tersebut dapat menjatuhkan dan menahan/menghentikan pengembangan proyek.	Dibutuhkan solusi jangka panjang
Keuangan & <i>bankability</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dampak dan dukungan yang kurang optimal yang diberikan oleh regulasi fiskal dan non-fiskal yang ada terhadap investasi di energi angin. Persepsi investasi proyek angin di Indonesia sebagai 'berisiko dan lambat', terutama terkait <i>bankability</i> PJBL (Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik) yang tidak seimbang antara PLN dan pengembang. 	Sebelum pengembang dan investor memutuskan untuk melakukan investasi besar dalam proyek energi angin di Indonesia, mereka memerlukan insentif yang tepat dan PJBL yang seimbang untuk memastikan kasus bisnis yang dapat diandalkan sepanjang masa proyek. Jika kasus bisnis ini tidak dapat dijamin, mereka akan melihat proyek tersebut memiliki profil risiko tinggi. Hal ini pada gilirannya dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, tingkat bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut mulai berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Proses pengadaan	<ul style="list-style-type: none"> Proses pengadaan proyek angin PLN yang tidak pasti dan tidak jelas, membawa risiko yang cukup besar bagi pengembang 	Untuk investasi jangka panjang (misalnya, rangkaian proyek), para pengembang dan investor memerlukan proses pengadaan yang stabil, wajar, dan transparan sebelum memasuki suatu negara dan mulai mengajukan penawaran untuk proyek-proyek. Jika proses ini tidak dapat ditawarkan, mereka akan melihat proyek tersebut memiliki profil risiko tinggi. Hal ini pada gilirannya dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, tingkat bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut memutuskan untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek

Dengan menggunakan tantangan utama yang diidentifikasi dalam pengembangan energi angin, langkah-langkah yang perlu diambil untuk mengatasi tantangan ini disusun dalam bentuk peta jalan. Peta jalan disusun untuk periode pengembangan energi angin di Indonesia tahun 2023-2030. Peta ini mencakup daftar tindakan yang disertai dengan peran para pemangku kepentingan, yang dibagi menjadi berbagai jenis tanggung jawab berdasarkan matriks RACI (*Responsibility Assignment*). Matriks ini mengidentifikasi untuk setiap tindakan, pemangku kepentingan mana yang harus: R (*Responsible/Bertanggung Jawab*), A (*Accountable/Akuntabel*), C (*Consulted/Dikonsultasikan*), dan I (*Informed/Diinformasikan*).

Untuk setiap bidang utama, matriks tersebut menentukan peran yang diberikan kepada para pemangku kepentingan. Beberapa peran dapat diberikan ke satu tugas, dan kombinasi peran spesifik untuk setiap tugas menjelaskan siapa yang melakukan pekerjaan, siapa yang mengawasinya, siapa yang perlu dikonsultasikan, dan siapa yang harus diinformasikan. Tabel di bawah ini menyajikan para pemangku kepentingan yang diusulkan untuk terlibat dalam melakukan tindakan tersebut.

Abreviasi	Deskripsi
ESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Kemenkeu	Kementerian Keuangan
Kemenperin	Kementerian Perindustrian
Kemenves	Kementerian Investasi/BKPM
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
BSN	Badan Standardisasi Nasional
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
KATR/BPN	Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional
PLN	PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)
Industri/Asosiasi/Pemberi pinjaman	Asosiasi angin atau Investor/Pengembang atau Pemberi Pinjaman (lembaga internasional dan lokal)

Untuk masing-masing kategori yang termasuk dalam rencana aksi untuk peta jalan, penjelasan pertama-tama diberikan tentang aksi yang direkomendasikan untuk diambil.

Ketersediaan data angin

Karakter variabel dari angin, yang dikombinasikan dengan medan yang kompleks di Indonesia, membuat sulit untuk menentukan potensi nyata energi angin di lokasi tertentu. Hal ini menjadi tantangan bagi Pemerintah (yaitu ESDM serta melalui BUMN PLN) dalam mengembangkan energi angin. Sebagai contoh, RUPTL PLN memuat beberapa proyek angin yang direncanakan di lokasi dengan sumber daya angin yang kemungkinan terlalu sedikit.

Kondisi saat ini juga menimbulkan tantangan bagi pengembang yang mencari lokasi yang menarik untuk diinvestasikan, karena investasi sering kali datang dengan risiko yang sangat tinggi. Oleh karena itu, dalam peta jalan ini disarankan untuk menggunakan pendekatan *top-down* untuk proyek angin di masa depan di mana Pemerintah menyederhanakan pemilihan lokasi proyek angin dan bertanggung jawab atas bagian awal persiapan proyek. Pendekatan ini terdiri dari langkah-langkah berikut:

Langkah 1. Identifikasi lokasi-lokasi energi angin potensial. Melakukan penelitian yang tepat (menggunakan perangkat lunak pemodelan yang lebih sesuai untuk penilaian medan yang kompleks seperti GRASP) pada area-area yang memiliki potensi cukup untuk dimasukkan dalam daftar pendek lokasi PLTB potensial.

Langkah 2. Identifikasi go-zones dalam lokasi energi angin potensial. Penghapusan "no-go zones" (misalnya, pemukiman, hutan lindung, area ekonomi/komersial, dll.) dari lokasi energi angin potensial, untuk menentukan go-zone.

Langkah 3. Verifikasi karakteristik angin di lokasi energi angin potensial. Direkomendasikan kepada Pemerintah (PLN, anak perusahaan PLN, atau ESDM) untuk melakukan pengukuran ini dan menawarkannya sebagai bagian dari data lokasi yang akan diterima oleh peserta lelang selama proses tender proyek. Dengan cara ini, pendekatan standar pengumpulan data angin dapat digunakan untuk semua proyek dan mencegah proliferasi pembangunan banyak tiang meteorologi (*meteorological mast* atau *met mast*) di wilayah yang sama oleh pengembang yang saling bersaing. Alhasil, beban keuangan pengembang yang ingin berpartisipasi dalam tender akan sangat berkurang, menciptakan sektor energi angin yang lebih berkelanjutan dan sehat.

Langkah 4. Pengembangan model prakiraan jangka panjang yang lebih akurat. Prakiraan hasil produksi tenaga listrik yang lebih tepat dan dengan jangka waktu yang lebih panjang akan meningkatkan kemungkinan pemanfaatan pembangkit yang kurang "gesit" dengan kebutuhan bahan bakar yang lebih hemat biaya, seperti PLTU dan pembangkit listrik siklus gabungan, untuk menyeimbangkan tenaga angin yang bersifat variabel dalam sistem tenaga listrik. Untuk mencapai hal ini, penting untuk mengembangkan model prakiraan canggih yang menggunakan data meteorologi, data waktu nyata dari pembangkit listrik tenaga angin (pembangkit listrik tenaga bayu/PLTB) yang beroperasi, dan teknologi penginderaan jarak jauh.

Ketersediaan data spasial dan proses terstandardisasi

Peta jalan ini mempromosikan peningkatan ketersediaan data spasial dan proses terstandardisasi melalui tiga poin utama berikut:

Digitalisasi peta geospasial

Disarankan bahwa semua peta geospasial yang diperlukan untuk proses pemilihan lokasi harus tersedia secara digital. Untuk mewujudkan hal tersebut, Pemerintah Pusat harus mendukung digitalisasi informasi ini untuk disiapkan oleh masing-masing lembaga pemilik data. Pedoman khusus harus disediakan untuk menyelaraskan proses, yaitu, untuk memastikan bahwa informasi diproses menggunakan standar yang sama.

Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi

Beberapa kendala berlaku untuk memilih zona yang tepat untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin yang potensial. Selain dari beberapa standar dalam SNI untuk energi angin, panduan yang jelas mengenai kriteria analisis dan pertimbangan untuk dampak lingkungan dan sosial dari pembangkit tenaga angin belum ada di Indonesia. Rekomendasi dari rencana kerja ini adalah untuk mengembangkan pedoman tersebut, menggunakan tabel terlampir yang menampilkan beberapa contoh pilihan.

Subyek	Kriteria	Pertimbangan
Karakteristik angin	<ul style="list-style-type: none"> Penerapan nilai ambang batas untuk kecepatan angin, tingkat turbulensi, geser angin, konsistensi, dll. 	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristik angin vs. biaya investasi untuk infrastruktur (misalnya di medan kompleks yang belum dikembangkan) Benda-benda di dekatnya (misalnya bangunan besar) yang mengganggu aliran angin bebas Arah angin yang berlaku dalam kaitannya dengan prospek medan, mempertimbangkan wake effect yang dapat terjadi
Logistik/akses	Jarak maksimum dari pelabuhan ke lokasi	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi akses jalan Peningkatan infrastruktur yang diperlukan
Hunian di sekitar lokasi	<ul style="list-style-type: none"> Jarak minimum ke kawasan perkotaan atau perumahan dan industri, dengan mempertimbangkan kebisingan, bayangan berkedip, dan keselamatan eksternal Jarak minimum ke bandara dan area militer 	<ul style="list-style-type: none"> Potensi offtake (konsumsi) tenaga listrik langsung dari kawasan industri terdekat Gangguan bagi penduduk sekitar selama operasi logistik dan konstruksi
Topografi dan geoteknik	<ul style="list-style-type: none"> Elevasi dan kemiringan maksimum untuk konstruksi ladang angin Level maksimum cut and fill yang diperlukan untuk fondasi dan infrastruktur (padat modal) 	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi tanah menentukan jenis fondasi untuk turbin angin Tanah lunak dan tanah dengan porositas (void) atau risiko likuefaksi harus dihindari Risiko seismik (termasuk gempa bumi dan tanah longsor) Risiko banjir Risiko petir

Merancang pedoman untuk pengembangan angin di Indonesia

Untuk menetapkan standar kualitas tinggi pengembangan PLTB di Indonesia, penting bagi pengembang proyek dan investor untuk dipandu tentang apa yang diharapkan dari mereka selama tahap pengembangan proyek. Sebuah pedoman, yang mencakup tidak hanya harapan dan persyaratan Pemerintah, tetapi juga persyaratan dari bank untuk pembiayaan proyek untuk memastikan kelancaran proses uji tuntas, dengan demikian harus dirumuskan. Ada beberapa aspek penting untuk memastikan efektivitas pedoman ini: Konsistensi, Transparansi, Kejelasan, dan Tanggung Jawab.

Kebijakan/peraturan dan perizinan

Penyempurnaan kebijakan/regulasi dan proses perizinan percepatan pengembangan energi angin dapat dilakukan dengan tiga poin utama sebagai berikut:

Penentuan kondisi utama untuk peraturan dan perizinan di sektor angin

- **Konsistensi:** Pengembang dan investor harus yakin bahwa regulasi dan proses perizinan selalu diterapkan secara konsisten dan teliti.
- **Transparansi:** Perubahan yang disarankan terhadap kebijakan atau peraturan harus diumumkan dengan tepat waktu dan sebaiknya melibatkan konsultasi dengan pemangku kepentingan utama (swasta) di sektor angin. Selain itu, dibutuhkan batasan yang jelas namun wajar mengenai bagaimana revisi ini berlaku untuk proyek yang sedang berlangsung dan proyek masa depan.
- **Kejelasan:** Kriteria evaluasi untuk aplikasi izin harus wajar, jelas didefinisikan dari awal, dan merujuk pada standar yang telah diterbitkan.
- **Tanggung jawab:** Tumpang tindih antara persyaratan dan studi dari otoritas yang berbeda harus dicegah. Studi khusus harus dievaluasi oleh satu otoritas untuk persetujuan.

Perbaikan berkelanjutan pada sistem OSS (Online Single Submission)

Prosedur perizinan yang lebih standar dan transparan akan mengurangi ketidakpastian proyek. Dengan demikian, perbaikan berkelanjutan sangat penting, dengan memantau secara aktif mengumpulkan umpan balik dari pemangku kepentingan terkait, seperti investor dan lembaga pemerintah terkait. Bila memungkinkan, disarankan untuk membuat program percepatan untuk proses perizinan proyek pembangkit tenaga angin, yang tunduk pada pemenuhan dokumen persyaratan dan prasyarat untuk izin tertentu.

Memperlancar proses pengadaan tanah

Pemerintah dan pengembang proyek perlu terlibat dalam perencanaan menyeluruh, pendekatan terhadap masyarakat, dan penilaian dampak lingkungan. Penting untuk mempertimbangkan implikasi sosial dan lingkungan dari pembebasan lahan, memastikan bahwa transisi ke sumber energi yang lebih bersih sejalan dengan tujuan keberlanjutan yang lebih luas. Juga direkomendasikan untuk merumuskan rencana pendekatan nasional yang lebih baik untuk mempercepat proses pembebasan yang mempertimbangkan nilai-nilai pemilik tanah dan penduduk setempat.

Aktivitas penelitian dan pengembangan (*Research and Development / R&D*)

Peta jalan ini merekomendasikan aksi tertentu untuk meningkatkan tataran R&D energi angin di Indonesia.

Pemrioritasan topik R&D khusus untuk pengembangan energi angin

Berdasarkan tiga tantangan mendasar utama yang memerlukan R&D lebih lanjut dan studi strategis, berikut adalah topik-topik penelitian kunci yang ditetapkan sebagai prioritas:

- Persiapan *pipeline* proyek yang terperinci untuk implementasi, berdasarkan angka yang aktual dan lebih realistis atas target kapasitas terpasang PLTB
- Analisis biaya-manfaat pada pengembangan kapasitas industri Indonesia untuk pembuatan komponen turbin angin dalam negeri
- Penelitian tentang bagaimana masalah terkait transmisi karena intermiten PLTB dan sistem jaringan yang lemah dapat diselesaikan

Peningkatan kolaborasi R&D secara internasional

Untuk mencapai target pengembangan angin di Indonesia, diperlukan peningkatan pendanaan R&D. Untuk kolaborasi R&D secara internasional, bank pembangunan multilateral (MDB) dapat berfungsi sebagai sumber pendanaan yang vital. Fasilitas pembiayaan dapat disesuaikan untuk mendukung berbagai kebutuhan kasus per kasus. Bank pembangunan bilateral juga memainkan peranan penting dalam menyediakan dana untuk proyek-proyek pembangunan. Contoh lain adalah *Asian Development Bank* (ADB) yang membentuk dan mendanai *Energy Transition Mechanism* pada tahun 2021. Untuk mempercepat pensiun dini pembangkit listrik tenaga batu bara yang beroperasi, ADB menyiapkan dana untuk pembiayaan kembali pembangkit listrik tenaga batu bara yang ada, mempercepat perencanaan pensiun pembangkit, dan mengganti pembangkit tersebut dengan alternatif pembangkit listrik yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Kapasitas industri

Industri angin di Indonesia masih dalam tahap yang sangat prematur. Sejauh ini, hanya menara turbin angin untuk keperluan ekspor yang diproduksi di Indonesia. Selain itu, dua PLTB yang telah didirikan selama ini sangat bergantung pada para ahli dari luar Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada ruang yang signifikan untuk meningkatkan kapasitas industri untuk sektor angin Indonesia. Kapasitas industri tersebut dapat dibagi menjadi dua aspek:

Pengembangan rantai pasokan lokal

Ketika mempertimbangkan pengembangan rantai pasokan dalam negeri, hal-hal berikut harus diperhitungkan. Sebagaimana disebutkan dalam subbagian topik prioritas R&D, analisis biaya-manfaat yang tepat pada pengembangan kapasitas industri Indonesia untuk pembuatan komponen turbin angin lokal disarankan untuk dilakukan terlebih dahulu. Sebuah tantangan besar yaitu rantai pasokan dalam negeri membutuhkan investasi besar dan *pipeline* proyek untuk mendorong pihak manufaktur (dan investor) untuk mendirikan pabrik di Indonesia. Untuk membangun *pipeline* semacam itu, banyak tindakan telah teridentifikasi di bidang utama lainnya dari peta jalan ini.

Pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin

Hal ini harus mempertimbangkan dua tantangan mendasar, yaitu kurangnya pengetahuan dalam negeri tentang teknologi terkait dan terbatasnya ketersediaan tenaga kerja dalam negeri yang terampil. Tindakan tertentu dapat diambil untuk mengatasi tantangan ini, seperti yang diusulkan dalam tabel terlampir (contoh terbatas).

Aksi	Aktivitas
Identifikasi kebutuhan dan standar industri	Hal ini memerlukan identifikasi keterampilan dan sertifikasi khusus yang diperlukan dalam industri angin. Posisi yang mungkin termasuk meliputi teknisi turbin angin, teknisi listrik, spesialis keselamatan, dan manajer proyek. Penting juga untuk memahami standar keselamatan industri dan persyaratan peraturan.
Libatkan pemangku kepentingan	Kolaborasi harus dibentuk dengan asosiasi industri, lembaga pemerintah daerah, pengembang proyek angin, dan lembaga pendidikan (internasional) untuk berkolaborasi dalam pendidikan dan sertifikasi tenaga terampil.
Kembangkan kurikulum	Pembuatan kurikulum untuk pengembangan keahlian dapat mencakup pengetahuan teoritis dan keterampilan praktis yang relevan dengan industri angin. Penting untuk memastikan bahwa kurikulum tersebut selaras dengan standar industri dan peraturan keselamatan. Kurikulum dapat mencakup modul tentang operasi dan pemeliharaan turbin angin, sistem kelistrikan, prosedur keselamatan, dan pertimbangan dampak terhadap lingkungan.
Pilih penyedia pelatihan	Hal ini mencakup pemilihan mitra atau penyedia pelatihan (misalnya sekolah teknik, <i>community college</i> , atau organisasi pelatihan khusus) untuk melaksanakan program pelatihan. Bagian dari proses seleksi adalah untuk memastikan bahwa penyedia ini memiliki instruktur yang berkualitas dengan pengalaman industri yang relevan.
Pendanaan dan sumber daya	Mendapatkan pendanaan adalah Langkah penting untuk memulai program pelatihan. Pendanaan dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk hibah pemerintah, sponsor industri, bank pembangunan, dan pendanaan internasional (misalnya JETP). Berbagai sumber daya harus digunakan untuk merancang dan mewujudkan fasilitas pelatihan, peralatan, pengembangan kurikulum, dan materi pelatihan.
Aksesibilitas dan inklusivitas	Program pelatihan harus dapat diakses oleh beragam kelompok peserta untuk mencapai keseimbangan gender dan melibatkan komunitas yang kurang terwakili atau termarginalisasi. Salah satu pilihan untuk dipertimbangkan adalah menawarkan beasiswa atau bantuan finansial kepada mereka yang mungkin menghadapi hambatan ekonomi untuk berpartisipasi.

Infrastruktur

Berdasarkan tantangan yang teridentifikasi, aksi yang direkomendasikan berikut dimasukkan dalam peta jalan untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan infrastruktur.

Pengembangan sistem transmisi, peningkatan, dan interkoneksi antar pulau

- Perencanaan dan pengembangan untuk perluasan jaringan harus disinkronisasikan dengan perencanaan dan pengembangan proyek energi terbarukan (termasuk PLTB darat). Setelah identifikasi lokasi energi angin yang potensial, PLN perlu melakukan tindakan untuk mempersiapkan potensi perluasan jaringan (dengan kapasitas yang memadai) ke lokasi PLTB.
- Selain perluasan jaringan ke lokasi PLTB, keandalan umum dan peningkatan stabilitas jaringan oleh PLN (dengan kapasitas yang cukup) merupakan persyaratan penting untuk memungkinkan evakuasi listrik dari energi terbarukan variabel.
- Dalam jangka panjang, Indonesia akan membutuhkan lebih banyak koneksi antarpulau untuk menghubungkan, misalnya, jaringan di Pulau Kalimantan dengan jaringan di Pulau Jawa. Hal yang disebut *Indonesia Supergrid* ini akan mengarah pada optimalisasi pemanfaatan sumber energi terbarukan secara nasional dan menciptakan jaringan yang besar dan stabil di mana produksi listrik variabel, *dispatchable*, dan beban dasar dapat beroperasi dalam keseimbangan.

Penilaian mendalam tentang insentif untuk integrasi BESS

Penilaian mendalam terhadap insentif untuk pengintegrasian BESS di daerah-daerah dengan jaringan lemah namun memiliki potensi energi terbarukan sangat penting untuk mengatasi tantangan energi, mendorong keberlanjutan, meningkatkan keandalan jaringan, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Upaya ini selaras dengan tujuan transisi yang lebih luas untuk infrastruktur energi yang lebih bersih dan lebih tangguh.

Identifikasi potensi sinergi dalam penggunaan perbaikan jalan dan pelabuhan oleh penerima manfaat

Untuk PLTB darat, infrastruktur jalan yang andal diperlukan untuk mengangkut komponen turbin angin yang sangat besar ke lokasi tujuan. Hal ini tidak dapat dihindari dan, dalam banyak kasus, akan menjadi elemen biaya yang signifikan dalam kasus bisnis sebuah proyek. Hal yang bisa ditingkatkan adalah menghindari pembangunan infrastruktur jalan yang hanya didedikasikan untuk pembangunan dan pemeliharaan PLTB saja. Manfaat akan lebih besar jika sinergi dapat ditemukan antara akses ke PLTB dan penggunaan jalan yang sama (kemungkinan dengan beberapa perluasan) untuk menghubungkan wilayah ekonomi, menghubungkan desa-desa terpencil, atau mengurangi tekanan pada prasarana yang ada. Jenis sinergi yang sama juga dapat dicari dalam pengembangan pelabuhan. Perbaikan yang diperlukan dari fasilitas pelabuhan untuk membongkar komponen turbin angin juga dapat bermanfaat bagi pemilik pelabuhan dalam jangka panjang (misalnya *crane* pembongkaran yang lebih berat dan halaman penyimpanan yang lebih besar).

Pendanaan dan *bankability*

Kelayakan teknis proyek angin darat adalah salah satu prasyarat kunci. Syarat kedua adalah *bankability* proyek tersebut. *Bankability* tergantung pada profil risiko dan pengembalian biaya proyek yang dapat diprediksi dan transparan bagi pemberi pinjaman dan investor. Faktor utama *bankability* adalah:

Insentif untuk mengatasi tingginya “biaya pembelajaran”

Pada sektor energi angin yang belum matang seperti di Indonesia, pengembangan PLTB diasosiasikan dengan "biaya pembelajaran" yang signifikan. Hal ini disebabkan kurangnya proses yang terstandarisasi, kapasitas industri, dan infrastruktur. Meskipun biaya tinggi seperti itu benar-benar normal di sektor berkembang, dengan insentif (keuangan) yang tepat, biaya pembelajaran dapat diatasi dan berpotensi menciptakan kasus bisnis yang layak.

Kondisi Perjanjian Jual-Beli Tenaga Listrik (PJBL) dengan PLN

Untuk jangka waktu 20-30 tahun, perjanjian tersebut menentukan bagaimana PLTB akan mengembalikan investasinya dan menciptakan laba atas investasi bagi para pemberi pinjaman dan investor. Oleh karena itu, ketentuan dalam PJBL harus masuk akal dan konsisten untuk menghasilkan proyek yang *bankable*.

Proses pengadaan

Meskipun proses pengadaan PLN didefinisikan dengan jelas di atas kertas, berdasarkan wawancara yang dilakukan, proses tersebut masih dianggap sebagai hambatan utama untuk keberhasilan pengembangan energi angin karena beberapa faktor. Tantangan berikut membutuhkan perhatian untuk diatasi dalam proses pengadaan:

- Mempertimbangkan pembiayaan proyek *non-recourse*, durasi *financial close* yang akan dicapai setelah PJBL diberikan (tanggal efektif PJBL), diharapkan lebih dari 6 bulan, yang ditetapkan dalam jadwal tender. Hal ini perlu disesuaikan dalam proses pengadaan.
- Diperlukan lebih dari 1 bulan untuk mendapatkan semua perizinan dan studi yang diperlukan setelah pengumuman pemenang tender. Waktu yang cukup perlu dialokasikan untuk hal ini selama proses pengadaan.
- Penjelasan diperlukan jika tender dihentikan sementara atau dibatalkan (yang telah terjadi beberapa kali dalam beberapa tahun terakhir) untuk mendorong transparansi.
- Proses pengadaan akan meningkat secara signifikan (dalam hal risiko yang wajar bagi pengembang, jaminan kualitas, dan konsistensi) jika Pemerintah akan memegang tanggung jawab dalam persiapan proyek PLTB (misalnya melakukan pengukuran angin, melaksanakan studi pra-kelayakan, dan mengumpulkan data spasial).
- Penerbitan lini masa yang jelas (bulan, tahun) kapan proyek akan ditenderkan. Lini masa seperti itu harus mencakup *pipeline* proyek untuk tahun-tahun mendatang, yang memungkinkan pengembang untuk mempersiapkan sumber daya secara tepat waktu dan memulai persiapan (yaitu studi) untuk proses tender yang akan datang. Hal ini juga akan menciptakan perilaku pasar yang lebih wajar, sehingga mencegah semua pengembang hanya berfokus pada tender proyek berikutnya dan bukan pada strategi investasi jangka panjang.

Rencana Aksi	Tahun								Peranan Pemangku Kepentingan										
	2023	2024	2023	2026	2023	2028	2023	2030	ESDM	Kemenkeu	PUPR	KLHK	KATR/BPN	BRIN	Kemenperin	Kemennes	BSN	PLN	Asosiasi & Industri
Ketersediaan data angin																			
Langkah 1: Identifikasi lokasi-lokasi energi angin potensial	→								R/A					C				I	C
Langkah 2: Identifikasi <i>go-zones</i> dalam lokasi energi angin potensial		→							R/A	C	C	C	C	C				I	C
Langkah 3: Verifikasi karakteristik angin di lokasi energi angin potensial			→						R/A	C				C				R/A	C
Langkah 4: Pengembangan model prakiraan jangka panjang yang lebih akurat				→					R/A	C				C				R/A	C
Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi																			
Digitalisasi peta geospasial	→								C			R/A	R/A						I
Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi	→								R			C	C						C
Merancang pedoman untuk pengembangan energi angin di Indonesia	→								R/A						C	C	C	C	C
Kebijakan/peraturan dan perizinan																			
Penentuan kondisi utama untuk peraturan dan perizinan di sektor angin	→								R/A	C					C	C		C	C/I
Perbaikan berkelanjutan sistem OSS	→															R/A			C/I
Memperlancar proses pengadaan tanah	→												C			R/A			C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

Rencana Aksi	Tahun									Peranan Pemangku Kepentingan										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ESDM	Kemenkeu	PUPR	KLHK	KATR/BPN	BRIN	Kemenperin	KEMENVE	BSN	PLN	Asosiasi & Industri	
Aktivitas penelitian dan pengembangan																				
Pemrioritasan topik R&D khusus untuk pengembangan energi angin										A	C				R	C	C	I	C	C/I
Peningkatan kolaborasi R&D secara internasional										A					R		C	I	C	C/I
Kapasitas industri																				
Pengembangan rantai pasokan lokal										A	C				C	R	C	C	C	C
Pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin										A							R	C	C	
Infrastruktur																				
Perluasan sistem transmisi, peningkatan, dan interkoneksi pulau										A	C	I	I				C		R/A	I
Penilaian mendalam tentang insentif untuk integrasi BESS										C	C						C		R/A	C
Identifikasi potensi sinergi dalam penggunaan perbaikan jalan dan pelabuhan oleh penerima manfaat										C	A	R				C	C		C	C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

Rencana Aksi	Tahun									Peranan Pemangku Kepentingan										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ESDM	Kemenkeu	PUPR	KLHK	KATR/BPN	BRIN	Kemenperin	KEMENVE	BSN	PLN	Asosiasi & Industri	
Pendanaan dan <i>bankability</i>																				
Menerapkan mekanisme dukungan yang memberikan insentif yang cukup kepada investor									C	R/A						C	C			C
Kesepakatan pada PJBL yang <i>bankable</i> dan seimbang									R	C							I			R/A
Proses pengadaan																				
Menentukan proses pengadaan yang kuat dan andal dengan <i>pipeline</i> dan lini masa proyek yang wajar									C/A								C			R/A

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

Kesimpulan dan rekomendasi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk peta jalan ini, terlihat jelas bahwa sejauh ini pemanfaatan energi angin di Indonesia belum memenuhi harapan. Masih menjadi pertanyaan apakah 60,6 GW angin darat (dari RUEN) adalah potensi yang realistis, dan apakah angin darat 8,5 GW yang akan direalisasikan pada tahun 2030 (dari *JETP Comprehensive Investment and Policy Plan*) adalah target yang realistis. Namun demikian, setelah merealisasikan hanya 0,13 GW kapasitas PLTB darat terpasang hingga 2023 dan hanya memiliki 0,14 GW proyek angin pada tahap pra-konstruksi menunjukkan tantangan signifikan terhadap pengembangan energi angin yang masih ada di depan.

Seperti yang diperkenalkan dalam Bab 1, tujuan dari penelitian ini adalah untuk akhirnya menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Apa pelajaran yang didapat dari studi dan proyek sebelumnya di sektor energi angin darat Indonesia?
2. Berdasarkan pelajaran yang didapat, apa kesenjangan/hambatan yang ada dan menghambat percepatan pengembangan proyek angin darat di masa depan?
3. Apa langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi kesenjangan/hambatan tersebut, siapa yang perlu mengambil langkah-langkah yang mana, dan kapan serta bagaimana langkah-langkah tersebut harus diambil?

Pertanyaan pertama telah dijawab dalam Bab 2 dan 3 dari peta jalan ini. Berdasarkan studi kepustakaan yang dilakukan, kedua bab ini telah memberikan wawasan menyeluruh tentang status pengembangan energi angin saat ini di Indonesia. Bab-bab tersebut selanjutnya menunjukkan berbagai macam pemangku kepentingan (dikategorikan dalam 20 kelompok pemangku kepentingan) yang terlibat dalam pengembangan PLTB. Daftar pemangku kepentingan yang ekstensif ini merupakan faktor yang menyulitkan dalam menyelaraskan antara begitu banyak pihak dalam mengembangkan angin darat. Selain itu, kerangka peraturan di mana kegiatan pengembangan energi angin berlangsung sangat ekstensif dan sulit dipahami oleh para pemangku kepentingan yang terlibat. Kerangka kerja yang luas tersebut mencakup kebijakan, peraturan, perizinan, standar teknis, proses pengadaan, proses pembebasan lahan, dan peraturan tentang kredit karbon. Meskipun memiliki kerangka peraturan yang solid itu penting, kerangka kerja semacam itu juga dapat memperpanjang birokrasi, memperpanjang durasi proyek, dan meningkatkan kerumitan proses pengembangan.

Pertanyaan kedua telah dijawab di Bab 4 peta jalan ini. Wawancara yang telah dilakukan untuk peta jalan ini telah menjelaskan banyak tantangan/hambatan yang dirasakan oleh para pemangku kepentingan yang terlibat dalam energi angin. Hambatan tersebut telah dikategorikan dalam 8 bidang utama:

- Ketersediaan data angin
- Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi
- Kebijakan/peraturan dan perizinan
- Aktivitas penelitian dan pengembangan
- Kapasitas industri
- Infrastruktur
- Pembiayaan dan *bankability*
- Proses pengadaan

Hambatan-hambatan ini perlu diatasi untuk mendorong pengembangan energi angin yang pesat di Indonesia di tahun-tahun mendatang secara realistis. Tanpa tindakan nyata yang diambil, kecepatan proyek angin yang sama (atau bahkan lebih lambat) akan terwujud, seperti yang telah terjadi dalam 10 tahun terakhir. Sama mengkhawatirkannya, *status quo* tersebut dapat menyebabkan iklim investasi yang kurang menarik di Indonesia bagi investor yang ingin berinvestasi di energi angin (dan mungkin juga jenis energi terbarukan lainnya).

Pertanyaan ketiga telah dijawab di Bab 5. Dalam peta jalan ini, berbagai tindakan yang direkomendasikan telah diidentifikasi untuk jangka pendek, menengah, dan panjang untuk masing-masing dari 8 bidang utama. Secara logis, hambatan jangka pendek dan solusi yang diusulkan seharusnya menjadi prioritas utama, tanpa mengabaikan hambatan dan solusi jangka menengah dan panjang. Dalam jangka pendek, solusi perlu ditemukan untuk mengatasi tidak tersedianya data angin dan spasial, kurangnya insentif pembiayaan yang menarik, kurangnya *bankability* PJBL, dan proses pengadaan PLN yang kurang transparan.

Peta jalan ini menyediakan berbagai solusi untuk tantangan tersebut dalam suatu kesimpulan umum: Pemerintah Indonesia harus menjadi pemangku kepentingan utama dalam memulai dan menerapkan solusi ini. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan PLN adalah otoritas utama dalam Pemerintahan untuk mengambil alih pelaksanaan, dengan dukungan dari kementerian lain (Kementerian Agraria dan Tata Ruang, Kementerian Pekerjaan Umum, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Perindustrian, Kementerian Investasi, dan Kementerian Keuangan). Bahkan menerapkan solusi bisa menjadi sebuah tantangan karena pentingnya keterlibatan banyak pihak dengan kepentingan yang mungkin berbeda. Oleh karena itu, sangat disarankan bagi Pemerintah untuk memasukkan *pipeline* proyek energi angin dalam Proyek Strategis Nasional.

Untuk memastikan keberhasilan pelaksanaan Proyek Strategis Nasional, lembaga Pemerintahan perlu ditunjuk dan diberi wewenang untuk memprakarsai, membuka, dan mengawasi pelaksanaan rencana aksi dalam peta jalan ini. Hal ini dapat dilakukan dengan membentuk komite lintas kementerian yang menyeluruh untuk energi angin atau dengan menunjuk Kementerian Koordinator (misalnya Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman & Investasi) untuk memimpin implementasinya. Melanjutkan *Wind Power Technical Working Group* (TWG) juga dapat bermanfaat, sehingga koordinasi yang erat antara pemangku kepentingan terkait dapat dipertahankan. Hal ini mengarah pada rekomendasi pertama dari peta jalan ini:

Rekomendasi 1: Menyertakan pipeline proyek energi angin dalam Proyek Strategis Nasional dan lembaga Pemerintahan sebagai pemimpin dalam memprakarsai, membuka, dan mengawasi pelaksanaan rencana aksi dalam peta jalan ini

Poin diskusi yang sering terdengar adalah energi angin tidak cukup maju di Indonesia karena dana investasi yang tersedia tidak mencukupi. Namun, berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan bahwa dana investasi telah tersedia untuk proyek aktual, tetapi hanya dapat digunakan jika kondisi investor terpenuhi, yaitu teratasinya hambatan-hambatan. Investasi masih diperlukan, tetapi tidak secara langsung untuk membiayai proyek, melainkan untuk membiayai faktor pendukung proyek-proyek ini. Faktor pendukung ini dapat diringkas dalam hal Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis.

Sebuah catatan penting bahwa negara-negara yang telah memasang beberapa GW energi angin memang memiliki lebih banyak keahlian di bidang ini daripada Indonesia sejauh ini. Oleh karena itu, mengizinkan dan mendorong tenaga ahli asing untuk berpartisipasi dalam program Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis merupakan prasyarat penting. Hal ini bisa diwujudkan misalnya dalam bentuk membantu PLN dalam meningkatkan proses pengadaan dan membantu ESDM dalam melakukan pemilihan lokasi energi angin yang tepat. Contoh lain adalah bantuan bagi OJK dan bank dalam negeri dalam membangun pemahaman yang lebih baik tentang proses uji tuntas untuk proyek angin. “Membantu” harus dipahami sebagai program pelatihan, penempatan staf interim, sesi berbagi pengetahuan, dll. Untuk memfasilitasi program Bantuan Teknis ini, hal-hal tersebut harus terintegrasi ke dalam program reguler (tahunan) dari lembaga Indonesia yang relevan (misalnya OJK dan DJEBTKE).

Dengan cara ini, Indonesia dapat mengatasi tantangan-tantangan yang disebutkan sebelumnya, dengan kemungkinan “melompati” tantangan-tantangan lain yang pernah dihadapi oleh negara-negara asing yang berpengalaman. Hal ini mengarah pada rekomendasi kedua berdasarkan peta jalan ini:

Rekomendasi 2: Menyiapkan program Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis di berbagai otoritas Indonesia dengan dukungan internasional (misalnya JETP) untuk melaksanakan rencana aksi peta jalan untuk mengatasi hambatan yang teridentifikasi

Penelitian lanjutan

Sebagai catatan terakhir, peta jalan ini adalah bagian dari proyek yang lebih besar yang disebut *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Dalam proyek ini, akan dibuat tiga keluaran tambahan, yaitu:

- Melakukan peninjauan persyaratan perizinan untuk sektor angin Indonesia dan untuk pemilihan lokasi angin
- Memetakan potensi energi angin dan menganalisis kemungkinan kesenjangan untuk 11 lokasi angin terpilih
- Menetapkan panduan peluang investasi untuk sektor angin darat.

Tujuan dari dibuatnya keluaran tambahan ini adalah agar dapat memberikan wawasan lebih lanjut tentang cara mendorong perkembangan energi angin di Indonesia.

Daftar isi

1	Pendahuluan	1
1.1	Latar belakang	1
1.2	Tujuan	2
1.3	Metodologi	3
1.4	Ruang lingkup	4
1.5	Struktur laporan	4
2	Kondisi pengembangan energi angin di Indonesia saat ini	5
2.1	Potensi angin darat	5
2.2	Kapasitas PLTB darat saat ini	7
2.3	Analisis terhadap pemangku kepentingan utama di sektor angin darat	7
3	Kerangka regulasi energi angin di Indonesia	14
3.1	Energi angin dalam konteks perencanaan energi dan listrik	18
3.2	Aspek hukum, lisensi, dan perizinan	22
3.3	Tingkat harga patokan tertinggi listrik untuk tenaga angin	24
3.4	Standar dalam teknologi energi angin	25
3.5	Kebijakan mengenai persyaratan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)	27
3.6	Persyaratan lingkungan	28
3.7	Pembebasan lahan dan dampak pada wilayah	28
3.8	Kredit karbon	29
4	Tantangan dalam pengembangan energi angin	31
4.1	Ketersediaan data angin	34
4.1.1	Melakukan Penilaian Sumber Daya Angin	35
4.1.2	Tantangan dalam ketersediaan data angin	36
4.2	Ketersediaan data spasial dan proses terstandardisasi	37
4.2.1	Panduan tentang dampak PLTB	37
4.2.2	Data spasial	38
4.2.3	Proses pengembangan terstandardisasi	40
4.3	Kebijakan/peraturan dan perizinan	40
4.4	Aktivitas penelitian dan pengembangan (<i>Research & Development</i> atau R&D)	42
4.5	Kapasitas industri	42
4.6	Infrastruktur	44
4.6.1	Infrastruktur transmisi	44
4.6.2	Sifat intermiten PLTB	45
4.6.3	Akses logistik	46
4.7	Pendanaan dan <i>bankability</i>	47
4.7.1	Pendanaan	47
4.7.2	<i>Bankability</i> PJBL/PPA	48
4.8	Proses pengadaan	50

5	Peta jalan energi angin darat	51
5.1	Peran pemangku kepentingan dalam mengimplementasikan peta jalan	52
5.2	Peta jalan bidang utama untuk pengembangan energi angin	53
5.2.1	Ketersediaan data angin	53
5.2.2	Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi	57
5.2.3	Kebijakan/peraturan dan perizinan	62
5.2.4	Aktivitas penelitian dan pengembangan (<i>Research & Development</i> atau R&D)	65
5.2.5	Kapasitas industri	67
5.2.6	Infrastruktur	69
5.2.7	Pendanaan dan <i>bankability</i>	72
5.2.8	Proses pengadaan	75
6	Kesimpulan dan rekomendasi	77
7	Daftar pustaka	80
8	Lampiran 1: Potensi energi angin	82
9	Lampiran 2: Pemetaan mitra pembangunan	83

Daftar gambar

Gambar 1: Sebuah ilustrasi grafis potensi energi angin Indonesia pada ketinggian 100 meter (Technical University of Denmark, 2023)	5
Gambar 2: Peta potensi energi angin di Indonesia (BBSP KEBTKE, 2023)	6
Gambar 3: Sebuah bagan formal yang menampilkan jaringan kompleks pemangku kepentingan di sektor energi terbarukan (Simanjuntak, 2021)	8
Gambar 4: Struktur organisasi DEN (Simanjuntak, 2021)	10
Gambar 5: Penggambaran kerangka peraturan Indonesia untuk perencanaan energi dan ketenagalistrikan (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023a)	19
Gambar 6: Kapasitas terpasang PLTB yang direncanakan sesuai dengan RUEN (Dewan Energi Nasional, 2017)	19
Gambar 7: Representasi grafis dari rencana pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan sesuai RUPTL PLN 2021-2030 (PLN, 2021)	21
Gambar 8: Peta angin dan peta medan Tanah Laut, Kalimantan Selatan (Technical University of Denmark, 2023)	34
Gambar 9: Komponen utama dari sebuah turbin angin (Bildierzweg - stock.adobe.com, 2022)	43
Gambar 10: Jaringan transmisi saat ini di wilayah Sukabumi; area Pelabuhan Ratu ditandai dengan garis putus-putus merah, sementara lokasi indikatif dari PLTB yang direncanakan ditunjukkan dalam area oval kuning (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023b)	45
Gambar 11: Proses pengadaan PLN untuk proyek energi angin yang ditetapkan oleh IPP (PLN, 2022)	50
Gambar 12: Perbandingan model untuk potensial PLTB darat (Pondera, 2023)	54
Gambar 13: Contoh peta perencanaan penggunaan lahan interaktif (Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning, n.d.)	58

Daftar tabel

Tabel 1: Target emisi gas rumah kaca Indonesia di Sektor Energi pada tahun 2060; diadaptasi dari (DJK KESDM, 2023)	1
Tabel 2: Status potensi dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023a)	2
Tabel 3: Daerah yang berpotensi mengembangkan energi angin secara ekonomis dan teknis berdasarkan kecepatan angin pada ketinggian 30-50 m (EBTKE KESDM, 2017)	6
Tabel 4: Kapasitas terpasang energi angin yang ada di Indonesia (PLN, 2021)	7
Tabel 5: Peraturan terkait pengembangan energi angin	14
Tabel 6: Deskripsi numerik rencana pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan sesuai RUPTL PLN 2021-2030 (PLN, 2021)	21
Tabel 7: Daftar izin yang diperlukan untuk pengembangan PLTB	22
Tabel 8: Tarif patokan tertinggi untuk pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan Peraturan Presiden No. 112/2022 (F = faktor lokasi)	24
Tabel 9: Nilai faktor lokasi (F) berdasarkan Peraturan Presiden No. 112/2022	24
Tabel 10: Standar Nasional Indonesia untuk energi angin, diadaptasi dari (EBTKE KESDM, 2020)	25
Tabel 11: Klasifikasi tantangan dalam pengembangan energi angin	32
Tabel 12: Daftar peta perencanaan tata ruang yang diperlukan untuk tata letak turbin angin	38
Tabel 13: Dimensi tipikal komponen utama turbin angin (dokumen internal yang dianonimkan)	47
Tabel 14: Contoh masalah <i>bankability</i> PJBL menurut investor dan pemberi pinjaman	49
Tabel 15: Daftar pemangku kepentingan yang diusulkan untuk terlibat dalam peta jalan	52
Tabel 16: Rencana aksi untuk bidang utama 'ketersediaan data angin'	57
Tabel 17: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'ketersediaan data angin'	57
Tabel 18: Daftar indikatif kriteria dan pertimbangan untuk pedoman penilaian lokasi	59
Tabel 19: Rencana aksi untuk bidang utama 'ketersediaan data spasial dan proses standardisasi'	62
Tabel 20: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'ketersediaan data spasial dan proses standardisasi'	62
Tabel 21: Rencana aksi untuk bidang utama 'kebijakan/peraturan dan perizinan'	65
Tabel 22: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'kebijakan/peraturan dan perizinan'	65
Tabel 23: Rencana aksi untuk bidang utama "aktivitas penelitian dan pengembangan"	67
Tabel 24: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'aktivitas penelitian dan pengembangan'	67
Tabel 25: Langkah-langkah yang diusulkan untuk pengembangan pengetahuan lokal dan keahlian dalam pengembangan energi angin	68
Tabel 26: Rencana aksi untuk bidang utama 'kapasitas industri'	69
Tabel 27: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama "kapasitas industri"	69
Tabel 28: Rencana aksi untuk bidang utama 'infrastruktur'	72
Tabel 29: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'infrastruktur'	72
Tabel 30: Saran untuk mengatasi masalah <i>bankability</i> PJBL	74
Tabel 31: Rencana aksi untuk bidang utama 'pendanaan dan <i>bankability</i> '	75
Tabel 32: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'pendanaan dan <i>bankability</i> '	75
Tabel 33: Rencana aksi untuk bidang utama 'proses pengadaan'	76
Tabel 34: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama "proses pengadaan"	76

Daftar singkatan

ACE	<i>Annual Contracted Energy</i>
AEAI	Asosiasi Energi Angin Indonesia
AEP	<i>Annual Energy Production</i>
AMDAL	Analisis mengenai dampak lingkungan
BAPPENAS	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
BBSP KEBTKE	Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
BESS	<i>Battery Energy Storage Systems</i>
BIG	Badan Informasi Geospasial
BKPM	Badan Koordinasi Penanaman Modal
BNPB	Badan Nasional Penanggulangan Bencana
BPN	Badan Pertanahan Nasional atau <i>National Land Agency</i>
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional atau <i>National Research and Innovation Agency</i>
BSN	Badan Standardisasi Nasional atau <i>National Standardization Agency</i>
CC	<i>Carbon Credit</i>
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization, and Storage</i>
CER	<i>Certificate of Emission Reduction</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i> atau Dinamika Fluida Komputasional
COD	<i>Commercial Operations Date</i>
COP	<i>Conference of the Parties</i>
DEN	Dewan Energi Nasional atau <i>National Energy Council</i>
DJEBTKE	Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
DJK	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
DPMPSTP	Dinas Penanaman Modal Pelayanan Terpadu Satu Pintu
DPT	Daftar Penyedia Terseleksi
EPC	<i>Engineering, Procurement, and Construction</i>
ESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
FAQ	<i>Frequently Asked Question</i> atau Pertanyaan yang Sering Ditanyakan
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GHG	<i>Greenhouse Gas Emissions</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GISTARU	<i>Geographic Information System</i> Tata Ruang
GRK	Gas Rumah Kaca
GW	Gigawatt

Ha	Hektar
IPP	<i>Independent Power Producer</i>
IUPTLU	Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Umum
JAMALI	Jawa-Madura-Bali
KATR/BPN	Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional
KBLI	Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia
Kemenkeu	Kementerian Keuangan atau <i>Ministry of Finance</i> (MoF)
Kemenkomarves	Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi
Kemenperin	Kementerian Perindustrian atau <i>Ministry of Industry</i> (MoI)
Kemenves/BKPM	Kementerian Investasi atau <i>Ministry of Investment</i> (MoIn)
KEN	Kebijakan Energi Nasional atau <i>National Energy Policy</i>
KKPR	Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atau <i>Ministry of Environment and Forestry</i> (MoEF)
kWh/m²	Kilowatt hours per meter kuadrat
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
LCR	<i>Local Content Requirement</i>
m/s	meters per second
MEAI	Masyarakat Energi Angin Indonesia
MEASNET	<i>Measuring Network of Wind Energy Institutes</i>
MERRA	<i>Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications</i>
METI	Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia
MVA	Megavolt Ampere
MW	Megawatt
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i>
NIB	Nomor Induk Berusaha
NRE	<i>New and Renewable Energy</i>
NZE	<i>Net Zero Emission</i>
O&M	<i>Operation and Maintenance</i>
OJK	Otoritas Jasa Keuangan
OSS	<i>Online Single Submission</i>
PCM	<i>Predicted Capacity Matrix</i>
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
PLTB	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
PLTBm / PLTSa	Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa / Pembangkit Listrik Tenaga Sampah
PLT-ET	Pembangkit Listrik Tenaga – Energi Terbarukan

PLTGU	Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap
PLTMH	Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
PLTP	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PMA	Penanaman Modal Asing
PPA / PJBL	<i>Power Purchase Agreement/Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik</i>
PPKH	Persetujuan Penggunaan Kawasan Hutan
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau <i>Ministry of Public Works and Housing (MoPW)</i>
RACI	<i>Responsibility Assignment Matrix</i>
RE	<i>Renewable Energy</i>
REC	<i>Renewable Energy Certificate</i>
RfP	<i>Request for Proposal</i>
RTRW	Rencana Tata Ruang dan Wilayah
RUED-P	Rencana Umum Energi Daerah Provinsi
RUEN	Rencana Umum Energi Nasional
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional
RUPTL	Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik
SIG	Sistem Informasi Geospasial
SKEA	Sistem Konversi Energi Angin
SLF	Sertifikat Laik Fungsi
SLO	Sertifikat Laik Operasi
SNI	Standar Nasional Indonesia
SPPL	Surat Pernyataan Pengelolaan Lingkungan Hidup
TKDN	Tingkat Komponen Dalam Negeri
TWG	<i>Wind Power Technical Working Group / Kelompok Kerja Teknis Energi Angin</i>
UKL-UPL	Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan
VER	<i>Verified Emissions Reductions</i>
VRE	<i>Variable Renewable Energy</i>
W/m²	Watt per meter kuadrat
WHyPGen	<i>Wind Hybrid Power Generation</i>
WPP	<i>Wind Power Plants</i> atau Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)
WRA	<i>Wind Resource Assessment</i> atau Penilaian Sumber Daya Angin
WTG	<i>Wind Turbine Generators</i> atau Generator Turbin Angin

1 Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Energi memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan penduduk Indonesia dan dalam pembangunan masa depan Indonesia. Menurut *Indonesia Energy Transition Outlook* oleh IRENA (2022), permintaan energi nasional akan meningkat lebih dari tiga kali lipat dari nilainya sekarang karena meningkatnya populasi dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Publikasi tersebut juga menyatakan bahwa tingkat permintaan listrik pada tahun 2050 diperkirakan lima kali lipat dari tingkat permintaan listrik tahun 2022. Untuk memenuhi permintaan tersebut, Indonesia harus mempertimbangkan dengan cermat sumber daya energi yang akan dieksploitasi sesuai dengan upaya mendorong transisi energi.

Pemilihan pemanfaatan sumber daya energi yang cermat sangat relevan karena Indonesia berkomitmen untuk membatasi kenaikan suhu global hingga 1,5°C dan untuk mengurangi emisi sesuai dengan Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP21) di Paris pada tahun 2015. Indonesia juga telah mengeluarkan peta jalan *Net Zero Emission (NZE)* 2060 pada tahun 2022. Skenario awal untuk emisi sektor energi pada tahun 2060, seperti yang dipresentasikan pada COP26 di Glasgow, adalah 401 juta ton CO₂e. Namun, diadakan diskusi lanjutan antara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan kementerian terkait lainnya di Indonesia, dan menghasilkan beberapa penyesuaian untuk mendekati "net zero". Konsolidasi antara kementerian-kementerian ini menghasilkan target emisi gas rumah kaca untuk sektor energi sebesar 129 juta ton untuk mencapai NZE pada tahun 2060, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1: Target emisi gas rumah kaca Indonesia di Sektor Energi pada tahun 2060; diadaptasi dari (DJK KESDM, 2023)

Kategori	Net Zero Emission di sektor energi (juta ton CO ₂ e)		
	KLHK	Skenario awal dipresentasikan di COP 26	Hasil konsolidasi lintas Kementerian
Pembangkit listrik	-66	0	0
Industri	51	231	60 <i>(carbon capture and storage/CCS)</i>
Transportasi	62	149	52
Rumah tangga	41	21	9.6
Niaga			4.4
Lain-lain			3.3
Jumlah	87	401	129

Skenario 129 juta ton CO₂e di atas disusun berdasarkan asumsi PDB yang membaik, peningkatan elektrifikasi di sisi permintaan, penerapan *carbon capture, utilization, and storage* (CCUS) di sektor industri, dan niremisi dari pembangkit listrik. Untuk mencapai NZE di sektor energi, energi terbarukan (*Renewable Energy* atau RE) harus dimanfaatkan secara optimal. Gagasan ini tercermin sampai batas tertentu dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) Indonesia pada tahun 2014 yang menargetkan andil energi terbarukan sebesar 23% dari bauran energi primer pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050.

Indonesia memiliki potensi sumber energi baru dan terbarukan yang besar yang dapat memenuhi kebutuhan energi lokal dan membantu negara mengatasi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Sebagaimana tertuang dalam Kebijakan Energi Nasional, untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi nasional, diperlukan pengembangan dan pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan. Oleh karena itu, pemahaman potensi energi terbarukan di Indonesia akan memberikan manfaat. Tabel berikut menunjukkan status terkini potensi dan pemanfaatan energi terbarukan.

Tabel 2: Status potensi dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023a)

Energi	Potensi (GW)	Pemanfaatan (GW)
Surya	3.294	0,300
Air	95	6,693
Bioenergi	57	3,088
Angin	155	0,154
Panas bumi	23	2,365
Samudra	63	0
Jumlah	3.689	12,601

Di Indonesia, angin merupakan sumber energi terbarukan yang signifikan. Seperti yang ditampilkan pada tabel di atas, Indonesia diperkirakan memiliki potensi energi angin sebesar 155 GW, terdiri dari 60,6 GW angin darat dan 94,2 GW angin lepas pantai (BBSP KEBTKE, 2023). Namun, pemanfaatan energi angin saat ini hanya 154,3 MW, atau kurang dari 0,1% potensinya.

Mengingat potensi yang sangat besar namun kurang termanfaatkan, penting untuk mengidentifikasi hambatan dan masalah yang perlu dipecahkan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan dalam Kebijakan Energi Nasional dan komitmen internasional yang telah dibuat. *Peta Jalan Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia* ini dibuat untuk mengidentifikasi peluang dan hambatan ini, dan dimaksudkan sebagai panduan untuk mencapai tujuan pengembangan energi angin Indonesia. Meskipun telah ada banyak penelitian dan upaya sebelumnya tentang topik ini, peta jalan ini bertujuan untuk menyusun satu laporan komprehensif yang akan berfungsi sebagai peta jalan khusus untuk sektor energi angin Indonesia.

1.2 Tujuan

Ada dua tujuan yang mendasari perumusan peta jalan ini, yaitu: (i) mengumpulkan, menginventarisasi, dan menyusun studi dan pekerjaan-pekerjaan sebelumnya yang berkaitan dengan sektor energi angin di Indonesia, dan (ii) menentukan serangkaian aksi bertahap dalam lini masa untuk mendukung pengembangan energi angin. Penelitian ini diharapkan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian di bawah ini:

1. Apa pelajaran yang didapat dari studi dan proyek sebelumnya di sektor energi angin darat Indonesia?
2. Berdasarkan pelajaran yang didapat, apa kesenjangan/hambatan yang ada dan menghambat percepatan pengembangan proyek angin darat di masa depan?
3. Apa langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi kesenjangan/hambatan tersebut, siapa yang perlu mengambil langkah-langkah yang mana, dan kapan serta bagaimana langkah-langkah tersebut harus diambil?

1.3 Metodologi

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian yang didefinisikan di atas, metodologi berikut ini akan diterapkan:

- Pertanyaan penelitian 1: Studi kepustakaan dilakukan pada literatur dan laporan yang tersedia secara terbuka untuk mendapatkan pelajaran dari studi dan proyek/inisiatif sebelumnya di sektor angin darat. Hasil dari bagian penelitian ini akan dimasukkan ke dalam Bab 2 dan 3.
- Pertanyaan penelitian 2: Wawancara dilakukan dengan berbagai pemangku kepentingan sebagai sarana untuk memperoleh pandangan dan wawasan para pemangku kepentingan tentang rintangan yang relevan dengan pengembangan energi angin darat. Hasil dari bagian penelitian ini akan dimasukkan ke dalam Bab 4.
- Pertanyaan penelitian 3: Wawasan yang dikumpulkan dari studi kepustakaan dan wawancara diharapkan untuk mencakup atau menunjukkan berbagai saran untuk mengatasi hambatan ini. Penelitian ini dan penilaian ahli dari para peneliti akan mengarah pada peta jalan di Bab 5.

Selain wawancara 'formal' yang akan dilakukan dengan beberapa pemangku kepentingan, masukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian juga akan diperoleh melalui acara *Wind Power Technical Working Group* (TWG atau Kelompok Kerja Teknis Energi Angin). TWG ini mengumpulkan aktor-aktor penting di sektor energi angin, termasuk perwakilan dari:

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)
- Kementerian Keuangan (Kemenkeu)
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas)
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
- Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (KATR/BPN)
- Kementerian Perindustrian (Kemenperin)
- Kementerian Investasi (Kemenves/BKPM)
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi (Kemenkomarves)
- Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
- Kantor ESDM dari beberapa provinsi dengan potensi energi angin darat
- Badan Usaha Milik Negara (PLN, anak perusahaan PLN, dan Pertamina NRE)
- Perusahaan swasta (pengembang energi angin, konsultan, dan produsen)
- Asosiasi terkait energi angin
- Pusat penelitian universitas dan organisasi *think-tank*
- Lembaga pembangunan

Acara TWG berfungsi sebagai wadah untuk menerima masukan dan umpan balik dari para aktor tersebut tentang (bagian dari) peta jalan ini, serta untuk diseminasi hasil awal dan akhir. Hingga saat penulisan, dua acara TWG telah dilakukan. Wawasan yang berarti yang dikumpulkan dari kedua acara telah diintegrasikan ke dalam peta jalan ini.

1.4 Ruang lingkup

Ruang lingkup peta jalan ini adalah sebagai berikut:

- Hanya angin darat yang dipertimbangkan; angin dekat pantai dan lepas pantai berada di luar ruang lingkup penelitian.
- Teknologi turbin angin sebagaimana disebutkan dalam penelitian ini mengacu pada turbin angin skala utilitas (> 1 MW).
- Jangka waktu yang dianalisis untuk peta jalan adalah hingga tahun 2030.

1.5 Struktur laporan

Struktur peta jalan pengembangan energi angin darat ini disusun sebagai berikut:

- Bab 1 memberikan latar belakang, tujuan, ruang lingkup, dan struktur laporan.
- Bab 2 menyajikan kondisi terkini untuk pengembangan energi angin termasuk potensi energi angin darat, kapasitas terpasang, dan analisis pemangku kepentingan.
- Bab 3 memberikan kerangka peraturan saat ini tentang pengembangan energi angin di Indonesia.
- Bab 4 menguraikan tantangan dalam pengembangan energi angin di Indonesia.
- Bab 5 menyajikan jalan untuk pengembangan energi angin yang mencakup rencana aksi dan lini masanya, serta peran masing-masing pemangku kepentingan.
- Bab 6 menyimpulkan peta jalan dengan kesimpulan dan rekomendasi.

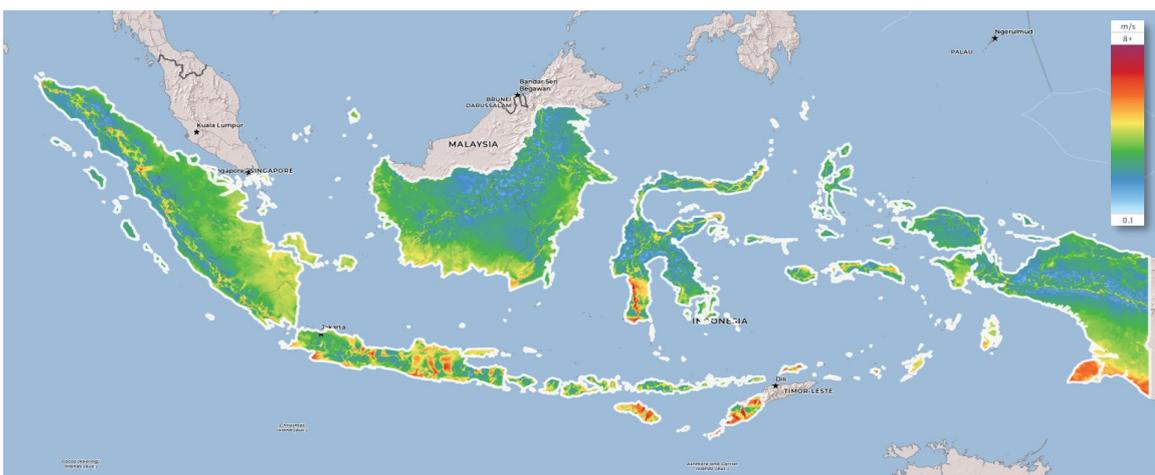
2 Kondisi pengembangan energi angin di Indonesia saat ini

2.1 Potensi angin darat

Indonesia adalah negara kepulauan yang mencakup lebih dari 17.000 pulau. Negara ini memiliki garis pantai sekitar 99.083 kilometer. Di lokasi tertentu di Indonesia, angin sedang hingga kencang hadir yang disebabkan oleh keadaan topografi (misalnya pegunungan dan aliran udara yang terkompresi antar pulau dan di sekitar pulau). Gambaran kecepatan angin di seluruh Indonesia tergambar dalam Gambar 1. Indonesia memiliki potensi energi angin yang dalam kondisi tertentu (misalnya kecepatan angin yang cukup, aksesibilitas yang baik, dll.) dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik (EBTKE KESDM, 2017). Oleh karena itu, pemetaan potensi menjadi sangat penting sebelum melakukan pengembangan energi angin, dan atas dasar ini, bagian ini akan memaparkan potensi teoritis energi angin di Indonesia dari berbagai sumber.

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) melaporkan bahwa beberapa daerah di Indonesia (termasuk Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pulau Jawa bagian selatan) memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s (EBTKE KESDM, 2017). Maka dari itu, penyelidikan lebih lanjut terhadap daerah-daerah ini bisa menjadi menarik untuk melihat apakah aspek lain selain kecepatan angin dapat mendukung pengembangan PLTB di masa depan. Selain itu, kisaran kecepatan angin di Indonesia biasanya di antara 3 dan 6 m/s (EBTKE KESDM, 2017). Dibandingkan dengan kecepatan angin di negara-negara yang kaya angin, kisaran ini menunjukkan sumber daya angin yang sedikit. Meskipun demikian, fokus untuk penelitian angin masih dapat ditempatkan pada beberapa lokasi yang memiliki kecepatan angin rata-rata di atas kisaran yang tipikal.

Proyek *Global Wind Atlas* (Technical University of Denmark, 2023) memberikan beberapa informasi tentang potensi energi angin di Indonesia berdasarkan kecepatan angin rata-rata tahunan pada ketinggian 100 m. Seperti dapat diamati pada Gambar 1, peta tersebut didominasi oleh rona hijau kekuningan, yang menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata tahunan di Indonesia pada umumnya 4 hingga 5 m/s pada ketinggian 100 m.



Gambar 1: Sebuah ilustrasi grafis potensi energi angin Indonesia pada ketinggian 100 meter (Technical University of Denmark, 2023)

Sangat penting untuk memahami potensi energi angin tidak hanya dari sudut pandang teoritis dan teknis, tetapi juga dari sudut pandang ekonomi. Artinya, potensi energi angin juga 'diukur' dengan menggunakan indikator ekonomi untuk menunjukkan kelayakan pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Berdasarkan pengukuran dan analisis selama satu tahun oleh Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (BBSP KEBTKE) ESDM pada tahun 2017, terdapat empat lokasi yang memiliki potensi energi angin teknis dan ekonomis (lihat Tabel 3).

Tabel 3: Daerah yang berpotensi mengembangkan energi angin secara ekonomis dan teknis berdasarkan kecepatan angin pada ketinggian 30-50 m (EBTKE KESDM, 2017)

Wilayah	Rata-rata kecepatan angin (m/s)
Sukabumi	7
Bantaeng	4.66
Jayapura	3.05
Pulau Sangihe	6.4

Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menetapkan bahwa Indonesia memiliki total potensi energi angin darat sebesar 60,6 GW, mengacu pada kecepatan angin rata-rata tahunan lebih besar dari 4 m/s dan pada ketinggian 50 meter (lihat Apendiks 1 di Bab 8). Selain itu, beberapa provinsi, termasuk Nusa Tenggara Barat, Bengkulu, Bali, Sulawesi Barat, Sumatera Barat, Kalimantan Timur, dan Jambi, telah memasukkan potensi energi angin di daerah masing-masing dalam Rencana Umum Energi Daerah Provinsi (RUED-P). Hal ini menunjukkan bahwa provinsi-provinsi tersebut telah mengenali angin sebagai sumber energi terbarukan yang potensial untuk dimanfaatkan dalam rangka mendukung pembangunan ekonomi sekaligus mencapai target bauran energi. Seperti yang disebutkan dalam bab sebelumnya, BBSP KEBTKE (2023) menambah potensi perhitungan RUEN dengan penambahan potensi angin lepas pantai sebesar 94,2 GW. Perhitungan terbaru ini ditunjukkan di Gambar 2.



Gambar 2: Peta potensi energi angin di Indonesia (BBSP KEBTKE, 2023)

2.2 Kapasitas PLTB darat saat ini

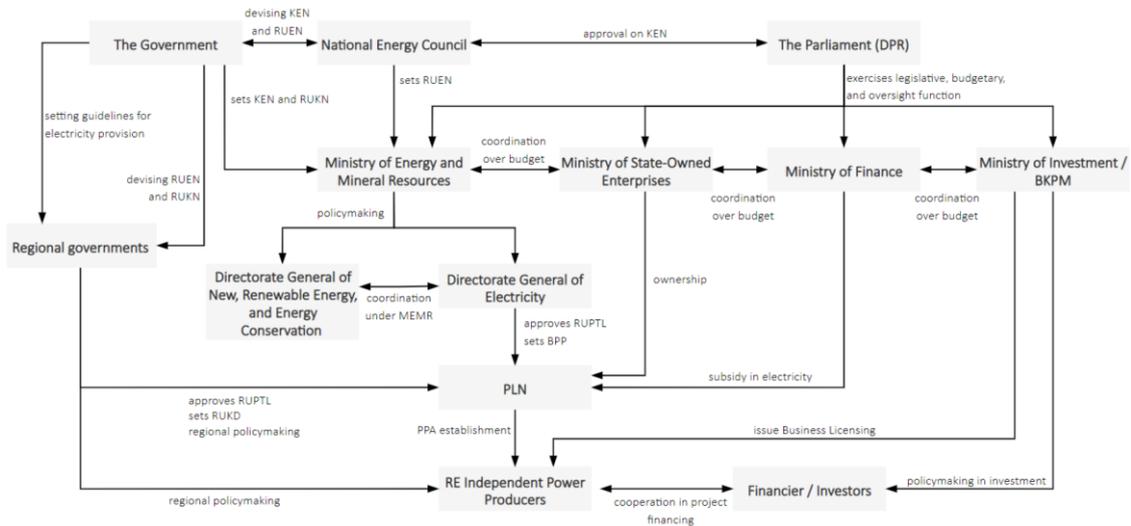
Berdasarkan Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN (2021), perusahaan listrik milik negara, kapasitas terkontrak pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) saat ini (dengan PLN) adalah 130,9 MW. Kapasitas tersebut didasarkan pada dua provinsi, yaitu Sulawesi Selatan dan Bali, seperti yang ditunjukkan di Tabel 4. Perlu dicatat bahwa sumber lain mendaftarkan kapasitas terpasang sebagai 154,3 MW; angka ini berhubungan dengan jumlah daya terukur (*rated power*) untuk semua turbin angin yang terpasang di Indonesia. Dengan membandingkan angka kapasitas terpasang dengan potensi yang diidentifikasi pada bagian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa masih ada peluang untuk mengembangkan potensi energi angin yang besar dan 'belum tersentuh'.

Tabel 4: Kapasitas terpasang energi angin yang ada di Indonesia (PLN, 2021)

No.	Provinsi	Sistem ketenagalistrikan	Jumlah unit	Jumlah kapasitas (MW)	Pengembang	Ketentuan dalam PJBL
1	Bali	Tiga Nusa Bali	3	0,3	PLN	Tidak diketahui
2	Bali	Tiga Nusa Bali	1	0,6	IPP	Tidak diketahui
3	Sulawesi Selatan	Sulselrabar	1	70,0	IPP (UPC Renewables)	11 cUSD/kWh (30 tahun)
4	Sulawesi Selatan	Sulselrabar	1	60,0	IPP (Vena Energy)	11 cUSD/kWh (30 tahun)
	Jumlah			130.9		

2.3 Analisis terhadap pemangku kepentingan utama di sektor angin darat

Ada beberapa pemangku kepentingan utama yang terlibat dalam pengembangan PLTB darat di Indonesia. Para pemangku kepentingan ini memiliki peranan dan tanggung jawab masing-masing dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya di sektor angin. Selain itu, para pemangku kepentingan ini saling berhubungan (dan saling berkaitan) dalam jaringan yang rumit. Sebagai ilustrasi, Gambar 3 menggambarkan kerumitan jaringan melalui sebuah bagan formal. Penting untuk memahami karakteristik masing-masing pemangku kepentingan, dan oleh karenanya, daftar berikut ini ditampilkan untuk memberikan deskripsi singkat tentang para pemangku kepentingan utama serta peranan masing-masing dalam pengembangan energi angin darat.



Gambar 3: Sebuah bagan formal yang menampilkan jaringan kompleks pemangku kepentingan di sektor energi terbarukan (Simanjuntak, 2021)

1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM atau MEMR)

Lembaga pemerintah ini merumuskan kebijakan untuk melindungi dan mengawasi penggunaan sumber daya dan aset energi Indonesia. Legislasi dan peraturan di sektor energi dirancang oleh ESDM sedemikian rupa untuk memastikan masyarakat Indonesia memiliki akses ke energi yang mudah diakses, terjangkau, dan andal. Rentang otoritas pembuatan kebijakan juga meluas ke sektor ketenagalistrikan. ESDM bertanggung jawab untuk menerbitkan peraturan untuk sektor energi terbarukan dan ketenagalistrikan melalui Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (DJEBTKE) dan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (DJK). Selain itu, ada juga unit lain di dalam kementerian ini yang dikenal sebagai Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (BBSP KEBTKE). Dibimbing oleh DJEBTKE, lembaga ini merupakan unit pelaksana teknis yang melaksanakan tugas teknis operasional dan/atau pendukung di bidang ketenagalistrikan dan konservasi energi dalam lingkup energi baru dan terbarukan. BBSP KEBTKE secara aktif mengukur potensi energi angin di beberapa lokasi dan menggunakan hasilnya untuk menggambar peta potensi energi angin. Selain itu, ESDM juga melakukan pengembangan sumber daya manusia dalam disiplin ilmu yang relevan dengan sektor energi.

2. Kementerian Investasi/Badan Koordinasi Penanaman Modal (Kemenves/BKPM atau MoIn)

Kementerian Investasi bertanggung jawab terutama untuk mengembangkan kebijakan investasi di Indonesia baik untuk aktor nasional maupun internasional. Peran kementerian ini adalah menjadi titik pusat antara Pemerintah dan semua sektor investasi dengan tujuan mengundang investasi berkualitas ke Indonesia untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi bangsa dan tingkat lapangan kerja (Ministry of Investment, 2022). Dalam hal pengembangan energi angin, Kemenves memiliki kewenangan untuk mengeluarkan izin dan lisensi untuk usaha-usaha terkait di sektor ini melalui sistem *Online Single Submission* (OSS). Contoh lisensi tersebut adalah Nomor Induk Berusaha (lihat Tabel 7 di Bagian 3.2). Selain itu, Kemenves juga memfasilitasi pemberian insentif energi terbarukan dan penyelesaian masalah yang timbul pada proyek-proyek investasi.

3. Kementerian Keuangan (Kemenkeu atau MoF)
Kemenkeu bertanggung jawab atas pembuatan kebijakan dan pengelolaan keuangan dan kekayaan negara. Kebijakan yang berkaitan dengan Kemenkeu termasuk, tetapi tidak terbatas pada, penganggaran negara, pajak, manajemen aset, keseimbangan fiskal, dan bea dan cukai (Ministry of Finance, n.d.). Terkait dengan pengembangan energi angin, Kemenkeu dapat merumuskan dan menerapkan kebijakan yang menguntungkan untuk mendukung investasi dan pengembangan industri di sektor angin. Kebijakan ini dapat dipromosikan dalam bentuk kredit pajak atau fasilitas pajak lainnya. Dengan memanfaatkan fasilitas ini, pengembang swasta mungkin memiliki kasus bisnis yang lebih menarik pada proyek angin mereka.
4. Kementerian Perindustrian (Kemenperin atau MoI)
Kemenperin berwenang untuk merumuskan dan menerapkan kebijakan di sektor industri. Kebijakan yang relevan dengan energi angin meliputi, antara lain, persyaratan tingkat kandungan dalam negeri minimum dan penegakan standar industri. Selain itu, Kemenperin juga memberikan bimbingan teknis dan pengawasan di industri (Ministry of Industry, n.d.). Maka dari itu, Kemenperin dapat memainkan peran besar dalam pembentukan industri energi angin Indonesia.
5. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
Kementerian ini merumuskan dan mengimplementasikan kebijakan yang terkait dengan sektor lingkungan hidup dan kehutanan. Pemanfaatan energi terbarukan untuk keperluan ketenagalistrikan berdampak terhadap lingkungan di setiap tahapan, termasuk perencanaan, pra-konstruksi, konstruksi, operasi, dan pasca-operasi. Dengan demikian, KLHK memainkan peran penting dalam proses pengembangan energi angin, khususnya melalui advokasi pembangunan pembangkit listrik yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Misalnya, KLHK dapat menerbitkan peraturan dan izin penggunaan kawasan hutan untuk pengembangan energi angin.
6. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR atau MoPW)
Kewenangan PUPR terletak pada perumusan dan pelaksanaan kebijakan yang berkaitan, antara lain penyediaan dan pemeliharaan jalan, pembangunan infrastruktur, peraturan bangunan, dan pengawasan jasa konstruksi (*Ministry of Public Works and Housing, 2023*). Pembangunan PLTB kemungkinan akan melibatkan penggunaan infrastruktur publik, seperti mengangkut komponen turbin angin berukuran besar melalui jalan umum dan pelabuhan. Oleh karena itu, PUPR memainkan peranan penting dalam tahap perizinan, persiapan, dan pelaksanaan proyek angin.
7. Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (KATR/BPN)
Kementerian ini merumuskan, menetapkan, dan melaksanakan kebijakan di bidang penataan ruang, infrastruktur agraria/pertanahan, hubungan hukum agraria/pertanahan, pengelolaan agraria/pertanahan, pembebasan tanah, penguasaan penggunaan ruang dan tanah, serta penanganan isu-isu mengenai agraria/pemanfaatan tanah dan ruang. Bidang lain yang berada dalam kewenangan pembuatan kebijakan KATR/BPN meliputi survei, pemetaan, dan pengukuran tanah, serta penentuan hak atas tanah dan pendaftaran tanah (*Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning, 2021*). Kantor cabang KATR/BPN ada di tiap provinsi, kota, dan kabupaten. Dengan fungsi-fungsi ini, KATR/BPN memiliki peran penting dalam pengembangan energi angin, khususnya dalam mendukung dan mengelola pembebasan lahan PLTB.

Pengembang proyek angin perlu berkonsultasi dengan KATR/BPN untuk mendapatkan informasi tentang status kepemilikan lahan dan kategori yang sesuai dalam rencana tata ruang. Selain itu, bagian dari tanggung jawab KATR/BPN adalah menerbitkan izin pemanfaatan ruang (lihat Tabel 7 di Bagian 3.2).

8. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

BRIN didirikan pada tahun 2019 sebagai lembaga yang melakukan penelitian, pengkajian, pengembangan, dan penerapan untuk mempromosikan penemuan dan inovasi nasional, setelah peleburan dari BATAN, BBPT, LAPAN, dan LIPI serta lembaga riset di kementerian dan lembaga lainnya (BRIN, 2023). Salah satu target BRIN adalah mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta menciptakan industri berbasis riset yang kuat dan jangka panjang. Meskipun merupakan lembaga yang baru didirikan, BRIN terdiri dari para ahli dari beberapa lembaga (penelitian) publik (misalnya LAPAN) yang telah memiliki pengalaman dengan penelitian energi angin. Selain itu BRIN didukung oleh universitas terkemuka di Indonesia, yaitu Universitas Indonesia, Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Gadjah Mada, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Universitas Diponegoro, Universitas Hasanuddin, Universitas Sebelas Maret, Universitas Andalas, Universitas Airlangga, Universitas Brawijaya, Universitas Sumatera Utara, dan program pertukaran universitas internasional. BRIN juga bertugas memantau, mengendalikan, dan mengevaluasi pelaksanaan tugas dan fungsi Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

9. Dewan Energi Nasional (DEN)

DEN dipimpin oleh Presiden Republik Indonesia. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, anggota DEN terdiri dari beberapa menteri dan perwakilan pemangku kepentingan dari akademisi, lingkungan, teknologi, konsumen, dan industri. Tanggung jawab utama DEN adalah menyusun rencana jangka panjang tingkat tinggi untuk sektor energi dengan tujuan membangun manajemen energi yang adil, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Sebagai produk DEN, Kebijakan Energi Nasional (KEN) menetapkan target integrasi energi terbarukan nasional. Dapat disimpulkan bahwa DEN memiliki peran penting dalam mengintegrasikan energi terbarukan di masa depan, termasuk energi angin, ke dalam sistem energi. Produk lain dari DEN adalah RUEN, yang merupakan operasionalisasi dari KEN (lihat Bagian 3.1 untuk informasi lebih lanjut).



Gambar 4: Struktur organisasi DEN (Simanjuntak, 2021)

10. Badan Standardisasi Nasional (BSN)

Badan ini melaksanakan tugas pemerintahan di bidang standardisasi nasional dan memiliki fungsi memfasilitasi pemangku kepentingan terkait dalam pengembangan dan pemeliharaan Standar Nasional Indonesia (SNI). Komite Teknis Perumusan SNI, yang terdiri dari perwakilan dari Pemerintah, produsen, konsumen, dan akademisi, dibentuk untuk menyusun standar (Badan Standardisasi Nasional, 2020). SNI dikembangkan sebagai acuan pasar yang pelaksanaannya bersifat sukarela. Pengembangannya dapat melibatkan adaptasi standar yang diakui secara internasional, seperti standar IEC untuk energi angin. Namun, SNI juga dapat diberlakukan secara wajib melalui peraturan teknis yang ditetapkan oleh kementerian/lembaga terkait. Saat ini, sudah ada beberapa artikel SNI terkait energi angin (lihat Bagian 3.4).

11. PT PLN (Persero)

Badan usaha milik negara ini bertanggung jawab atas sektor ketenagalistrikan di Indonesia. PLN memiliki prioritas untuk menyediakan listrik untuk penggunaan umum dan merupakan satu-satunya pihak pembeli dan pihak yang memiliki hak untuk menjual listrik kepada konsumen akhir, kecuali untuk beberapa Wilayah Usaha, di mana peserta swasta dapat menjual listrik langsung ke pihak pembeli. Sebagai pemasok listrik utama negara, PLN memiliki kendali atas transmisi, distribusi, dan penyediaan listrik untuk masyarakat umum. Struktur bisnis yang paling umum adalah bahwa IPP (*Independent Power Producer*) menandatangani Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBL atau *Power Purchase Agreement/PPA*) dengan PLN untuk mengembangkan, membangun, dan mengoperasikan pembangkit listrik dan kemudian memasok listrik yang dihasilkan ke PLN. Selanjutnya, PLN membeli listrik dari IPP dan selanjutnya akan menjual dan mendistribusikan listrik kepada masyarakat. Oleh karena itu, PLN menjadi pembeli listrik yang dihasilkan oleh IPP.

12. Pemerintah Daerah

Pemerintah Daerah memainkan peranan penting dalam pelaksanaan program daerah di sektor energi, khususnya pemanfaatan energi terbarukan. Di tingkat ini, Pemerintah Daerah memiliki kontrol atas beberapa jenis lisensi dan izin yang harus diperoleh ketika mengembangkan PLTB, terutama dalam pemeriksaan dokumen yang diperlukan. Misalnya, surat rekomendasi (atau dukungan) dari kabupaten atau provinsi sering kali diperlukan untuk proyek angin (lihat Bagian 3.2 untuk informasi lebih lanjut). Pendelegasian kewenangan kepada Pemerintah Daerah untuk mengimplementasikan sektor energi terbarukan diharapkan dapat mendorong pencapaian target bauran energi dengan cara mendorong berbagai inovasi daerah.

13. Investor

Untuk membiayai proyek angin darat, investor disyaratkan untuk membiayai pengembangan proyek tahap awal (misalnya pengukuran angin, studi kelayakan, dll.) dan untuk menyediakan pembiayaan ekuitas untuk realisasi PLTB tersebut. Investor juga dapat memberikan pembiayaan utang (pinjaman) jika diperlukan.

14. Lembaga Keuangan dan Bank Pembangunan Multilateral

Lembaga keuangan (misalnya bank komersial, bank investasi, dan asuransi) dan Bank Pembangunan Multilateral (misalnya ADB dan IFC) berperan penting dalam pertumbuhan sektor energi alternatif dan baru.

Bank-bank nasional sudah mulai mendukung industri energi terbarukan, sedangkan lembaga keuangan bahkan telah berhenti mendanai pengembangan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Alat utama untuk mencapai target bauran energi nasional adalah keuangan berkelanjutan (*sustainable finance*), yang menurut Peraturan Otoritas Jasa Keuangan (OJK) No.51/2017 didefinisikan sebagai dukungan komprehensif dari sektor jasa keuangan untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dengan menyelaraskan kepentingan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Indonesia membutuhkan bantuan keuangan dari sektor swasta, terutama sektor perbankan, di samping anggaran negara yang sangat terbatas, untuk mencapai NZE 2060.

15. Otoritas Jasa Keuangan (OJK)

Otoritas Jasa Keuangan (OJK) bertanggung jawab untuk menjalankan sistem pengaturan dan pengawasan yang terintegrasi untuk semua kegiatan di sektor jasa keuangan. Di sektor energi terbarukan, OJK berperan dalam mendorong praktik pinjaman hijau untuk industri jasa keuangan di bawah pengawasan OJK, yaitu perbankan, pasar modal, dan industri keuangan non-bank. OJK telah bekerja dengan bank (di bawah otoritas mereka) untuk mempromosikan pinjaman hijau dengan memberikan bantuan teknis dan pengembangan kapasitas. Misalnya, pada tahun 2014, OJK bekerja sama dengan *United States Agency for International Development (USAID)* untuk membuat *Clean Energy Handbook (Pedoman Energi Bersih)*. Pedoman ini dibuat untuk membantu Lembaga Jasa Keuangan dalam menilai proyek energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga mini hidro, biogas, biomassa, surya (fotovoltaik), dan angin. Khusus di bagian tenaga angin, buku pegangan ini menguraikan ikhtisar sektor energi angin di Indonesia, penggunaan teknologi, siklus hidup proyek, proses penilaian, aspek investasi dan keuangan proyek angin, dan manajemen risiko proyek. Namun, tidak ada penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah tindakan yang jelas pada pedoman investasi selain parameter teknis dasar dalam estimasi biaya proyek.

16. Masyarakat Energi Angin Indonesia (MEAI)

Komunitas ini didirikan pada tahun 2008 dan secara *de jure* pada tahun 2010. Kehadiran komunitas ini dilatarbelakangi oleh belum adanya organisasi yang mewadahi para peneliti, praktisi bisnis, dan tenaga pendidik yang peduli dan tertarik terhadap pengembangan energi angin di Indonesia. Anggota komunitas ini adalah individu dan keanggotaannya belum berkembang pesat. Saat ini, terdapat sekitar 120 anggota komunitas ini. Karena komunitas ini adalah organisasi nirlaba, tidak banyak kegiatan yang diselenggarakan oleh MEAI. Namun, MEAI sering diundang oleh para pemangku kepentingan seperti Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI), ESDM, dan PLN untuk berbagi hasil penelitian yang telah dilakukan terkait dengan energi angin.

17. Asosiasi Energi Angin Indonesia (AEAI)

AEAI didirikan pada tahun 2014 yang beranggotakan pengembang swasta dan perusahaan manufaktur di sektor angin Indonesia. Asosiasi ini terlibat dalam pengembangan peraturan terkait angin bersama dengan Pemerintah.

18. Mitra Pembangunan

Beberapa mitra pembangunan telah membantu pengembangan energi angin di negara ini (selengkapnya lihat Apendiks 2 di Bab 9). Beberapa contohnya antara lain:

- a. Proyek *Wind Hybrid Power Generation and Marketing Development Initiatives Indonesia* (WHyPGen). Proyek ini didanai oleh *Global Environment Facility* (GEF) dan *United Nations Development Programme* (UNDP). Proyek ini dimulai pada tahun 2012 dengan tujuan memfasilitasi sistem WHyPGen *on-grid* skala komersial untuk pasokan listrik yang ramah lingkungan. Selain itu, proyek ini dirancang untuk menghilangkan hambatan terhadap penggunaan energi angin yang lebih besar untuk pembangkit listrik.
- b. Pemetaan Sumber Daya Angin di Indonesia. Proyek ini merupakan hasil kemitraan antara Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Denmark. Peta Potensi Energi Angin Indonesia diluncurkan pada tahun 2017 dan memuat informasi tentang potensi energi angin Indonesia. Kerja sama ini diharapkan dapat membantu Pemerintah dan pelaku usaha dalam menentukan daerah yang memiliki potensi pengembangan energi angin.
- c. Delegasi Uni Eropa (EU) & *EU Climate Dialogues*. Lembaga ini menyediakan kerja sama dari beragam proyek hijau, yang meliputi studi tentang angin lepas pantai di Indonesia. Untuk mencapai tujuan tersebut, EU bekerja sama dengan beberapa lembaga pemerintah Indonesia yang terkait dengan sektor energi, yaitu Bappenas dan Sekretariat *Just Energy Transition Partnership* (JETP). Khusus dalam pengembangan energi angin, EU memiliki kegiatan yang sedang berlangsung, termasuk kemungkinan bantuan teknis dan dukungan investasi (melalui *European Investment Bank*).

19. Pengembang swasta

Sektor swasta telah menunjukkan minat yang meningkat dalam pengembangan dan implementasi energi angin selama bertahun-tahun. Para pengembang ini dapat bertindak sebagai IPP, yang menjual listrik ke PLN di bawah skema Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBL atau PPA). Contoh pengembang yang aktif di Indonesia adalah UPC Renewables, WPD, Vena Energy, Akuo Energy, Medco Power, dll.

20. Badan usaha teknik, konsultan, dan kontraktor

Untuk pengembangan dan realisasi PLTB darat, banyak disiplin ilmu yang harus terlibat (misalnya teknik mekanik, listrik, sipil, dan infrastruktur). Oleh karena itu, berbagai badan usaha teknik dan konsultan biasanya terlibat sepanjang siklus hidup proyek angin. Misalnya, tahap perencanaan dan pengembangan melibatkan setidaknya konsultan dengan keahlian dalam konstruksi, pemanenan energi angin, integrasi jaringan, perizinan, dan penilaian dampak lingkungan. Pada tahap konstruksi, kontraktor diminta untuk mengirimkan komponen PLTB ke lokasi, membangun struktur sipil dan fondasi, dan memasang turbin angin serta infrastruktur listrik tambahan. Sementara ini industri angin belum matang di Indonesia, sehingga untuk saat ini ketergantungan terhadap perusahaan asing untuk semua hal yang disebutkan sebelumnya menjadi relatif tinggi.

3 Kerangka regulasi energi angin di Indonesia

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai peraturan mengenai pemanfaatan energi terbarukan yang meliputi energi angin. Peraturan tersebut berupa Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Presiden, dan Peraturan Menteri. Tabel di bawah ini menyoroti beberapa peraturan yang relevan mengenai pengembangan energi angin. Hampir semua peraturan yang tercantum berlaku untuk keempat tahapan proyek seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 5. Pengecualian adalah regulasi nomor 34 dan nomor 35 yang terbatas hanya dalam fase konstruksi.



Gambar 5: Tahapan umum pengembangan pembangkit listrik tenaga bayu

Tabel 5: Peraturan terkait pengembangan energi angin

No.	Regulasi	Judul	Deskripsi
Umum			
1	Undang-Undang No. 30 Tahun 2007	Energi	<ul style="list-style-type: none"> Hal ini mengatur manajemen sumber daya energi, cadangan energi untuk keamanan energi, kewenangan pemerintah pusat dan daerah dalam mengatur energi, Kebijakan Energi Nasional, Rencana Umum Energi Nasional, serta pembentukan Dewan Energi Nasional. Aksesibilitas energi di daerah terpencil dan kurang berkembang menggunakan sumber energi lokal, terutama sumber energi terbarukan.
2	Peraturan Pemerintah No.79/2014	Kebijakan Energi Nasional	Target untuk meningkatkan porsi energi baru dan terbarukan dalam bauran energi primer menjadi 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050
3	Peraturan Presiden No.22/2017	Rencana Umum Energi Nasional	Deskripsi dan rencana untuk menerapkan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektoral dalam rangka mencapai target Kebijakan Energi Nasional
Ketenagalistrikan			
4	UU No.30/2009	Ketenagalistrikan	Undang-undang ini mengatur pembagian wilayah usaha penyediaan tenaga listrik secara terintegrasi, penerapan tarif daerah yang terbatas pada wilayah usaha tertentu, penggunaan jaringan tenaga listrik untuk keperluan telekomunikasi, multimedia dan teknologi informasi, serta jual beli tenaga listrik lintas negara.

No.	Regulasi	Judul	Deskripsi
5	Peraturan Pemerintah No.14/2012 jo. Peraturan Pemerintah No.23/2014	Perubahan atas Peraturan Pemerintah No.14/2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik	Hal ini mengatur kondisi pada usaha penyediaan tenaga listrik.
6	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.28/2012 jo. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.7/2016	Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.28/2012 tentang Tata Cara Penerapan Kawasan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum	Hal ini mengatur perizinan usaha tentang penyediaan tenaga listrik untuk keperluan umum.
7	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.35/2013 jo. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.12/2016	Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.35/2013 tentang Tata Cara Perizinan Usaha Listrik	Hal ini mengatur tata cara perizinan bagi perusahaan listrik, termasuk perizinan usaha penyediaan tenaga listrik untuk keperluan umum.
8	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.24/2017	Mekanisme Penetapan Biaya Pembangkitan Listrik PT PLN	Hal ini mengatur mekanisme penetapan biaya pembangkitan tenaga listrik oleh PT PLN (Persero), tidak termasuk biaya transmisi listrik.
9	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.39/2017	Implementasi Aktivitas Fisik pada Energi Baru dan Terbarukan serta Konservasi Energi	Hal ini mengatur kegiatan fisik pemanfaatan energi terbarukan yang dilakukan oleh direktorat terkait.
10	Peraturan Menteri ESDM No.10/2017 jis. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.49/2017 dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.10/2018	Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 10/2017 tentang Prinsip Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik	Hal ini mengatur prinsip-prinsip dalam Perjanjian Pembelian Tenaga Listrik antara PT PLN sebagai pembeli dan entitas bisnis sebagai penjual listrik.
11	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.35/2014 jis. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.14/2017 dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.30/2018	Pendelegasian Pemberian Izin Usaha Ketenagalistrikan dalam rangka pelaksanaan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP) kepada Kepala Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM)	Hal ini mengatur delegasi wewenang dari Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral kepada Kepala Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) yang mencakup beberapa izin.
12	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.50/2017 jis. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.53/2018 dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 4/2020	Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik	Hal ini mengatur proses pembelian melalui syarat penunjukan langsung, skema kerja sama, dan penugasan pembelian listrik kepada PT PLN untuk pembangkit listrik energi terbarukan dengan pendanaan yang berasal dari hibah.
13	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.20/2020	Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (<i>Grid Code</i>)	Hal ini mengatur manajemen jaringan, koneksi, perencanaan dan pelaksanaan operasi, transaksi energi, pengukuran, dan ringkasan jadwal operasional.

No.	Regulasi	Judul	Deskripsi
14	Peraturan Presiden No.112/2022	Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik	Hal ini mengatur percepatan pembangunan pembangkit listrik dari sumber EBT; peraturan tersebut mencakup harga pembelian listrik untuk setiap sumber EBT.
Penciptaan lapangan kerja			
15	UU No.11/2020	Penciptaan Lapangan Kerja	Peraturan ini berkaitan dengan upaya penciptaan lapangan kerja dari Pemerintah dengan tujuan menyerap tenaga kerja Indonesia sebanyak mungkin di tengah lanskap persaingan yang semakin ketat dan tuntutan ekonomi global yang meningkat.
16	Peraturan Pemerintah No.5/2021	Perizinan Usaha Berbasis Risiko	Peraturan ini mengatur mengenai perizinan usaha berbasis risiko, termasuk layanan sistem perizinan usaha terintegrasi secara elektronik (<i>Online Single Submission/OSS</i>).
17	Peraturan Pemerintah No.21/2021	Implementasi Perencanaan Tata Ruang	Hal ini mengatur kondisi terkait tata ruang, pemanfaatan ruang, pengendalian pemanfaatan ruang, pengawasan tata ruang, bimbingan tata ruang, dan lembaga tata ruang.
Konten lokal (Tingkat Kandungan Dalam Negeri)			
18	UU No.3/2014	Industri	Lingkup regulasi ini mencakup rencana induk industri nasional, kebijakan industri nasional, kawasan industri, pengembangan infrastruktur industri, pemberdayaan industri, perizinan, dan investasi modal.
Fasilitas fiskal			
19	Peraturan Menteri Keuangan No.21/2010	Pemberian Fasilitas Pajak dan Bea Cukai untuk Kegiatan yang Memanfaatkan Sumber Energi Terbarukan	Fasilitas pajak dan bea cukai yang dapat diberikan oleh Pemerintah untuk kegiatan pemanfaatan sumber energi terbarukan berupa: <ul style="list-style-type: none"> a. Fasilitas pajak penghasilan; b. Fasilitas pajak pertambahan nilai; c. Fasilitas bea masuk.
20	Peraturan Menteri Keuangan Nomor 176 Tahun 2009 <i>jo.</i> Peraturan Menteri Keuangan No.188/2015	Pembebasan Bea Masuk untuk Impor Mesin dan Barang serta Bahan untuk Konstruksi atau Pengembangan Industri dalam Konteks Investasi Modal	Hal ini mengatur pembebasan bea masuk barang dan jasa sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
21	Peraturan Menteri Keuangan No.66/2015	Pembebasan Bea Masuk atas Impor Barang Modal dalam Rangka Membangun atau Memperluas Industri Pembangkit Listrik untuk Kepentingan Umum	Pembebasan bea masuk diberikan untuk Barang Modal yang digunakan dalam industri pembangkit listrik dengan syarat-syarat tertentu.
22	Peraturan Pemerintah No.78/2019	Fasilitas Pajak Penghasilan untuk Penanaman Modal di Bidang Usaha Tertentu dan/atau di Daerah Tertentu	Hal ini berkaitan dengan penyediaan fasilitas pajak penghasilan untuk bidang usaha tertentu. Investasi di energi terbarukan diberikan satu tahun tambahan opsi untuk memperpanjang <i>carryforward</i> kerugian pajak.

No.	Regulasi	Judul	Deskripsi
23	Peraturan Menteri Keuangan No.11/PMK.010/2020	Implementasi Peraturan Pemerintah No.78/2019 Tentang Fasilitas Pajak Penghasilan Untuk Penanaman Modal Pada Bidang Usaha Tertentu dan/atau Di Daerah Tertentu	Peraturan ini bertindak sebagai panduan teknis tentang fasilitas perpajakan yang disediakan melalui Peraturan Pemerintah No.78/2019, khususnya tentang persyaratan administrasi yang diperlukan (untuk diserahkan melalui OSS) untuk mendapatkan fasilitas tersebut
24	Perpres No.10/2021 jo. 49/2021	Bidang Usaha Investasi	Peraturan tersebut memberikan daftar bisnis investasi dan menetapkan bahwa dalam kondisi tertentu, pembangkit listrik (>1 MW) dapat dibuka untuk 100% investasi asing dan menikmati fasilitas pajak.
25	Peraturan Badan Koordinasi Penanaman Modal (MoIn/BKPM) No.4/2021	Panduan dan Prosedur untuk Layanan Perizinan Usaha Berbasis Risiko dan Fasilitas Investasi	Peraturan ini mengatur tata cara dan pedoman pelayanan perizinan usaha berbasis risiko (berdasarkan OSS) dan fasilitas investasi (termasuk fasilitas kepabeanan) yang antara lain berlaku untuk sektor pembangkit listrik.
26	Peraturan Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) No.7/2020	Perincian Bidang Usaha dan Jenis Produksi Industri Pionir serta Tata Cara Pemberian Fasilitas Pengurangan PPh Badan	Peraturan ini menetapkan daftar baru Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) yang dapat dikenakan <i>tax holiday</i> ; antara lain, bidang usaha yang terdaftar termasuk industri yang memproduksi komponen utama untuk mesin pembangkit listrik dan pembangkit listrik energi terbarukan (diklasifikasikan sebagai infrastruktur ekonomi).
27	Peraturan Menteri Keuangan Nomor 35 Tahun 2018 jo. Nomor 130 Tahun 2020	Pemberian Fasilitas Pengurangan Pajak Penghasilan Badan	Dalam kondisi tertentu, pengurangan PPh badan dapat diterapkan pada industri perintis, industri yang memproduksi mesin pembangkit listrik dan pembangkit listrik energi terbarukan (tergolong infrastruktur ekonomi).
Pengelolaan lingkungan			
28	UU No.32/2009	Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan	Regulasi ini mengatur perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, dan pengelolaan bahan berbahaya dan beracun serta limbah berbahaya dan beracun
29	Peraturan Pemerintah No.22/2021	Pelaksanaan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan	Regulasi ini mengatur persetujuan lingkungan, perlindungan dan pengelolaan kualitas air, perlindungan dan pengelolaan kualitas udara, perlindungan dan pengelolaan kualitas laut, pengendalian kerusakan lingkungan, pengelolaan limbah bahan kimia berbahaya dan beracun, dan pengelolaan limbah bahan kimia tidak berbahaya dan beracun.

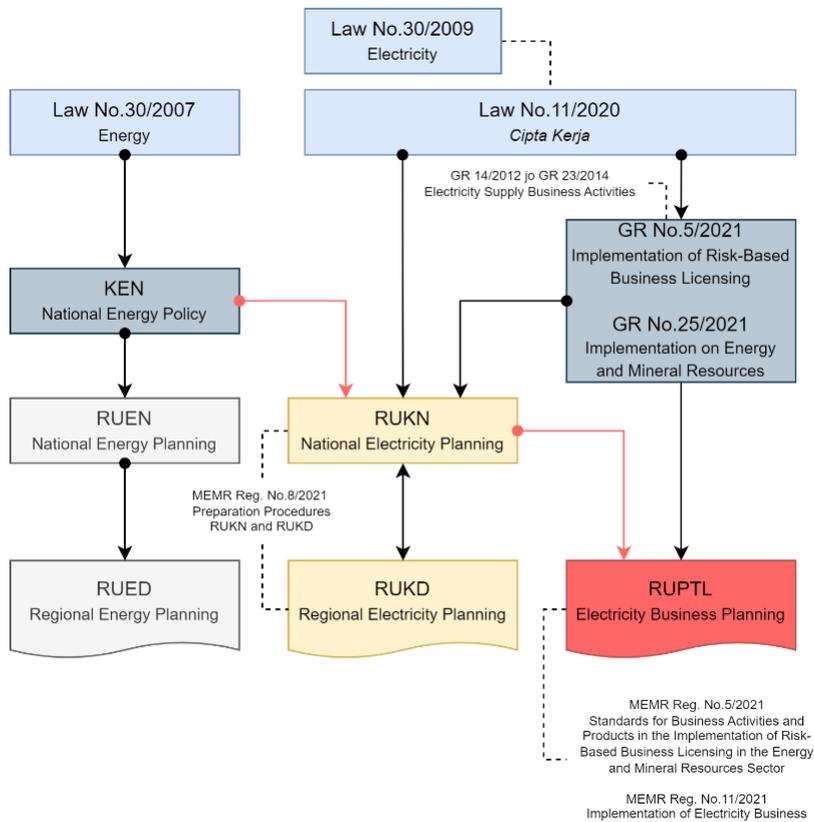
No.	Regulasi	Judul	Deskripsi
30	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.4/2021	Daftar Bisnis dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Dampak Lingkungan, Upaya Pengelolaan Lingkungan, dan Upaya Pemantauan Lingkungan atau Pernyataan Kemampuan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan	Regulasi ini mengatur daftar usaha dan / atau kegiatan yang diharuskan memiliki berbagai jenis izin lingkungan.
31	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.6/2021	Prosedur dan Persyaratan untuk Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun	Regulasi ini mengatur prosedur pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
32	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.7/2021	Perencanaan Kehutanan, Perubahan Peruntukan Kawasan Hutan dan Perubahan Fungsi Kawasan Hutan, serta Penggunaan Kawasan Hutan	Regulasi ini mengatur perencanaan kehutanan, perubahan peruntukan dan fungsi kawasan hutan, dan penggunaan kawasan hutan.
33	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.8/2021	Pengelolaan Hutan dan Penyusunan Rencana Pengelolaan Hutan dan Pemanfaatan Hutan di Hutan Lindung dan Hutan Produksi	Lingkup regulasi ini mencakup tata kelola hutan dan penyusunan rencana pengelolaan hutan, perizinan usaha pemanfaatan hutan, usaha pemanfaatan hutan, pengolahan produk hutan, jaminan legalitas produk hutan, dan penerimaan negara bukan pajak dari pemanfaatan hutan.
Transportasi			
34	Peraturan Menteri Perhubungan No.48/2014	Tata Cara Memuat, Mengatur, Mengangkut dan Menurunkan Barang dengan Kereta Api	Hal ini mengatur tata cara bongkar muat barang serta bongkar muat barang menggunakan angkutan kereta api. (Hanya berlaku untuk tahap konstruksi)
35	Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 44/2005	Penerapan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7112-2005 tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan sebagai Standar Wajib	Peraturan ini berkaitan dengan penerapan wajib SNI pada KKOP (Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan). (Hanya berlaku untuk tahap konstruksi)

3.1 Energi angin dalam konteks perencanaan energi dan listrik

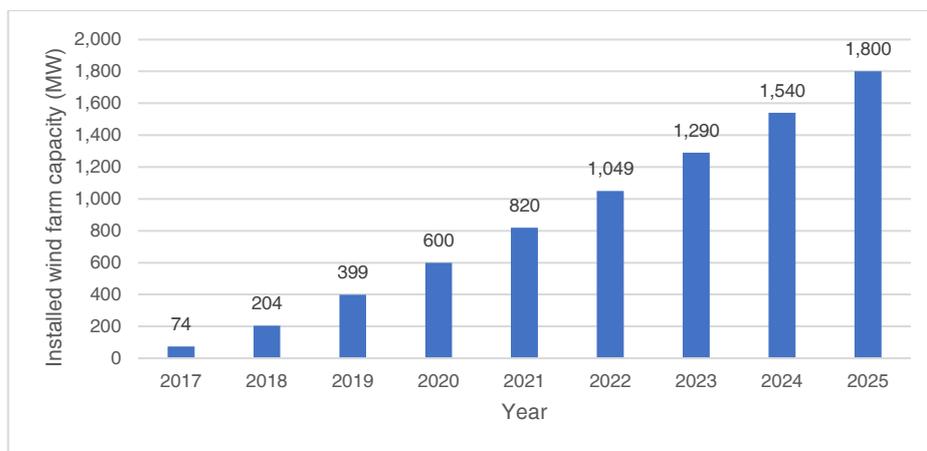
Pengembangan energi angin untuk pembangkit listrik telah disebutkan dalam dokumen perencanaan energi dan ketenagalistrikan. Gambar 6 menggambarkan hubungan hierarki dokumen perencanaan energi dan listrik dengan peraturan yang ada.

Salah satu dokumen perencanaan penting adalah RUEN, yang merupakan rencana manajemen energi yang dibuat oleh DEN untuk memenuhi permintaan energi regional, antar-regional, dan nasional. RUEN merupakan operasionalisasi dari Kebijakan Energi Nasional (KEN). RUEN terbaru diterbitkan pada tahun 2017 dan cakupannya hingga tahun 2050. Dalam RUEN, kapasitas terpasang dari pembangkit listrik tenaga angin direncanakan mencapai 1,8 GW pada tahun 2025 dan 28 GW pada tahun 2050 (setara dengan 46% dari total potensi energi angin di Indonesia). Target kapasitas terpasang tahun per tahun dapat dilihat dalam Gambar 6.

Dokumen penting lainnya dalam perencanaan ketenagalistrikan adalah RUKN (Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional). Dokumen ini merupakan dokumen indikatif tingkat tinggi perencanaan ketenagalistrikan nasional yang disusun oleh Pemerintah berdasarkan KEN. Dokumen ini mencakup perencanaan sistem ketenagalistrikan dalam fase pembangkitan, transmisi, dan distribusi.



Gambar 6: Penggambaran kerangka peraturan Indonesia untuk perencanaan energi dan ketenagalistrikan (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023a)



Gambar 7: Kapasitas terpasang PLTB yang direncanakan sesuai dengan RUEN (Dewan Energi Nasional, 2017)

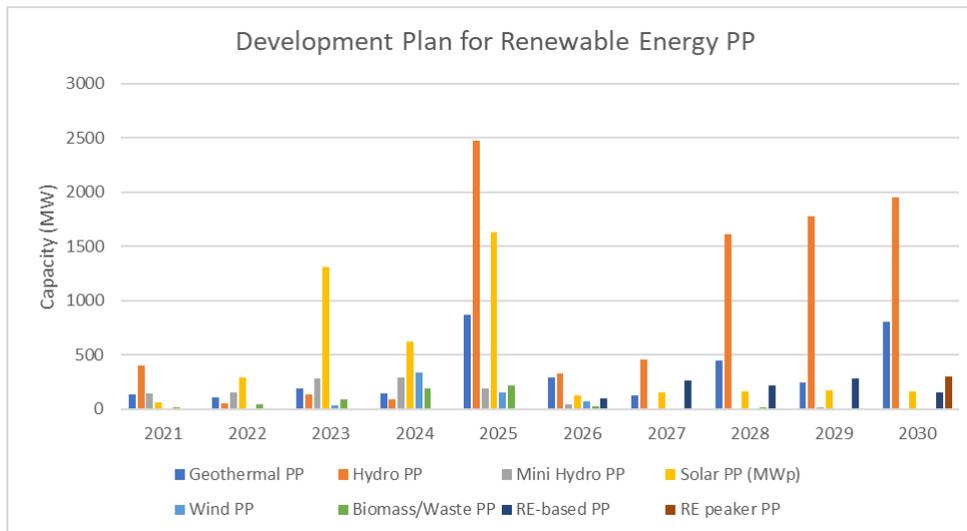
Selain dokumen perencanaan Pemerintah, dokumen perencanaan ketenagalistrikan yang lebih konkret direpresentasikan oleh RUPTL. Serupa dengan RUKN, RUPTL mencakup perencanaan untuk pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik, namun dengan lebih rinci. RUPTL disusun oleh PLN dan entitas bisnis lain yang memiliki izin untuk memproduksi listrik. Para pemegang izin ini harus merumuskan RUPTL dengan menggunakan RUKN sebagai panduan. Rancangan RUPTL kemudian diserahkan kepada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) untuk persetujuan. Implementasi penyediaan listrik untuk kepentingan publik harus sesuai dengan RUKN dan RUPTL. Oleh karena itu, setiap proyek pembangkit listrik tenaga angin yang akan dibangun harus sejalan dengan tujuan yang ditetapkan dalam RUKN dan biasanya tercantum dalam daftar pengadaan proyek RUPTL. Dalam laporan ini, kami hanya merujuk kepada RUPTL PLN yang diakses secara publik.

RUPTL PLN merangkum rencana pengembangan 10 tahun untuk pengadaan infrastruktur pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik. Oleh karena itu, dokumen ini merupakan panduan penting bagi peserta bisnis (termasuk pengembang dan kontraktor) untuk memahami situasi jaringan listrik nasional saat ini serta prospek dan tren proyek baru. Untuk pelaksanaannya, proyek-proyek baru ini dialokasikan untuk IPP atau PLN.

Apa yang disebut RUPTL 'hijau' saat ini adalah pedoman bagi PLN dan IPP dalam mengembangkan infrastruktur ketenagalistrikan nasional dan transisi negara menuju energi terbarukan. Versi terbaru RUPTL diterbitkan untuk periode 2021-2030 dan diterbitkan sebagai Keputusan Menteri ESDM No. 188.K/HK.02/MEM.L/2021. RUPTL 2021-2030 didasarkan pada perhitungan rinci permintaan dan pembangkitan listrik, serta infrastruktur transmisi dan distribusi yang diperlukan untuk memenuhi permintaan yang diproyeksikan. Wawasan utama dari RUPTL ini meliputi:

1. RUPTL mengasumsikan pertumbuhan ekonomi tahunan sebesar 5,15 - 5,19%, dengan proyeksi permintaan listrik tumbuh rata-rata sebesar 4,9% per tahun.
2. Selama 2021-2030, sektor ini diperkirakan akan membangun total 40.575 MW kapasitas pembangkitan, di mana sekitar 51,6% (atau setara dengan 20.923 MW) didasarkan pada sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT), dan sisanya 48,4% (atau setara dengan 19.652 MW) didasarkan pada bahan bakar fosil.
3. Untuk mencapai target 23% listrik nasional yang dipasok dari sumber energi terbarukan pada tahun 2025, PLN telah merencanakan pembangunan infrastruktur yang meliputi:
 - a. 47.723 km rangkaian jaringan transmisi dengan sekitar 76.662 MVA stasiun transformator,
 - b. 456.547 km sirkuit jalur distribusi, dan
 - c. 31.095 MVA trafo gardu induk

RUPTL PLN 2021-2030 telah menetapkan target kapasitas terpasang PLTB sebagaimana disajikan dalam Gambar 8 dan Tabel 6.



Gambar 8: Representasi grafis dari rencana pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan sesuai RUPTL PLN 2021-2030 (PLN, 2021)

Tabel 6: Deskripsi numerik rencana pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan sesuai RUPTL PLN 2021-2030 (PLN, 2021)

Jenis pembangkit listrik EBT	Unit	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Jumlah
PLTP	MW	136	108	190	141	870	290	123	450	240	808	3.355
PLTA	MW	400	53	132	87	2.478	327	456	1.611	1.778	1.950	9.272
PLTMH	MW	144	154	277	289	189	43	-	2	13	6	1.118
PLTS	MWp	60	287	1.308	624	1.631	127	148	165	172	157	4.680
PLTB	MW	-	2	33	337	155	70	-	-	-	-	597
PLTBm / PLTSa	MW	12	43	88	191	221	20	-	15	-	-	590
PLT-ET beban dasar	MW	-	-	-	-	-	100	265	215	280	150	1.010
PLT-ET beban puncak	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	300
Jumlah	MW	752	648	2.028	1.670	5.544	978	991	2.458	2.484	3.370	20.923

Seperti dapat dilihat pada tabel di atas, rencana pengembangan tenaga angin ditargetkan mencapai total 597 MW selama periode 2021-2030. Namun, hingga saat penulisan ini, belum ada kapasitas terpasang (0 MW) berdasarkan RUPTL sejak dirilis pada tahun 2021. Instalasi pembangkit listrik tenaga angin terakhir terjadi pada tahun 2019 (proyek PLTB Tolo 1), dan sejak saat itu, tidak ada penambahan kapasitas pembangkit listrik tenaga angin tambahan yang terpasang ke *grid*. Saat penulisan ini, PLN telah memulai proses tender untuk tiga proyek pengembangan PLTB. Proyek-proyek ini adalah PLTB Tanah Laut (70 MW, sudah dikontrak namun belum dimulai konstruksi), PLTB Timor (20 MW, masih dalam proses tender), dan PLTB Aceh (55 MW, juga masih dalam proses tender). Dengan asumsi tanggal operasi komersial yang ambisius pada tahun 2024 untuk ketiganya, hal ini akan menyebabkan penambahan kapasitas terpasang sebesar 145 MW, sementara RUPTL di atas menyatakan tujuan memiliki tambahan kapasitas sebesar 372 MW pada akhir 2024. Selain itu, perlu dicatat bahwa tidak ada rencana tambahan untuk pengembangan PLTB setelah tahun 2026. Juga perlu diperhatikan bahwa RUPTL berfungsi sebagai panduan untuk perencanaan ketenagalistrikan dan pengembangan proyek, dan dokumen tersebut merupakan dokumen yang dinamis yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan.

Pada saat penulisan ini, Pemerintah sedang menyiapkan draf baru RUKN dan setelah diterbitkan, biasanya akan diikuti dengan dokumen RUPTL yang baru. Juga dilaporkan bahwa PLN akan menyesuaikan beberapa asumsi dalam RUPTL-nya. Di antaranya, permintaan listrik di masa depan akan disesuaikan dengan kondisi saat ini, mengingat bahwa setelah pandemi Covid-19, permintaan listrik meningkat cukup signifikan. Pertumbuhan permintaan ini sejalan dengan potensi permintaan yang signifikan dari industri, seperti pembangunan pabrik pengolahan dan peleburan bijih mineral, serta pembentukan kawasan industri baru di beberapa daerah (Wahyudi, 2022).

3.2 Aspek hukum, lisensi, dan perizinan

Lisensi dan izin untuk proyek energi angin dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu pengembangan, konstruksi, dan operasi. Setiap tahap ini memiliki jenis lisensi dan izin yang spesifik yang masing-masing memiliki tanggal kedaluwarsa dan lembaga pemerintah yang menerbitkannya. Lisensi dan izin yang diperlukan untuk pengembangan PLTB dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7: Daftar izin yang diperlukan untuk pengembangan PLTB

No.	Nama Perizinan	Otoritas terkait untuk mendapatkan izin
1	Surat Rekomendasi Pengukuran	Hal ini dapat diproses langsung melalui KKPR dan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG). Surat rekomendasi tergantung pada lokasi alat <i>met mast</i> : jika menara berada di dekat bandara, akan memerlukan izin (seperti Izin Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan/KKOP) dari Dinas Perhubungan.
2	Rekomendasi Penelitian	Tergantung pada topik penelitian, sebuah otoritas bertanggung jawab dalam penerbitan rekomendasi ini. Misalnya, jika penelitian dilakukan di satu desa, surat rekomendasi dapat diperoleh dari Kepala Desa. Sementara jika penelitian dilakukan di beberapa desa, surat tersebut dapat diperoleh dari Kepala Kecamatan.
3	Rekomendasi dari Bupati	Kantor Bupati
4	Nomor Induk Berusaha (NIB) dalam penggunaan OSS	NIB dikeluarkan oleh Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) setelah mendaftar melalui <i>Online Single Submission</i> (OSS).
5	Surat Dukungan dari pemerintah daerah (misalnya, Gubernur)	Kantor Gubernur
6	Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Umum/ <i>Electricity Supply Business License for Public Use</i> (IUPTLU)	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan – Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
7	Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR)	Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (KATR/BPN), prosesnya dilakukan melalui OSS, melibatkan banyak lembaga pemerintah dan bergantung pada lokasi kasusnya. Misalnya, jika lokasinya dekat bandara, akan membutuhkan persetujuan dari kantor transportasi lokal. Jika lokasinya dekat dengan daerah pertanian, akan memerlukan persetujuan dari Kementerian Agraria atau Kementerian Pertanian. Untuk Investasi Asing (PMA), persetujuan harus berasal dari Badan Pertanahan Pusat (BPN). Namun, untuk perusahaan yang berinvestasi di dalam negeri (PMDN), persetujuan dapat datang dari Kantor Pertanahan regional (BPN) jika melibatkan satu kabupaten administratif. Jika lokasinya melintasi beberapa kabupaten, maka persetujuan akan dikeluarkan oleh Badan Pertanahan Provinsi (BPN).

No.	Nama Perizinan	Otoritas terkait untuk mendapatkan izin
8	Izin Penelitian	Tergantung pada topik penelitian, sebuah otoritas bertanggung jawab dalam penerbitan izin ini. Misalnya, jika penelitian dilakukan di satu desa, surat izin dapat diperoleh dari Kepala Desa. Sementara jika penelitian dilakukan di beberapa desa, surat tersebut dapat diperoleh dari Kepala Kecamatan.
9	Surat Keputusan Kelayakan Lingkungan Hidup atau dokumen AMDAL (≥ 50 MW)	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
10	Persetujuan Lingkungan	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
11	(Jika ada) Persetujuan Penggunaan Kawasan Hutan (PPKH)	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Proses aplikasi PPKH disampaikan melalui sistem OSS. Biasanya, akan diperlukan MoU terlebih dahulu dengan pemegang konsesi (seperti PERHUTANI dan INHUTANI), dan kemudian persetujuan penggunaan area hutan dapat diproses oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
12	Nota Kesepahaman dalam Rangka Pembangunan, Pengembangan, dan Pengoperasian PLTB	Hal ini bergantung pada konteks MoU ke mana arah kerja sama tersebut. Bisa dengan Pemerintah Daerah (Bupati), Pemerintah Provinsi, PLN, PLN Indonesia Power, atau PLN Nusantara Power.
13	Persetujuan Bangunan Gedung (PBG)	Kantor Pekerjaan Umum dan Pelayanan Perencanaan Tata Ruang (PUPR) dan Dinas Penanaman Modal Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPSTP). Proses ini juga telah terintegrasi dengan Aplikasi <i>Online Single Submission</i> (OSS).
14	Izin Penggunaan Air	Kementerian/Kantor Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian/Kantor Pekerjaan Umum. Penggunaan air tanah lebih dari 100 m ³ per bulan memerlukan izin dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
15	Sertifikat Laik Operasi (SLO)	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Kementerian ini memiliki daftar Lembaga <i>Inspeksi Teknik</i> terakreditasi yang dapat menerbitkan SLO.
16	Izin Operasi	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral atau Gubernur. Izin Operasi adalah izin untuk menyediakan listrik untuk sekali pakai. Izin Operasi diberikan oleh Menteri ESDM jika instalasi mencakup lintas provinsi, atau Gubernur jika instalasi mencakup lintas kabupaten/kota.
17	Sertifikat Laik Fungsi (SLF)	Pemerintah Daerah – Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang (PUPR) dan Dinas Penanaman Modal Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPSTP). Prosesnya juga telah terintegrasi dengan Aplikasi <i>Online Single Submission</i> (OSS).

3.3 Tingkat harga patokan tertinggi listrik untuk tenaga angin

Pada tahun 2022, Pemerintah telah memperkenalkan harga patokan tertinggi baru untuk pembangkit listrik energi terbarukan untuk membuat proyek-proyek energi terbarukan di Indonesia menjadi lebih menarik. Tarif tertinggi pembangkit listrik tenaga angin sebagaimana disebutkan dalam Peraturan Presiden No. 112/2022 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8: Tarif patokan tertinggi untuk pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan Peraturan Presiden No. 112/2022 (F = faktor lokasi)

Kapasitas (MW)	Harga Patokan Tertinggi					
	≤ 5 MW		> 5 MW s.d. 20 MW		> 20 MW	
	Tahun ke-1 s.d. 10	Tahun ke-11 s.d. 30	Tahun ke-1 s.d. 10	Tahun ke-11 s.d. 30	Tahun ke-1 s.d. 10	Tahun ke-11 s.d. 30
c\$/kWh	11,22 x F	6,73	10,26 x F	6,15	9,54 x F	5,73
LCOE c\$/kWh	9,41		8,60		8,00	

Tabel di atas menunjukkan bahwa harga-harga tersebut disusun berdasarkan ukuran/kapasitas dan tahap. Harga tahap pertama dibuat lebih tinggi untuk melunasi pinjaman yang diperoleh untuk proyek (jika berlaku). Faktor lokasi (F) ditentukan berdasarkan tingkat kesulitan mengakses daerah tersebut dan tingkat perkembangan ketenagalistrikannya. Nilai faktor lokasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9: Nilai faktor lokasi (F) berdasarkan Peraturan Presiden No. 112/2022

No.	Wilayah	F
1.	Jawa, Madura, Bali	1,00
	- Pulau Kecil	1,10
2.	Sumatera	1,10
	- Pulau Riau	1,20
	- Mentawai	1,20
	- Bangka Belitung	1,10
	- Pulau Kecil	1,15
3.	Kalimantan	1,10
	- Pulau Kecil	1,15
4.	Sulawesi	1,10
	- Pulau Kecil	1,15
5.	Nusa Tenggara	1,20
	- Pulau Kecil	1,25
6.	Maluku Utara	1,25
	- Pulau Kecil	1,30
7.	Maluku	1,25
	- Pulau Kecil	1,30
8.	Papua Barat	1,50
9.	Papua	1,50

3.4 Standar dalam teknologi energi angin

Sebagai referensi dan panduan untuk implementasi teknologi dan proyek energi angin, terdapat standar terkait yang seharusnya digunakan. Daftar Standar Nasional Indonesia untuk energi angin disajikan dalam Tabel 10.

Tabel 10: Standar Nasional Indonesia untuk energi angin, diadaptasi dari (EBTKE KESDM, 2020)

No.	Nomor Standar	Judul	Keterangan
1	SNI 04-6612.1-2001	Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) - Bagian 1: Persyaratan keselamatan untuk desain struktur SKEA	Standar ini terkait dengan filosofi keselamatan, jaminan kualitas, dan integritas rekayasa, serta menentukan persyaratan untuk keselamatan SKEA.
2	SNI 04-6612.2-2001	Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) - Bagian 2 Persyaratan Keselamatan untuk sistem kontrol dan perlindungan, sistem listrik, pemasangan, perakitan, dan pembangunan turbin angin, pengujian, dan operasi	Standar ini terkait dengan filosofi keselamatan, jaminan kualitas, dan integritas rekayasa serta menetapkan persyaratan keselamatan untuk SKEA.
3	SNI 04-6612.3.1-2002	Sistem Konversi Energi Angin - Bagian 3 Sistem Keselamatan, Perangkat Perlindungan dan Pemantauan - Bagian 1 Sistem Kontrol dan Keselamatan	Ruang lingkup standar ini adalah manajemen operasi dan konsep keselamatan yang dibentuk pada tahap desain dalam kerangka konsep Sistem Konversi Energi Angin (SKEA), untuk mengoptimalkan operasi dan menjaga instalasi dalam kondisi aman terkait dengan kegagalan peralatan.
4	SNI IEC 61400-2-2016	Turbin angin Bagian 2: Persyaratan desain untuk turbin angin skala kecil	Standar ini mengandung filosofi keselamatan, jaminan kualitas, dan integritas teknis, serta menetapkan persyaratan keselamatan untuk turbin angin skala kecil, termasuk desain, pemasangan, operasi, dan pemeliharaan dalam kondisi eksternal yang ditentukan.
5	SNI IEC 61400-21-2016	Turbin angin Bagian 21 Pengukuran dan penilaian karakteristik kualitas daya turbin angin yang terhubung ke jaringan	Standar ini mencakup rekomendasi tentang persiapan untuk pengukuran dan penilaian karakteristik kualitas daya turbin angin yang terhubung ke jaringan.
6	SNI 8398-2017	Pedoman studi kelayakan pembangunan PLTB	Standar ini adalah panduan dalam melakukan studi kelayakan untuk menentukan kelayakan PLTB terhubung ke jaringan dan tidak terhubung ke jaringan berdasarkan penilaian aspek teknis, studi data infrastruktur, aspek ekonomi, keuangan, dan sosial-budaya.

No.	Nomor Standar	Judul	Keterangan
7	SNI IEC 61400-12-1-2017	Sistem pembangkit energi angin - Bagian 12-1 Pengukuran kinerja tenaga listrik yang dihasilkan oleh turbin angin	Standar ini memberikan panduan untuk pengukuran, analisis, dan pelaporan tes kinerja listrik untuk turbin angin
8	SNI 3851-1-2018	PLTB: Istilah, Definisi, Simbol dan Klasifikasi Bagian 1: Umum	Standar ini memberikan istilah, definisi, simbol, dan klasifikasi sistem PLTB.
9	SNI 3851-2-2018	Sistem Konversi Energi Angin. Bagian 2 Panduan untuk mengukur kecepatan dan arah angin untuk perhitungan dasar daya, energi angin, dan turbin angin	Standar ini berisi petunjuk teknis dan petunjuk untuk menentukan potensi energi angin di suatu lokasi.
10	SNI 6207-2018	Pedoman untuk konfigurasi sistem hibrida angin-diesel	Standar ini berisi panduan untuk penggunaan sistem hibrida angin-diesel termasuk konsep dasar tentang konfigurasi sistem dan komponen dalam berbagai konfigurasi penggunaan.
11	SNI IEC 61400-12-2-2018	Turbin angin – Bagian 12-2 Kinerja daya dari turbin angin yang menghasilkan listrik berdasarkan pemasangan anemometer di kabin (nasel)	Standar ini menetapkan prosedur untuk memverifikasi karakteristik kinerja dari turbin tunggal yang tidak dianggap sebagai turbin angin skala kecil.
12	SNI IEC 61400-26-1-2019	Sistem pembangkit listrik tenaga angin - Bagian 26-1 Ketersediaan untuk PLTB	Standar ini dimaksudkan untuk mendefinisikan dasar umum untuk pertukaran informasi tentang indikator ketersediaan antara pemilik, utilitas, pemberi pinjaman, operator, produsen, konsultan, badan pengatur, lembaga sertifikasi, perusahaan asuransi, dan pemangku kepentingan lainnya dalam bisnis PLTB
13	SNI IEC 61400-21-1-2019	Sistem PLTB - Bagian 21-1: Pengukuran dan penilaian karakteristik listrik – Turbin Angin (IEC 61400-21-1: 2019, IDT)	Standar ini menguraikan tentang pengukuran dan penilaian karakteristik listrik untuk PLTB.
14	SNI IEC 61400-24:2019	Sistem PLTB - Bagian 24: Proteksi petir (IEC 61400-24:2019, IDT)	Standar ini berisi tentang perlindungan petir untuk PLTB.
15	SNI IEC 61400-25-1-2017	Sistem pembangkit listrik tenaga angin-Bagian 25-1: Komunikasi untuk pemantauan dan Pengendalian PLTB-Penjelasan keseluruhan tentang prinsip dan modul	Standar ini berisi komunikasi untuk pemantauan dan pengendalian PLTB.

No.	Nomor Standar	Judul	Keterangan
16	SNI IEC 61400-25-5:2017	Sistem PLTB-Bagian 25-5: Komunikasi untuk Pemantauan dan Pengendalian PLTB - Pengujian Kepatuhan	Standar ini berkaitan dengan komunikasi untuk pemantauan dan pengendalian PLTB.
17	SNI 6612-3-1:2021	Sistem Konversi Energi Angin - Bagian 3: Sistem Keselamatan, Perangkat Perlindungan, dan Pemantauan - Bagian 1: Sistem Kontrol dan Keselamatan	Standar ini berisi tentang sistem keselamatan, perangkat perlindungan, dan pemantauan.
18	SNI 9120:2022	Metode untuk menghitung potensi energi angin	Standar ini menyediakan metode untuk menghitung energi angin di suatu lokasi/wilayah terkait dengan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, khususnya untuk aplikasi skala besar yang terhubung ke jaringan listrik.
19	SNI IEC 61400-1:2019	Sistem PLTB- Bagian 1: Persyaratan Desain (IEC 61400-1:2019, IDT)	Standar ini menguraikan persyaratan desain minimum untuk turbin angin untuk memastikan integritas struktural turbin angin.
20	SNI IEC 61400-6:2020	Sistem PLTB: Bagian 6: Persyaratan Desain Menara dan Fondasi (IEC 61400-6:2020, IDT)	Standar ini menetapkan persyaratan umum dan prinsip-prinsip yang akan digunakan dalam menilai integritas struktur pendukung turbin angin berbasis darat (termasuk fondasi).

3.5 Kebijakan mengenai persyaratan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)

Kebijakan mengenai persyaratan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) diterapkan pada proyek *Engineering, Procurement, and Construction* (EPC) yang memperoleh komponen, bahan baku, material konstruksi, penanganan material, peralatan berat, dan perakitan lokal termasuk layanan serta kombinasi produk dan layanan. TKDN merupakan bagian dari kebijakan industri yang bertujuan melindungi industri lokal, menciptakan lapangan kerja, meningkatkan ekspor barang, meningkatkan kapasitas inovasi lokal, dan mendukung perkembangan ekonomi yang lebih luas di negara tersebut. Selain itu, TKDN dapat digunakan sebagai persyaratan kinerja untuk sebuah industri. Seperti yang disebutkan dalam Peraturan Kementerian Perindustrian No. 48/2010, TKDN yang ditargetkan untuk infrastruktur listrik masih terbatas pada hal-hal berikut:

- Pembangkit listrik tenaga batu bara (PLTU)
- Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)
- Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP)
- Pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU)
- Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)
- Jaringan listrik (transmisi dan distribusi)

Selain itu, peraturan ini telah diamendemen menjadi Peraturan Menteri Perindustrian No. 54/2012 yang hingga saat ini, beberapa regulasi telah diamendemen menjadi Peraturan Menteri Perindustrian No. 23/2023 dengan persentase tertentu khusus untuk pembangkit listrik tenaga surya (bukan tenaga angin).

Belum ada TKDN khusus untuk pembangkit listrik tenaga angin saat ini. Namun, terdapat kekhawatiran di kalangan IPP bahwa TKDN akan diterapkan pada proyek-proyek angin juga. Hal ini dapat menimbulkan masalah besar karena sebagian besar komponen turbin angin seperti rotor, bilah, naf, kotak roda gigi, serta komponen listrik seperti generator dan transformator hanya dapat diproduksi oleh produsen terbatas atau tertentu yang belum hadir di Indonesia. Sebelum produksi semacam ini menjadi menarik bagi para produsen, industri angin yang matang perlu dibangun terlebih dahulu untuk menciptakan permintaan yang memadai. Jika TKDN menghambat pengembangan energi angin, maka bisa terjadi kebuntuan dalam pengembangan karena hal tersebut.

3.6 Persyaratan lingkungan

Menurut peraturan pelaksanaan energi terbarukan, lingkungan sekitar lokasi yang direncanakan untuk PLTB harus dinilai sebelum instalasi, selama instalasi, dan setelah instalasi untuk mengantisipasi dan mencegah kemungkinan dampak negatif pada lingkungan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 4/2021 menyebutkan bahwa proyek-proyek PLTB harus memiliki dokumen lingkungan tergantung pada ukuran rencana PLTB sebagai berikut:

- Surat Pernyataan Pengelolaan Lingkungan Hidup (SPPL) untuk PLTB kurang dari 1 MW
- Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UKL-UPL) untuk PLTB antara 1 MW hingga 50 MW
- Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL) untuk PLTB lebih besar atau sama dengan 50 MW

3.7 Pembebasan lahan dan dampak pada wilayah

Ketersediaan lahan adalah salah satu poin paling penting dalam pembangunan PLTB di Indonesia. Oleh karena itu, penting bagi pengembang untuk menyelidiki faktor-faktor berikut di lokasi yang direncanakan:

- Jenis dan kondisi fisik lahan: luas lahan dan kondisi medan (datar, berbukit, adanya hambatan, tutupan lahan, dll.);
- Penggunaan lahan dan tutupan lahan;
- Status dan kepemilikan lahan;
- Opsi perolehan lahan: sewa atau perjanjian sewa jangka panjang, pembelian dari pemilik termasuk harga lahan per hektar;
- Akses lahan termasuk jalan akses yang tersedia, jalur transmisi, dll.;
- Aspek hukum lahan termasuk kebijakan, peraturan, izin, dan hukum;
- Program pembangunan regional, dll.;
- Titik koneksi terdekat ke jaringan PLN.

Selain lahan yang sesungguhnya diperlukan untuk membangun PLTB, pada tahap pengembangan, sangat penting untuk juga menentukan dampak dari PLTB terhadap wilayah dan lahan sekitarnya. Oleh karena itu, faktor-faktor berikut harus diselidiki secara mendalam untuk PLTB yang direncanakan:

- Bandara yang ada di sekitar area yang direncanakan untuk mengantisipasi dampak interferensi sinyal komunikasi radio, bahaya untuk pesawat yang sedang mendekati, dll.;

- Kawasan konservasi alam dan dampaknya terhadap keanekaragaman hayati (misalnya, kematian burung akibat PLTB);
- Kondisi sosial di area tersebut (misalnya, mata pencaharian penduduk setempat) dan dampak yang mungkin timbul akibat PLTB yang direncanakan;
- Warisan budaya;
- Area militer seperti untuk latihan militer, perkemahan, dll.;
- Kesesuaian dengan Rencana Tata Ruang Wilayah atau Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) terbaru terkait dengan konservasi hutan, area pertanian, pemukiman, dan pembangunan regional.

3.8 Kredit karbon

Pada tahun 2021, Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden No. 98/2021 tentang Implementasi Nilai Ekonomi Karbon untuk Mencapai Target Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. Peraturan ini diharapkan dapat menggerakkan lebih banyak pendanaan dan investasi berkelanjutan yang akan berdampak pada penurunan emisi gas rumah kaca (GRK). Kredit karbon (CC), perdagangan karbon, atau kredit emisi karbon adalah mekanisme yang dirancang untuk memberikan insentif ekonomi untuk mengurangi emisi GRK, terutama emisi karbon dioksida (CO₂), menggunakan skema perdagangan sebagai salah satu langkah utama untuk mencapai target pengurangan emisi.

CC, juga dikenal sebagai *offset* karbon atau Pengurangan Emisi yang Diverifikasi (VER), adalah instrumen yang dapat diperdagangkan yang menjamin bahwa satu ton karbon dioksida (CO₂) setara (CO₂e) telah dihindari atau dihapus dari atmosfer; satu ton CO₂ setara dengan satu kredit. Oleh karena itu, CC adalah hasil dari pengurangan emisi akibat implementasi proyek di industri, transportasi bersih, dan proyek energi pengurang emisi termasuk energi terbarukan. Kredit yang dihasilkan oleh suatu proyek dapat dijual dan digunakan oleh pembeli. Insentif bagi pembeli untuk membeli CC adalah untuk mengimbangi emisi karbonnya sendiri agar sesuai dengan target keberlanjutan organisasi atau untuk mencegah pajak karbon. Sesuai dengan kesepakatan dalam Perjanjian Paris, target pengurangan emisi tanpa syarat sebesar 31.9% (sebagai skenario Bisnis-seperti-Biasa) dan 43.4% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 adalah komitmen Pemerintah sebagai Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDC) menuju *Net Zero Emission* pada tahun 2060.

CC dikeluarkan oleh lembaga sertifikasi dengan metodologi ilmiah yang kuat. Kredit ini menawarkan cara yang dapat diandalkan untuk mengimbangi, mendokumentasikan, dan melaporkan kompensasi sukarela untuk emisi GRK yang tersisa, dan dengan demikian, menggantikan emisi GRK yang dihasilkan dari (misalnya) pembangkit listrik bahan bakar fosil. Pengurangan emisi akan direpresentasikan oleh Sertifikat Pengurangan Emisi (CER) yang nilainya bergantung pada ukuran pembangkit listrik. Diberi nama 'IDXCarbon', pasar Indonesia untuk CC didirikan pada September 2023.

Ada beberapa jenis proyek pengimbangan karbon, yang semuanya bertujuan untuk menghindari emisi GRK atau menghapusnya langsung dari atmosfer, dan dalam infrastruktur energi terbarukan, proyek-proyek ini bertujuan untuk menginstalasi pembangkit listrik energi terbarukan di lokasi yang sesuai, dan dengan demikian meningkatkan prevalensi energi bersih di tingkat lokal.

Manfaat kredit karbon adalah:

- Mendukung tujuan kebijakan publik untuk mengurangi emisi karbon di berbagai sektor termasuk sektor energi.
- Meningkatkan kualitas udara, seperti mengurangi polusi udara dari pembangkit listrik tenaga batu bara.
- Mendorong penggunaan teknologi rendah karbon.
- Dalam sektor energi (untuk PLN), menggantikan emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional dengan menerapkan pembangkit listrik hijau atau berbasis energi terbarukan melalui skema kredit karbon (sertifikasi energi terbarukan).

Untuk PLTB, ukuran PLTB dan karakteristiknya (karakteristik beban atau faktor kapasitas) akan memengaruhi pengurangan emisi (dalam ton) untuk mencegah emisi karbon yang dihasilkan (ECP) oleh pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga batu bara. Menghitung nilai ECP dari pembangkit listrik batu bara PLN digunakan sebagai biaya yang dihindari untuk pengurangan emisi gas rumah kaca (GHG) dan akan menjadi keuntungan bagi PLN. Namun, masih ada diskusi berkelanjutan antara pengembang apakah seharusnya PLN atau pemilik pembangkit listrik berbasis energi terbarukan (misalnya, pembangkit listrik tenaga angin) yang dapat menjual kredit karbon dari pembangkit atau menggunakannya untuk offset karbon sendiri. Dalam peraturan saat ini, diputuskan bahwa PLN yang memiliki kredit karbon. Sementara itu, di negara lain (seperti Belanda), pemilik pembangkit yang berhak melakukannya, bukan operator jaringan Listrik.

4 Tantangan dalam pengembangan energi angin

Terdapat berbagai tantangan yang mencegah potensi energi angin di Indonesia untuk dikembangkan sepenuhnya. Tantangan-tantangan ini ditentukan dan disimpulkan berdasarkan masukan dari berbagai pemangku kepentingan, seperti investor/pengembang, serta tinjauan literatur dari studi-studi sebelumnya. Tantangan-tantangan ini dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 11.

Tabel 11: Klasifikasi tantangan dalam pengembangan energi angin

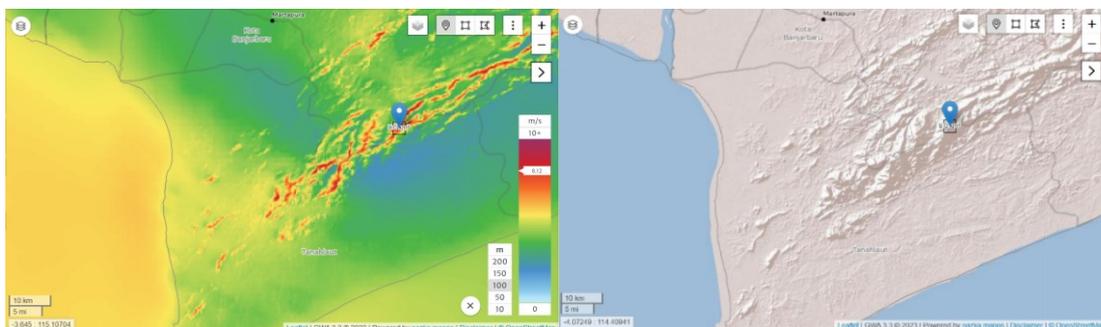
Kategori	Deskripsi	Konsekuensi	Urgensi untuk mengatasi hambatan
Ketersediaan data angin	<ul style="list-style-type: none"> Keterbatasan ketersediaan data angin jangka panjang yang akurat Tingkat ketidakpastian model skala meso yang tinggi sebagai alternatif data angin jangka panjang Beban keuangan investasi untuk pengukuran angin selama proses tender oleh pengembang Kemungkinan lebih rendah untuk mencapai <i>financial close</i> untuk suatu proyek akibat ketidakpastian data angin Ketidakpastian perilaku angin selama operasi PLTB, mengakibatkan kesulitan bagi PLN untuk memprediksi produksi listrik 	Data angin memiliki prioritas tertinggi dalam kasus bisnis PLTB, oleh karena itu, tantangan ini menciptakan profil risiko tinggi bagi pengembang dan investor yang ingin terlibat dalam pengembangan energi angin di Indonesia. Profil risiko ini dapat mengakibatkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, suku bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut memutuskan untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Ketersediaan data spasial dan proses yang terstandarisasi	<ul style="list-style-type: none"> Tidak adanya pedoman yang jelas di Indonesia mengenai kriteria dan pertimbangan analisis untuk dampak teknis, lingkungan, dan sosial dari sebuah PLTB Kurangnya data spasial (perencanaan) yang bersifat digital atau beresolusi tinggi yang dapat diakses dan konsisten untuk mendukung penyeleksian lokasi potensial dan perancangan tata letak PLTB Kurangnya standarisasi dalam proses pengembangan, termasuk studi prasyarat minimum, pedoman studi kelayakan, dll. 	Tidak tersedianya data spasial tidak hanya menghambat pengembang, tetapi juga para pemangku kepentingan dalam menentukan lokasi optimal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Tanpa proses yang terstandarisasi, durasi pengembangan proyek bisa semakin panjang, dan kesulitan dapat timbul saat membandingkan penawaran.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Kebijakan/regulasi dan perizinan	<ul style="list-style-type: none"> Ketidakpastian dan seringnya perubahan kebijakan oleh Pemerintah telah menciptakan risiko bagi investor dan dapat memengaruhi kelayakan keuangan proyek-proyek Implementasi yang tidak konsisten dari regulasi yang sudah ada Penundaan dalam proses perizinan dan pembebasan lahan 	Untuk investasi jangka panjang (misalnya, rangkaian proyek), para pengembang dan investor memerlukan lingkungan regulasi yang stabil sebelum masuk ke suatu negara. Tantangan-tantangan ini menciptakan profil risiko tinggi bagi mereka untuk masuk ke Indonesia, dan sebagai akibatnya, kondisi ini dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, suku bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak memilih untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka menengah
Penelitian dan pengembangan	<ul style="list-style-type: none"> Kurangnya kegiatan Penelitian dan Pengembangan (R&D) untuk pengembangan dan penerapan energi bayu untuk membangun sektor yang matang di Indonesia. 	Tanpa pengetahuan yang memadai tentang energi angin di Indonesia, tantangan-tantangan jangka panjang yang lebih besar (seperti ketersediaan data angin, stabilitas jaringan listrik, dan rantai pasok lokal) tidak dapat diatasi dengan baik atau hanya dengan dukungan dari luar negeri.	Dibutuhkan solusi jangka panjang

Kategori	Deskripsi	Konsekuensi	Urgensi untuk mengatasi hambatan
Kapasitas industri	<ul style="list-style-type: none"> Investasi besar dan rangkaian proyek yang diperlukan untuk membangun rantai pasokan lokal Kurangnya pengetahuan lokal tentang teknologi Keterbatasan tenaga kerja lokal yang terampil tersedia 	Ketergantungan pada teknologi dari luar negeri menciptakan kerentanan dalam hal kenaikan biaya, jaminan kualitas, dan tantangan geopolitik. Selain itu, hal ini dapat menyebabkan hilangnya kesempatan bagi Indonesia untuk meningkatkan kesejahteraan tenaga kerja di sektor ini.	Dibutuhkan solusi jangka panjang
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi yang memiliki potensi energi angin tidak selalu dekat dengan jaringan listrik yang terintegrasi dengan baik; kurangnya infrastruktur sistem transmisi dan distribusi. Sulit untuk menjamin stabilitas dan keandalan tenaga angin mengingat sifat intermitennya; sementara itu, BESS (<i>battery energy storage system</i>) masih relatif mahal untuk diproduksi dan diintegrasikan dengan pembangkit listrik tenaga angin. Kurangnya infrastruktur pendukung seperti akses ke pelabuhan dan jalan. 	Tidak adanya infrastruktur yang tepat dapat meningkatkan biaya pengembangan proyek, karena biaya harus mencakup perbaikan infrastruktur (yang juga memperpanjang durasi proyek). Jika biaya ini harus ditanggung oleh pengembang proyek dan terlalu signifikan, kelayakan proyek tersebut dapat menjatuhkan dan menahan/menghentikan pengembangan proyek.	Dibutuhkan solusi jangka panjang
Keuangan & <i>bankability</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dampak dan dukungan yang kurang optimal yang diberikan oleh regulasi fiskal dan non-fiskal yang ada terhadap investasi di energi angin. Persepsi investasi proyek angin di Indonesia sebagai 'berisiko dan lambat', terutama terkait <i>bankability</i> PJBL (Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik) yang tidak seimbang antara PLN dan pengembang. 	Sebelum pengembang dan investor memutuskan untuk melakukan investasi besar dalam proyek energi angin di Indonesia, mereka memerlukan insentif yang tepat dan PJBL yang seimbang untuk memastikan kasus bisnis yang dapat diandalkan sepanjang masa proyek. Jika kasus bisnis ini tidak dapat dijamin, mereka akan melihat proyek tersebut memiliki profil risiko tinggi. Hal ini pada gilirannya dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, tingkat bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut mulai berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek
Proses pengadaan	<ul style="list-style-type: none"> Proses pengadaan proyek angin PLN yang tidak pasti dan tidak jelas, membawa risiko yang cukup besar bagi pengembang 	Untuk investasi jangka panjang (misalnya, rangkaian proyek), para pengembang dan investor memerlukan proses pengadaan yang stabil, wajar, dan transparan sebelum memasuki suatu negara dan mulai mengajukan penawaran untuk proyek-proyek. Jika proses ini tidak dapat ditawarkan, mereka akan melihat proyek tersebut memiliki profil risiko tinggi. Hal ini pada gilirannya dapat menyebabkan biaya yang lebih tinggi (misalnya, tingkat bunga yang lebih tinggi) atau pihak-pihak tersebut memutuskan untuk berinvestasi di tempat lain.	Dibutuhkan solusi jangka pendek

4.1 Ketersediaan data angin

Keterbatasan ketersediaan data angin yang akurat dan berjangka panjang menjadi tantangan dalam pengembangan energi angin di Indonesia. Meskipun negara lain mungkin memiliki data semacam itu yang dapat diakses melalui stasiun cuaca lokal, data tersebut tidak tersedia secara terbuka di Indonesia. Keterbatasan ini membuat sulit untuk mengidentifikasi lokasi potensial dengan kecepatan angin yang sesuai. Untuk mengatasi keterbatasan ini, Pemerintah dan pengembang menggunakan peta kecepatan angin untuk mencari lokasi terbaik. Salah satu peta angin yang banyak digunakan adalah *Global Wind Atlas*, yang dimiliki dan dioperasikan oleh *Technical University of Denmark*. Peta-peta ini memberikan informasi tentang karakteristik angin di berbagai wilayah global, termasuk rata-rata, maksimum, dan minimum kecepatan angin. Karakteristik ini kemudian dapat diubah menjadi peta densitas daya (W/m^2) dan peta produksi energi tahunan (kWh/m^2). Meskipun peta-peta ini berguna sebagai dasar pemilihan lokasi, akurasi mereka jauh lebih rendah daripada pengukuran angin sebenarnya di lokasi tertentu karena menggunakan pemodelan skala meso. *Global Wind Atlas* menjelaskan keterbatasan ini dalam FAQ mereka, menyatakan, "Pemodelan skala meso adalah pemodelan aliran kompleks atmosfer dan fitur cuaca sehingga sistem cuaca dan front cuaca dijelaskan dan dimodelkan dengan baik. Namun, model-model skala meso terlalu kasar untuk menggambarkan aliran di atas bukit dan lereng. Biasanya, model-model skala meso memiliki jarak kisi yang berkisar dari 1 hingga 10 km. Ini berarti bahwa medan terkadang terlalu disederhanakan oleh jarak kisi dalam model-model skala meso." (Technical University of Denmark, 2023).

Sebuah wilayah dapat dipilih untuk pengembangan energi angin berdasarkan kecepatan angin yang menjanjikan seperti yang tergambar dalam peta. Namun, sumber daya angin aktual di setiap lokasi yang diharapkan untuk pembangunan turbin angin dapat sangat berbeda dari rata-rata kecepatan angin yang ditunjukkan dalam peta (baik dalam hal positif maupun negatif). Deviasi ini sering terjadi di Indonesia di mana bukit dan lereng (seperti yang disebut sebelumnya) sangat umum di daerah dengan kecepatan angin yang lebih tinggi. Contoh yang baik untuk ini diilustrasikan dalam Gambar 9, yakni, wilayah proyek angin di Tanah Laut (proses pengadaan oleh PLN sedang berlangsung). Berdasarkan peta angin (gambar kiri), wilayah ini terlihat sangat menjanjikan. Namun, berdasarkan peta ini saja, sangat sulit untuk memprediksi perilaku angin sesungguhnya di lokasi ini karena medan yang bergelombang (gambar kanan). Bukit dan lereng membuat sulit untuk memprediksi perilaku angin menggunakan pemodelan skala meso. Dengan kata lain, lokasi yang ditentukan pada peta dengan kecepatan angin rata-rata $8,12 \text{ m/s}$ melibatkan ketidakpastian yang sangat tinggi. Untuk mengurangi ketidakpastian yang signifikan ini, pengukuran angin di lokasi untuk jangka waktu tertentu selalu diperlukan di Indonesia (dan menjadi kewajiban untuk tender PLN).



Gambar 9: Peta angin dan peta medan Tanah Laut, Kalimantan Selatan (Technical University of Denmark, 2023)

Di Indonesia, pengukuran di lokasi ini umumnya dimulai dan dilakukan oleh pengembang PLTB. Namun, ada pihak lain yang juga melakukan pengukuran, seperti:

- Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (BBSP KEBTKE) adalah lembaga pemerintah di bawah Kementerian ESDM yang telah melakukan perhitungan potensi energi angin dan membuat peta potensi energi angin Indonesia. Peta tersebut dapat diakses melalui geoportal MEMR, yang edisi ketiganya diluncurkan pada tahun 2021. Badan ini telah memasang tiang meteorologi (*met mast*) di lebih dari 30 lokasi, mulai dari ketinggian 30 hingga 100 meter, di beberapa provinsi di seluruh Indonesia. Tiang-tiang ini didirikan untuk pengumpulan data selama beberapa tahun dan telah dibongkar setelahnya. Data angin yang dikumpulkan ini tidak dapat diakses secara terbuka, tetapi hanya dapat diakses dalam bentuk olahan melalui peta angin ESDM.
- Lembaga pemerintah dan mitra pembangunan lainnya telah melakukan pengukuran angin di berbagai ketinggian untuk mempercepat pemanfaatan energi angin di lebih dari 200 lokasi di seluruh Indonesia. Contoh lembaga ini termasuk LAPAN, BPPT, P3TKEBTKE-ESDM, WIND GUARD, SOLUZIONE, NIPSA, dan WHyPGen. Beberapa data pengukuran angin ini dapat diakses secara terbuka, sedangkan mayoritas digunakan sebagai masukan untuk penelitian dan studi lebih lanjut.

Meskipun kegiatan pengukuran angin ini membantu sektor angin secara umum, pengukuran angin khusus masih diperlukan untuk proyek-proyek tertentu. Ini karena pengukuran angin harus memenuhi standar internasional agar hasilnya dapat digunakan dalam tender PLN dan untuk tujuan pembiayaan proyek. Misalnya, pengukuran harus dilakukan pada ketinggian yang sesuai (sebaiknya pada ketinggian naf turbin angin yang dibayangkan) dan untuk durasi tertentu. Pengukuran spesifik proyek semacam itu sering dilakukan di seluruh Indonesia oleh IPP pengembang (misalnya UPC Renewables, Akuo Energy, dan Egeres) yang bertujuan untuk berpartisipasi dalam tender PLN. Karena investasi yang diperlukan untuk pengukuran angin ini, pengembang IPP menganggap data yang dihasilkan sebagai rahasia dan tidak mengizinkan pembagiannya dengan pihak ketiga.

Untuk memahami perlunya memperoleh data angin dengan kualitas yang baik, subbagian di bawah ini menjelaskan bagaimana penilaian sumber daya angin dilakukan. Pengukuran dianggap sebagai langkah penting dalam setiap pengembangan PLTB.

4.1.1 Melakukan Penilaian Sumber Daya Angin

Untuk proyek skala utilitas, biasanya ada 3 langkah Penilaian Sumber Daya Angin (*Wind Resource Assessment/WRA*) yang dilakukan selama tahap pengembangan. Langkah pertama adalah menentukan lokasi paling sesuai untuk mengembangkan PLTB. Biasanya pemodelan skala meso digunakan untuk tujuan ini. Model tersebut berasal dari data *reanalysis* meteorologi global yang tersedia secara terbuka, seperti *Modern-Era Retrospective Analysis for Research & Applications* (MERRA) dan ERA5. Berdasarkan data ini, dilakukan serangkaian pemodelan lanjutan untuk memperoleh tingkat resolusi yang lebih tinggi dan memasukkan efek iklim. Jalannya pemodelan akhir biasanya mencakup setidaknya 10 tahun data angin historis untuk setiap sel kisi (*grid cell*) di negara tersebut, pada beberapa ketinggian, dengan frekuensi 10 menit. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pemodelan skala meso memiliki batasan yang signifikan dan oleh karena itu, langkah kedua sangat penting.

Sebagai langkah kedua, pengembang harus memvalidasi model skala meso dengan memperoleh data angin di lokasi itu sendiri. Data angin ini dapat dikumpulkan menggunakan *met mast*, SODAR, atau LiDAR yang dipasang di satu atau beberapa lokasi (tergantung pada konsistensi medan) di dalam lokasi proyek yang dibayangkan. Jika pengembang ingin berpartisipasi dalam tender, data angin yang direkam harus mencakup minimal satu tahun pengukuran berkelanjutan. Saat memasang instrumen *met mast* ini, pengembang harus mematuhi seperangkat peraturan sebagaimana didefinisikan oleh IEC 61400 dan pedoman *Measuring Network of Wind Energy Institutes* (MEASNET). MEASNET merupakan organisasi internasional yang terdiri dari beberapa perusahaan yang bergerak di bidang energi angin. Para anggota mendirikan MEASNET untuk melakukan penilaian kualitas bersama dan berkala untuk menyelaraskan dan menyiapkan interpretasi yang seragam dari standar pengukuran dan evaluasi. Biasanya, data potensi angin yang dikumpulkan oleh pengembang adalah milik dan bukan untuk penggunaan umum. Hal ini karena pengukuran angin memerlukan biaya pengembangan yang signifikan, yang dapat berkisar antara Rp 1,5 hingga 2 miliar per *met mast* menurut berbagai sumber. Menyewa LiDAR atau SODAR untuk pengukuran angin juga memiliki kisaran biaya pengembangan yang serupa.

Sebagai langkah terakhir, setelah data dari *met mast* dikumpulkan, data angin jangka panjang diperlukan untuk mengoreksi dan memprediksi variasi data angin jangka panjang. Data jangka panjang ini biasanya diperoleh dari stasiun cuaca meteorologi. Sebagian besar untuk pasar Indonesia, karena tidak adanya data angin lokal jangka panjang yang dapat memenuhi persyaratan dari IEC 61400 dan pedoman MEASNET, maka data sekunder kemudian digunakan dari berbagai sumber, seperti Vortex LES (*Large Eddy Simulation*), ERA-5 (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5*), dan MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research & Applications*). Namun, penggunaan data sekunder memiliki ketidakpastian dalam menghitung produksi energi tahunan (AEP), ketika menghubungkan data jangka pendek dengan jangka panjang. Ketidakpastian ini perlu dimasukkan secara transparan dalam WRA dan perhitungan hasil selanjutnya. Langkah terakhir ini harus dilakukan oleh konsultan independen untuk memastikan *bankability* hasilnya, terutama ketika proyek mengejar pembiayaan *proyek non-recourse* dari pemberi pinjaman internasional.

4.1.2 Tantangan dalam ketersediaan data angin

Berdasarkan sejumlah wawancara yang dilakukan dalam penelitian ini, beberapa tantangan terkait ketersediaan data angin yang diidentifikasi adalah:

- Identifikasi lokasi angin potensial di Indonesia menjadi tantangan bagi pemrakarsa proyek, peneliti, dan Pemerintah karena terbatasnya ketersediaan data angin jangka panjang yang akurat.
- Menggunakan model skala meso sebagai alternatif untuk data angin jangka panjang membawa tingkat ketidakpastian yang tinggi karena kemampuan terbatas untuk memodelkan medan yang kompleks, yang sering terjadi di Indonesia.
- Sistem tender yang kompetitif mengharuskan setiap pengembang untuk melakukan pengukuran angin yang "sama" di lokasi proyek. Untuk setiap tender proyek yang dianggap berpartisipasi oleh pengembang, diperlukan investasi yang signifikan untuk melakukan pengukuran angin dan WRA. Investasi ini bahkan lebih tinggi pada proyek-proyek dengan medan yang kompleks, di mana pengembang harus melakukan instalasi dan mengoperasikan lebih dari satu kampanye pengukuran angin. Perlu dicatat bahwa pengukuran angin dilakukan pada tahap awal proyek, yang dikaitkan dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi tentang apakah proyek akan terwujud atau tidak. Aspek-aspek yang berkontribusi terhadap ketidakpastian tersebut meliputi: akan dan kapan proyek ditenderkan, berapa banyak persaingan yang ada, dan apa persyaratan tender?

Untuk pengembang yang tidak memenangkan proses tender untuk proyek angin tertentu, biaya pengukuran ini harus dihapuskan (selain semua biaya lain untuk mempersiapkan penawaran). Dalam jangka panjang, ini dapat menyebabkan beban keuangan yang signifikan bagi pengembang dan perilaku yang tidak diinginkan dalam proyek (misalnya diskusi klaim biaya untuk mengompensasi kerugian masa lalu).

- Secara umum, ketidakpastian AEP untuk proyek angin di Indonesia cukup tinggi karena kurangnya data jangka panjang yang dapat digunakan untuk mengkorelasikan dan memvalidasi data angin. Hal ini dan ketidakpastian lainnya menurunkan nilai P50 dan P90 dari AEP, yang menurunkan kemungkinan mencapai *financial close* untuk proyek tersebut.
- Ketidakpastian perilaku angin di medan yang kompleks di Indonesia tidak hanya menantang dalam tahap pengembangan, tetapi juga dalam tahap operasi. Untuk PLN, penting untuk menentukan berapa banyak produksi listrik yang dapat diharapkan dari PLTB untuk beberapa jam dan hari mendatang sehingga mereka dapat mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga jaringan tetap stabil (listrik dari PLTB bersifat intermiten). Tanpa model prediksi yang berkepastian tinggi dan canggih, mencapai stabilitas jaringan tetap menjadi tantangan bagi PLN, dan akibatnya, kondisi ini membuat mereka cenderung bertindak konservatif dengan, misalnya, melakukan pembatasan preventif terhadap hasil produksi tenaga listrik dari PLTB.

4.2 Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi

4.2.1 Panduan tentang dampak PLTB

Untuk pengembangan PLTB, dampak PLTB terhadap lingkungan perlu dipertimbangkan. Meskipun pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan nol emisi karbon, mereka cenderung menghasilkan dampak lain terhadap lingkungan dan masyarakat, terutama karena gangguan visualnya (termasuk bayangan berkedip), kebisingan, dan masalah keamanan bagi masyarakat setempat. Saat ini, belum ada pedoman yang jelas dan spesifik yang berlaku di Indonesia tentang bagaimana semua dampak ini harus dianalisis dan dipertimbangkan dalam pengembangan PLTB. Sebagai contoh, jarak minimum antara turbin angin dengan area pemukiman belum ditentukan. Pedoman semacam ini diperlukan untuk menyiapkan tata letak PLTB. Berikut adalah beberapa alasan mengapa persiapan tata letak PLTB yang tepat sangat penting:

- Persiapan tata letak yang tepat menghilangkan kendala yang dapat menghambat proyek didanai oleh pemberi pinjaman internasional, terutama yang terkait dengan faktor lingkungan dan sosial proyek.
- Persiapan ini dapat mengoptimalkan biaya, waktu, dan usaha yang dihabiskan oleh pengembang/investor selama tahap pengembangan. Untuk proses perizinan (KKPR), tata letak PLTB merupakan salah satu persyaratan untuk mendapatkan persetujuan. Dalam kasus tata letak yang tidak sesuai, keseluruhan proses akan perlu direvisi, dan ini menambah waktu dan biaya yang tidak perlu.
- Persiapan ini menghindari konflik potensial antara pengembang dan pemilik industri. Sering kali terjadi kasus di mana lebih dari dua perusahaan mengajukan izin untuk area yang sama, atau di mana area pertambangan yang disediakan untuk pengembangan masa depan diidentifikasi dalam area pembangkit listrik tenaga angin. Tumpang tindih seperti ini bisa memicu konflik antara investor dan pemilik industri.

4.2.2 Data spasial

Selama tahap pengembangan, beberapa jenis peta geospasial diperlukan untuk mendefinisikan tata letak PLTB dengan baik. Contohnya, peta kecepatan angin, peta penggunaan lahan, peta area hutan, peta topografi, dan peta bencana alam. Semua peta ini harus diperoleh dari sumber sekunder yang terpercaya. Pada Tabel 12, diberikan gambaran tentang peta perencanaan spasial yang diperlukan untuk merancang tata letak PLTB, serta keterbatasan-keterbatasan peta tersebut dalam hal ketersediaan. Setelah diperoleh, data tersebut kemudian diproses dan dilapisi dalam perangkat lunak GIS untuk menentukan area yang tersedia untuk pengembangan PLTB. Kriteria pengecualian ditentukan sesuai dengan persyaratan minimal dan standar internasional (dalam ketiadaan standar Indonesia) untuk mendirikan pembangkit listrik tenaga angin.

Namun, beberapa informasi/peta tidak tersedia secara digital, yang mempersulit proses merancang tata letak dan mengidentifikasi area untuk pengembangan tenaga angin. Selain itu, mendapatkan peta-peta ini perlu dilakukan melalui berbagai pemerintah lokal dan pusat, masing-masing dengan prosedur sendiri.

Tabel 12: Daftar peta perencanaan tata ruang yang diperlukan untuk tata letak turbin angin

Kategori	Area pengecualian atau kriteria evaluasi	Lembaga yang Bertanggung Jawab (Indikatif)	Status
Lingkungan	Taman Nasional	KLHK	Data tersedia di situs KLHK seperti sigap.menlhk.go.id atau SIMONTANA KLHK; Namun, data tidak dapat diunduh.
	Kawasan Pelestarian Alam		Tidak tersedia secara digital
	Kawasan perlindungan satwa liar nasional		Tidak tersedia
	Situs warisan dunia		Tidak tersedia secara digital
	Kawasan konservasi burung dan kelelawar		Tidak tersedia secara digital
Lingkungan	Jalur migrasi burung (indikatif)		Tidak tersedia secara digital
Infrastruktur	Jalan	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau Badan Informasi Geospasial (BIG)	Data dapat diakses melalui portal BIG; namun, data resolusi tinggi tidak tersedia terutama untuk daerah di luar Pulau Jawa.
	Jalan tol		
	Rel kereta api		
	Bandara		
	Pelabuhan		
	Area industri	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau Kantor Perencanaan Penggunaan Lahan (kabupaten)	Tidak tersedia secara digital
Jalan tol masa mendatang	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau BIG	Tidak tersedia secara digital	
Alam	Sungai	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau BIG	Saat ini tersedia
	Danau	BIG	Saat ini tersedia

Kategori	Area pengecualian atau kriteria evaluasi	Lembaga yang Bertanggung Jawab (Indikatif)	Status
	Samudra (Garis Pantai)	BIG	Saat ini tersedia
	Gunung	BIG	Saat ini tersedia
	Gunung api	BIG	Tidak tersedia
Penggunaan Lahan	Hutan Lindung	KLHK	Data tersedia di situs KLHK seperti sigap.menlhk.go.id atau SIMONTANA KLHK; Namun, data tidak dapat diunduh.
	Hutan Produksi	KLHK	
	Lahan Pertanian	Kantor Perencanaan Penggunaan Lahan (tingkat kabupaten)	Peta wilayah tentang Perencanaan Penggunaan Lahan tersedia di situs web Kementerian Agraria dan Tata Ruang (atrbpn.go.id)
	Area Pemukiman		Tidak tersedia secara digital
	Kawasan Pariwisata		Tidak tersedia secara digital
	Pertambangan		Tidak tersedia secara digital
	Kawasan warisan budaya lokal		Tidak tersedia secara digital
<i>Grid</i>	Gardu Induk 150 kV	PLN	Tidak tersedia secara digital
	Saluran Transmisi 150 kV		
	Jarak ke jaringan (saluran transmisi < 30 km)		
Bencana	Risiko tsunami	Badan Nasional Penanggulangan Bencana/BNPB	Saat ini tersedia
	Risiko Pergerakan Tanah		
	Risiko gempa		
	Risiko banjir		
Lainnya	Medan Lereng	BIG	Data dapat diakses melalui portal BIG; namun, data resolusi tinggi tidak tersedia terutama untuk daerah di luar Pulau Jawa.
	Peta kecepatan angin	MEMR	Karena akurasi yang lebih tinggi, data eksternal (misalnya data ERA-5 dan Vortex LES saat ini digunakan) lebih disukai daripada EMD Danida (diproduksi bekerja sama dengan MEMR)

Berdasarkan diskusi dengan pengembang PLTB, tidak adanya peta/data digital yang mumpuni menyulitkan pemetaan lokasi hunian. Selain itu, juga sulit untuk secara tepat menentukan rute migrasi burung. Tanpa data tersebut, ketidakpastian tetap ada dalam proyek, padahal lebih baik apabila ketidakpastian dapat dikurangi sejak dini. Tidak mengurangi ketidakpastian ini dapat berdampak besar pada proyek. Misalnya, jika pada tahap akhir proyek, menjadi jelas bahwa turbin angin terlalu dekat dengan area tempat tinggal, pemberi pinjaman dapat meminta untuk melepas turbin atau mengurangi jam operasional turbin. Oleh karena itu, hasil PLTB akan dibatasi, dan akibatnya, hal ini menciptakan dampak negatif pada profitabilitas dan *bankability* proyek.

Dalam beberapa kasus, ketika peta digital tersedia, resolusi mungkin tidak cukup. Hal ini dapat mengurangi akurasi hasil analisis data spasial. Salah satu contohnya adalah *Digital Elevation Model* dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang menunjukkan kemiringan dan kompleksitas suatu medan. Peta sumber terbuka yang tersedia dari BIG memiliki resolusi 1: 50.000, yang bisa diterapkan untuk medan datar. Namun, di lokasi di mana medannya cukup berbukit dan kompleks (misalnya pegunungan memanjang), diperlukan peta resolusi yang lebih tinggi. Dalam kebanyakan kasus, survei topografi tambahan masih diperlukan untuk memverifikasi tata letak PLTB yang dihasilkan.

Tantangan di atas menyoroti pentingnya memiliki data spasial digital berkualitas tinggi untuk menciptakan tata letak PLTB yang tepat, yang dapat memenuhi persyaratan wajib untuk proses perizinan (KKPR atau PPKH) dan persyaratan dari investor / pemberi pinjaman.

4.2.3 Proses pengembangan terstandarisasi

Selain perlunya pedoman yang tepat untuk menganalisis dampak lingkungan dan sosial dari PLTB di Indonesia, beberapa pihak yang diwawancarai menyebutkan perlunya prosedur pengembangan PLTB yang terstandarisasi. Dengan tidak adanya standar tersebut, setiap inisiator atau pengembang menggunakan metodologinya sendiri untuk melakukan studi kelayakan, membuat kasus bisnis, memilih pemasok dan produsen yang paling sesuai, dll. sebelum tender proyek angin dilakukan oleh PLN. Ketika tender akhirnya dimulai, semua studi yang dilaksanakan dan data yang dikumpulkan diamanatkan untuk memenuhi persyaratan sebagaimana diatur dalam dokumen tender. Akibatnya, ada risiko besar terjadinya ketidaksesuaian antara metodologi pengembangan yang dilaksanakan dan metodologi yang dibutuhkan. Kondisi ini membuat pengembangan PLTB menjadi kompleks dan berisiko secara tidak perlu. Selain itu, ketiadaan standar juga dapat menyebabkan kurangnya kualitas hasil dari aktivitas pengembangan. Oleh karena itu, proses pengembangan yang terstandarisasi diperlukan untuk menjaga kualitas dan mengurangi risiko pengembangan proyek angin.

4.3 Kebijakan/peraturan dan perizinan

Saat ini, beberapa kerangka peraturan sudah berlaku (lihat Bab 3). Namun, menurut beberapa pengembang proyek angin, tantangan utama yang dihadapi dalam investasi dan pengembangan proyek energi terbarukan adalah peraturan yang sering berubah. Hal ini menambah ketidakpastian bagi pengembang karena peraturan mungkin berubah selama pelaksanaan proyek, yang dapat mempengaruhi selera investor dan kelayakan finansial proyek. Contoh peraturan yang berubah adalah pada tarif energi terbarukan, di mana urutan kronologis perubahan selama 8 tahun terakhir dijelaskan di bawah ini:

- Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM 50/2017, tarif EBT yang ditawarkan ditentukan berdasarkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan untuk masing-masing daerah. Menurut investor, peraturan ini menimbulkan ketidakpastian karena BPP diperbarui setiap tahun dan berpotensi membebaskan biaya pembangkitan yang nyata dan sebenarnya - melalui subsidi yang diberikan kepada batu bara dan solar. (Persentase dari) BPP ditetapkan sebagai tarif PJBL maksimum yang diizinkan.
- Dalam beberapa dokumen *Request for Proposal (RfP)* proyek angin yang diterbitkan setelah 2017, PLN mengindikasikan tarif perkiraan pemilik yang lebih rendah dari tarif yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 50/2017. IPP wajib menawar lebih rendah atau sama dengan tarif perkiraan pemilik.
- Pada tahun 2022, telah diterbitkan Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Baru Terbarukan untuk Pembangkitan Tenaga Listrik. Menurut peraturan ini, harga pembelian listrik didasarkan pada tarif patokan tertinggi, yang akan dievaluasi setiap tahun oleh ESDM.

Tantangan khusus dalam peraturan lama dan yang sudah ada adalah dimungkinkannya proses negosiasi antara PLN dan pengembang tentang tarif pembelian listrik. Tetapi karena PLN adalah perusahaan monopoli di sektor *grid*, para pengembang memiliki posisi yang lemah di meja perundingan. Para pengembang dapat merasa tertekan untuk menawar tarif serendah mungkin dalam tender untuk memperoleh proyek angin (tanpa melihat kapan proyek berikutnya akan ditenderkan). Akibatnya, ini dapat menyebabkan kasus bisnis yang tidak lagi *bankable* atau mempengaruhi stabilitas keuangan proyek. Selain itu, tarif listrik yang disepakati menetapkan patokan untuk proyek-proyek serupa di masa depan yang ditenderkan oleh PLN, yaitu PLN mengharapkan tarif yang sama (atau bahkan lebih rendah) untuk proyek-proyek berikutnya meskipun spesifikasi dan kondisi proyek dapat bervariasi secara signifikan.

Dari segi perizinan, Pemerintah telah menerapkan penyederhanaan perizinan melalui sistem *Online Single Submission (OSS)*. Sistem ini diperkenalkan untuk mempermudah proses perizinan untuk berbagai kegiatan bisnis termasuk pembangkit listrik energi terbarukan. Namun, persyaratan dan proses spesifik dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan skala proyek. Beberapa izin memerlukan waktu proses yang panjang dan melibatkan banyak lembaga pemerintah atau pejabat. Penting untuk bekerja sama secara erat dengan para pemangku kepentingan lokal, patuh secara tekun terhadap semua regulasi yang berlaku, dan menjaga komunikasi terbuka sepanjang masa proyek.

Salah satu izin yang menjadi tantangan bagi pengembang adalah penerbitan KKPR, yang memberikan izin bagi pengembang/investor untuk melakukan pengadaan lahan untuk area lebih dari 1 hektar. Mendapatkan izin lahan untuk proyek PLTB di Indonesia dapat menjadi proses yang kompleks dan menantang karena berbagai faktor, termasuk pertimbangan hukum, lingkungan, sosial, dan regulasi. Setelah diperkenalkannya OSS, semua proses penerbitan KKPR dikelola oleh Pemerintah Pusat, termasuk Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (KATR/BPN), yang terutama menangani proses pengadaan lahan dan sertifikasi. Karena banyaknya permintaan dari investor di berbagai sektor, terdapat antrean panjang dalam proses KKPR yang dikelola secara sentral oleh KATR/BPN di kantor pusatnya di Jakarta. Durasi persetujuan untuk proses ini juga lebih lama dari yang diatur dalam regulasi. Alasan antrean dokumen yang panjang di meja mereka tampaknya menjadi alasan untuk proses yang panjang ini.

Proses yang panjang terkadang juga dikaitkan dengan tumpang tindih hak atas tanah. Berdasarkan wawancara dengan para pengembang, ditemukan bahwa di Indonesia, kepemilikan tanah tertentu dapat diklaim oleh beberapa pihak. Selain itu, sebidang tanah sering dialokasikan untuk berbagai tujuan, seperti pertanian, kehutanan, atau penggunaan komunitas tradisional. Situasi ini dapat mengakibatkan penambahan waktu proyek yang lebih lama dan biaya yang meningkat. Oleh karena itu, penting bagi pengembang untuk bekerja sama secara erat dan berurusan dengan berbagai pemangku kepentingan serta memastikan kepatuhan terhadap regulasi pusat dan lokal untuk mendapatkan izin lahan (KKPR) untuk PLTB.

Akhirnya, patut dicatat bahwa keluaran berikutnya di bawah proyek di mana peta jalan ini merupakan bagian (*Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*), akan mencakup penilaian yang lebih menyeluruh tentang prosedur perizinan untuk angin darat termasuk hambatan dan rekomendasi.

4.4 Aktivitas penelitian dan pengembangan (*Research & Development* atau R&D)

Secara global, kegiatan R&D telah terbukti efektif dalam menurunkan biaya energi terbarukan, meningkatkan kemampuan teknologi produsen teknologi energi terbarukan lokal, dan meningkatkan daya saing teknologi energi terbarukan di pasar global maupun lokal. Namun, sayangnya kegiatan R&D di Indonesia masih sangat terbatas. Sebagai contoh, potensi energi angin yang terdaftar dalam RUEN (60,6 GW) belum mempertimbangkan batasan apa pun untuk pengembangan PLTB. Salah satu batasan penting namun diabaikan adalah Kajian Lingkungan Hidup Strategis (*Strategic Environmental Assessment*) yang diwajibkan oleh Kementerian Dalam Negeri dalam perencanaan pembangunan regional. Selain itu, juga terdapat kurangnya studi yang dilakukan oleh lembaga lokal, sementara riset jangka panjang dan fundamental biasanya menjadi peran sektor publik dan fokus utama dari inisiatif R&D publik.

Ada tiga tantangan mendasar utama yang akan membutuhkan penelitian R&D dan strategis lebih lanjut untuk mencapai keberhasilan implementasi untuk pengembangan angin di Indonesia:

1. Mengatasi tingginya tingkat ketidakpastian model skala meso sebagai titik awal pemilihan lokasi energi angin;
2. Merumuskan strategi yang jelas dan efisien dalam membangun kapasitas industri Indonesia di sektor pembangkit listrik tenaga angin (misalnya, apa manfaat jika komponen turbin angin diproduksi di Indonesia?);
3. Mengembangkan rencana untuk memastikan stabilitas dan keandalan jaringan dengan integrasi tenaga angin intermiten.

4.5 Kapasitas industri

Teknologi turbin angin skala utilitas dan pasar domestiknya belum berkembang di Indonesia. Oleh karena itu, negara ini masih mengandalkan teknologi asing untuk energi angin, terutama untuk turbin angin. Komponen utama dari sebuah turbin angin dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 10: Komponen utama dari sebuah turbin angin (Bilderzweg - stock.adobe.com, 2022)

Menurut salah satu pengembang yang diwawancarai, Indonesia secara historis telah menerapkan persyaratan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) untuk mendorong manufaktur dalam negeri dan penciptaan lapangan kerja. Pada suatu titik, proyek-proyek energi angin mungkin perlu mematuhi persyaratan ini. Namun, penerapan yang terlalu dini dari persyaratan ini dapat berdampak negatif terhadap ketersediaan dan pasokan peralatan dan material untuk pengembangan PLTB karena kemampuan manufaktur lokal belum sepenuhnya siap.

Ada tiga poin yang harus dipertimbangkan ketika membangun pengembangan rantai pasokan tenaga angin lokal di Indonesia:

- Jika barang yang diproduksi secara lokal harus memiliki tingkat kualitas yang sama dengan barang impor, maka dapat diperkirakan bahwa jenis barang yang pertama akan memiliki biaya produksi (dan harga) yang lebih tinggi. Hal ini terutama disebabkan oleh investasi awal yang tinggi yang diperlukan dalam mempersiapkan tenaga kerja terampil dan membangun fasilitas produksi baru untuk mempercepat industri angin Indonesia. Karena biaya yang lebih tinggi akan mengurangi profitabilitas proyek angin, Pemerintah perlu menawarkan insentif yang mendorong penggunaan produk lokal dibandingkan produk impor yang sudah terbukti secara global.
- Persyaratan TKDN sering kali membutuhkan penggunaan bagian yang diproduksi dalam negeri, yang kemungkinan tidak memiliki kualitas yang sama dengan bagian impor. Hal ini dapat menyebabkan efisiensi biaya yang berkurang karena peningkatan biaya perawatan selama operasi PLTB. Selain itu, ketiadaan atau jangka waktu garansi yang lebih pendek pada bagian-bagian ini sesuai yang diminta oleh pemberi pinjaman dalam strategi mitigasi risiko mereka kemungkinan akan mengurangi *bankability* proyek.
- Selain rantai pasokan lokal, sangat penting bagi Indonesia memiliki tenaga kerja yang berkualifikasi untuk pengembangan, konstruksi, dan operasi PLTB. Mengingat PLTB adalah teknologi yang relatif baru di Indonesia, di mana kapasitas PLTB sekitar 'hanya' 154 MW terpasang, adalah wajar untuk mengasumsikan bahwa tenaga kerja saat ini masih kekurangan kompetensi yang diperlukan untuk mendukung pengembangan PLTB dalam skala besar.

Oleh karena itu, penting bagi Pemerintah untuk mempersiapkan program pengembangan kapasitas dan transfer pengetahuan untuk membekali tenaga kerja lokal dengan pengetahuan dan keahlian yang dibutuhkan.

4.6 Infrastruktur

Konstruksi PLTB melibatkan lebih dari sekadar pemasangan turbin angin. Jaringan infrastruktur besar diperlukan untuk menyelesaikan konstruksi hingga PLTB siap dioperasikan. Di Indonesia, lokasi dengan potensi angin yang baik umumnya tersebar di lokasi terpencil dengan infrastruktur yang terbatas. Ini berarti infrastruktur mungkin perlu dibangun atau ditingkatkan sebelum konstruksi dapat dilakukan. Namun, merealisasikan infrastruktur (baik infrastruktur jalan maupun transmisi) memiliki tantangan. Contoh tantangan tersebut berdasarkan wawancara yang dilakukan adalah sebagai berikut:

4.6.1 Infrastruktur transmisi

Infrastruktur transmisi yang ada bisa sangat bervariasi antara lokasi di Indonesia, baik dari segi kapasitas, keandalan, maupun ketersediaannya. Beberapa lokasi mungkin memiliki jaringan *grid* yang lebih stabil dan andal, sementara yang lain mungkin memiliki pembatasan atau memerlukan peningkatan untuk memungkinkan integrasi energi angin. Jaringan Jawa-Sumatera-Bali (Jamali) adalah jaringan terbesar di Indonesia yang menjadikannya yang paling cocok untuk interkoneksi PLTB ke jaringan tersebut. Namun, itu tidak berarti setiap lokasi di Pulau Jawa, Sumatera, atau Bali memiliki jalur transmisi yang tersedia di dekatnya. Dan jika ada, kapasitas beban dari jalur transmisi tersebut perlu dianalisis. Sebagai contoh, jika sebuah jalur transmisi berada di dekat lokasi PLTB yang direncanakan, jalur tersebut bisa sepenuhnya "dibebani" untuk pengiriman listrik ke desa terdekat. Oleh karena itu, peningkatan jalur transmisi masih diperlukan. Pada Gambar 11: Jaringan transmisi saat ini di wilayah Sukabumi; area Pelabuhan Ratu ditandai dengan garis putus-putus merah, sementara lokasi indikatif dari PLTB yang direncanakan ditunjukkan dalam area oval kuning (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023b), diilustrasikan sebuah contoh untuk wilayah Sukabumi, di mana sebuah PLTB direncanakan dengan jalur transmisi 70 kV terdekat dengan stasiun transmisi terletak di Pelabuhan Ratu. Jika sebuah PLTB didirikan di wilayah ini, sebuah jalur sub-transmisi (mungkin > 20 km) perlu direalisasikan dari sub-stasiun PLTB ke stasiun transmisi tersebut. Kondisi lainnya adalah bahwa stasiun transmisi ini harus memiliki pengumpan yang dibutuhkan yang tersedia untuk koneksi kabel/jalur.

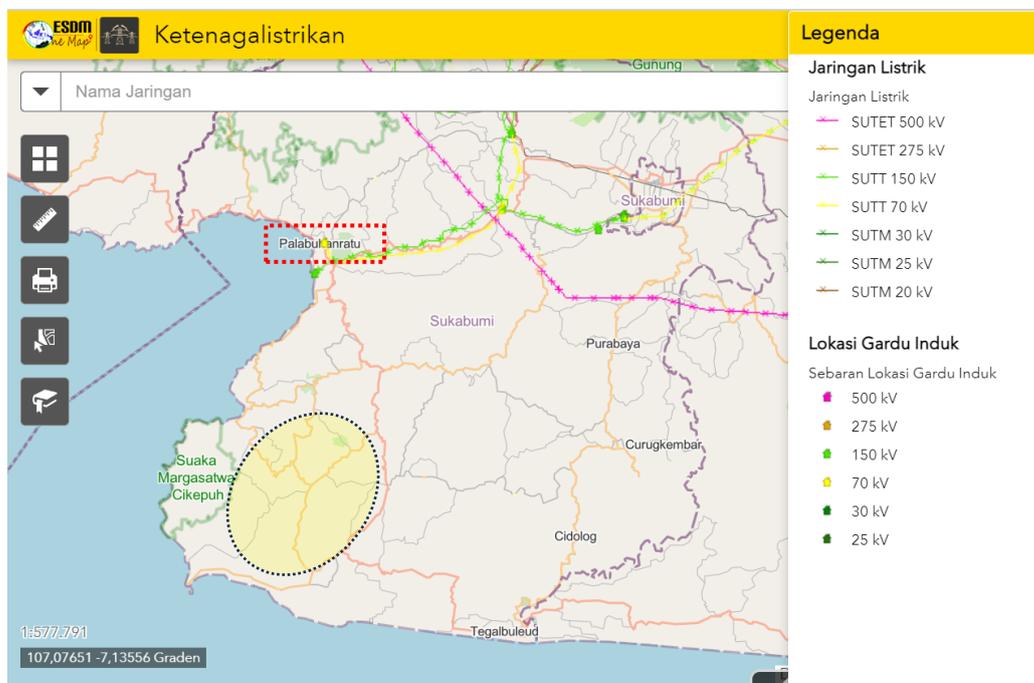
Selain itu, untuk menghubungkan semua turbin angin di dalam PLTB ke sub-stasiun, sebuah sistem transmisi PLTB juga perlu direalisasikan. Semua bagian dari jaringan transmisi ini membutuhkan kabel transmisi yang mahal (pada berbagai level tegangan) dan transformator (untuk meningkatkan tegangan di sub-stasiun), jalur melalui medan yang sering kali kompleks (memerlukan izin khusus), langkah-langkah perlindungan untuk mencegah kerusakan pada jalur transmisi (misalnya, karena pohon tumbang) yang dapat menghambat produksi listrik, dan lain sebagainya.

Selain meningkatkan jalur transmisi, membangun pusat kendali canggih (*advanced control center*) atau memodernisasi yang sudah ada adalah kunci untuk menangani sifat intermiten dari tenaga angin (lihat Subbagian 4.6.2), serta energi terbarukan variabel lainnya. Meningkatkan/modernkan pusat kontrol dapat meningkatkan keandalan sistem daya dan memungkinkan pengoperasian jaringan listrik yang fleksibel. Ini berarti bahwa pusat kendali dapat mengelola transmisi dan distribusi daya dari berbagai sumber (pembangkit listrik) ke pusat permintaan dengan cara yang lebih fleksibel.

Hasilnya, keseimbangan penawaran-permintaan tenaga listrik dapat dicapai setiap saat dengan penetrasi tinggi energi angin (dan energi terbarukan) ke dalam jaringan.

Misalnya, salah satu pusat kendali canggih tersebut adalah Pusat Kontrol SCADA / EMS Utama yang saat ini dibangun dan Pusat Kontrol Pemulihan Bencana untuk sistem Jawa-Madura-Bali. Fasilitas ini dikembangkan dalam kerja sama antara ETP dan PLN. Mengingat operasinya yang diantisipasi pada awal 2025, fasilitas ini memiliki potensi untuk meningkatkan integrasi sumber energi terbarukan variabel seperti angin di seluruh sistem tenaga. Demikian pula, pusat kendali canggih juga perlu dibangun untuk sistem tenaga lain di Indonesia, termasuk daerah kaya angin seperti Sulawesi, untuk mendukung pengembangan energi angin.

Untuk menyimpulkan, pengembangan PLTB melibatkan lebih dari sekadar biaya dan persyaratan izin untuk turbin angin itu sendiri. Membangun infrastruktur transmisi bisa menjadi tantangan besar yang menambah tekanan pada kasus bisnis dan waktu prosedur untuk izin, dan sebagainya.



Gambar 11: Jaringan transmisi saat ini di wilayah Sukabumi; area Pelabuhan Ratu ditandai dengan garis putus-putus merah, sementara lokasi indikatif dari PLTB yang direncanakan ditunjukkan dalam area oval kuning (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023b)

4.6.2 Sifat intermiten PLTB

Berbeda dengan pembangkit listrik konvensional, pembangkit listrik tenaga angin tidak selalu dapat menghasilkan energi secara konsisten sepanjang hari. Hal ini disebut sebagai "*intermittency*" atau sifat intermiten. Pada pembangkit listrik tenaga angin, sumber energinya tergantung pada ketersediaan angin, yang biasanya fluktuatif per menit, per jam, per hari, dan tidak dapat disimpan untuk digunakan kemudian.

Prinsip umum dari pembangkitan yang optimal adalah memastikan keseimbangan antara beban dan pasokan, dan oleh karena itu, diharapkan bahwa selama beban puncak, energi yang dihasilkan dapat mencocokkan permintaan yang dibutuhkan. Di sisi lain, selama beban rendah, energi yang dihasilkan diharapkan akan berkurang sesuai dengan profil beban.

Namun, untuk energi intermiten seperti angin, adalah sebuah tantangan untuk selalu memenuhi profil permintaan. Akan selalu ada kasus di mana pasokan melebihi permintaan, dan sebaliknya. Oleh karena itu, energi terbarukan yang intermiten harus disertai dengan pembangkit *baseload* (beban dasar), seperti pembangkit tenaga batu bara, gas alam, geotermal, dan pembangkit listrik tenaga air. Alternatif lain adalah mengintegrasikan energi terbarukan intermiten dengan *Battery Energy Storage System* (BESS), yang dapat menyimpan energi yang tidak terpakai dan mendistribusikannya kembali saat diperlukan.

Dalam jaringan yang lebih stabil dan dapat diandalkan seperti sistem Jamali, masalah intermiten ini kurang menjadi isu karena PLN dapat menyalakan generator lain dalam mode siaga, untuk bereaksi dengan cepat ketika terjadi kehilangan daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin. Meskipun demikian, masih ada pertanyaan tentang siapa (PLN atau IPP PLTB) yang menanggung biaya dari generator siaga ini. Hal yang sama berlaku untuk pembatasan (pengurangan produksi energi angin) seperti yang diperintahkan oleh PLN ketika terlalu banyak listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin.

Di sistem lain di mana ukuran *grid* cukup kecil, menyeimbangkan pasokan dan permintaan listrik dapat menjadi lebih rumit, terutama ketika tidak ada generator siaga yang tersedia. Biasanya PLN meminta pengembang untuk memasang BESS. Namun, biaya investasi akan meningkat karena integrasi BESS dan perlu dikompensasi oleh PLN dengan tarif tambahan (di atas tarif produksi).

Ketika mengintegrasikan pembangkit listrik yang bersifat intermiten atau yang disebut sebagai Energi Terbarukan Variabel (VRE), penting untuk memiliki alat prediksi yang baik, yang dapat dengan akurat memprediksi energi yang dapat dihasilkan dalam rentang waktu 5-15 menit. Dengan demikian, operator *grid* dapat mengelola penggantian generator tepat waktu ketika terjadi penurunan tiba-tiba dari produksi energi angin. Sejauh ini, alat prediksi semacam itu belum tersedia untuk pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia.

4.6.3 Akses logistik

Di Indonesia, akses jalan dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada keterpencilan suatu daerah. Hal ini karena negara ini memiliki geografi yang beragam, termasuk pegunungan, hutan yang lebat, dan kepulauan. Infrastruktur jalan yang ada di beberapa wilayah mungkin cocok untuk membawa komponen turbin angin dan peralatan konstruksi, sementara di wilayah lain, modifikasi atau peningkatan mungkin diperlukan untuk memungkinkan transportasi peralatan. Karena banyak lokasi energi angin potensial berada di daerah yang kurang berkembang dengan infrastruktur jalan yang tidak memadai, peningkatan jalan untuk mengakses tempat-tempat ini diperlukan. Memperbaiki jalan membutuhkan solusi teknis dan terkadang pelaksanaan yang kompleks (misalnya, melalui hutan yang lebat), yang berarti biaya proyek meningkat, peraturan izin yang lebih ketat untuk dipatuhi, dan periode konstruksi yang lebih lama. Hal ini bisa menyebabkan sebagian besar investasi (15-30%) diperlukan untuk memastikan ketersediaan akses logistik yang memadai. Pada proyek PLTB Sidrap, turbin angin yang dipilih memiliki tinggi menara 80 meter dan bilah dengan panjang 57 meter (masing-masing seberat 15 ton).

Untuk transportasi satu bilah turbin angin dari pelabuhan ke lokasi turbin yang ditunjuk, diperlukan waktu transportasi selama 10 jam. Sebagai referensi, tabel berikut menunjukkan dimensi tipikal komponen utama turbin angin yang perlu diangkut melalui infrastruktur jalan.

Tabel 13: Dimensi tipikal komponen utama turbin angin (dokumen internal yang dianonimkan)

Kendala	Bagian turbin angin	Persyaratan minimum
Berat	Nasel	150-200 ton
Dimensi (jarak bebas tinggi dan lebar)	Menara	5-6 meter
Dimensi (panjang)	Bilah	70-80 meter

Selain itu, infrastruktur pelabuhan merupakan tantangan signifikan lainnya untuk pengembangan energi angin di Indonesia. Selama pengembangan PLTB Sidrap, terdapat beberapa modifikasi yang diterapkan pada pelabuhan karena kapabilitas bongkar muat dan penyimpanannya yang kurang memadai. Fasilitas pelabuhan khusus diperlukan, termasuk derek angkat berat, area penyimpanan, dan area perakitan untuk menangani komponen-komponen berukuran besar ini dengan aman dan efisien.

4.7 Pendanaan dan *bankability*

4.7.1 Pendanaan

Untuk menarik pemberi pinjaman dan investor untuk mendanai suatu proyek, profil risiko dan pengembalian investasi harus dapat diprediksi dan transparan. Meminimalkan risiko proyek membuat proyek tersebut lebih menarik dan meningkatkan kepercayaan pemberi pinjaman, yang dapat mengakibatkan penyediaan pendanaan dengan tingkat bunga lebih rendah. Oleh karena itu, pemahaman yang kuat mengenai risiko secara keseluruhan yang ditimbulkan oleh proyek-proyek pembangkit listrik tenaga angin sangat diperlukan. Jenis risiko dapat mencakup ketidakpastian sumber daya angin, risiko teknologi (termasuk biaya operasi dan pemeliharaan tak terduga serta waktu henti), lamanya insentif pemerintah dan kebijakan yang mendukung, ketidakstabilan harga karbon, serta ketidakpastian dan masalah kelayakan PJBL. Karena keadaan berisiko tinggi bagi investor dalam pengembangan, konstruksi, dan operasi pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia, proyek-proyek angin dianggap sebagai investasi yang berisiko tinggi, sehingga mengakibatkan harapan investor terhadap keuntungan yang signifikan sebagai imbal baliknya.

Peraturan fiskal dan non-fiskal dapat mempromosikan investasi PLTB. Untuk menarik minat investasi dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga terbarukan, Pemerintah telah menerbitkan berbagai insentif fiskal dan non-fiskal. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 112/2022 tentang percepatan pengembangan energi terbarukan, insentif fiskal yang berlaku untuk pengembangan energi angin dapat mencakup:

- Fasilitas pajak penghasilan
- Fasilitas impor, seperti pembebasan bea masuk
- Fasilitas pajak atas tanah dan bangunan
- Dukungan untuk fasilitas pembiayaan dan/atau jaminan melalui badan usaha milik negara

Insentif ini diberikan melalui sistem OSS, tergantung pada pemenuhan komitmen (verifikasi) melalui Kementerian Keuangan. Insentif tambahan seperti hibah, subsidi, suku bunga rendah, atau skema pembiayaan lainnya juga dapat membantu mengurangi biaya proyek dan membuat proyek lebih ekonomis. Namun, insentif fiskal dan non-fiskal tersebut sejauh ini belum menghasilkan proyek angin yang lebih *bankable* di Indonesia. Ini bisa jadi akibat kurangnya kesadaran akan insentif ini, atau insentif belum disesuaikan dengan kebutuhan pengembang dan investor.

Alasan lain adalah masalah yang dihadapi ketika menerapkan insentif. Sebagai contoh, pengembang menyebutkan bahwa beberapa fasilitas pajak penghasilan dicabut di tengah proyek karena pengalihan aset ke PLN sebagaimana diamanatkan dalam PJBL yang ditandatangani sebelum fasilitas pajak penghasilan diberikan).

Kendala lain dalam pengembangan PLTB adalah tidak adanya penerimaan PPN (Pajak Pertambahan Nilai) sementara PLN tidak bisa mengumpulkan PPN dari pelanggan. Akibatnya, seluruh PPN harus dibayar oleh pengembang (dengan beberapa insentif pajak), menambah biaya tambahan sebesar 11% pada proyek.

Terakhir, penting untuk dicatat bahwa hasil yang akan disampaikan selanjutnya dalam proyek yang menjadi bagian dari rencana ini (*Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*) kan mencakup penilaian yang lebih komprehensif tentang sumber-sumber potensial pendanaan dan metodologi tentang cara mengakses sumber-sumber tersebut.

4.7.2 *Bankability* PJBL/PPA

PPA (*Power Purchase Agreement*) atau PJBL (Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik) merupakan salah satu dokumen utama yang menjamin pendapatan dari proyek pembangkit listrik tenaga angin. Memastikan kelayakan PJBL dari sudut pandang pemberi pinjaman dan investor sangat penting. PJBL saat ini di Indonesia mengandalkan Peraturan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 10/2017 dan No. 10/2018 yang mengatur proyek konvensional dan energi terbarukan. Penggunaan ganda ini berpotensi menghasilkan skema PJBL yang tidak tepat untuk proyek energi terbarukan karena perbedaan signifikan terkait produksi energi konvensional.

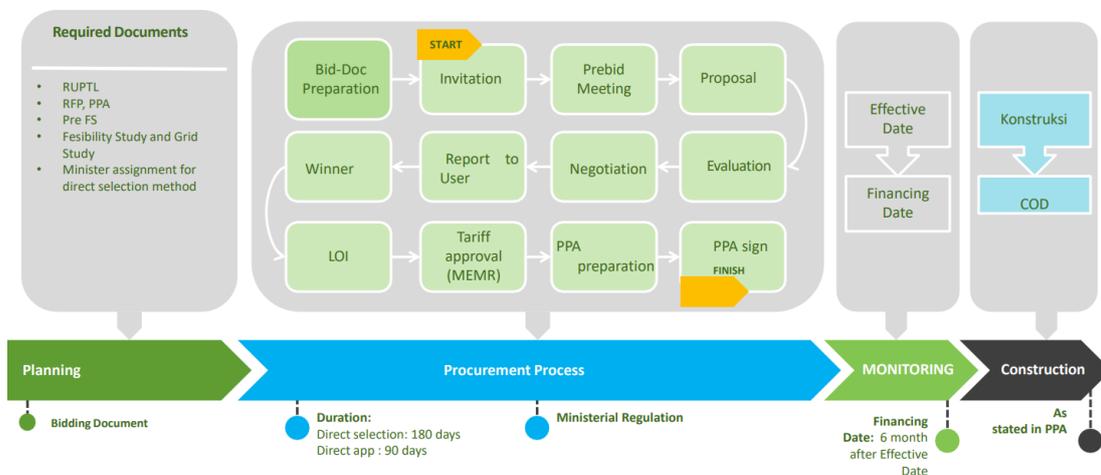
Menyadari kelemahan regulasi tersebut, Kementerian ESDM telah menyiapkan rancangan untuk mengatasi masalah ini. Namun, dalam praktiknya, naskah PJBL yang diterbitkan oleh PLN selama tahap RfP (*Request for Proposal*) masih mengikuti skema yang berlaku yang diatur oleh PLN. Sebagai referensi, tabel di bawah ini merangkum beberapa isu kelayakan dari naskah PJBL dan Perjanjian Pemegang Saham yang dikeluarkan oleh PLN dari lelang PLTB Tanah Laut (Juli 2022).

Tabel 14: Contoh masalah *bankability* PJBL menurut investor dan pemberi pinjaman

Masalah dalam PJBL	Deskripsi
Energi Kontrak Tahunan (ACE)	Studi dan penjelasan menyeluruh harus diinformasikan selama proses tender mengenai dasar ACE, dan apakah dapat direvisi selama jangka waktu PJBL.
Matriks Kapasitas Terprediksi (<i>Predicted Capacity Matrix</i>/PCM) yang menunjukkan produksi daya yang diprediksi oleh PLTB	Berdasarkan pengalaman praktis, pembaruan/perubahan PCM dapat dilakukan atas permintaan PLN dan harus dilaksanakan dengan amandemen PJBL.
Hak utama PLN untuk membeli proyek kapan pun yang diinginkan	PJBL saat ini memungkinkan pemutusan perjanjian oleh IPP dan penjualan pembangkit kepada PLN dengan harga setidaknya sama dengan utang senior. Hal ini tidak menguntungkan bagi IPP karena mereka membutuhkan jaminan atas pengembalian yang diharapkan dari proyek.
Persyaratan pencapaian tahap proyek dan jaminan kinerja	Ketidaksesuaian jadwal antara PJBL dan kegiatan pembiayaan, misalnya, Penutupan Keuangan atau COD setelah Tanggal Efektif PJBL selama proses penilaian risiko oleh pemberi pinjaman bisa mengakibatkan biaya yang sudah dikeluarkan oleh investor terutama jika tidak ada jaminan bagi investor untuk memenangkan proses tender
Alokasi risiko selama Force Majeure dan Force Majeure Pemerintah	Berdasarkan PJBL saat ini, PLN diwajibkan untuk membeli proyek jika situasi force majeure tetap terjadi, namun dalam PJBL PLTB Tanah Laut (Pasal 14), baik PLN maupun IPP akan menanggung risiko force majeure, tanpa perincian eksplisit lebih lanjut.
Pembatasan atas transfer pemegang saham	Pembatasan pada transfer kepemilikan sebagaimana diatur dalam naskah PJBL atau perjanjian sponsor saat ini dapat mengurangi profitabilitas proyek.
Manfaat finansial	Saat ini, hasil dari instrumen pasar berbasis energi terbarukan (MBI; misalnya, kredit karbon, REC, <i>green tag</i> , dan/atau hak yang dapat diperdagangkan) masuk ke PLN. Memiliki keuntungan bersama pada hasil MBI akan meningkatkan daya tarik pasar proyek energi terbarukan.
Penyelesaian sengketa	Menempatkan lokasi arbitrase di tempat netral (dilakukan oleh SIAC, di Singapura daripada Jakarta) akan mendukung netralitas proses arbitrase, dan dengan demikian, berkontribusi pada kelayakan proyek.
Persyaratan konten lokal (TKDN)	Peraturan tingkat komponen domestik menuntut penggunaan komponen buatan lokal, dan pelanggaran akan menghasilkan denda yang sama dengan perbedaan nilai antara pemanfaatan komponen lokal dengan yang sudah ada.
Mitra wajib	Pembebanan biaya tambahan dan biaya pengembangan yang tidak seimbang antara pengembang dan mitra wajib (sebagaimana yang diwajibkan oleh PLN sebagai konsekuensi dari peraturan tender) melalui Perusahaan Tujuan Khusus.

4.8 Proses pengadaan

Saat ini ada dua pembangkit listrik tenaga angin skala utilitas yang beroperasi di Sulawesi Selatan. Pengembangan PLTB sering melibatkan pengembang multinasional yang bekerja dengan mitra lokal, seperti halnya dengan dua PLTB yang sudah ada. Perlu dicatat bahwa dua PLTB ini diajukan sebelum tahun 2017 oleh masing-masing pengembang dan diproses oleh PLN tanpa melalui proses tender kompetitif. Saat ini, proses pengadaan untuk proyek pembangkit listrik tenaga angin skala utilitas melibatkan proses tender kompetitif yang disebut proses Seleksi Langsung. Proyek-proyek yang akan diproses oleh PLN akan terlebih dahulu terdaftar dalam RUPTL PLN. Diagram alur pengadaan IPP diilustrasikan dalam Gambar 12.



Gambar 12: Proses pengadaan PLN untuk proyek energi angin yang ditetapkan oleh IPP (PLN, 2022)

PLN mengadakan tender untuk memilih IPP untuk kerja sama melalui PJBL jangka panjang. Untuk berpartisipasi dalam tender, IPP harus terdaftar dalam Daftar Penyedia Terseleksi (DPT). Oleh karena itu, proses pengadaan dimulai dengan pra-seleksi IPP melalui tahap seleksi tersebut. DPT merupakan tahap prakuilifikasi yang dilakukan PLN untuk memastikan IPP yang ingin berkolaborasi memiliki kompetensi yang memadai, baik dari segi teknis maupun non-teknis, termasuk stabilitas keuangan. Antara lain, IPP diwajibkan untuk menyerahkan dokumen hukum dan portofolio proyek mereka. IPP yang lolos proses pra-seleksi DPT kemudian akan dapat berpartisipasi dalam proses tender PLN.

PLN telah melaksanakan pengadaan pembangkit listrik energi terbarukan sebesar 1,2 GW hingga Maret 2023 dan akan terus melaksanakan pengadaan lebih lanjut untuk pembangkit ini, termasuk PLTB (Rahayu, 2023). Namun, jadwal tetap untuk publikasi tender baru proyek-proyek angin saat ini belum tersedia untuk umum. Tanggal Operasi Komersial (*Commercial Operations Date/COD*) yang tercantum dalam RUPTL hanya berfungsi sebagai indikasi (yang tidak selalu terpenuhi) bagi IPP, yang berarti sulit untuk memprediksi kapan tender akan dilakukan dan kapan IPP harus mulai mempersiapkan diri. Akibatnya, IPP sering tidak siap untuk memenuhi persyaratan tender yang sedang berlangsung maupun yang akan datang. Persiapan semacam itu diperlukan karena dalam tender akan ditentukan pengajuan data angin selama satu tahun bersamaan dengan penawaran.

5 Peta jalan energi angin darat

Pengembangan energi angin masih tertinggal dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya di Indonesia, baik dalam realisasi maupun kapasitas yang direncanakan di RUPTL PLN. Dari total 81,2 GW kapasitas pembangkit di Indonesia, energi angin hanya berkontribusi sebesar 154 MW (atau hanya 0,05%). Dalam RUPTL saat ini, hanya 597 MW proyek angin yang direncanakan hingga 2030. Jumlah ini sangat kecil jika dibandingkan dengan potensi energi angin yang teridentifikasi: 60,6 GW di darat dan 94,2 GW di lepas pantai. Bahkan jika hanya 10% dari total potensi energi angin darat ini yang bersifat realistis, pengembangan proyek angin senilai 6 GW masih perlu dilakukan dalam beberapa dekade mendatang. Untuk visi masa depan ini, peta jalan untuk energi angin darat telah dibuat dalam studi ini sebagai jalan untuk mencapai jumlah kapasitas yang lebih signifikan daripada yang sudah direalisasikan (154 MW) dan kapasitas PLTB yang sudah direncanakan (597 MW).

Di bawah ini adalah pertimbangan dan asumsi utama yang dipandang penting untuk pembentukan peta jalan dalam studi ini:

- Peta jalan ini menargetkan kapasitas terpasang PLTB sebesar 1,8 GW (sebagaimana ditargetkan dalam RUEN untuk tahun 2025) pada tahun 2030. Jumlah kapasitas PLTB ini setiap tahunnya akan menghindari emisi hingga 5,04 Mt CO₂ (dibandingkan dengan kondisi tanpa pengurangan pembangkit listrik tenaga batu bara atau PLTU) (IEA, 2020). Untuk mencapai hal ini, masih ada hambatan mendasar yang membutuhkan tindakan mitigasi dalam waktu dekat.
- Dengan asumsi investasi minimal USD 2 juta per MW, pencapaian target peta jalan (1,8 GW) akan membutuhkan perkiraan investasi minimum USD 3,6 miliar pada periode 2023-2030. Instalasi kapasitas PLTB sebesar 1,8 GW kemungkinan akan perlu disebar dalam 7 tahun ke depan. Investor lokal dan internasional didorong untuk berpartisipasi dalam mendanai proyek-proyek angin untuk mencapai kapasitas yang ditargetkan pada tahun 2030.
- Teknologi angin darat merupakan teknologi yang sudah terbukti, meskipun belum banyak dikembangkan di Indonesia. Listrik berbasis tenaga angin dapat bersaing di daerah dengan sumber daya angin yang kuat dan dengan dukungan insentif keuangan, misalnya keringanan pajak dan kredit karbon yang dapat dimiliki dan dijual oleh para pengembang.
- Perbaikan kerangka peraturan yang ada untuk proses pengadaan dan penetapan harga listrik dari proyek angin diperlukan untuk mengurangi risiko yang tidak perlu bagi investor.
- Untuk mencapai penetrasi tenaga angin yang tinggi secara andal, fleksibilitas sistem transmisi harus ditingkatkan. Fleksibilitas merupakan fungsi dari akses ke pembangkitan, penyimpanan, dan respons permintaan terhadap energi listrik yang fleksibel, dan sangat ditingkatkan oleh pasar energi listrik yang lebih besar dan lebih cepat, teknologi jaringan pintar (*smart grid*), dan penggunaan prakiraan produksi listrik dalam penjadwalan sistem.
- Infrastruktur jalan dan pelabuhan serta ketersediaan peralatan memainkan peran penting untuk mencapai kapasitas yang ditargetkan, terutama di daerah-daerah tertinggal di Indonesia. Sinergi dalam pembangunan daerah (misalnya dengan membangun infrastruktur yang secara sekaligus menghubungkan beberapa wilayah ekonomi) dapat meningkatkan manfaat pengembangan energi angin untuk suatu wilayah.

Peta Jalan Pengembangan Energi Angin 2023 – 2030 ini mencakup hal-hal sebagai berikut: (1) peranan pemangku kepentingan untuk implementasi peta jalan, dan (2) peta jalan bidang-bidang utama untuk pengembangan energi angin. Kedua aspek akan diuraikan masing-masing dalam dua bagian berikut ini.

5.1 Peran pemangku kepentingan dalam mengimplementasikan peta jalan

Dalam peta jalan (lihat Bagian 5.2), peranan masing-masing pemangku kepentingan yang relevan didefinisikan melalui *Responsibility Assignment Matrix* (RACI). Matriks RACI adalah alat manajemen proyek yang digunakan untuk mendefinisikan dan mengklarifikasi peran dan tanggung jawab individu atau tim dalam sebuah proyek atau proses organisasi. Akronim "RACI" adalah singkatan dari empat peran utama yang dapat ditugaskan:

- Bertanggung jawab (*Responsible/R*): Orang atau tim yang bertanggung jawab untuk menyelesaikan tugas atau aktivitas tertentu. Individu atau kelompok ini bertanggung jawab atas pekerjaan dan memastikan pekerjaan tersebut terselesaikan.
- Akuntabel (*Accountable/A*): Orang yang pada akhirnya bertanggung jawab atas keberhasilan atau kegagalan tugas atau proyek. Hanya ada satu orang yang "Akuntabel" untuk setiap tugas, dan mereka memiliki wewenang untuk membuat keputusan akhir dan menandatangani hasil pekerjaan.
- Dikonsultasikan (*Consulted/C*): Individu atau tim yang memberikan masukan dan keahlian pada suatu tugas tetapi tidak memiliki tanggung jawab akhir untuk penyelesaiannya. Mereka adalah pemangku kepentingan atau pakar suatu subyek yang memiliki wawasan yang berharga.
- Diinformasikan (*Informed/I*): Orang atau kelompok yang perlu terus mendapat informasi tentang kemajuan tugas atau proyek tetapi tidak terlibat langsung dalam pelaksanaannya. Mereka menerima pembaruan dan informasi sesuai kebutuhan.

Untuk setiap bidang utama, matriks ini menentukan peranan mana yang ditugaskan kepada para pemangku kepentingan. Beberapa peranan dapat diberikan ke satu tugas, dan kombinasi dari beberapa peranan spesifik untuk setiap tugas menjelaskan siapa yang melakukan tugas, siapa yang mengawasinya, siapa yang perlu dikonsultasikan, dan siapa yang harus terus diinformasikan. Tabel 15 menyajikan pemangku kepentingan yang diusulkan untuk terlibat dalam bertindak dalam pelaksanaan tugas.

Tabel 15: Daftar pemangku kepentingan yang diusulkan untuk terlibat dalam peta jalan

Singkatan	Keterangan
ESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Kemenkeu	Kementerian Keuangan
Kemenperin	Kementerian Perindustrian
Kemenves	Kementerian Investasi/BKPM
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
BSN	Badan Standardisasi Nasional
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
KATR/BPN	Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional
PLN	PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)
Industri/Asosiasi/Pemberi pinjaman	Asosiasi angin atau Investor/Pengembang atau Pemberi Pinjaman (lembaga internasional dan lokal)

5.2 Peta jalan bidang utama untuk pengembangan energi angin

Bagian ini merinci peta jalan dan diatur dalam subbagian sesuai dengan tantangan masing-masing sebagaimana telah diidentifikasi dalam Bab 4.

5.2.1 Aksi Peta Jalan untuk Ketersediaan data angin

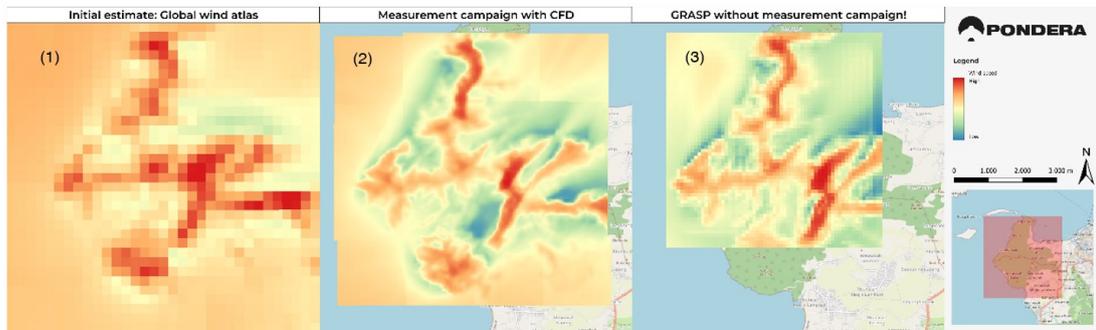
Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, karakter variabel angin, dikombinasikan dengan medan yang kompleks di Indonesia, mengakibatkan kesulitan dalam menentukan potensi nyata energi angin di lokasi-lokasi tertentu. Hal ini menjadi tantangan bagi Pemerintah (yaitu ESDM dan juga melalui PLN) dalam mengembangkan energi angin. Misalnya, RUPTL PLN berisi beberapa proyek angin yang direncanakan di lokasi dengan sumber daya angin yang kemungkinan terlalu kecil. Kondisi saat ini juga menimbulkan tantangan bagi pengembang yang mencari lokasi menarik untuk berinvestasi, karena investasi di bidang ini sering kali memiliki risiko yang sangat tinggi. Oleh karena itu, peta jalan ini menyarankan penggunaan pendekatan *top-down* untuk proyek angin di masa depan di mana Pemerintah membuat proses pemilihan lokasi proyek angin lebih efisien dan bertanggung jawab atas bagian pertama/awal dari persiapan proyek. Pendekatan ini terdiri dari langkah-langkah berikut:

Langkah 1: Identifikasi lokasi-lokasi energi angin potensial

Terdapat potensi untuk meningkatkan analisis dari Pemerintah tentang potensi angin darat Indonesia (yaitu 60,6 GW menurut RUEN) karena kekurangan yang menyertainya. Contoh dari kekurangan ini termasuk terbatasnya jumlah faktor yang dipertimbangkan (misalnya tidak ada asesmen terhadap penggunaan lahan), penggunaan nilai ambang batas kecepatan angin yang rendah (mulai dari 4 m/s) yang kemungkinan tidak *bankable*, dan adopsi input pemodelan skala meso yang sangat tidak pasti. Untuk menentukan lokasi-lokasi potensial yang aktual untuk pengembangan energi angin, analisis yang lebih terperinci perlu dilakukan terhadap perilaku angin di setiap lokasi. Hasil dari pemodelan skala meso (seperti *Global Wind Atlas*) masih menjadi titik awal yang baik untuk pemilihan area potensial secara kasar. Namun demikian, model tersebut tidak memperhitungkan kompleksitas medan. Pengukuran angin di tempat, dikombinasikan dengan pemodelan CFD (*Computational Fluid Dynamics* atau Dinamika Fluida Komputasional), dapat memberikan gambaran yang lebih baik tentang perilaku angin yang kompleks di setiap lokasi. Metode gabungan ini memberikan hasil yang jauh lebih akurat daripada penilaian sumber daya angin berdasarkan pemodelan skala meso. Namun, terlalu mahal dan tidak efisien untuk melakukan pengukuran angin di semua lokasi potensial di Indonesia, karena kebanyakan dari mereka mungkin dikecualikan pada akhirnya karena sumber daya angin yang diukur tidak mencukupi.

Ada pendekatan alternatif yang tersedia untuk permasalahan di atas, yaitu pemodelan GRASP. Model ini tidak memerlukan data angin aktual untuk menyimulasikan perilaku angin di medan yang kompleks. Dalam Gambar 13, mengilustrasikan contoh hasil studi angin darat yang dilakukan di Indonesia. Gambar tersebut menunjukkan perbandingan antara (1) hasil pemodelan skala meso secara tradisional (*Global Wind Atlas*) tanpa pengukuran angin, (2) hasil pemodelan berdasarkan pengukuran angin termasuk dengan pemodelan CFD, dan (3) hasil pemodelan GRASP. Perhitungan hasil PLTB berdasarkan model GRASP (3) hanya berbeda 2% dari hasil pemodelan berdasarkan pengukuran angin termasuk dengan pemodelan CFD (2). Contoh ini menunjukkan bahwa penentuan potensi angin dan hasil PLTB dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang tinggi, tanpa harus melakukan pengukuran angin di seluruh Indonesia, sebagai langkah pertama dalam pemilihan lokasi.

Pada akhirnya, pengukuran angin diperlukan untuk studi kelayakan yang *bankable*. Namun, pengukuran tersebut baru dapat dilakukan pada proyek-proyek yang telah lolos analisis awal terhadap potensinya. Hal ini meminimalkan risiko dalam berinvestasi untuk dilakukannya pengukuran.



Gambar 13: Perbandingan model untuk potensial PLTB darat (Pondera, 2023)

Terlepas dari apakah GRASP atau metode lain digunakan untuk menciptakan wawasan yang lebih andal mengenai perilaku angin, penting bahwa pada Langkah 1, Pemerintah melakukan penelitian yang tepat tentang area yang memiliki potensi yang cukup untuk dimasukkan dalam daftar pendek lokasi PLTB potensial. Perlu dicatat bahwa bagian selanjutnya dari keseluruhan proyek ini (*Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*) adalah penelitian semacam ini di lokasi PLTB potensial. Komponen 3 dari proyek (berjudul *Wind energy potential mapping, gap analysis and site selection*) menganalisis 14 lokasi angin di Pulau Jawa dan Sumatra. Beberapa situs ini terletak di daerah pegunungan, dan oleh karena itu, dianggap sebagai medan yang kompleks untuk dimodelkan. Untuk situs-situs ini, GRASP akan digunakan untuk meningkatkan penilaian sumber daya angin dalam rangka menentukan potensi dan kelayakan situs-situs ini. Jika metode sejenis ini diadopsi untuk studi angin di masa depan, identifikasi lokasi energi angin potensial akan lebih baik, dan oleh karena itu, Tingkat ketidakpastian bagi pengembang dan investor akan menurun.

Langkah 2: Identifikasi *go-zones* dalam lokasi energi angin potensial

Setelah lokasi energi angin potensial yang paling menjanjikan diidentifikasi pada Langkah 1 berdasarkan informasi energi angin yang andal, penting untuk mempertimbangkan kondisi spasial di setiap lokasi. Walaupun kecepatan angin baik di lokasi tertentu, hal ini tidak secara otomatis berarti bahwa PLTB dapat didirikan di sana. Ada kemungkinan terdapat "*no-go zones*", atau area yang tidak dapat dimanfaatkan untuk pembangunan PLTB. Contoh zona tersebut termasuk perumahan, hutan lindung, kawasan ekonomi / komersial, dll. Oleh karena itu, Langkah 2 memerlukan identifikasi "*go-zones*" (area yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan PLTB) di setiap lokasi di mana *no-go zone* dikecualikan dalam tahap analisis selanjutnya. Adapun *go-zones* ini masih dapat memerlukan persyaratan yang harus dipenuhi oleh pengembang ketika PLTB akan direalisasikan, misalnya penanaman kembali pohon yang sebelumnya ditebang demi pembangunan jalan. Persyaratan penting untuk identifikasi *go-zone* ini adalah perolehan data spasial untuk setiap lokasi yang akurat dan beresolusi tinggi untuk menentukan *no-go zones* yang benar. Hal ini dijabarkan lebih lanjut dalam Subbagian 5.2.2 dari peta jalan ini. Penentuan *go-zone* juga termasuk dalam Komponen 3 yang disebutkan sebelumnya (*Wind energy potential mapping, gap analysis and site selection*) di mana analisis terhadap 14 lokasi angin di Pulau Jawa dan Sumatra dilaksanakan.

Langkah 3: Verifikasi karakteristik angin di lokasi energi angin potensial

Meskipun karakteristik angin untuk setiap lokasi energi angin potensial sudah ditentukan dalam Langkah 1, verifikasi karakteristik ini masih diperlukan melalui pengukuran di setiap lokasi (misalnya dengan *met mast* atau LIDAR). Korelasi antara data angin jangka pendek (berdasarkan pengukuran di tempat) dan data angin jangka panjang akan ditarik dalam proses ini. Pengukuran juga akan berguna untuk mengumpulkan data angin yang dibutuhkan investor sebelum membiayai proyek angin. Pengukuran juga akan berguna untuk mengumpulkan data angin yang dibutuhkan oleh para investor sebelum mendanai proyek angin. Misalnya, para investor memerlukan setidaknya 1 tahun pengukuran angin mengikuti standar IEC termasuk terjemahan yang benar dari data angin ke hasil panen angin P90. Persyaratan tambahan dari para investor dikumpulkan dalam Komponen 4: Panduan Peluang Investasi untuk Proyek Angin Indonesia dan Laporan Akses ke Keuangan (*Investment Opportunities Guide for Indonesian Wind Projects and Access to Finance Report*) dalam proyek ini. Peta jalan ini menyarankan Pemerintah (melalui PLN, anak perusahaan PLN, atau ESDM) untuk melakukan pengukuran ini secara mandiri dan menawarkan hasilnya sebagai bagian dari data lokasi yang akan diterima oleh peserta lelang selama proses tender proyek.

Dengan cara ini, pendekatan terstandarisasi dalam pengumpulan data angin dapat digunakan untuk semua proyek dan mencegah proliferasi pembangunan banyak tiang meteorologi (*meteorological mast* atau *met mast*) di wilayah yang sama oleh pengembang yang saling bersaing. Alhasil, beban keuangan para pengembang yang ingin berpartisipasi dalam tender akan turun secara signifikan, menciptakan sektor angin yang lebih berkelanjutan dan sehat. Selain itu, investasi untuk pengukuran angin yang dilakukan oleh Pemerintah ini akan 'dikompensasi' oleh penawaran tarif yang kemungkinan lebih rendah, karena biaya pengembangan yang menjadi lebih rendah bagi para penawar. Penting diketahui bahwa pengukuran angin ini harus dilakukan sesuai dengan standar internasional dan dapat mengakibatkan pengurangan risiko proyek untuk pengembang, yaitu dengan turunnya ketidakpastian karakteristik angin melalui pengukuran angin di satu atau beberapa lokasi.

Langkah 4: Pengembangan model prakiraan jangka panjang yang lebih akurat

Meningkatkan kemampuan memprediksi sumber daya angin memiliki potensi untuk meningkatkan kelayakan tenaga listrik berbasis energi angin secara ekonomi, sehingga membantu para pengembang dalam memenuhi komitmen suplai tenaga listrik mereka ke PLN. Ketika ada perbedaan antara jumlah tenaga listrik yang dijadwalkan untuk memenuhi permintaan pelanggan dan jumlah suplai aktual, akan terjadi ketidakseimbangan antara pasokan-permintaan (*supply-demand*) tenaga listrik. Hal ini mengharuskan penggunaan pembangkit listrik yang fleksibel dan sumber daya tambahan, yang terkadang menimbulkan hukuman bagi pengembang/pemasok tenaga listrik. Pembangkit listrik yang "gesit" atau dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik secara cepat, seperti PLTG, biasanya membutuhkan bahan bakar yang mahal.

Prakiraan hasil produksi tenaga listrik yang lebih tepat dan dengan jangka waktu yang lebih panjang akan meningkatkan kemungkinan pemanfaatan pembangkit yang kurang "gesit" dengan kebutuhan bahan bakar yang lebih hemat biaya, seperti PLTU dan pembangkit listrik siklus gabungan, untuk menyeimbangkan tenaga angin yang bersifat variabel dalam sistem tenaga listrik. Untuk mencapai hal ini, sangat penting untuk mengembangkan model prakiraan canggih yang memanfaatkan data meteorologi, data *real-time* dari PLTB yang beroperasi, dan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Setelah model ini divalidasi, sangat penting bagi operator sistem tenaga listrik untuk mempraktikkan model tersebut.

Model dan teknik prakiraan yang canggih digunakan untuk memprediksi produksi energi angin. Prakiraan ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti kecepatan angin, arah angin, kondisi atmosfer, dan karakteristik kinerja turbin angin. Prakiraan ini biasanya dibagi menjadi prakiraan jangka pendek dan jangka panjang:

- **Prakiraan jangka pendek:** Prakiraan ini mencakup periode mulai dari beberapa menit hingga beberapa jam ke depan. Prakiraan jangka pendek bersifat sangat penting untuk mengelola jaringan sistem tenaga listrik (*grid*) secara real-time dan untuk memastikan pasokan listrik yang stabil. Prakiraan jangka pendek menggunakan data dari berbagai sumber, termasuk model cuaca, data turbin angin, dan observasi secara real-time.
- **Prakiraan jangka panjang:** Prakiraan ini mencakup periode mulai dari beberapa jam hingga beberapa hari ke depan. Prakiraan ini membantu operator jaringan merencanakan kebutuhan energi di masa depan dan mengoptimalkan sumber daya jaringan. Prakiraan jangka panjang mengandalkan model prediksi cuaca yang canggih serta data angin historis.

Kolaborasi yang kuat antara beberapa pemangku kepentingan menjadi penting untuk menciptakan prakiraan yang akurat, seperti yang diterapkan di negara lain. Para pemangku kepentingan ini (misalnya lembaga meteorologi, operator PLTB, dan organisasi manajemen jaringan) berkolaborasi untuk berbagi data dan informasi. Data meteorologi berkualitas tinggi, termasuk kecepatan dan arah angin, diintegrasikan ke dalam model prakiraan untuk meningkatkan akurasi model. Model prakiraan menggabungkan perincian tentang turbin angin, lokasi mereka, dan bagaimana turbin tersebut berinteraksi dengan kondisi angin setempat. Alhasil, model dapat memprediksi bagaimana perubahan pola angin akan mempengaruhi daya listrik hasil produksi. Untuk tujuan ini, pentingnya peranan Pemerintah dalam mengambil alih eksekusi pengukuran angin secara mandiri untuk memperoleh data secara standar (Langkah 3) perlu ditekankan. Memperoleh data hasil pengukuran angin dari para pengembang tidak akan memungkinkan, karena data mereka tidak dibagikan secara bebas, dan oleh karena itu, tidak dapat digunakan untuk mengembangkan model prakiraan sebagaimana termaksud di atas.

Selain itu, data real-time untuk mencerminkan perubahan kondisi cuaca juga diperlukan. Sensor canggih, seperti LiDAR, tiang meteorologi untuk pengukuran angin, dan radar profil angin, digunakan untuk menyediakan data yang bersifat kontinu, untuk kemudian dimasukkan ke dalam model prakiraan saat sudah tersedia. Verifikasi berkelanjutan dan umpan balik dapat memastikan agar model perkiraan bersifat akurat dan andal. Informasi ini membantu memperbaiki model perkiraan dari waktu ke waktu.

Rencana aksi untuk bidang utama

Tabel 16: Rencana aksi untuk bidang utama 'ketersediaan data angin'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Langkah 1: Identifikasi lokasi-lokasi energi angin potensial	→							
Langkah 2: Identifikasi <i>go-zones</i> dalam lokasi energi angin potensial		→						
Langkah 3: Verifikasi karakteristik angin di lokasi energi angin potensial			→					
Langkah 4: Pengembangan model prakiraan jangka panjang yang lebih akurat				→				

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 17: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'ketersediaan data angin'

Rencana Aksi	ESDM	Bappe nas	PUPR	KLHK	KATR/BPN	BRIN	PLN	Asosiasi/ Industri
Langkah 1: Identifikasi lokasi-lokasi energi angin potensial	R/A					C	I	C
Langkah 2: Identifikasi <i>go-zones</i> dalam lokasi energi angin potensial	R/A	C	C	C	C	C	I	C
Langkah 3: Verifikasi karakteristik angin di lokasi energi angin potensial	R/A	C				C	R/A	C
Langkah 4: Pengembangan model prakiraan jangka panjang yang lebih akurat	R/A	C				C	R/A	C

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.2 Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi

Peta jalan ini mendukung peningkatan ketersediaan data spasial dan proses yang terstandarisasi melalui tiga poin utama berikut, yang diuraikan lebih lanjut dalam subbagian ini:

- Digitalisasi peta geospasial
- Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi
- Merancang pedoman untuk pengembangan angin di Indonesia

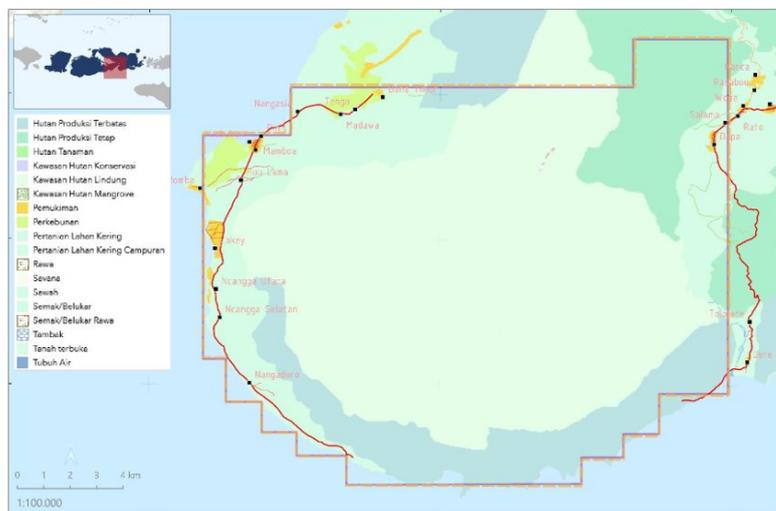
Digitalisasi peta geospasial

Seperti disebutkan pada Langkah 2 dari bidang utama sebelumnya (ketersediaan data angin), diperlukan penentuan berbagai kendala (spasial) yang akan dikecualikan (*no-go zones*) dari lokasi energi angin potensial sebelum proyek apa pun dapat dikembangkan lebih lanjut (*go-zone*). Untuk melakukan penentuan ini, diperlukan satu set peta geospasial. Ketika peta-peta ini dikumpulkan, kendala (spasial) dapat dengan mudah disaring, sehingga area yang tersisa tersedia untuk pengembangan PLTB.

Namun berdasarkan studi ini, dapat disimpulkan bahwa hanya beberapa peta geospasial ini tersedia secara digital, sementara sebagian besar dari mereka tidak tersedia secara utuh, atau tersedia tetapi hanya dalam bentuk *hardcopy* atau gambar (tidak dalam data SIG atau Sistem Informasi Geospasial yang dapat diproses).

Ketika peta yang dimaksud tidak tersedia sama sekali, biasanya pengembang harus melakukan kunjungan lapangan bersama dengan Pemerintah Daerah, melakukan pengukuran fisik, dan kemudian menambahkan hasilnya secara manual ke sistem SIG untuk mengintegrasikannya dengan peta digital lainnya. Proses ini memerlukan biaya dan waktu yang signifikan, terutama ketika area yang luas dipertimbangkan sebagai lokasi PLTB yang sedang dipelajari. Ketika informasi/peta tidak tersedia secara digital, pengembang kemudian harus menambahkan informasi secara manual ke perangkat lunak SIG. Penginputan manual ini harus dihindari jika memungkinkan, karena proses ini memakan waktu dan mahal, serta terjadi peningkatan risiko ketidakakuratan informasi (misalnya sistem koordinat referensi spasial) yang diproses. Oleh karena itu, disarankan agar semua peta geospasial yang diperlukan untuk proses pemilihan lokasi wajib tersedia secara digital.

Untuk mewujudkan hal tersebut, Pemerintah Pusat harus mendukung digitalisasi informasi ini untuk disiapkan oleh masing-masing lembaga pemilik data. Pedoman khusus harus disediakan untuk menyelaraskan proses digitalisasi, yaitu dengan memastikan bahwa informasi diproses menggunakan standar yang sama. Salah satu contoh sukses dari proses ini adalah peta interaktif dari Perencanaan Tata Ruang Lahan yang dapat diakses melalui laman GISTARU (atrbrpn.go.id; diilustrasikan pada Gambar 14).



Gambar 14: Contoh peta perencanaan penggunaan lahan interaktif (Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning, n.d.)

Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi

Seperti yang disebutkan dalam Langkah 2 dari bidang utama sebelumnya (ketersediaan data angin), beberapa kendala berlaku untuk pemilihan *go-zone* untuk PLTB potensial. Di beberapa negara yang memiliki pengalaman bertahun-tahun dalam pengembangan angin darat, kendala ini diformalkan dalam bentuk peraturan. Selain beberapa standar dalam SNI untuk energi angin, pedoman yang jelas tentang kriteria analisis dan pertimbangan terkait dampak lingkungan dan sosial dari PLTB belum ada di Indonesia. Rekomendasi dari peta jalan ini adalah untuk mengembangkan pedoman tersebut.

Dalam tabel di bawah ini, daftar indikatif kriteria dan pertimbangan disajikan sebagai titik awal. Ada banyak pelajaran yang bisa dipetik dari negara lain yang sudah memiliki pedoman yang sudah terbukti.

Tabel 18: Daftar indikatif kriteria dan pertimbangan untuk pedoman penilaian lokasi

Subyek	Kriteria	Pertimbangan
Karakteristik angin	<ul style="list-style-type: none"> Penerapan nilai ambang batas untuk kecepatan angin, tingkat turbulensi, geser angin, konsistensi, dll. 	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristik angin vs. biaya investasi untuk infrastruktur (misalnya di medan kompleks yang belum dikembangkan) Benda-benda di dekatnya (misalnya bangunan besar) yang mengganggu aliran angin bebas Arah angin yang berlaku dalam kaitannya dengan prospek medan, mempertimbangkan <i>wake effect</i> yang dapat terjadi
Logistik/akses	Jarak maksimum dari pelabuhan ke lokasi	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi akses jalan Peningkatan infrastruktur yang diperlukan
Hunian di sekitar lokasi	<ul style="list-style-type: none"> Jarak minimum ke kawasan perkotaan atau perumahan dan industri, dengan mempertimbangkan kebisingan, bayangan berkedip, dan keselamatan eksternal Jarak minimum ke bandara dan area militer 	<ul style="list-style-type: none"> Potensi <i>offtake</i> (konsumsi) tenaga listrik langsung dari kawasan industri terdekat Gangguan bagi penduduk sekitar selama operasi logistik dan konstruksi
Topografi dan geoteknik	<ul style="list-style-type: none"> Elevasi dan kemiringan maksimum untuk konstruksi PLTB Level maksimum <i>cut and fill</i> yang diperlukan untuk fondasi dan infrastruktur (padat modal) 	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi tanah menentukan jenis fondasi untuk turbin angin Tanah lunak dan tanah dengan porositas (<i>void</i>) atau risiko likuefaksi harus dihindari Risiko seismik (termasuk gempa bumi dan tanah longsor) Risiko banjir Risiko petir
Batas ketinggian	Ketinggian turbin angin maksimum jika area PLTB berada dalam jarak dekat dengan <i>approaching zone</i> lapangan terbang terdekat.	<ul style="list-style-type: none"> Efek visual pada lingkungan karena PLTB Hasil produksi listrik dari tenaga angin Rute migrasi burung dan kelelawar

Subyek	Kriteria	Pertimbangan
Perencanaan penggunaan lahan	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari kawasan konservasi (alam) • Hindari taman nasional atau area lain yang secara resmi dilindungi dari pembangunan • Hindari area komersial, industri, dan pertanian esensial 	<ul style="list-style-type: none"> • Meminimalisasi penggunaan areal pertanian produktif (apabila terdapat peraturan yang tegas tentang perubahan pemanfaatan lahan dari areal pertanian produktif menjadi kawasan industri/ pembangkit listrik) • Kemungkinan kolokasi PLTB dan area pertanian • Harga tanah (terutama di dekat kawasan industri) • Kejelasan mengenai kepemilikan lahan
Dampak lingkungan dan sosial	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari tumpang tindih dengan rute migrasi spesies burung • Hindari area dengan konsentrasi tinggi hewan langka atau hewan yang terancam punah • Hindari area yang sensitif secara budaya (misalnya, situs agama, sejarah, atau arkeologi) • Hindari dampak negatif pada keadaan sosial dan ekonomi penduduk terdekat 	<ul style="list-style-type: none"> • Hutan lebat, membutuhkan penebangan pohon yang signifikan. • Meskipun tidak terancam punah, flora dan fauna tertentu berada di daerah tersebut • Peluang untuk penyerapan tenaga kerja lokal, peningkatan kesetaraan gender, dan pendidikan kaum muda sebagai bagian dari pengembangan PLTB
Jaringan transmisi yang ada	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas yang tersedia pada koneksi jaringan terdekat (kapasitas <i>feeder</i> dan kabel) 	<ul style="list-style-type: none"> • Jarak ke titik koneksi jaringan terdekat • Level tegangan saluran transmisi terdekat (persyaratan transformator) • Tata letak medan untuk lintasan saluran transmisi PLTB
Permintaan tenaga listrik	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas PLTB yang direncanakan/dipelajari seharusnya tidak melampaui permintaan daya (masa depan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wawasan tentang pusat permintaan tenaga listrik berdasarkan zona ekonomi khusus atau pengembangan industri lainnya di masa depan

Merancang pedoman untuk pengembangan energi angin di Indonesia

Untuk menetapkan standar kualitas yang tinggi dalam pengembangan PLTB di Indonesia, penting untuk memandu pengembang proyek dan investor mengenai apa yang diharapkan dari mereka selama tahap pengembangan proyek. Sebuah pedoman, yang mencakup tidak hanya harapan dan persyaratan Pemerintah, tetapi juga persyaratan dari bank untuk pembiayaan proyek untuk memastikan kelancaran proses uji tuntas (*due diligence*), dengan demikian harus dirumuskan. Khusus untuk Pemerintah, pedoman ini dapat dibagi menjadi:

- Persyaratan dan standar PLN tentang studi kelayakan (*Feasibility Study* atau FS), studi dampak jaringan (*grid impact study*), pengumpulan data angin, dll.
- Persyaratan Pemerintah Pusat/Daerah untuk studi lingkungan.
- Persyaratan Pemerintah Pusat/Daerah untuk perolehan izin dan kewajiban terhadap studi yang mendasarinya, yang menjelaskan langkah-langkah proses, durasi, dan otoritas yang bertanggung jawab (lihat juga Subbagian 5.2.3).

Ada beberapa aspek penting untuk memastikan efektivitas pedoman ini:

- Konsistensi:
Meskipun pedoman ini bersifat 'panduan', penting bahwa otoritas terkait dapat diandalkan dalam menerapkan/menegakkan pedoman untuk setiap proyek dengan cara yang sama;
- Transparansi:
Pedoman dapat direvisi dari waktu ke waktu, berdasarkan pelajaran yang dipetik selama penerapannya. Namun, peraturan yang berubah secara berkala menimbulkan tantangan bagi pengembang. Akibatnya, pedoman yang direvisi harus diumumkan tepat waktu dan sebaiknya melibatkan konsultasi dengan pemangku kepentingan utama (swasta) di sektor angin. Selain itu, batasan yang jelas tetapi masuk akal diperlukan tentang bagaimana revisi pedoman tersebut berlaku untuk proyek yang sedang berlangsung dan proyek yang akan datang depan (dengan kata lain, untuk proyek mana pedoman yang direvisi berlaku, dan untuk proyek mana pedoman sebelumnya berlaku).
- Kejelasan:
Kriteria evaluasi untuk studi yang akan dilaksanakan dan izin yang perlu diajukan harus wajar, didefinisikan dengan jelas sejak awal, dan mengacu pada standar yang dikenal secara luas.
- Tanggung jawab:
Tumpang tindih antara persyaratan dan studi dari otoritas yang berbeda harus dicegah. Studi tertentu harus dievaluasi oleh satu otoritas untuk persetujuan. Otoritas lain dapat meminta studi yang sudah disetujui (misalnya untuk permohonan izin), tetapi otoritas lain tidak seharusnya mengulang proses evaluasi.

Rencana aksi untuk bidang utama

Tabel 19: Rencana aksi untuk bidang utama 'ketersediaan data spasial dan proses standarisasi'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Digitalisasi peta geospasial	→							
Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi	→							
Merancang pedoman untuk pengembangan energi angin di Indonesia	→							

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 20: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'ketersediaan data spasial dan proses standarisasi'

Rencana Aksi	ESDM	KATR/BPN	Kemen perin	PUPR	KLHK	BSN	PLN	Asosiasi/ Industri
Digitalisasi peta geospasial	C	R/A		R/A	R/A			I
Merancang pedoman untuk kriteria penilaian lokasi	R	C		C	C			C
Merancang pedoman untuk pengembangan energi angin di Indonesia	R/A		C			C	R	C

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.3 Aksi Peta Jalan untuk Kebijakan/peraturan dan perizinan

Penyempurnaan kebijakan/regulasi dan proses perizinan untuk percepatan pengembangan energi angin dapat dilakukan dengan (i) menetapkan syarat-syarat utama regulasi dan perizinan, (ii) perbaikan berkelanjutan sistem OSS, dan (iii) memperlancar proses pengadaan tanah. Ketiga aspek tersebut diuraikan dalam beberapa paragraf berikut.

Penentuan kondisi utama untuk peraturan dan perizinan di sektor angin

Pada subbagian sebelumnya, prasyarat untuk pedoman proses pengembangan angin sudah diuraikan. Prasyarat ini dirangkum dalam istilah kunci berikut: Konsistensi, Transparansi, Kejelasan, dan Tanggung Jawab. Prasyarat kunci ini, dengan cara yang sama, dapat diterapkan untuk kebijakan, peraturan, dan proses perizinan secara formal yang diperlukan untuk sektor energi angin:

- Konsistensi:**
 Pengembang dan investor harus yakin bahwa peraturan dan proses perizinan selalu diterapkan secara konsisten dan teliti. Hal ini berarti bahwa tidak masalah jika sebuah proyek dikembangkan di Aceh, Bali, atau di daerah lain. Hal ini juga berarti bahwa peraturan 'mengalir ke bawah' dengan cara yang tidak berubah dari otoritas pemrakarsa ke otoritas pelaksana.

- **Transparansi:**
Peraturan dan proses perizinan dapat direvisi dari waktu ke waktu, berdasarkan pelajaran yang dipetik dari pengembangan angin selama bertahun-tahun. Namun, kebijakan dan peraturan yang sering berubah tidak diinginkan oleh pengembang. Dengan demikian, setiap perubahan yang disarankan terhadap kebijakan atau peraturan harus diumumkan tepat waktu dan sebaiknya melibatkan konsultasi dengan pemangku kepentingan utama (swasta) di sektor angin. Selain itu, batasan yang jelas namun wajar diperlukan tentang bagaimana revisi ini berlaku untuk proyek yang sedang berlangsung dan proyek yang akan datang.
- **Kejelasan:**
Kriteria evaluasi untuk aplikasi izin harus masuk akal, didefinisikan dengan jelas di awal, dan mengacu pada standar yang diterbitkan.
- **Tanggung jawab:**
Tumpang tindih antara persyaratan dan studi dari otoritas yang berbeda harus dicegah. Studi tertentu harus dievaluasi oleh satu otoritas untuk persetujuan. Otoritas lain dapat meminta studi yang telah disetujui (misalnya untuk permohonan izin), tetapi otoritas lain tidak seharusnya mengulang proses evaluasi. Untuk peraturan energi angin dan proses perizinan, alokasi tanggung jawab kepada otoritas terkait sangat penting. Dalam definisi tanggung jawab ini, satu aspek yang penting adalah keselarasan dan koordinasi antara pemangku kepentingan utama, terutama antara pembuat kebijakan dan PLN. Penting untuk memastikan bahwa semua pihak memiliki target yang sama dan bertindak dengan cara yang sama dalam memenuhi target tersebut.

Perbaikan berkelanjutan sistem OSS

Saat ini, Pemerintah Pusat telah mengembangkan sistem *One Single Submission* yang menyederhanakan proses aplikasi untuk memperoleh izin. Namun, menurut umpan balik dari pengembang, penundaan dari pihak Pemerintah masih dialami saat memproses aplikasi, terutama karena transisi ke sistem baru. Khusus untuk KKPR, pemrosesan semua aplikasi secara terpusat menambah antrean yang lebih panjang dengan durasi yang tidak pasti dari pengajuan hingga umpan balik diterima dari Pemerintah. Prosedur perizinan yang terstandarisasi dan lebih transparan akan mengurangi ketidakpastian proyek. Dengan demikian, perbaikan berkelanjutan menjadi sangat penting, dengan memantau dan secara aktif mengumpulkan umpan balik dari pemangku kepentingan terkait, seperti investor dan lembaga pemerintah terkait. Jika memungkinkan, disarankan untuk membuat program jalur cepat untuk mempercepat proses perizinan untuk proyek tenaga angin, tergantung pada pemenuhan dokumen prasyarat dan persyaratan untuk izin tertentu.

Memperlancar proses pengadaan tanah

Pembebasan lahan tetap menjadi masalah signifikan dalam pengembangan PLTB karena beberapa alasan:

- **Ketersediaan lahan:**
PLTB mungkin membutuhkan lahan dalam jumlah besar. Menemukan lahan yang cocok dan tersedia yang memenuhi semua persyaratan dan pertimbangan (sebagaimana tercantum dalam Subbagian 5.2.2) dapat menjadi tantangan. Dalam beberapa kasus, lahan dapat digunakan atau dialokasikan untuk tujuan lain, seperti pertanian atau konservasi, yang menyebabkan konflik atas penggunaan lahan.

- Oposisi lokal:
Masyarakat (lokal) terkadang menolak proyek-proyek energi (*Not In My Back Yard* atau isu *NIMBY*), terutama jika mereka percaya bahwa proyek tersebut akan berdampak negatif terhadap lingkungan lokal, pembangunan ekonomi, atau nilai properti mereka. Oposisi ini dapat menyebabkan penundaan atau bahkan pembatalan proyek.
- Masalah lingkungan:
Proyek mungkin memerlukan lahan dengan karakteristik lingkungan spesifik yang tumpang tindih dengan kawasan lindung. Hal ini dapat menimbulkan kekhawatiran tentang dampak pada ekosistem, habitat, dan satwa liar secara lokal.
- Masalah budaya dan adat:
Dalam beberapa kasus, proyek energi dapat melanggar lahan dengan signifikansi budaya atau sejarah bagi masyarakat adat. Hal ini menimbulkan masalah hak atas tanah dan pelestarian budaya.
- Faktor ekonomi:
Biaya pembebasan lahan dapat memiliki porsi yang signifikan dari keseluruhan anggaran proyek. Biaya pembebasan lahan yang lebih tinggi dapat berdampak pada kelayakan finansial proyek angin, yang berpotensi membuatnya kurang menarik bagi investor.

Untuk mengatasi tantangan ini, Pemerintah dan pengembang proyek perlu terlibat dalam perencanaan secara menyeluruh, pendekatan terhadap masyarakat, dan penilaian dampak lingkungan. Penting untuk mempertimbangkan implikasi sosial dan lingkungan dari pembebasan lahan, memastikan bahwa transisi ke sumber energi yang lebih bersih sejalan dengan tujuan keberlanjutan yang lebih luas. Perumusan rencana pendekatan nasional yang lebih baik juga direkomendasikan untuk memperlancar proses pembebasan lahan yang mempertimbangkan nilai-nilai pemilik tanah dan penduduk setempat. Elemen penting dari rencana ini adalah partisipasi pemangku kepentingan lokal dalam tahap pengembangan proyek sejak awal.

Selain itu, ada beberapa elemen yang dapat dipertimbangkan untuk dimasukkan ke dalam perencanaan secara nasional:

- Sistem manfaat finansial untuk penduduk lokal (misalnya diskon listrik untuk penduduk terdekat, dan pembebasan dengan merujuk pada *opportunity cost* dan bukan nilai ganti rugi) dapat dipertimbangkan.
- Studi akhir tentang dampak lingkungan dan sosial dapat ditetapkan sebagai prasyarat untuk memulai proses pembebasan lahan. Namun, untuk menghindari penundaan yang tidak perlu, durasi pembebasan lahan harus dipersingkat.
Kemungkinan mengalokasikan tanggung jawab untuk pengadaan tanah kepada Pemerintah perlu dieksplorasi. Dengan cara ini, pendekatan *top-down* digunakan untuk menyelaraskan semua proses di pemerintahan. Selain itu, akan lebih menguntungkan jika Pemerintah menjadi pemilik tanah daripada pengembang/investor (asing), dan kemudian menyewakan tanah kepada pemilik PLTB. Dengan cara ini, setelah masa pakai desain PLTB (20-30 tahun), kepemilikan tanah dapat tetap berada di tangan Pemerintah.

Rencana aksi untuk bidang utama

Tabel 21: Rencana aksi untuk bidang utama 'kebijakan/peraturan dan perizinan'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Penentuan kondisi utama untuk peraturan dan perizinan di sektor angin	→							
Perbaikan berkelanjutan sistem OSS	→							
Memperlancar proses pengadaan tanah	→							

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 22: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'kebijakan/peraturan dan perizinan'

Rencana Aksi	ESDM	Kemen keu	Kemen perin	Kemen ves	PUPR	KATR/BPN	PLN	Asosiasi/ Industri
Penentuan kondisi utama untuk peraturan dan perizinan di sektor angin	R/A	C	C	C	C		C	C/I
Perbaikan berkelanjutan sistem OSS				R/A				C/I
Memperlancar proses pengadaan tanah				R/A		C		C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.4 Aksi Peta Jalan untuk Aktivitas penelitian dan pengembangan (*Research & Development* atau R&D)

Potensi energi angin di Indonesia telah diukur sejak tahun 1970-an di Nusa Tenggara Timur yang ditetapkan sebagai lokasi pertama. Pada tahun 1980-an, penelitian energi angin dilakukan oleh departemen R&D ESDM dan LAPAN. Daerah yang diteliti meliputi Pulau Jawa, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Sulawesi Utara. Sejak organisasi-organisasi tersebut dibubarkan, penelitian tentang energi angin terbatas dan kurang terfokus dari otoritas penelitian dan pengembangan secara formal. Oleh karena itu, tindakan spesifik direkomendasikan melalui peta jalan ini untuk meningkatkan tingkat penelitian dan pengembangan energi angin di Indonesia.

Pemrioritasan topik R&D khusus untuk pengembangan energi angin

Perusahaan-perusahaan swasta sering kali condong ke upaya R&D jangka pendek ketika mereka mengharapkan pengembalian investasi yang lebih terprediksi. Sebaliknya, sektor publik biasanya memainkan peran utama dalam penelitian fundamental yang bersifat jangka panjang, dan hal ini harus menjadi fokus utama inisiatif R&D publik. Keuntungan lebih lanjut dapat diperoleh melalui peningkatan koordinasi antara R&D dan upaya proyek demonstrasi antara pihak publik dan swasta. Salah satu cara untuk meningkatkan koordinasi adalah dengan mengidentifikasi serangkaian topik R&D yang akan mempercepat pencapaian target dan tonggak pengembangan energi angin.

Berdasarkan tiga tantangan mendasar utama yang akan membutuhkan studi R&D dan strategis lebih lanjut (sebagaimana diidentifikasi dalam Bagian 4.4), topik penelitian utama berikut didefinisikan sebagai prioritas:

- Persiapan *pipeline* proyek terperinci untuk implementasi, berdasarkan angka yang aktual dan lebih realistis untuk target kapasitas terpasang PLTB (sebagaimana dijelaskan dalam Subbagian 5.2.1)
- Analisis biaya-manfaat (*cost-benefit*) pada pengembangan kapasitas industri Indonesia untuk pembuatan komponen turbin angin lokal; analisis ini setidaknya harus mencakup:
 - Prasyarat bagi perusahaan untuk mendirikan fasilitas manufaktur di Indonesia;
 - Efek pada penyerapan tenaga kerja lokal;
 - Persyaratan untuk pendidikan staf dan pendirian pusat pelatihan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar internasional;
 - Sumber bahan baku;
 - Proyeksi permintaan (baik lokal maupun internasional);
 - Efek makro-ekonomi; dan
 - Efek finansial dari komponen yang diproduksi secara lokal pada CAPEX suatu proyek.
- Penelitian tentang bagaimana isu terkait transmisi (karena produksi tenaga listrik yang bersifat intermiten dari PLTB dan sistem jaringan yang lemah) dapat diselesaikan

Peningkatan kolaborasi R&D secara internasional

Hanya sebagian dari teknologi energi angin yang terkhusus pada suatu negara. Sebagian besar dari apa yang diketahui tentang perilaku angin dan teknologi turbin angin berlaku di setiap negara. Oleh karena itu, kolaborasi R&D lintas negara di bidang energi angin sangat penting bagi Indonesia. Kolaborasi ini dapat dipupuk terutama dengan negara-negara yang memiliki rekam jejak jangka panjang dalam pengembangan energi angin, seperti Jerman, Denmark, dan Belanda. Berkolaborasi dapat memfasilitasi pemanfaatan inisiatif R&D internasional yang ada dan menarik pelajaran yang signifikan dari negara-negara ini untuk Indonesia. Selain itu, membangun penyelarasan jangka panjang agenda penelitian energi angin juga penting untuk memulai kolaborasi. Negara-negara seperti Indonesia adalah subjek R&D yang sangat menarik untuk penelitian mendasar tentang perilaku angin di medan yang kompleks, keadaan tropis, dan alam kepulauan.

Mencapai target pengembangan angin di Indonesia memerlukan peningkatan pendanaan R&D. Untuk kolaborasi R&D internasional ini, bank pembangunan multilateral (*Multilateral Development Banks*) dapat berfungsi sebagai sumber pendanaan yang vital. Fasilitas pembiayaan dapat disesuaikan untuk mendukung berbagai kebutuhan berdasarkan kasus per kasus. Bank pembangunan bilateral juga memainkan peran penting dalam menyediakan dana untuk proyek-proyek pembangunan. Misalnya, bank milik negara Jerman Kreditanstalt für Wiederaufbau Bank (KfW) menjalin perjanjian dengan Kemenkeu pada tahun 2022, dengan memberikan pinjaman promosi senilai EUR 300 juta sebagai bagian dari *Sustainable and Inclusive Energy Programme*. Paket pembiayaan tersebut diharapkan dapat mendorong reformasi sektor energi terbarukan di Indonesia, yang antara lain mencakup perbaikan peraturan untuk PLTS atap dan mekanisme *feed-in tariff* untuk energi terbarukan.

Contoh lainnya adalah *Asian Development Bank* (ADB) yang membentuk dan mendanai *Energy Transition Mechanism* pada tahun 2021. Untuk mempercepat pensiun dini PLTU operasional, ADB menyiapkan dana untuk membiayai kembali PLTU yang ada, memajukan rencana pensiun PLTU, dan mengganti pembangkit ini dengan alternatif pembangkit listrik yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Rencana aksi untuk bidang utama

Tabel 23: Rencana aksi untuk bidang utama "aktivitas penelitian dan pengembangan"

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pemrioritasan topik R&D khusus untuk pengembangan energi angin								
Peningkatan kolaborasi R&D secara internasional								

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 24: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'aktivitas penelitian dan pengembangan'

Rencana Aksi	ESDM	Kemen keu	Kemen perin	Kemen ves	BRIN	BSN	PLN	Asosiasi/ Industri/ Pemberi pinjaman
Pemrioritasan topik R&D khusus untuk pengembangan energi angin	A	C	C	C	R	I	C	C/I
Peningkatan kolaborasi R&D secara internasional	A			C	R	I	C	C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.5 Aksi Peta Jalan untuk Kapasitas industri

Industri angin di Indonesia masih dalam tahap prematur. Sejauh ini, hanya menara turbin angin yang diproduksi di Indonesia untuk diekspor oleh PT Kenertec Power System di Cilegon, Banten (2.500 menara sejak 2006). Selain itu, dua PLTB yang telah didirikan selama ini sangat bergantung pada para ahli dari luar Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada ruang yang signifikan untuk meningkatkan kapasitas industri untuk sektor angin Indonesia. Kapasitas industri tersebut dapat dibagi menjadi dua aspek, yaitu pengembangan rantai pasokan lokal dan pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin.

Ketika mempertimbangkan pengembangan rantai pasokan lokal, hal-hal berikut harus diperhatikan. Seperti disebutkan dalam subbagian sebelumnya tentang topik prioritas R&D, disarankan untuk terlebih dahulu melakukan analisis biaya-manfaat yang tepat pada pengembangan kapasitas industri Indonesia untuk pembuatan komponen turbin angin lokal. Tantangan utama, sebagaimana telah diidentifikasi dalam Bagian 4.5, adalah bahwa rantai pasokan lokal tersebut membutuhkan investasi besar dan serangkaian proyek untuk mendorong manufaktur (dan investor) untuk mendirikan pabrik di Indonesia. Untuk membangun *pipeline* proyek semacam itu, banyak rencana aksi yang telah diidentifikasi di bidang utama lainnya dalam peta jalan ini.

Sementara itu, pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin harus mempertimbangkan dua tantangan mendasar sebagaimana diidentifikasi dalam Bagian 4.5, yaitu, kurangnya pengetahuan lokal tentang teknologi dan terbatasnya ketersediaan tenaga kerja lokal yang terampil. Beberapa rencana aksi secara spesifik dapat diimplementasi untuk mengatasi tantangan ini, seperti yang diusulkan dalam Tabel 25.

Tabel 25: Langkah-langkah yang diusulkan untuk pengembangan pengetahuan lokal dan keahlian dalam pengembangan energi angin

Aksi	Aktivitas
Identifikasi kebutuhan dan standar industri	Hal ini memerlukan identifikasi keterampilan dan sertifikasi khusus yang diperlukan dalam industri angin. Posisi yang mungkin termasuk meliputi teknisi turbin angin, teknisi listrik, spesialis keselamatan, dan manajer proyek. Penting juga untuk memahami standar keselamatan industri dan persyaratan peraturan.
Libatkan pemangku kepentingan	Kolaborasi harus dibentuk dengan asosiasi industri, lembaga pemerintah daerah, pengembang proyek angin, dan lembaga pendidikan (internasional) untuk berkolaborasi dalam pendidikan dan sertifikasi tenaga terampil.
Kembangkan kurikulum	Pembuatan kurikulum untuk pengembangan keahlian dapat mencakup pengetahuan teoritis dan keterampilan praktis yang relevan dengan industri angin. Penting untuk memastikan bahwa kurikulum tersebut selaras dengan standar industri dan peraturan keselamatan. Kurikulum dapat mencakup modul tentang operasi dan pemeliharaan turbin angin, sistem ketenagalistrikan, prosedur keselamatan, dan pertimbangan dampak terhadap lingkungan.
Pilih penyedia pelatihan	Hal ini mencakup pemilihan mitra atau penyedia pelatihan (misalnya sekolah teknik, <i>community college</i> , atau organisasi pelatihan khusus) untuk melaksanakan program pelatihan. Bagian dari proses seleksi adalah untuk memastikan bahwa penyedia ini memiliki instruktur yang berkualitas dengan pengalaman industri yang relevan.
Pendanaan dan sumber daya	Mendapatkan pendanaan adalah Langkah penting untuk memulai program pelatihan. Pendanaan dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk hibah pemerintah, sponsor industri, bank pembangunan, dan pendanaan internasional (misalnya JETP). Berbagai sumber daya harus digunakan untuk merancang dan mewujudkan fasilitas pelatihan, peralatan, pengembangan kurikulum, dan materi pelatihan.
Aksesibilitas dan inklusivitas	Program pelatihan harus dapat diakses oleh beragam kelompok peserta untuk mencapai keseimbangan gender dan melibatkan komunitas yang kurang terwakili atau termarginalisasi. Salah satu pilihan untuk dipertimbangkan adalah menawarkan beasiswa atau bantuan finansial kepada mereka yang mungkin menghadapi hambatan ekonomi untuk berpartisipasi.
Proses sertifikasi	Seperangkat kriteria yang jelas untuk sertifikasi, termasuk jumlah jam pelatihan yang diperlukan, keterampilan khusus yang harus dikuasai, dan ujian tertulis atau praktik harus ditetapkan. Selain itu, hal ini mungkin memerlukan pembentukan lembaga sertifikasi (atau bekerja dengan Lembaga yang sudah ada) untuk mengeluarkan sertifikat industri yang diakui secara internasional.
Pelatihan keselamatan	Keselamatan adalah perhatian utama dalam industri angin selama tahap konstruksi dan pemeliharaan. Oleh karena itu, prioritas harus ditempatkan pada pelatihan keselamatan, termasuk prosedur tanggap darurat dan kepatuhan terhadap standar keselamatan industri.
Magang dan pengalaman praktis	Hal ini mencakup penawaran kesempatan untuk pelatihan di tempat kerja atau magang di proyek angin yang ada (atau sedang dibangun) untuk memberikan pengalaman praktis.
Monitoring dan evaluasi	Pemantauan rutin terhadap efektivitas program pelatihan adalah kunci untuk mengembangkan keahlian lokal dalam energi angin. Hal ini dapat dilakukan dengan mengumpulkan umpan balik dari peserta dan selanjutnya membuat perbaikan yang diperlukan. Evaluasi keberhasilan program dapat dilakukan dengan melacak tingkat penyerapan tenaga kerja dan kemajuan karier dari lulusan program.
Perbaikan berkelanjutan	Hal ini ditujukan untuk memastikan program diperbarui selaras dengan perkembangan industri terkini, kemajuan teknologi, dan perubahan standar.

Rencana aksi untuk bidang utama

Tabel 26: Rencana aksi untuk bidang utama 'kapasitas industri'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pengembangan rantai pasokan lokal								
Pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin								

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 27: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama "kapasitas industri"

Rencana Aksi	ESDM	Kemen keu	Kemen perin	Kemen ves	BRIN	BSN	PLN	Asosiasi/ Industri
Pengembangan rantai pasokan lokal	A	C	R	C	C	C	C	C
Pengembangan pengetahuan dan keahlian lokal dalam pengembangan energi angin	A					R	C	C

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.6 Aksi Peta Jalan untuk Infrastruktur

Berdasarkan tantangan-tantangan yang diidentifikasi dalam Bagian 4.6, tindakan-tindakan yang direkomendasikan berikut dimasukkan dalam peta jalan untuk mengatasi tantangan terkait infrastruktur.

Pengembangan sistem transmisi, peningkatan, dan interkoneksi antar pulau

Meskipun sumber daya angin yang baik mungkin tersedia di Indonesia, sebagian besar daerah dengan daerah sumber daya angin terbaik terletak pada jarak yang cukup jauh dari pusat permintaan dan sistem transmisi yang ada. Mengatasi tantangan ini dan bertindak menuju solusi sebagaimana ditentukan dalam peta jalan ini sangat penting bagi masa depan sektor angin.

Pemerintah dan PLN didorong untuk segera mengambil tindakan untuk mempercepat pengembangan jaringan transmisi yang sesuai untuk mendukung transisi energi. Perlu dicatat bahwa energi angin bukanlah satu-satunya sumber energi terbarukan yang bergantung pada infrastruktur jaringan yang tersedia dan dapat diandalkan. Sumber lainnya (baik yang variabel maupun dapat dikendalikan) seperti panel surya, pembangkit listrik tenaga air, dan pembangkit listrik geotermal juga memerlukan koneksi ke jaringan listrik. Kendala dalam memanfaatkan energi terbarukan adalah bahwa lokasi yang diharapkan tidak selalu dapat dipilih dekat dengan jaringan yang sudah ada jika dibandingkan dengan, misalnya, memilih lokasi untuk turbin gas. Lokasi pembangkit energi terbarukan bergantung pada di mana sumber daya alamnya tersedia (dan banyak faktor lainnya). Oleh karena itu, untuk banyak proyek energi terbarukan, diperlukan perluasan jaringan (termasuk membangun jalur transmisi tambahan, jalur distribusi, dan pusat kontrol yang canggih) untuk memungkinkan listrik yang dihasilkan untuk dialirkan ke jaringan utama. Jaringan ini perlu siap sebelum pembangkit energi terbarukan mulai beroperasi.

Di sisi lain, sulit bagi PLN untuk memulai perluasan jaringan jauh sebelum pembangunan pembangkit energi terbarukan yang akan terhubung. Perluasan jaringan akan menimbulkan beban keuangan dan risiko yang signifikan bagi PLN. Oleh karena itu, perencanaan dan pengembangan perluasan jaringan harus disinkronkan dengan perencanaan dan pengembangan proyek energi terbarukan (termasuk PLTB darat).

Seperti yang dijelaskan dalam Subbagian 5.2.1, setelah Langkah 1 (identifikasi lokasi potensial energi angin), tindakan harus diambil oleh PLN untuk menyiapkan perluasan potensial jaringan (dengan kapasitas yang memadai) ke lokasi PLTB. Semakin pasti bahwa PLTB akan direalisasikan, semakin konkret tindakan PLN yang diperlukan untuk perluasan jaringan.

Selain dari perluasan jaringan ke lokasi PLTB, keandalan dan stabilitas umum jaringan listrik merupakan persyaratan penting untuk memungkinkan evakuasi listrik dari sumber energi terbarukan yang variabel. Sistem transmisi Sumatra dan Jawa-Madura-Bali sudah berada pada tingkat di mana kemungkinan keandalan dan stabilitas jaringan tidak akan menyebabkan banyak tantangan, terutama ketika pusat kontrol Jawa-Madura-Bali yang baru beroperasi. Namun, di pulau-pulau lain, sistem transmisi belum mencapai tingkat ini. Hal ini merupakan tugas yang menantang bagi Pemerintah (terutama PLN) untuk meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem-sistem ini.

Sementara itu, integrasi BESS dapat mengurangi isu intermiten dari energi angin (lihat poin tindakan selanjutnya). Oleh karena itu, memberikan dukungan yang kuat untuk inisiatif R&D terkait teknologi transmisi baru menjadi faktor kunci untuk pengelolaan yang berhasil dari proyek-proyek angin (lihat juga prioritas topik R&D khusus dalam Subbagian 5.2.4).

Akhirnya, dalam jangka panjang, Indonesia akan memerlukan lebih banyak koneksi antarpulau untuk menghubungkan, misalnya, jaringan di Pulau Kalimantan dengan jaringan di Pulau Jawa. Indonesia Supergrid akan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan secara nasional dan menciptakan jaringan besar yang stabil di mana produksi listrik yang variabel, yang dapat dikendalikan, dan yang beroperasi seimbang dapat berjalan.

Penilaian mendalam tentang insentif untuk integrasi BESS

Penilaian mendalam dan insentif untuk integrasi BESS di daerah dengan jaringan yang lemah dan sumber energi terbarukan adalah faktor yang sangat penting untuk menciptakan infrastruktur jaringan yang lebih andal. Jaringan listrik yang lemah, rentan terhadap fluktuasi tegangan dan pemadaman karena sifat intermiten dari sumber energi terbarukan. BESS dapat memberikan stabilitas dan keandalan jaringan dengan menyimpan energi berlebih selama periode kelimpahan dan mengeluarkannya selama periode permintaan tinggi atau produksi rendah, menjaga keseimbangan pasokan-permintaan. Integrasi BESS memungkinkan pemanfaatan yang lebih baik dari sumber daya energi terbarukan karena energi berbasis energi terbarukan berlebihan dapat disimpan saat produksi melebihi permintaan, mengurangi pembatasan dan memaksimalkan penggunaan energi bersih. BESS juga dapat meningkatkan ketahanan energi di daerah dengan jaringan yang lemah, membuatnya kurang rentan terhadap gangguan pasokan listrik yang disebabkan oleh bencana alam atau kegagalan peralatan. Jika terjadi kegagalan jaringan, BESS dapat memberikan pasokan listrik cadangan, mengurangi waktu tidak aktif dan kerugian ekonomi.

Meskipun memiliki manfaat, teknologi BESS membutuhkan biaya investasi tinggi untuk pengadaan, pemasangan, dan pemeliharaan sistem. Insentif untuk integrasi BESS dapat mendorong investasi dalam penyimpanan energi, membuka potensi sumber pendapatan. Sebagai contoh, BESS dapat berpartisipasi dalam program respons permintaan (*demand response*), penyeimbangan jaringan listrik, dan layanan pelengkap sehingga pemilik/operator BESS dapat mendapatkan pendapatan dari dukungan jaringan. Membangun insentif dan melakukan penilaian kebijakan dan regulasi membantu mengembangkan kerangka institusional yang jelas dan mendukung untuk integrasi BESS. Sebagai hasilnya, hal ini meningkatkan kepercayaan investor dan menyederhanakan implementasi proyek angin.

Secara ringkas, penilaian mendalam dan insentif untuk integrasi BESS di daerah dengan jaringan listrik yang lemah dan mempunyai potensi energi terbarukan sangat penting untuk mengatasi tantangan energi, mendorong keberlanjutan, meningkatkan keandalan jaringan, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Upaya ini sejalan dengan tujuan yang lebih luas untuk beralih ke infrastruktur energi yang lebih bersih dan tangguh.

Identifikasi potensi sinergi dalam penggunaan perbaikan jalan dan pelabuhan oleh penerima manfaat

Fakta yang perlu diakui bahwa untuk pembangunan PLTB darat, infrastruktur jalan yang andal diperlukan untuk mengangkut komponen turbin angin yang sangat besar ke lokasi. Ini tidak dapat dihindari dan dalam banyak kasus akan menjadi elemen biaya yang signifikan dalam kasus bisnis proyek. Apa yang bisa ditingkatkan adalah menghindari pembangunan infrastruktur jalan yang hanya didedikasikan untuk pembangunan dan pemeliharaan PLTB saja. Akan bermanfaat jika sinergi dapat ditemukan antara akses ke PLTB dan menggunakan jalan yang sama (kemungkinan dengan beberapa perluasan) untuk menghubungkan wilayah ekonomi, menghubungkan desa-desa terpencil, atau mengurangi tekanan pada infrastruktur yang ada. Selain itu, akan lebih menguntungkan jika biaya ini dapat dibagi antara pengembang dan penerima manfaat infrastruktur jalan (misalnya pemerintah daerah, Kemendikbud, dan pemilik perkebunan yang dapat menggunakan rute cepat ke fasilitas distribusi mereka). Struktur Kemitraan Publik-Swasta (PPP) dapat memungkinkan hal ini. Untuk menemukan sinergi tersebut, diperlukan keterlibatan calon penerima manfaat pada tahap awal proyek. Pelonggaran peraturan (misalnya menghindari tender ganda untuk pembangunan jalan untuk Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) adalah prasyarat untuk membuat pekerjaan ini.

Jenis sinergi yang sama juga bisa dilihat dalam pengembangan pelabuhan. Peningkatan fasilitas pelabuhan yang diperlukan untuk menurunkan komponen turbin angin juga bisa menguntungkan pemilik pelabuhan dalam jangka panjang (misalnya, derek pengangkatan yang lebih berat dan lapangan penyimpanan yang lebih besar). Selain itu, jika ada *pipeline* proyek pembangkit listrik tenaga angin di suatu wilayah atau pulau tertentu, sangat penting bahwa perbaikan fasilitas pelabuhan tidak hanya berlaku untuk satu proyek saja. Konsultasi dengan pengembang PLTB berikutnya tentang kebutuhan pelabuhan mereka disarankan. Ini juga bisa melibatkan pembagian biaya untuk perbaikan pelabuhan tersebut antara para pengembang.

Rencana aksi bidang utama

Tabel 28: Rencana aksi untuk bidang utama 'infrastruktur'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Perluasan sistem transmisi, peningkatan, dan interkoneksi pulau								
Penilaian mendalam tentang insentif untuk integrasi BESS								
Identifikasi potensi sinergi dalam penggunaan perbaikan jalan dan pelabuhan oleh penerima manfaat								

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 29: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'infrastruktur'

Rencana Aksi	ESDM	Kemen keu	Kemen perin	Kemen ves	PUPR	KLHK	PLN	Asosiasi /Industri
Perluasan sistem transmisi, peningkatan, dan interkoneksi pulau	A	C		C	I	I	R/A	I
Penilaian mendalam tentang insentif untuk integrasi BESS	A	C		C			R/A	C
Identifikasi potensi sinergi dalam penggunaan perbaikan jalan dan pelabuhan oleh penerima manfaat	C	A	C	C	R		C	C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.7 Aksi Peta Jalan untuk Pendanaan dan *bankability*

Kelayakan teknis dari sebuah proyek angin darat merupakan salah satu syarat utama. Syarat kedua adalah *bankability* proyek. *Bankability* bergantung pada profil risiko dan pengembalian yang dapat diprediksi dan transparan dari proyek bagi pemberi pinjaman dan investor. Faktor-faktor utama untuk *bankability* adalah:

- **Insentif untuk mengatasi tingginya "biaya pembelajaran":**
Di sektor energi angin yang belum matang seperti di Indonesia, pengembangan pembangkit listrik tenaga angin terkait dengan "biaya pembelajaran" yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh kurangnya proses terstandarisasi (lihat Subbagian 5.2.2), kapasitas industri (lihat Subbagian 5.2.5), dan infrastruktur (lihat Subbagian 5.2.6). Meskipun biaya yang tinggi ini normal dalam sebuah sektor yang sedang berkembang, dengan insentif finansial yang tepat, biaya pembelajaran dapat diatasi dan berpotensi menciptakan kasus bisnis yang layak.

- **Kondisi Perjanjian Jual-Beli Tenaga Listrik (PJBL) dengan PLN:**

Dalam periode 20-30 tahun, perjanjian ini menentukan bagaimana pembangkit listrik tenaga angin akan mengembalikan investasinya dan menciptakan pengembalian investasi bagi pemberi pinjaman dan investor. Oleh karena itu, kondisi dalam PJBL harus wajar dan konsisten agar menghasilkan proyek yang *bankable*.

Untuk mengatasi tantangan yang diidentifikasi dalam Bagian 4.7, Peta Jalan ini menyediakan rekomendasi-rekomendasi berikut pada kedua elemen tersebut.

Menerapkan mekanisme dukungan yang memberikan insentif yang cukup bagi para investor

Pemerintah telah mengeluarkan berbagai insentif fiskal dan non-fiskal. Namun, hingga saat ini, insentif-insentif ini belum terbukti berhasil dalam percepatan pengembangan energi angin karena alasan-alasan yang disebutkan dalam Bagian 4.7. Oleh karena itu, implementasi yang konsisten dari Peraturan Presiden No. 112/2022 diperlukan. Implementasi ini dapat dikombinasikan dengan kegiatan penyebarluasan publik tambahan untuk meningkatkan kesadaran tentang regulasi dan mengukur umpan balik dari pemangku kepentingan utama mengenai bagaimana regulasi dapat diperbaiki.

Insentif-insentif tersebut harus menjadi bagian dari kerangka kerja yang konsisten dan sejalan dengan langkah-langkah yang bertujuan untuk menghilangkan hambatan administratif (misalnya, proses izin yang terlalu panjang), serta dengan inisiatif lain (misalnya, untuk mendukung R&D). Mekanisme internasional, nasional, dan regional harus saling melengkapi sejauh mungkin untuk mendorong investor untuk berinvestasi dalam proyek-proyek yang teknis dan ekonomis layak, bukan hanya tertarik oleh tingkat dukungan pemerintah tertinggi. Untuk mendorong implementasi yang berhasil, KPI (*Key Performance Indicators*) dapat ditetapkan untuk mengukur seberapa berhasilnya aplikasi untuk insentif diimplementasikan, dan untuk mengidentifikasi penyebab utama dari aplikasi yang tidak berhasil. Jika diperlukan, prosedur semacam itu mungkin perlu disesuaikan untuk menyederhanakan proses dan meningkatkan aplikasi.

Kesepakatan pada PJBL yang *bankable* dan seimbang

Seperti yang dijelaskan dalam Bagian 4.7, masih terdapat isu *bankability* pada PJBL saat ini yang diterbitkan oleh PLN untuk pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. PLN sebagai pembeli energi listrik telah mempertahankan peringkat kredit yang kuat. Namun, sektor swasta akan memerlukan ketentuan PJBL yang dianggap *bankable* untuk proyek-proyek angin, yang memiliki biaya modal dan risiko yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan cara lain dalam menghasilkan energi listrik. Ketentuan PJBL yang *bankable* ini sangat penting untuk menarik investor dan pemberi pinjaman internasional besar yang diperlukan untuk menyediakan volume pembiayaan yang cukup dan biaya modal yang rendah, yang tidak dapat ditawarkan oleh bank-bank lokal. Sebelum bank memutuskan untuk membiayai proyek, mereka akan melakukan apa yang disebut dengan *due diligence*. Dalam proses ini, proyek secara menyeluruh dianalisis, termasuk pemeriksaan menyeluruh terhadap ketentuan PJBL. Jika ketentuan PJBL yang tidak *bankable* teridentifikasi selama proses *due diligence*, ketentuan-ketentuan ini dapat dianggap sebagai sinyal peringatan yang dapat menyebabkan keengganan bank untuk membiayai proyek tersebut.

Ada setidaknya dua cara untuk mencapai kesepakatan semacam itu. Pertama, dengan melakukan perbandingan dengan praktik PJBL di negara-negara lain yang telah berhasil melaksanakan proyek-proyek angin. Cara kedua berkaitan dengan memperkuat pemahaman OJK, serta lembaga keuangan relevan lainnya, tentang praktik/metode uji tuntas (*due diligence*) untuk proyek-proyek energi terbarukan (termasuk energi angin). Hal ini penting karena OJK menetapkan pedoman dan referensi bagi bank-bank lokal untuk melakukan *due diligence* terhadap proyek-proyek tersebut. Program transfer pengetahuan dan pengembangan kapasitas antara OJK dan otoritas jasa keuangan dari negara-negara yang lebih maju dalam pengembangan energi angin, serta antara bank lokal dan bank internasional yang berasal dari negara-negara ini, bisa bermanfaat untuk mencapai tujuan ini.

Selain itu, peta jalan ini memberikan saran tentang kemungkinan perbaikan kondisi-kondisi khusus dari PJBL dalam Tabel 30.

Tabel 30: Saran untuk mengatasi masalah *bankability* PJBL

Aspek	Kasus dan saran
Titik pencapaian proyek dan persyaratan keamanan kinerja	<p>Kasus: Ketidaksihinggaan lini masa antara PJBL dan kegiatan pembiayaan, misalnya Penutupan Keuangan atau COD setelah Tanggal Efektif PJBL selama proses <i>due diligence</i> oleh pemberi pinjaman dapat mengakibatkan biaya terkait tambahan yang ditanggung oleh investor, terutama jika tidak ada jaminan bagi investor untuk memenangkan proses lelang.</p> <p><i>Saran: Sediakan lini masa yang disinkronkan berdasarkan masukan dari berbagai pemangku kepentingan dan perbandingan dengan negara-negara lain yang mengadopsi proses pengadaan serupa.</i></p>
Alokasi risiko selama Force Majeure dan Force Majeure Pemerintah	<p>Kasus: Berdasarkan PJBL saat ini, PLN diwajibkan untuk membeli proyek jika situasi force majeure tetap terjadi, tetapi dalam PJBL PLTB Tanah Laut (Pasal 14), baik PLN maupun IPP akan menanggung risiko force majeure, tanpa detail lebih lanjut yang eksplisit.</p> <p><i>Saran: Pengalokasian risiko antara setiap pihak diharapkan dibagi dengan lebih rinci.</i></p>
Pembatasan atas transfer pemegang saham	<p>Kasus: Pembatasan pada transfer kepemilikan seperti yang tercantum dalam draf PJBL saat ini atau perjanjian sponsor, dapat mengurangi profitabilitas proyek.</p> <p><i>Saran: Dapatkan masukan tentang isu utama yang diinterpretasikan oleh investor terkait transfer tersebut. Jika masalahnya terkait dengan penetapan harga transfer, harga yang adil harus dipastikan saat menggunakan hak prerogatif, dengan melibatkan penilaian independen.</i></p>
Manfaat finansial	<p>Kasus: Saat ini, hasil dari instrumen pasar berbasis energi terbarukan (MBI; misalnya, kredit karbon, REC, <i>green tag</i>, dan/atau hak yang dapat diperdagangkan) masuk ke PLN. Memiliki manfaat bersama pada hasil MBI akan meningkatkan daya tarik pasar proyek energi terbarukan.</p> <p><i>Saran: Mengusulkan skema baru yang membagi hasil MBI terbarukan setidaknya 50/50 antara PLN dan perusahaan / pengembang proyek.</i></p>
Penyelesaian sengketa	<p>Kasus: Memiliki lokasi netral kursi arbitrase (dilakukan oleh SIAC, di Singapura bukan Jakarta) akan mendukung netralitas proses arbitrase, dan dengan demikian, berkontribusi pada <i>bankability</i>.</p> <p><i>Saran: Konsultasikan dengan pemberi pinjaman tentang mekanisme penyelesaian sengketa yang diinginkan.</i></p>

Aspek	Kasus dan saran
Persyaratan kandungan dalam negeri	<p>Kasus: Peraturan tingkat komponen dalam negeri menuntut penggunaan komponen buatan lokal, dan pelanggaran akan menghasilkan denda yang sama dengan selisih nilai antara penggunaan komponen lokal dengan yang sudah ada saat ini.</p> <p>Saran: <i>Harmonisasi berkelanjutan antara regulasi yang berlaku dan kemampuan industri lokal memainkan peran penting dalam keberhasilan penerapan regulasi. Jika harganya masih mahal, atau produksinya kurang, insentif mungkin diperlukan untuk mempromosikan TKDN. Diperlukan diskusi dan penyesuaian antara pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan strategis.</i></p>
Mitra wajib	<p>Kasus: Pembagian biaya tambahan dan biaya pengembangan yang tidak seimbang antara pengembang dan mitra wajib (seperti yang diwajibkan oleh PLN) melalui <i>Special Purpose Company (SPC)</i>.</p> <p>Saran: <i>Pastikan keseimbangan risiko yang diambil antara pengembang dan Mitra Wajib.</i></p>

Rencana aksi bidang utama

Tabel 31: Rencana aksi untuk bidang utama 'pendanaan dan bankability'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Melaksanakan mekanisme dukungan yang memberikan insentif yang memadai bagi para investor	→							
Kesepakatan pada PJBL yang bankable dan seimbang	→							

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 32: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama 'pendanaan dan bankability'

Rencana Aksi	ESDM	Kemen keu	Kemen perin	Kemen ves	PLN	Asosiasi/ Industri
Melaksanakan mekanisme dukungan yang memberikan insentif yang memadai bagi para investor	C	R/A	C	C	C	C
Kesepakatan pada PJBL yang bankable dan seimbang	R	R		I	R/A	C/I

R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

5.2.8 Aksi Peta Jalan untuk Proses pengadaan

Meskipun proses pengadaan PLN telah jelas diatur dalam dokumen, berdasarkan wawancara yang dilakukan, proses tersebut masih dianggap sebagai hambatan utama untuk pengembangan energi angin yang sukses karena beberapa faktor. Tantangan-tantangan berikut memerlukan perhatian lebih untuk dapat diatasi dalam proses pengadaan:

- Mengingat pembiayaan proyek *nonrecourse* (pinjaman dengan kolateral proyek itu sendiri), durasi penutupan keuangan yang dicapai setelah PJBL diberikan (tanggal efektif PJBL), diperkirakan akan lebih dari 6 bulan, yang ditentukan dalam jadwal tender. Durasi yang lebih panjang disebabkan oleh proses uji tuntas (*due diligence*) yang panjang yang dilakukan oleh pemberi pinjaman. Hal ini perlu disesuaikan dalam proses pengadaan.

- Diperlukan lebih dari 1 bulan untuk mendapatkan semua izin dan studi yang diperlukan setelah pengumuman pemenang lelang. Selain itu, langkah-langkah tambahan diperlukan untuk memastikan bahwa izin yang diperoleh dan studi yang selesai dilakukan berada di bawah perusahaan yang tepat (*Special Purpose Vehicle* atau SPV). Perlu dialokasikan beberapa waktu untuk hal ini dalam proses pengadaan.
- Diperlukan penjelasan yang jelas jika tender dihentikan atau dibatalkan (yang telah terjadi beberapa kali dalam beberapa tahun terakhir) untuk mempromosikan transparansi.
- Pengukuran di tempat (menggunakan *met mast* atau LiDAR) oleh penawar akan membutuhkan sejumlah besar investasi, yang mungkin tidak 'proporsional' dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi selama proses tender. Seperti yang disarankan pada Subbagian 5.2.1, proses pengadaan akan meningkat secara signifikan (dalam hal risiko yang wajar bagi pengembang, jaminan kualitas, dan konsistensi) jika Pemerintah mengambil tanggung jawab dalam persiapan proyek pembangkit listrik tenaga angin (misalnya, melakukan pengukuran angin, mengeksekusi pra-FS, dan mengumpulkan data spasial).
- Umpan balik terbanyak tentang proses pengadaan adalah tingkat ketidakpastiannya yang tinggi. Tidak ada jadwal yang jelas (bulan, tahun) kapan proyek akan dilelang. Tanggal COD dalam RUPTL juga tidak memberikan panduan tentang jadwal pengadaan. Jadwal seperti itu seharusnya mencakup rangkaian proyek untuk beberapa tahun ke depan, yang memungkinkan pengembang untuk mempersiapkan sumber daya dengan tepat waktu dan memulai persiapan (misalnya, studi) untuk proses lelang yang akan datang. Hal ini juga akan menciptakan perilaku pasar yang lebih wajar, mencegah bahwa semua pengembang hanya fokus pada proyek berikutnya yang dilelang daripada strategi investasi jangka panjang.

Rencana aksi bidang utama

Tabel 33: Rencana aksi untuk bidang utama 'proses pengadaan'

Rencana Aksi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Menentukan proses pengadaan yang kuat dan andal dengan <i>pipeline</i> dan lini masa proyek yang wajar								

Keterlibatan pemangku kepentingan

Tabel 34: Peran pemangku kepentingan untuk bidang utama "proses pengadaan"

Rencana Aksi	ESDM	Kemenves	PLN	Asosiasi/Industri
Menentukan proses pengadaan yang kuat dan andal dengan <i>pipeline</i> dan lini masa proyek yang wajar	C/A	C	R/A	C

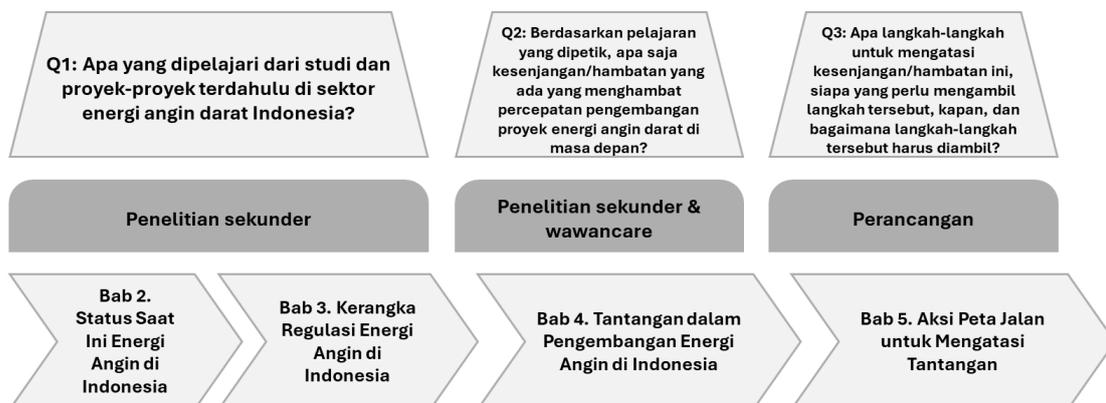
R: Bertanggung Jawab A: Akuntabel C: Dikonsultasikan I: Diinformasikan

6 Kesimpulan dan rekomendasi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk peta jalan ini, terlihat jelas bahwa sejauh ini pemanfaatan energi angin di Indonesia belum memenuhi harapan. Meskipun masih menjadi pertanyaan apakah 60,6 GW angin darat (dari RUEN) adalah potensi yang realistis, dan apakah angin darat 8,5 GW yang akan direalisasikan pada tahun 2030 (dari *JETP Comprehensive Investment and Policy Plan*) adalah target yang realistis, potensi energi angin di Indonesia memang ada. Namun, dengan hanya merealisasikan kapasitas PLTB darat sebesar 0,13 GW terpasang hingga 2023 dan hanya memiliki 0,14 GW proyek angin pada tahap pra-konstruksi menunjukkan tantangan signifikan terhadap pengembangan energi angin yang masih ada di depan.

Seperti yang diperkenalkan dalam Bab 1, tujuan dari penelitian ini adalah untuk akhirnya menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Apa pelajaran yang didapat dari studi dan proyek sebelumnya di sektor energi angin darat Indonesia?
2. Berdasarkan pelajaran yang didapat, apa kesenjangan/hambatan yang ada dan menghambat percepatan pengembangan proyek angin darat di masa depan?
3. Apa langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi kesenjangan/hambatan tersebut, siapa yang perlu mengambil langkah-langkah yang mana, dan kapan serta bagaimana langkah-langkah tersebut harus diambil?



Pertanyaan pertama telah dijawab dalam Bab 2 dan 3 dari peta jalan ini. Berdasarkan studi kepustakaan yang dilakukan, kedua bab ini telah memberikan wawasan menyeluruh tentang status pengembangan energi angin saat ini di Indonesia. Bab-bab tersebut selanjutnya menunjukkan berbagai macam pemangku kepentingan (dikategorikan dalam 20 kelompok pemangku kepentingan) yang terlibat dalam pengembangan PLTB. Daftar pemangku kepentingan yang ekstensif ini merupakan faktor yang menyulitkan dalam menyelaraskan antara begitu banyak pihak dalam mengembangkan angin darat. Selain itu, kerangka peraturan di mana kegiatan pengembangan energi angin berlangsung sangat ekstensif dan sulit dipahami oleh para pemangku kepentingan yang terlibat. Kerangka kerja yang luas tersebut mencakup kebijakan, peraturan, perizinan, standar teknis, proses pengadaan, proses pembebasan lahan, dan peraturan tentang kredit karbon. Meskipun memiliki kerangka peraturan yang solid itu penting, kerangka kerja semacam itu juga dapat memperpanjang birokrasi, memperpanjang durasi proyek, dan meningkatkan kerumitan proses pengembangan.

Pertanyaan kedua telah dijawab di Bab 4 peta jalan ini. Wawancara yang telah dilakukan untuk peta jalan ini telah menjelaskan banyak tantangan/hambatan yang dirasakan oleh para pemangku kepentingan yang terlibat dalam energi angin. Hambatan tersebut telah dikategorikan dalam 8 bidang utama:

- Ketersediaan data angin
- Ketersediaan data spasial dan proses terstandarisasi
- Kebijakan/peraturan dan perizinan
- Aktivitas penelitian dan pengembangan
- Kapasitas industri
- Infrastruktur
- Pembiayaan dan *bankability*
- Proses pengadaan

Hambatan-hambatan ini perlu diatasi untuk mendorong pengembangan energi angin yang pesat di Indonesia di tahun-tahun mendatang secara realistis. Tanpa tindakan nyata yang diambil, kecepatan proyek angin yang sama (atau bahkan lebih lambat) akan terwujud, seperti yang telah terjadi dalam 10 tahun terakhir. Sama mengkhawatirkannya, *status quo* tersebut dapat menyebabkan iklim investasi yang kurang menarik di Indonesia bagi investor yang ingin berinvestasi di energi angin (dan mungkin juga jenis energi terbarukan lainnya).

Pertanyaan ketiga telah dijawab di Bab 5. Dalam peta jalan ini, berbagai tindakan yang direkomendasikan telah diidentifikasi untuk jangka pendek, menengah, dan panjang untuk masing-masing dari 8 bidang utama. Secara logis, hambatan jangka pendek dan solusi yang diusulkan seharusnya menjadi prioritas utama, tanpa mengabaikan hambatan dan solusi jangka menengah dan panjang. Dalam jangka pendek, solusi perlu ditemukan untuk mengatasi tidak tersedianya data angin dan spasial, kurangnya insentif pembiayaan yang menarik, kurangnya *bankability* PJBL, dan proses pengadaan yang sulit dipahami oleh PLN bagi IPP.

Peta jalan ini menyediakan berbagai solusi untuk tantangan tersebut dalam suatu kesimpulan umum: disarankan bahwa Pemerintah Indonesia akan menjadi pemangku kepentingan utama dalam memulai dan menerapkan solusi ini. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan PLN adalah otoritas utama yang jelas dan paling berpengalaman dalam Pemerintahan untuk mengambil alih pelaksanaan, dengan dukungan dari kementerian lain (Kementerian Agraria dan Tata Ruang, Kementerian Pekerjaan Umum, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Perindustrian, Kementerian Investasi, dan Kementerian Keuangan). Bahkan menerapkan solusi bisa menjadi sebuah tantangan karena pentingnya keterlibatan banyak pihak dengan kepentingan yang mungkin berbeda. Oleh karena itu, sangat disarankan bagi Pemerintah untuk memasukkan *pipeline* proyek energi angin dalam Proyek Strategis Nasional.

Untuk memastikan keberhasilan pelaksanaan Proyek Strategis Nasional, lembaga Pemerintahan perlu ditunjuk dan diberi wewenang untuk memprakarsai, membuka, dan mengawasi pelaksanaan rencana aksi dalam peta jalan ini. Hal ini dapat dilakukan dengan membentuk komite lintas kementerian yang menyeluruh untuk energi angin atau dengan menunjuk Kementerian Koordinator (misalnya Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman & Investasi) untuk memimpin implementasinya.

Melanjutkan *Wind Power Technical Working Group* (TWG) juga dapat bermanfaat, sehingga koordinasi yang erat antara pemangku kepentingan terkait dapat dipertahankan. Hal ini mengarah pada rekomendasi pertama dari peta jalan ini:

Rekomendasi 1: Menyertakan *pipeline* proyek energi angin dalam Proyek Strategis Nasional dan lembaga Pemerintahan sebagai pemimpin dalam memprakarsai, membuka, dan mengawasi pelaksanaan rencana aksi dalam peta jalan ini

Poin diskusi yang sering terdengar adalah energi angin tidak cukup maju di Indonesia karena dana investasi yang tersedia tidak mencukupi. Namun, berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan bahwa dana investasi telah tersedia untuk proyek aktual, tetapi hanya dapat digunakan jika kondisi investor terpenuhi, yaitu teratasinya hambatan-hambatan. Investasi masih diperlukan, tetapi tidak secara langsung untuk membiayai proyek, melainkan untuk membiayai faktor pendukung proyek-proyek ini. Faktor pendukung ini dapat diringkas dalam hal Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis.

Sebuah catatan penting bahwa negara-negara yang telah memasang beberapa GW energi angin memang memiliki lebih banyak keahlian di bidang ini daripada Indonesia sejauh ini. Oleh karena itu, mengizinkan dan mendorong tenaga ahli asing untuk berpartisipasi dalam program Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis merupakan prasyarat penting. Hal ini bisa diwujudkan misalnya dalam bentuk membantu PLN dalam meningkatkan proses pengadaan dan membantu ESDM dalam melakukan pemilihan lokasi energi angin yang tepat. Contoh lain adalah bantuan bagi OJK dan bank dalam negeri dalam membangun pemahaman yang lebih baik tentang proses uji tuntas untuk proyek angin. "Membantu" harus dipahami sebagai program pelatihan, penempatan staf interim, sesi berbagi pengetahuan, dll. Untuk memfasilitasi program Bantuan Teknis ini, hal-hal tersebut harus terintegrasi ke dalam program reguler (tahunan) dari lembaga Indonesia yang relevan (misalnya OJK dan DJEBTKE).

Dengan cara ini, Indonesia dapat mengatasi tantangan-tantangan yang disebutkan sebelumnya, dengan kemungkinan "melompati" tantangan-tantangan lain yang pernah dihadapi oleh negara-negara asing yang berpengalaman. Hal ini mengarah pada rekomendasi kedua berdasarkan peta jalan ini:

Rekomendasi 2: Menyiapkan program Pengembangan Kapasitas dan Bantuan Teknis di berbagai otoritas Indonesia dengan dukungan internasional (misalnya JETP) untuk melaksanakan rencana aksi peta jalan untuk mengatasi hambatan yang teridentifikasi

Sebagai catatan terakhir, peta jalan ini adalah bagian dari proyek yang lebih besar yang disebut *Wind Energy Development in Indonesia: Investment Plan*. Dalam proyek ini, akan dibuat tiga keluaran tambahan, yaitu:

- Melakukan peninjauan persyaratan perizinan untuk sektor angin Indonesia dan untuk pemilihan lokasi angin
- Memetakan potensi energi angin dan menganalisis kemungkinan kesenjangan untuk 11 lokasi angin terpilih
- Menetapkan panduan peluang investasi untuk sektor angin darat.

Tujuan dari dibuatnya keluaran tambahan ini adalah agar dapat memberikan wawasan lebih lanjut tentang cara mendorong perkembangan energi angin di Indonesia.

7 Daftar pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Tentang BSN*. <https://bsn.go.id/main/berita/detail/11517/tentang-bsn>
- BBSP KEBTKE. (2023). Potensi Pengembangan Energi Angin di Indonesia. *Kick-Off Meeting and Technical Working Group Meeting*.
- Bilderzweg - stock.adobe.com. (2022). *Wind turbine component ilustration* . <https://www.power-and-beyond.com/what-is-wind-energy-definition-types-and-more-a-e95f3c16c898e889f0757f62ee91038d/>
- BRIN. (2023). *BRIN Profile*. <https://www.brin.go.id/en/page/6/profil-brin-1>
- Dewan Energi Nasional. (2017). *Rencana Umum Energi Nasional*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf>
- DJK KESDM. (2023). FGD Percepatan Kebijakan Sebagai Acuan Dekarbonisasi Bidang Ketenagalistrikan Menuju NZE. *Rancangan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN)*.
- EBTKE KESDM. (2017). *Roadmap Pengembangan Energi Angin 2018-2025*.
- EBTKE KESDM. (2020, December 28). *Standar Nasional Indonesia (SNI) Pembangkit EBT*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/12/28/2750/standar.nasional.indonesia.sni.pembangkit.ebt?lang=en>
- IEA. (2020, June 18). *Annual direct CO2 emissions avoided per 1 GW of installed capacity by technology and displaced fuel*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-direct-co2-emissions-avoided-per-1-gw-of-installed-capacity-by-technology-and-displaced-fuel>
- IRENA. (2022). *Indonesia Energy Transition Outlook 2022*. <https://www.irena.org/publications/2022/Oct/Indonesia-Energy-Transition-Outlook>
- Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning. (n.d.). *Rencana Tata Ruang Online*. GISTARU KATR/BPN. Retrieved November 13, 2023, from <https://gistaru.atrbpn.go.id/rtronline/>
- Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning. (2021). *Sekilas - Kementerian Agraria dan Tata Ruang/ Badan Pertanahan Nasional*. <https://www.atrbpn.go.id/menu/detail/204/sekilas>
- Ministry of Energy and Mineral Resources. (2017). *RUEN* . <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf>
- Ministry of Energy and Mineral Resources. (2023a). Commitment to Action: Safeguarding Energy Transition Toward Indonesia Net Zero Emissions 2060. *EBTKE Conference and Exhibition*.
- Ministry of Energy and Mineral Resources. (2023b). *ESDM Geoportal* . <https://geoportal.esdm.go.id/ketenagalistrikan/#>
- Ministry of Finance. (n.d.). *Task and Functions - Ministry of Finance of the Republic of Indonesia*. Retrieved November 4, 2023, from <https://www.kemenkeu.go.id/en/profile/tugas-dan-fungsi>
- Ministry of Industry. (n.d.). *TUGAS POKOK DAN FUNGSI KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN*. Retrieved November 4, 2023, from <https://www.kemenperin.go.id/tugas-pokok-fungsi-kementerian-perindustrian>
- Ministry of Investment. (2022). *Profil Lembaga*. <https://www.bkpm.go.id/id/tentang-bkpm/profil-lembaga>
- Ministry of Public Works and Housing. (2023). *Tugas dan Fungsi*. <https://pu.go.id/page/Tugas-dan-Fungsi>
- PLN. (2021). *Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2021–2030*.
- PLN. (2022). *Wind Power Plant Project in Indonesia*. https://reinvestindonesia.com/assets/source/materials/china-2022/Bapak_Ferdinan_-_PLN.pdf
- Pondera. (2023). *GRASP-Introduction for Indonesia*.

- Rahayu, A. C. (2023, March 26). *Pengadaan Pembangkit Energi Terbarukan PLN Capai 1,2 GW hingga Maret 2023*. Kontan.Co.Id. <https://industri.kontan.co.id/news/pengadaan-pembangkit-energi-terbarukan-pln-capai-12-gw-hingga-maret-2023>
- Simanjuntak, J. S. (2021). *Techno-Economic and Institutional Assessment of Wind Energy in Indonesia: A spatial evaluation of wind energy potential and its pertinent institutions*.
- Technical University of Denmark. (2023). *Global Wind Atlas*. <https://globalwindatlas.info/en>
- Wahyudi, N. A. (2022). *Revisi RUPTL, PLN Proyeksikan Konsumsi Listrik Naik Jadi 5,4 Persen*. Bisnis.Com. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20221219/44/1610034/revisi-ruptl-pln-proyeksikan-konsumsi-listrik-naik-jadi-54-persen>

8 Lampiran 1: Potensi energi angin

Data potensi energi angin di 34 provinsi di Indonesia dengan kecepatan rata-rata tahunan lebih besar dari 4 m/s pada ketinggian 50 m berdasarkan RUEN.

No	Provinsi	Potensi (MW)	No	Provinsi	Potensi (MW)
		RUEN			RUEN
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	922
2	Jawa Timur	7.907	19	Sulawesi Tengah	908
3	Jawa Barat	7.036	20	Aceh	894
4	Jawa Tengah	5.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	27	Sumatera Utara	356
11	Sulawesi Tenggara	1.414	28	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	29	Kalimantan Timur	212
13	Sulawesi Utara	1.214	30	Gorontalo	137
14	Lampung	1.137	31	Kalimantan Utara	73
15	Yogyakarta	1.079	32	Jambi	37
16	Bali	1.019	33	Riau	22
17	Kalimantan Selatan	1.006	34	Jakarta	4
				Total	60.647

9 Lampiran 2: Pemetaan mitra pembangunan

No.	Nama Organisasi	Topik dan detail aktivitas
1	EU Delegation to Indonesia & EUCD	Organisasi Uni Eropa menyediakan kerja sama dalam berbagai isu hijau, termasuk studi kelayakan untuk energi angin lepas pantai di Indonesia. Dalam mencapai tujuan ini, Uni Eropa bekerja sama erat dengan beberapa lembaga pemerintah Indonesia yang terkait dengan sektor energi, seperti Bappenas dan Sekretariat JETP. Secara khusus dalam pengembangan energi angin, Uni Eropa memberikan dukungan yang sedang berlangsung, beberapa di antaranya adalah bantuan teknis yang mungkin dan dukungan investasi (melalui Bank Investasi Eropa).
2	UK-MENTARI	MENTARI (Menuju Transisi Energi Rendah Karbon Indonesia) adalah kemitraan antara pemerintah Indonesia dan Britania Raya yang dibentuk untuk mempromosikan penggunaan energi rendah karbon, mendukung transisi energi yang adil di Indonesia. Terkait dengan sektor energi, MENTARI bekerja sama erat dengan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta kementerian lain seperti Bappenas, Kementerian Investasi, dll. Jenis dukungan yang saat ini disediakan mencakup mendukung kebijakan, proyek demonstrasi, dan pembangunan kapasitas. Di sektor energi angin, MENTARI telah melaksanakan proyek energi skala kecil di daerah timur Indonesia untuk menunjukkan model bisnis yang dapat direplika dan ekonomis, yang menghasilkan pertumbuhan ekonomi inklusif bagi masyarakat pedesaan.
3	GIZ	Secara umum, GIZ memberikan dukungan kepada Pemerintah Indonesia di sektor energi terutama untuk masalah transisi energi dan energi terbarukan. Peran dan program dari GIZ termasuk mendukung pemerintah dalam menerapkan transisi energi melalui bantuan teknis untuk Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jenis dukungan lainnya adalah bantuan teknis berupa studi untuk mendukung penyusunan regulasi/kebijakan atau evaluasi regulasi yang ada, pengembangan kapasitas, dll. Namun, saat ini GIZ tidak memiliki kegiatan/dukungan teknis/implementasi proyek yang sedang berjalan terkait pengembangan energi angin.
4	GGGI RE-Act	Proyek RE-Act (<i>Renewable Energy - Accelerated Transition</i>) adalah program dari Selandia Baru (NZ) yang berfokus pada kebijakan, pembangunan kapasitas, dan pengurangan risiko. Program ini memberikan dukungan kepada Pemerintah Indonesia, seperti Bappenas dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, serta sektor swasta dan pemangku kepentingan lainnya. Terkait dengan sektor energi, GGGI bekerja dengan Direktorat Energi Baru dan Terbarukan Beragam, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, dan Bappenas. Namun, saat ini GGGI RE-Act tidak memiliki kegiatan/dukungan teknis/implementasi proyek yang sedang berjalan terkait pengembangan energi angin.

PETA JALAN Pengembangan Energi Angin Darat di Indonesia

2024

Dokumen ini dibuat sebagai bagian dari Proyek 'Pengembangan Energi Angin di Indonesia: Rencana Investasi' oleh *Southeast Asia Energy Transition Partnership (ETP)*

