



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Peningkatan Modernisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) Indonesia Melalui Sensor Cerdas dan Kecerdasan Buatan (AI)

Bertha Herdiana Mahardita^a, Chilya Kamila^b, Latifah Nurunnisak^c, Rizka Nurul Hidayati^d, Shafa' Nur Faizah^e, Yuniar Fahmi Lathif^f

^{a,b,c,d,e,f} Jurusan Tadris Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Negeri Salatiga, Jalan Lingkar Salatiga, Km. 02, Kecamatan Sidorejo, Salatiga, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 10 Desember 2025

Revisi Akhir: 21 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Energi Angin

PLTB

Sensor Jarak Jauh

Kecerdasan Bantuan

Optimasi Turbin

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: berthaherdianamahardita@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia memiliki kapasitas energi angin yang sangat besar, dengan perkiraan potensi teknis mencapai 154,6 GW, terutama di daerah timur Indonesia, Sulawesi Selatan, Kalimantan Selatan, dan pantai selatan Jawa. Meskipun demikian, penggunaan energi angin masih tergolong rendah, dengan kapasitas terpasang PLTB pada tahun 2024 hanya mencapai sekitar 152–154 MW atau kurang dari 1% dari potensi total yang ada. Sementara itu, kebutuhan energi nasional terus bertambah, seperti yang tercermin dalam konsumsi listrik tahun 2024 yang mencapai 306.219 GWh. Situasi ini menekankan pentingnya sumber energi yang berkelanjutan untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi dalam jangka panjang. Penelitian ini mengaplikasikan metode studi pustaka untuk menganalisis potensi angin, kebutuhan energi nasional, dan inovasi teknologi dalam pengembangan PLTB. Salah satu inovasi yang dibahas adalah penggunaan sensor jarak jauh seperti LiDAR dan SoDAR untuk pemetaan angin secara langsung, yang selanjutnya diintegrasikan dengan kecerdasan buatan (AI) untuk memprediksi pola angin, mengoptimalkan bilah turbin, serta meningkatkan efisiensi produksi energi. Keberhasilan China dalam menerapkan teknologi AI untuk pengembangan turbin angin memperlihatkan bahwa pemantauan digital dan optimasi otomatis dapat meningkatkan produksi energi sekaligus mengurangi biaya operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inovasi teknologi yang menggunakan sensor jarak jauh dan AI memiliki peluang besar untuk diimplementasikan di Indonesia dalam rangka meningkatkan kapasitas PLTB, mengoptimalkan potensi angin nasional, serta memperkuat ketahanan energi menuju peralihan energi yang berkelanjutan.

1. PENDAHULUAN

Energi baru terbarukan (EBT) merupakan salah satu aspek krusial dalam strategi transisi energi Indonesia, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi karbon di tingkat nasional. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, pemerintah Indonesia menetapkan target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Tujuan ini selaras dengan komitmen global untuk mencapai dekarbonisasi di sektor energi dan mendukung keberlanjutan energi untuk jangka

panjang. Di antara berbagai sumber EBT, energi angin merupakan salah satu jenis yang mempunyai potensi besar namun belum dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), potensi energi angin di Indonesia diperkirakan sekitar 154,6 GW, yang terbagi menjadi 60,4 GW potensi angin darat (onshore) dan 94,2 GW potensi angin laut (offshore). Wilayah Indonesia Timur, seperti Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara, menyimpan sekitar 40% dari total potensi tersebut, diikuti oleh kawasan pesisir Jawa bagian selatan dan Sulawesi Selatan yang memiliki karakteristik kecepatan angin yang mendukung

pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) skala besar. Selain peluang energi, pengembangan PLTB juga memiliki kontribusi ekonomi lainnya, seperti sinergi dengan industri pariwisata. Beberapa negara maju, seperti Belanda dan Denmark, telah menjadikan lokasi PLTB sebagai tujuan wisata yang berkelanjutan.

Meski potensi energi angin di Indonesia sangat besar, pemanfaatannya hingga kini masih sangat sedikit. Data dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan tahun 2024 memperlihatkan bahwa kapasitas instalasi PLTB di Indonesia baru mencapai 152–154 MW, yang berarti kurang dari 1% dari total potensi yang tersedia. Total tersebut masih sangat terbelakang dibandingkan negara-negara Asia Tenggara lainnya, seperti Vietnam yang telah memiliki kapasitas lebih dari 4 GW energi angin. Sekurangnya implementasi pengembangan PLTB di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain biaya investasi awal yang tinggi, terbatasnya infrastruktur jaringan listrik, ketidakpastian regulasi yang belum konsisten, serta minimnya teknologi pemantauan dan prediksi angin yang lebih akurat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Baru Terbarukan (EBT)

Energi baru terbarukan (EBT) adalah sumber energi yang diperoleh dari proses alami yang berlangsung secara terus-menerus dan digunakan sebagai alternatif untuk menggantikan energi konvensional. Energi baru terbarukan (EBT) merupakan sumber yang bersahabat terhadap lingkungan dan bebas dari emisi karbon dioksida, sehingga dapat membantu menanggulangi pemanasan global. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, Indonesia saat ini menargetkan agar porsi penggunaan energi baru terbarukan mencapai minimal 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Energi Baru Terbarukan (EBT) merujuk kepada sumber energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan, tidak terbatas, serta dapat diperbaharui secara alami dalam waktu yang cukup cepat. EBT tidak hanya menjamin keterjangkauan yang berkelanjutan, tetapi juga lebih ramah lingkungan karena emisi karbon yang dihasilkan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan energi konvensional.

2.2. Ruang Lingkup Energi Baru Terbarukan (EBT)

Berdasarkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), teknologi energi terbarukan memanfaatkan sumber daya alam yang tak akan habis, seperti matahari, angin, air, biomassa, dan geotermal untuk menggantikan energi fosil. Selain itu, menurut Badan Energi Internasional (IEA), peningkatan kapasitas energi terbarukan menjadi fondasi utama dalam strategi pengurangan emisi di sektor kelistrikan.

Teknologi EBT meliputi sistem seperti turbin angin, panel surya, pembangkit hidro, sistem panas bumi, dan konversi biomassa. Ruang lingkup pada EBT meliputi pengembangan, pemasangan, operasi, pemeliharaan, dan

inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya.

2.3. Energi Angin (Wind Power)

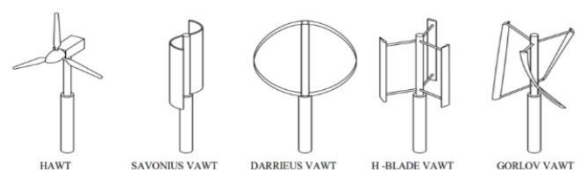
Salah satu contohnya adalah potensi angin yang terdapat di Indonesia, baik di area onshore maupun offshore. Pengembangan energi angin bisa meningkatkan ketahanan energi nasional dengan menurunkan impor bahan bakar fosil serta memperluas sumber pembangkit dalam negeri. Energi angin adalah bentuk energi kinetik yang dihasilkan dari pergerakan massa udara akibat variasi tekanan atmosfer. Energi ini termasuk dalam jenis energi baru dan terbarukan (EBT) karena sumbernya ada secara alami dan dapat diperbaharui secara tak terbatas. Penggunaan energi angin biasanya dilakukan melalui turbin angin yang mengonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik lewat generator.

Angin adalah udara yang bergerak akibat perbedaan tekanan di suatu daerah atau wilayah yang dipengaruhi oleh rotasi bumi. Angin bergerak dari area dengan tekanan udara tinggi ke area dengan tekanan udara rendah. Saat suhu meningkat, tekanan udara di sekitar menurun, sehingga udara yang lebih dingin dan bertekanan tinggi dari sekitarnya mengalir ke daerah bertekanan rendah. Udara dingin yang bergerak ini kemudian menjadi lebih berat dan turun kembali ke permukaan bumi, kemudian dipanaskan oleh matahari dan naik lagi.

2.4. Prinsip Kerja Energi Angin (Wind Power)

Secara umum, energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami. Sementara itu, energi merujuk pada bentuk energi hasil inovasi atau konversi dari energi terbarukan menjadi energi yang lebih praktis digunakan, seperti bahan bakar nabati dan hidrogen.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB) terdiri dari bagian utama seperti runner turbin angin, generator listrik, baterai, kontrol pengisian otomatis, dan inverter. Turbine angin, yang menjadi inti PLTB, terdiri dari hub dan bilah-bilah turbine angin. Sudu turbin angin perlu disesuaikan dengan sifat-sifat angin yang berfungsi sebagai sumber tenaga penggerak turbin angin.



Gambar 1. Jenis-jenis turbin angin

2.5. Artificial Intelligence (AI)

Di zaman perkembangan teknologi informasi sekarang, kemampuan manusia mulai bersinergi dengan teknologi modern berkat adanya kecerdasan buatan Artificial Intelligence (AI). AI adalah area yang mempelajari cara membuat komputer dapat meniru proses berpikir, belajar, dan pengambilan keputusan manusia. Dengan kata lain, kecerdasan buatan berusaha menjadikan komputer tidak hanya sebagai alat, tetapi sebagai sistem yang dapat memproses informasi secara cerdas layaknya manusia. AI memungkinkan komputer memahami pola, mempelajari pengalaman baru, serta merespons situasi tertentu secara

otomatis. Melalui kemampuan ini, komputer dapat membantu manusia dalam menganalisis data, memecahkan masalah, dan memahami bagaimana manusia mengambil keputusan. Penggabungan antara kecerdasan manusia dan kecerdasan buatan inilah yang kemudian menciptakan teknologi yang lebih efisien, cepat, dan mampu mengatasi berbagai tantangan yang sulit diselesaikan secara manual.

Menurut Kaplan dan Haenlein (2019), kecerdasan buatan dapat dipahami sebagai sistem berbasis komputer yang mampu menafsirkan data dari lingkungan, mempelajari pola dari data tersebut, dan kemudian menggunakan hasil pembelajarannya untuk melakukan tindakan secara fleksibel demi mencapai tujuan tertentu. Dengan kata lain, AI bukan hanya memproses informasi, tetapi juga beradaptasi dan menyesuaikan tindakannya sesuai kondisi yang dihadapi.

3. METODOLOGI

Penelitian ini mengadopsi metode riset pustaka. Riset pustaka adalah proses pengumpulan informasi dan data melalui beragam sumber tertulis seperti buku, artikel ilmiah, laporan resmi, dan dokumen terkait lainnya dengan tujuan untuk mendapatkan landasan teori yang kokoh serta pemahaman yang mendalam mengenai subjek penelitian. Proses penelitian meliputi: pertama, pengenalan masalah dan penentuan fokus penyelidikan mengenai pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Kedua, mengumpulkan sumber pustaka dari jurnal baik nasional maupun internasional yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir, serta literatur resmi dari lembaga energi seperti IEA, IRENA, dan IPCC. Ketiga, dilakukan analisis isi terhadap literatur yang telah dikumpulkan untuk menemukan persamaan, perbedaan, dan kontribusi dari penelitian sebelumnya terkait perkembangan tenaga angin di Indonesia. Keempat, membuat sintesis informasi dari berbagai sumber untuk menghasilkan kerangka teori dan diskusi yang menyeluruh. Kelima, menarik kesimpulan berdasarkan hasil dari kajian pustaka yang telah dianalisis.

Di samping itu, metode tinjauan pustaka ini juga dimanfaatkan untuk menyusun konsep inovasi yang berkaitan dengan pemanfaatan kincir angin menggunakan sensor jarak jauh yang didukung oleh kecerdasan buatan (AI). Melalui kajian pustaka, diperoleh pemahaman mengenai kebutuhan teknologi pemantauan dan kontrol otomatis dalam sistem turbin angin, cara kerja sensor jarak jauh, serta penggunaan AI untuk memprediksi kecepatan angin dan mengoptimalkan rotasi bilah agar dapat menghasilkan energi listrik yang lebih efisien. Temuan dari kajian ini menjadi landasan dalam merancang konsep solusi inovatif yang berbasis pada teknologi modern.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dipublikasikan dalam Jurnal Pendidikan Sains dan Teknologi, Lathifah et al. (2023) mengungkapkan bahwa pengembangan energi angin sebagai pembangkit listrik di Indonesia

menunjukkan peluang yang menjanjikan, termasuk di area pertanian Desa Blang Krueng, Kecamatan Baitussalam. Area ini memiliki potensi angin yang cukup baik untuk mengoperasikan pompa air irigasi, yang sangat diperlukan karena sebagian besar masyarakat bekerja sebagai petani dan kebun, tetapi masih bergantung pada hujan karena sistem irigasi yang belum memadai. Turbin angin sebagai alternatif energi terbarukan dapat mendukung pemenuhan kebutuhan air tanpa memanfaatkan bahan bakar fosil. Di lokasi lain seperti Nusa Penida dan Nusa Lembongan, data PLN tahun 2007 menunjukkan bahwa Bali masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil, sehingga penggunaan energi alternatif, termasuk energi angin, menjadi semakin vital. Secara geografis, Nusa Penida mempunyai bentuk lahan perbukitan dan terletak dekat dengan Samudera Hindia, sehingga mendapat angin planet serta angin lokal yang menjadikannya area yang berpotensi untuk pengembangan energi angin. Turbin angin berfungsi dengan mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik melalui rotasi baling-baling yang dihubungkan ke generator. Teknologi ini menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Secara nasional, potensi angin tertinggi terdapat di area pesisir dan pegunungan, dan pemanfaatannya bisa mendukung diversifikasi energi, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memperkuat ketahanan energi Indonesia. Selain keuntungan lingkungan, pengembangan energi angin juga menciptakan peluang ekonomi dengan menghasilkan pekerjaan dalam instalasi, pemeliharaan, dan operasi turbin. Namun, tantangan seperti akses lahan, infrastruktur yang minim, dan kebijakan yang belum konsisten perlu diatasi melalui kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta. Melalui perencanaan berkelanjutan yang mencakup faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan, penggunaan energi angin di daerah seperti Blang Krueng, Nusa Penida, dan Nusa Lembongan berpotensi memberikan manfaat positif bagi kesejahteraan dan kemajuan kawasan.

Selanjutnya, berdasarkan penelitian sebelumnya yang dipublikasikan dalam Jurnal Teknik Elektro, Putri et al. (2022) mengungkapkan bahwa potensi energi angin di lokasi Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh termasuk dalam kategori kelas 4, yang menunjukkan bahwa kecepatan anginnya telah memenuhi standar minimum untuk dijadikan energi listrik melalui turbin angin. Berdasarkan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), yang merupakan perangkat lunak yang dibuat untuk mendukung perancangan dan analisis sistem pembangkit listrik hibrida. Turbin angin ini dapat menghasilkan energi rata-rata 5,33 kW setiap hari dengan keluaran tertinggi pada bulan Februari mencapai 17,59 kW dan terendah pada bulan Juli sebesar 1,26 kW. Analisis energi menunjukkan bahwa total energi tahunan yang dapat dihasilkan mencapai 45.714,82 kWh, jauh melebihi kebutuhan konsumsi listrik Mesjid Teungku Bullah yang hanya 13.541,30 kWh per tahun, sehingga turbin angin dianggap sangat efisien sebagai sumber energi alternatif. Perbandingan antara energi yang dihasilkan dan energi yang digunakan menunjukkan bahwa hampir

seluruh bulan energi dari turbin dapat mencukupi beban, kecuali bulan Juli yang mengalami penurunan potensi angin. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan pembangkit listrik tenaga angin dapat diterapkan di lokasi penelitian itu dan berpotensi mengurangi ketergantungan pada listrik dari PLN.

Dapat disimpulkan bahwa, penggunaan energi angin sebagai salah satu jenis energi baru terbarukan menunjukkan potensi yang sangat besar di berbagai daerah Indonesia. Di Desa Blang Krueng, energi angin mampu menjadi solusi bagi kebutuhan pompa air irigasi untuk mendukung sektor pertanian yang selama ini bergantung pada curah hujan, sementara di kawasan seperti Nusa Penida dan Nusa Lembongan, kondisi geografis berupa perbukitan dan paparan angin laut menjadikan wilayah tersebut optimal untuk pengembangan turbin angin. Selain itu, studi di Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh menunjukkan bahwa energi angin kelas 4 dapat memproduksi listrik tahunan yang jauh melebihi konsumsi energi lokal, mencapai 45.714,82 kWh per tahun, sehingga terbukti efektif dan feasible sebagai sumber energi alternatif. Secara keseluruhan, temuan-temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan energi angin tidak hanya mendukung penyediaan energi bersih dan terjangkau, tetapi juga berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap listrik berbasis fosil, meningkatkan ketahanan energi daerah, dan membuka peluang ekonomi melalui instalasi serta pemeliharaan turbin angin. Dengan melihat besarnya potensi geografis Indonesia dan meningkatnya kebutuhan energi nasional, pemanfaatan energi baru terbarukan khususnya wind power menjadi sangat penting untuk diwujudkan sebagai upaya membangun sistem energi yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan mampu memenuhi kebutuhan energi di masa depan.

4.2. Potensi dan Kegunaan Energi Angin di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi angin yang sangat besar dan menjanjikan, menjadikannya salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang paling penting setelah tenaga surya. Menurut data resmi dari Kementerian ESDM, total potensi energi angin nasional mencapai sekitar 154,6 GW. Potensi ini terdiri dari dua kategori utama, yaitu potensi angin darat (onshore) sebesar 60,4 GW dan potensi angin lepas pantai (offshore) mencapai 94,2 GW. Area-area di bagian timur Indonesia, seperti Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara, menyimpan sekitar 40% dari total potensi yang ada. Kondisi geografis dan karakteristik angin di daerah tersebut sangat mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), sehingga menjadikannya sebagai wilayah prioritas dalam pemanfaatan energi angin. Selain itu, beberapa daerah berpotensi angin yang tinggi juga beririsan dengan lokasi pariwisata, seperti di Sulawesi Selatan, Kalimantan Selatan, serta kawasan selatan dan timur Pulau Jawa. Hal ini menciptakan kesempatan untuk menggabungkan pengembangan energi terbarukan dengan pengembangan daya tarik wisata, mirip dengan yang telah lama dilakukan di banyak negara Eropa, khususnya Belanda.

Meskipun begitu, penggunaan angin sebagai sumber energi listrik di Indonesia masih dalam tahap awal dan belum mencapai optimalisasi. Sampai tahun 2024, kapasitas PLTB yang terpasang baru mencapai sekitar 152,3 MW, angka ini sangat sedikit jika dibandingkan dengan total potensi yang ada. Kesenjangan antara potensi dan pemanfaatan ini menunjukkan adanya berbagai tantangan, mulai dari kebutuhan infrastruktur yang memadai, biaya investasi yang tinggi, regulasi yang berkembang, hingga kesiapan teknologi dan jaringan listrik di daerah-daerah berpotensi besar. Pemerintah telah menetapkan sasaran jangka panjang yang ambisius, yakni meningkatkan kapasitas terpasang PLTB mencapai 37 GW pada tahun 2060 sebagai bagian dari rencana menuju emisi nol bersih. Target ini menunjukkan komitmen kuat untuk mempercepat transisi energi sekaligus memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam yang ada di Indonesia. Sementara potensi angin sangat tinggi, permintaan energi nasional juga terus meningkat setiap tahun. Pertumbuhan penduduk, ekspansi industri, modernisasi sektor transportasi, dan peningkatan standar hidup masyarakat turut mendorong meningkatnya konsumsi listrik di seluruh wilayah. Berdasarkan Statistik PLN, total konsumsi listrik nasional pada tahun 2024 tercatat mencapai sekitar 306.219 GWh. Angka tersebut menunjukkan skala kebutuhan energi listrik yang sangat besar dan menuntut ketersediaan pasokan yang stabil, berkelanjutan, dan terjangkau. Konsumsi listrik per orang juga menunjukkan pola peningkatan, dengan pencapaian sekitar 1.285 kWh per orang pada tahun 2023 dan perkiraan kenaikan lebih lanjut pada tahun 2024. Kenaikan ini mempertegas urgensi diversifikasi sumber energi yang tidak hanya bergantung pada energi fosil, tetapi juga memperluas pemanfaatan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Melihat kontras antara tingginya potensi angin dan minimnya pemanfaatan yang ada saat ini, optimalisasi penggunaan PLTB menjadi langkah strategis untuk menjawab kebutuhan energi nasional yang terus meningkat. Pengembangan PLTB tidak hanya memberikan solusi untuk tantangan penyediaan listrik, tetapi juga menciptakan nilai tambah lewat peluang ekonomi baru, penurunan emisi gas rumah kaca, dan peningkatan ketahanan energi nasional. Melalui perencanaan kebijakan yang efektif, investasi yang menarik, penguatan teknologi, dan dukungan masyarakat, Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadikan energi angin sebagai salah satu pilar energi di masa depan. Optimalisasi pemanfaatan PLTB akan membawa Indonesia lebih dekat kepada sistem energi yang berkelanjutan, efisien, dan mampu mendukung pembangunan nasional secara jangka panjang.

4.3. Optimalisasi Penggunaan Energi Angin di Indonesia

Menurut informasi terkini dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2023, kapasitas terpasang pembangkit listrik dari Energi BARU Terbarukan (EBT) di Indonesia telah mencapai 13.155 Megawatt (MW). Angka ini mencerminkan komitmen Indonesia dalam transisi energi, meskipun komposisi bauran energi EBT masih didominasi oleh sumber daya

tertentu. Dalam komposisi total EBT sebesar 13.155 MW tersebut, pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau energi angin masih tergolong minim. Hingga akhir tahun 2023, data menunjukkan bahwa kapasitas terpasang PLTB di Indonesia adalah sebesar 154,3 MW. Jika dihitung dari total kapasitas terpasang EBT (13.155 MW), kontribusi PLTB saat ini berada di kisaran 1,17%. Angka ini menjadikan energi angin sebagai salah satu sumber EBT dengan kontribusi terendah dalam bauran energi nasional, dibawah PLT Surya sebesar 147,02%.

Meskipun Indonesia dikaruniai potensi energi angin yang melimpah, pemanfaatannya dalam bauran energi nasional saat ini masih tergolong sangat minim. Berdasarkan data terbaru yang dirilis oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan pada tahun 2024, jumlah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) di Indonesia sudah mencapai 147 MW. Jumlah ini hanya menyumbang persentase yang sangat kecil, yakni sekitar 0,15% dari total kapasitas pembangkitan listrik nasional. Realisasi ini menunjukkan kesenjangan yang tajam jika dibandingkan dengan potensi energi angin di tanah air yang diperkirakan mencapai 60,6 GW, menandakan bahwa sektor tenaga bayu masih menjadi 'raksasa tidur' dalam peta transisi energi terbarukan Indonesia.

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) di Indonesia, dengan kapasitas terpasang sekitar 154–157,4 MW (berdasarkan data tahun 2023), masih tergolong sangat minim jika dibandingkan dengan potensi angin nasional yang mencapai lebih dari 60 GW. Rendahnya realisasi ini secara langsung menempatkan Indonesia pada peringkat yang sangat rendah baik di tingkat global maupun regional. Secara global, kapasitas PLTB Indonesia (0,15 GW) berada di urutan terbawah dari daftar negara-negara produsen energi angin, jauh tertinggal dari pemimpin dunia seperti Tiongkok, yang memiliki ratusan GW, dan Amerika Serikat. Di tingkat regional ASEAN, Indonesia bahkan menempati posisi kedelapan (8) dari 11 negara dalam hal kapasitas gabungan PLTS dan PLTB (sekitar 178 MW pada awal 2024), di bawah negara-negara tetangga seperti Vietnam yang memimpin dengan puluhan GW. Meskipun PLTB Sidrap pernah menjadi yang terbesar di Asia Tenggara dengan 75 MW, capaian ini belum cukup mengangkat posisi Indonesia secara keseluruhan. Kesenjangan yang lebar antara potensi dan kapasitas terpasang ini mengindikasikan bahwa Indonesia masih menghadapi tantangan besar dalam hal regulasi, investasi, dan infrastruktur untuk mendorong pemanfaatan energi angin agar dapat bersaing di kancah energi terbarukan dunia.

4.4. Optimalisasi Penggunaan Energi Angin di Dunia

China semakin menunjukkan dominasinya sebagai negara terdepan dalam pengembangan energi terbarukan. Melalui pembangunan besar-besaran tenaga surya skala utilitas dan tenaga angin, kapasitas proyek energi bersih yang sedang dibangun di China mencapai ratusan gigawatt dan jauh melampaui pembangunan yang dilakukan negara-negara lain di dunia. Besarnya skala pembangunan ini menggambarkan komitmen kuat China dalam

mempercepat transisi energi dan memperkuat ketahanan energinya 1. Perkembangan teknologi energi angin di China dipicu oleh beberapa faktor penting. Pada tahap awal, sektor ini bertumbuh melalui transfer teknologi dan kolaborasi internasional, kemudian beralih menjadi lebih mandiri berkat kebijakan kandungan lokal yang menekan dominasi perusahaan asing. Kini, banyak perusahaan energi angin China mulai mampu bersaing secara global karena dukungan besar dari pemerintah serta pendanaan yang stabil.

Kebijakan pemerintah memainkan peran sentral dalam keberhasilan ini. Undang-Undang Energi Terbarukan tahun 2005 mendorong penelitian, pengembangan teknologi, dan produksi peralatan energi terbarukan secara besar-besaran. Kebijakan jangka panjang yang konsisten, struktur tarif yang jelas, serta basis industri yang kuat mempercepat munculnya ribuan proyek tenaga angin baru di seluruh wilayah China. Meski demikian, sebagian turbin angin produksi dalam negeri masih menghadapi tantangan berupa kurangnya sertifikasi internasional dan kualitas yang belum sepenuhnya setara dengan standar global 2.

Setelah pertumbuhan melambat pada tahun 2022 akibat dihentikannya subsidi feed-in-tariff, perkembangan energi angin China kembali meningkat tajam pada tahun berikutnya, mencatat penambahan kapasitas baru yang sangat besar dan menempatkan China sebagai salah satu negara dengan perkembangan tercepat 3.

China memiliki potensi energi angin yang sangat besar, baik di darat maupun lepas pantai. Luas daratan dan panjang garis pantai mendukung kapasitas pemanfaatan angin yang sangat tinggi, sekaligus membuka peluang peningkatan efisiensi dan produksi energi pada tahun-tahun mendatang. Saat ini, energi angin telah menjadi sumber listrik terbesar ketiga di negara tersebut, dan pemerintah terus mengupayakan perluasan sektor ini melalui berbagai kebijakan strategis.

Permintaan energi listrik di China terus meningkat seiring pesatnya industrialisasi, urbanisasi, dan pertumbuhan ekonomi. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan sumber energi bersih dalam jumlah besar. Investasi dalam energi terbarukan pun terus meningkat, mendorong pasar energi angin baik di tingkat domestik maupun global untuk tumbuh dengan cepat.

Secara keseluruhan, kemajuan pesat energi angin dan energi terbarukan di China didorong oleh perpaduan antara kebijakan pemerintah yang kuat, potensi geografis yang besar, industri yang berkembang, serta permintaan listrik yang terus meningkat. Semua faktor tersebut menjadikan China sebagai pemimpin utama dalam transformasi energi global.

4.5. Inovasi Pemanfaatan Kincir Angin Menggunakan Sensor Jarak Jauh dan Kecerdasan Buatan (AI): Pembelajaran dari Keberhasilan China

Perkembangan teknologi energi angin global menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi pembangkit tidak hanya ditentukan oleh besarnya potensi angin, tetapi juga oleh kemampuan dalam memanfaatkan teknologi pemantauan dan pengendalian yang canggih. Salah satu negara yang berhasil menerapkan pendekatan tersebut adalah China. Dengan dukungan kebijakan jangka panjang, infrastruktur teknologi yang matang, serta integrasi kecerdasan buatan (AI), China mampu mengembangkan sistem energi angin yang efisien dan menjadi pemimpin dunia dalam kapasitas terpasang turbin angin.

Salah satu inovasi yang menjadi faktor pendorong keberhasilan China adalah pemanfaatan sensor jarak jauh (remote sensing) seperti Light Detection and Ranging (LiDAR) dan SoDAR yang digunakan untuk memantau kecepatan, arah, dan konsistensi angin secara real time. Sensor ini memberi gambaran kondisi atmosfer pada berbagai ketinggian, sehingga memungkinkan operator memprediksi pola angin dengan tingkat akurasi tinggi. Teknologi ini kemudian diintegrasikan dengan sistem kecerdasan buatan (AI) untuk melakukan analisis pola angin, prediksi output energi, serta optimasi sudu turbin (blade pitch control) agar dapat berputar dengan efisiensi maksimum sesuai kondisi angin.

Model inovasi tersebut sangat relevan untuk diterapkan di Indonesia, terutama karena variasi kecepatan angin di banyak wilayah masih fluktuatif dan sering menjadi hambatan utama dalam mengembangkan PLTB skala besar. Melalui pemanfaatan sensor jarak jauh, kondisi angin dapat dipetakan dengan lebih rinci sehingga lokasi pembangunan turbin menjadi lebih tepat. Integrasi AI dalam sistem kontrol turbin juga memungkinkan penyesuaian sudu secara otomatis sehingga turbin dapat tetap menghasilkan daya meskipun angin berubah-ubah. AI dapat pula digunakan untuk memprediksi potensi kerusakan komponen, sehingga kegiatan perawatan dapat dilakukan lebih cepat melalui sistem predictive maintenance.

Selain itu, AI berperan penting dalam manajemen beban (load management) dan integrasi energi angin ke dalam jaringan listrik nasional. China telah memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin (machine learning) untuk menyeimbangkan produksi energi angin dengan kebutuhan jaringan, sehingga penurunan produksi akibat perubahan cuaca dapat diminimalkan. Jika konsep ini diterapkan di Indonesia, maka pasokan energi angin yang selama ini dianggap tidak stabil dapat dikendalikan dan dimanfaatkan secara lebih optimal.

Dengan demikian, integrasi teknologi sensor jarak jauh dan AI dalam sistem kincir angin menawarkan peluang besar untuk mengatasi hambatan teknis yang selama ini menghambat perkembangan PLTB di Indonesia. Penerapan inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keandalan turbin angin, tetapi juga dapat memperkuat ketahanan energi nasional melalui pemanfaatan sumber daya angin secara maksimal. Belajar dari keberhasilan China, Indonesia berpotensi untuk mempercepat transformasi energi bersih jika mampu mengadopsi

pendekatan teknologi modern secara berkelanjutan dan terukur.

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dengan sistem penyimpanan energi yang menggunakan baterai adalah salah satu faktor penting untuk memperkuat kestabilan energi angin di Indonesia. Angin memiliki sifat tidak konsisten, sehingga output listrik dari turbin dapat berubah secara mendadak. Dengan dukungan AI, penyimpanan dan pengeluaran energi dapat diatur secara otomatis serta jauh lebih efisien. AI dapat menganalisis pola cuaca, memprediksi kecepatan angin beberapa jam mendatang, serta mengevaluasi kebutuhan beban listrik dalam jaringan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, AI menentukan waktu yang tepat untuk menyimpan energi dalam baterai saat produksi listrik dari turbin melimpah, serta kapan harus mengeluarkan energi untuk menjaga kestabilan pasokan saat kecepatan angin menurun.

Pendekatan ini telah diterapkan secara luas di Tiongkok melalui penggunaan algoritma machine learning yang terintegrasi dengan stasiun penyimpanan energi besar. Dalam sistem ini, fluktuasi dari output turbin angin tidak lagi langsung berpengaruh pada jaringan listrik karena baterai berfungsi sebagai penyangga yang dikelola oleh AI. Akibatnya, variabilitas energi angin dapat dikendalikan dengan baik sehingga pasokan listrik tetap terjaga meskipun kondisi atmosfer berubah. Jika konsep serupa diterapkan di Indonesia, isu intermitensi yang selama ini menjadi hambatan utama untuk PLTB dapat diminimalisir. Integrasi AI dalam sistem penyimpanan energi akan memberikan peluang besar bagi Indonesia untuk meningkatkan pemanfaatan energi angin secara lebih optimal, stabil, dan berkelanjutan dalam proses transisi menuju energi bersih.

Selain meningkatkan kinerja operasional, kecerdasan buatan (AI) memiliki peranan yang signifikan dalam sistem pengawasan turbin angin yang terletak jauh dari area pemukiman. Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) umumnya berada di tempat terpencil seperti pegunungan, pantai yang terisolasi, atau padang rumput yang sukar diakses. Keadaan ini menjadikan pemantauan secara manual tidak efisien. Untuk mengatasi masalah ini, sejumlah negara termasuk China telah memanfaatkan AI yang terhubung dengan jaringan sensor dan kamera otomatis untuk memantau kondisi lingkungan di sekitar turbin secara real time. Kamera yang didukung oleh AI bisa mendeteksi perubahan lingkungan, keberadaan satwa liar, kemungkinan adanya manusia yang masuk, serta tanda-tanda awal kerusakan pada struktur turbin.

Berbagai sensor tambahan seperti kamera termal, sensor getaran, dan sensor suara juga dianalisis oleh AI untuk memberikan evaluasi cepat mengenai kondisi turbin. AI dapat mengenali anomali seperti suara gesekan yang tidak biasa, getaran yang berlebihan, atau peningkatan suhu pada komponen tertentu yang mengindikasikan adanya kerusakan. Dengan adanya sistem ini, operator tidak perlu sering mengunjungi lokasi yang sulit dijangkau karena informasi dikirim secara otomatis dan tepat. Jika teknologi yang serupa diterapkan di Indonesia, pemantauan jarak

jauh pada PLTB di wilayah terpencil akan menjadi lebih efektif, aman, dan efisien. Integrasi AI tidak hanya menurunkan risiko kerusakan besar dan biaya perawatan, tetapi juga membantu menjaga stabilitas operasi turbin tanpa mengganggu masyarakat di sekitarnya.



Gambar 2. Contoh desain inovasi turbin angin berbasis sensor dan ai.

Oleh karena itu, sebagai prototipe pengembangan pemanfaatan PLTB berbasis kecerdasan buatan dan sensor cerdas, penelitian ini menyertakan contoh desain sistem yang menggambarkan integrasi teknologi tersebut. Desain ini berfungsi sebagai ilustrasi konseptual mengenai bagaimana AI, IoT, serta sensor lingkungan dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan pemantauan turbin angin modern.

Dengan demikian, jika Indonesia ingin mengikuti jejak Tiongkok dalam memajukan pembangunan PLTB, hal ini dapat dilakukan dengan pemanfaatan teknologi IoT dan sensor cerdas sebagai langkah awal yang strategis. Integrasi kedua teknologi tersebut memungkinkan pemantauan kecepatan angin, kondisi struktur turbin, serta performa baling-baling secara real-time sehingga potensi gangguan dapat terdeteksi lebih dini. Selain itu, data yang terkumpul dapat diolah untuk mengoptimalkan kinerja turbin dan meningkatkan stabilitas pasokan listrik. Dengan penerapan yang konsisten, teknologi ini berpotensi mempercepat transformasi energi angin di Indonesia menjadi lebih efisien dan berdaya saing.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian kesimpulan dan saran pada artikel ini disusun untuk merangkum temuan utama terkait pengembangan PLTB berbasis kecerdasan buatan dan sensor, serta evaluasi awal terhadap prototipe desain yang telah diusulkan. Penyusunan bagian ini bertujuan memberikan penegasan atas kontribusi penelitian, sekaligus menawarkan rekomendasi yang relevan bagi pengembangan teknologi PLTB yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan di Indonesia. Diharapkan, uraian ini dapat menjadi acuan bagi penelitian lanjutan maupun implementasi praktis di sektor energi terbarukan

1. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang sudah memberikan dukungan akademik dan diskusi ilmiah selama proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Potensi Energi Baru Terbarukan Nasional*, Direktorat Jenderal EBTKE, 2023.
- [2] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Indonesia Renewable Energy Outlook," Abu Dhabi, 2022.
- [3] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, *Statistik Ketenagalistrikan Nasional 2024*, Kementerian ESDM, 2024.
- [4] PT PLN (Persero), *Statistik PLN 2024*, Jakarta, 2024.
- [5] A. Clifton et al., "Remote Sensing of Wind for Turbine Control," *Renewable Energy Journal*, vol. 140, pp. 994–1006, 2020.
- [6] R. Hu, J. Skea, and M. Hannon, "The Drivers for China's Wind Energy Technology Innovation System," 2012.
- [7] Global Energy Monitor, "China Leads the World in Wind and Solar Capacity," 2023.
- [8] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*, 2014.
- [9] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79, tentang Kebijakan Energi Nasional*, 2014.
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. 2022.
- [11] International Energy Agency, *Renewables 2024: Renewables – a Key Pillar of Electricity Sector Decarbonisation*. 2024.
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration, *Origin of Wind, JetStream*, An Online School for Weather, Apr. 3, 2023.
- [13] R. Pakpahan, "Analisa Pengaruh Implementasi Artificial Intelligence Dalam Kehidupan Manusia," *JISICOM (Journal of Information System, Informatics and Computing)*, vol. 5, no. 2, pp. 506–513, 2021.
- [14] J. T. Santoso, *Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence)*, Yayasan Prima Agus Teknik, Semarang, 2023.
- [15] A. M. Kaplan and M. Haenlein, "Users of the world, unite! The challenges and opportunities of social media," *Business Horizons*, vol. 53, pp. 59–68, 2019.
- [16] H. Lathifah, S. Sudarti, and Yushardi, "Analisis Potensi Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Energi Listrik Di Indonesia," *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, vol. 2, no. 4, pp. 1005–1009, 2023.
- [17] R. Putri, A. Hasibuan, Ezwarsyah, M. Jannah, R. Kurniawan, W. V. Siregar, and M. Sayuti, "Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Sumber Alternatif Pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 39–44, 2022.
- [18] Samhati, S., A. Hidayat, and M. N. Makhroja, "Kerjasama Bilateral Indonesia dan Denmark

- dalam Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Studi Kasus: Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu untuk Keberlanjutan Energi di Sulawesi Selatan)," Indonesian Journal of Global Discourse, vol. 5, no. 1, pp. 90-109, 2023.
- [19] R. Hu, J. Skea, and M. Hannon, *The Drivers for China's Wind Energy Technology Innovation System*, 2012.
- [20] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Hingga 2030 Pemerintah Bidik Tambahan Kapasitas Terpasang PLTB 5 GW," ESDM, 2023. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-2030-pemerintah-bidik-tambahan-kapasitas-terpasang-pltb-5-gw>
- [21] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1285 kWh Kapita," ESDM, 2024. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>.
- [22] A. Pratama, "ESDM Target Pembangkit Listrik Angin Terpasang 5 GW Sampai 2030," Tirto.id, 2023. [Online]. Available: <https://tirto.id/esdm-target-pembangkit-listrik-angin-terpasang-5-gw-sampai-2030-g4cD>.
- [23] Global Wind Energy Council (GWEC), *Roadmap Onshore Wind Energy v5.0*, 2024.
- [24] Global Energy Monitor, "China continues to lead the world in wind and solar with twice as much capacity under construction as the rest of the world combined." [Online]. Available: <https://globalenergymonitor.org/report/china-continues-to-lead-the-world-in-wind-and-solar-with-twice-as-much-capacity-under-construction-as-the-rest-of-the-world-combined/> [Accessed: 02-Dec-2025].
- [25] Cipher News, "China hit its wind and solar goal six years early." [Online]. Available: <https://www.ciphernews.com/articles/china-hit-its-wind-and-solar-goal-six-years-early/> [Accessed: 02-Dec-2025].