

Efektivitas Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Wilayah Pesisir Pantai Sebagai Pendukung Kebutuhan Energi dalam Pertahanan Negara

Dyota Arkka Gaty¹ Andre Setyanjana² Rudy Laksmono W³

Program Studi Teknologi Persenjataan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, Indonesia^{1,2,3}

Email: dyotaarkkag@gmail.com¹ andresetyanjana.0401@gmail.com²

Abstrak

Sebagai sumber daya energi yang paling banyak digunakan, energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Pada akhir abad 20, tuntutan untuk mengganti energi fosil dengan energi alternatif semakin besar dengan kesadaran masyarakat pada energi terbarukan untuk keberlangsungan kelestarian alam. Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini yaitu penggunaan angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel, ramah lingkungan, dan memiliki efisiensi kerja yang baik. Secara umum di Indonesia masih sangat bergantung pada pasokan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), namun beberapa wilayah khususnya pesisir pantai dan pulau-pulau terluar negara belum tersentuh oleh PLN. Sehingga sangat diperlukan alternatif sumber energi lain yang mendukung kebutuhan energi dalam pertahanan negara salah satunya melalui energi angin yang sangat melimpah, khususnya sepanjang garis pantai. Penulisan karya ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan dari potensi energi angin menjadi alternatif tenaga listrik yang berada di wilayah pesisir dan pantai di Indonesia yang dapat digunakan sebagai kebutuhan energi dalam penjagaan pantai pada pulau terluar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode systematic literature review. Dari hasil studi literatur menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah pesisir pantai Indonesia memiliki kecepatan angin antara 5 m/s hingga 10 m/s, yang memenuhi syarat kecepatan angin minimal untuk pembangkit listrik tenaga angin sebesar 3,3 m/s untuk skala kecil. Sehingga dalam pelaksanaannya, desain PLTB dapat menyesuaikan dengan kebutuhan daya listrik. Untuk efektivitas yang lebih baik, penggunaan PLTB dapat dipadukan dengan sumber energi listrik lain misalnya tenaga surya.

Kata Kunci: Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pesisir, Energi, Keamanan dan Pertahanan Negara



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

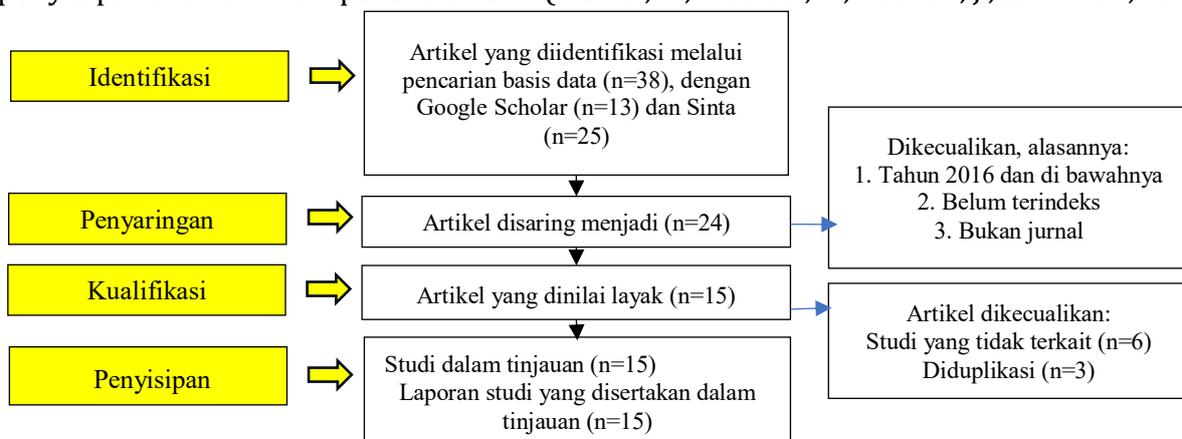
Energi merupakan suatu hal yang sangat penting untuk kehidupan masyarakat. Banyak sekali berbagai jenis energi yang dimanfaatkan oleh masyarakat salah satu contohnya adalah tenaga angin menjadi energi listrik. Energi listrik ini merupakan kebutuhan primer dan tidak akan bisa lepas dari kehidupan sehari-hari manusia. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh melalui konversi energi kinetic. Pembangkit listrik tenaga angin (wind power) menghasilkan energi listrik melalui putaran kincir angin yang memutar turbin berdasarkan adanya energi gerak/kecepatan angin. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang diakibatkan oleh matahari. Keberadaan energi angin berasal dari energi matahari yang memanaskan sebagian bumi sehingga timbul beda temperatur. Perbedaan ini menyebabkan perbedaan tekanan udara dan selanjutnya menimbulkan aliran udara. Adanya aliran udara ini disebut angin. Energi angin bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik dimanapun tempatnya, baik di lereng maupun di dataran tinggi, dan juga dapat diterapkan di pantai dan laut (Syamsuarnis & Candra, 2020). Berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2019, Indonesia memiliki 16.671 titik pulau yang telah bernama dan berkoordinat

dengan garis pantai sepanjang lebih dari 108.000-kilometer, yang membentang dari Sabang hingga Merauke. Luas wilayah pesisir pantai yang besar ini memberikan potensi yang besar untuk pemanfaatan energi angin menjadi alternatif sumber listrik (Sari et al., 2023).

Di Indonesia pemanfaatan sumber energi angin masih sangat rendah yang dikarenakan belum meluasnya pengetahuan, teknologi, dan karakteristik arah angin yang masih mudah berubah. Oleh karena itu, mendorong kajian mengenai potensi wilayah di Indonesia dengan angin yang tinggi harus diidentifikasi agar penggunaan pembangkit listrik tenaga angin lebih bersaing dengan sumber energi alternatif yang ada di bumi (Novit et al., 2023). Dalam bidang pertahanan, konversi energi angin menjadi energi listrik sangat dibutuhkan dalam penjagaan dan pengawasan pesisir wilayah Indonesia khususnya pulau terluar yang terkendala belum adanya listrik PLN. Energi listrik yang dihasilkan angin dapat dimanfaatkan sebagai power supply pada alat komunikasi, pencahayaan, dan mitigasi dalam upaya pertahanan negara.

METODE PENELITIAN

Dalam artikel ini, metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR). SLR adalah pendekatan untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan menganalisis literatur yang relevan tentang topik tertentu secara terstruktur dan komprehensif. Fokus utamanya adalah untuk mendeskripsikan secara komprehensif pengetahuan yang ada, mengidentifikasi kesenjangan, dan mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang topik penelitian dengan tahapan yang terstruktur. SLR terdiri dari 3 tahap, yaitu: perencanaan, menentukan tujuan yang jelas, memilih dan mencari literatur dengan strategi yang tepat. Selanjutnya, pencarian literatur dengan menggunakan kata kunci yang relevan melalui berbagai sumber. Kemudian dilakukan seleksi sesuai topik yang relevan. Langkah selanjutnya adalah mengevaluasi dan menganalisis literatur berdasarkan kualitas, metodologi, temuan, dan relevansinya dengan topik penelitian. Data yang relevan diekstraksi dan disintesis untuk mengidentifikasi pola, tren, atau temuan umum dari literatur yang dianalisis. Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan jurnal dan artikel penelitian dari database yang terindeks Google Scholar dan Sinta, yang diterbitkan dari tahun 2016 hingga 2023 untuk dihasilkan analisis dengan kebaruan data penelitian. Gambar 1 mengilustrasikan tahapan seleksi artikel menggunakan pedoman Preferred Reporting Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA). Dimana diagram alir PRISMA meliputi empat tahap, yaitu: identifikasi, penyaringan, kualifikasi, dan penyisipan artikel dalam penelitian SLR (Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, 2010).



Gambar 1. Diagram PRISMA

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah identifikasi, dilakukan tinjauan literatur terhadap semua dokumen (15 dokumen), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Tinjauan Pustaka

No	Penulis, Tahun Terbit, dan Judul	Hasil Penelitian
1	Johani J. Numberi, dkk (2023) Kajian Potensi Angin Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pulau Kecil di Pesisir Utara Provinsi Papua	Untuk meningkatkan jumlah daya yang sebenarnya yang dihasilkan dari tenaga angin, sistem multi-turbin dapat digunakan di pesisir utara Provinsi Papua. Kecepatan angin laut berkisar antara 0,2 dan 6,18 m/s. Dengan kecepatan minimum 1,6 m/s, energi kinetik berjumlah 5,59 hingga 322,22 Joule/s, daya mekanik berjumlah 5,59 hingga 322,22 Watt, dan daya aktual berjumlah 0,57 hingga 33,13 Watt (Numberi et al., 2023).
2	Syamsuarnis, dkk (2020) Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai Energi Listrik Alternatif bagi Masyarakat Nelayan Muaro Ganting Kelurahan Parupuk Kecamatan Koto Tengah	Pembangkit listrik tenaga angin yang dipasang memiliki kapasitas 400 Watt, sehingga dapat digunakan sebagai penerangan di balai pemuda, tempat komunitas atau pemuda berkumpul, serta sebagai pompa air untuk masyarakat sekitar (Syamsuarnis & Candra, 2020).
3	M. Iqbal Arsyad, dkk (2021) Pengembangan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Nelayan Guna Meningkatkan Kapasitas Ikan Tangkapan	Dengan menggunakan kincir angin sumbu horizontal tipe multiblade 8 sudut, pembangkit listrik tenaga angin ini menghasilkan kapasitas energi listrik 300 W DC, 12 V pada kecepatan 5 m/s, dan memiliki sistem penyaluran listrik yang dikontrol dan proses penyimpanan dalam akumulator (Faisal et al., 2021)
4	Widyanto, dkk (2018) Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-Wangi	Kecepatan angin maksimal sebesar 2,847 m/s, yang memiliki potensi daya listrik maksimal sebesar 37,160 Watt. Kecepatan angin tertinggi pada malam hari adalah 2,877 m/s, dan kecepatan angin rata-rata setahun saat hujan adalah 2,405 m/s. Dengan kata lain, kecepatan angin sepanjang hari pada tahun 2017 di kawasan ini tidak mencapai standar minimum kecepatan angin yang dapat menghasilkan listrik, yaitu 3,3 m/s. Dengan demikian, potensi daya listrik yang dihasilkan oleh angin (Widyanto et al., 2018).
5	Rizqi Aulia Syihab, dkk (2022) Desain Turbin Angin Untuk Pemanfaatan Energi Angin (Studi Kasus pada Grid 3 Nusa Di Pulau Nusa Penida)	Metode pemodelan QBlade dan HOMER akan digunakan untuk menghasilkan model PLTB. Simulasi QBlade menghasilkan desain bilah turbin angin 50kW dengan airfoil NACA 4412, dan simulasi HOMER membandingkan hasil LCOE dari jenis turbin angin WES34/100 100kW, MG-H100 100kW, MGH-50 50kW, dan Blade-Custom 50kW. Hasil simulasi HOMER menghasilkan PLTB dengan kapasitas 100kW, dan 40 PLTB dari model WES34/100 diletakkan (Syihab, 2022)
6	Ayub Subandi (2016) Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Memanfaatkan Kecepatan Angin Rendah	Daerah Lakmaras memiliki potensi energi angin yang sangat baik untuk PLTB (kecepatan angin rata-rata 6,03 m/detik). Model kincir angin yang biasa digunakan petani garam di Jawa Tengah terbukti dapat berfungsi sebagai generator listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik skala rumah tangga, dengan daya output rata-rata PLTB 91,5 Watt (Subandi, 2016).
7	Kamalia Zahra Ratna Sari, dkk (2023) Potensi Energi Angin Pada Kawasan Pesisir Pantai untuk Menghasilkan Energi Listrik	Faktor-faktor seperti luas wilayah pesisir pantai yang cukup besar, kecepatan angin yang cukup tinggi, dan konsistensi arah angin mendukung potensi angin di pesisir pantai. Dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga fosil, penggunaan energi angin memiliki beberapa keuntungan. Ini termasuk sebagai sumber energi terbarukan dan bersih, dan biaya pembangunan dan pengoperasian relatif lebih rendah. Tetapi juga memiliki beberapa masalah, seperti masalah kebisingan, ketinggian gelombang laut, dan arah angin yang tidak selalu konsisten di daerah pesisir Pantai (Sari et al., 2023).
8	Zidan Afidah, dkk (2023) Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Turbin Angin Sumbu	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) melalui turbin angin sumbu vertikal menggunakan kelebihan dan kekurangan dari jenis turbin sumbu vertikal tersebut. Penelitian dilakukan dengan melihat literatur dan database online Badan Meteorologi

	Vertikal di Kecamatan Sangkapura Kabupaten Gresik	Klimatologi dan Geofisika. Hasil analisis menunjukkan kecepatan angin rata-rata 1,5 m/s dan daya angin 10,47 watt (Afidah et al., 2023).
9	Andariani Novit, dkk (2023) Analisis Penggunaan Kincir Angin sebagai Sumber Energi Alternatif Cadangan yang Terbarukan	Di Indonesia, kecepatan angin rata-rata cukup untuk menghasilkan energi listrik jika dikelola dengan baik. Semakin banyak orang yang sadar akan lingkungan saat ini. Jadi, banyak orang sekarang sadar akan lingkungan. Menjadi sadar akan lingkungan, manusia telah mengembangkan berbagai cara untuk menggunakan energi alternatif. Salah satu contoh penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (angin) adalah PLTB Jeneponto, yang terletak di Kabupaten Jeneponto, provinsi Sulawesi Selatan, dan PLTB Tanah Laut, yang terletak di Kabupaten Tanah Laut, provinsi Sulawesi Selatan (Novit et al., 2023).
10	Sudarti, dkk (2021) Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pantai Blimbingsari Kabupaten Banyuwangi	Dengan membuat pembangkit listrik tenaga angin yang efisien, angin dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Untuk perancangan pembangkit listrik, ada alternatif lain yang dirancang untuk mengatasi kecepatan angin yang rendah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pantai Blimbingsari berpotensi rendah dengan kecepatan maksimal 2,5 m/s dan daya 28,7 watt (Sudarti & Dani, 2021).
11	Muhammad Rizal Fachri, dkk (2017) Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh	Energi angin adalah jenis energi terbarukan yang sangat dapat disesuaikan. Secara umum, pemerintah dan lembaga terkait di Indonesia kurang memperhatikan pemanfaatan tenaga angin. Hingga tahun 2004, kapasitas untuk memanfaatkan energi angin hanya sampai 0,5 MW dari 9:29 GW. Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur potensi energi angin untuk digunakan sebagai pembangkit listrik adalah metode Weibull (Fachri & Hendrayana, 2017).
12	Nurul Yunda Nanik Purwanti, dkk (2023) Potensi Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Skala Mikro di Pesisir Pantai Puger Jember	Data dikumpulkan di lima lokasi berbeda di pesisir Pantai Puger antara pukul 08.15-16.19 WIB. Kecepatan angin yang dihasilkan 2,9 m/s (8 m/s) dan daya yang dihasilkan 844,26 Watt (Purwanti et al., 2022).
13	Revi Restanti Novrita, dkk (2021) Analisis Potensi Energi Angin di Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik	Dibutuhkan dalam pekerjaan dan hal-hal lainnya. Eksperimen jenis ini dilakukan pada pagi hari mulai pukul 07.00 WIB dan sore hari mulai pukul 17.00 WIB. dimana beberapa pengukuran diambil pada masing-masing posisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angin lebih kuat pada sore hari daripada pada pagi hari. Dengan nilai efisiensi masing-masing 0,4, 0,95, 0,85, dan 0,75, energi Psyst/A dapat dihasilkan antara 89,3 dan 1707 watt/m ² . Energi listrik akan disediakan selama kira-kira lima jam (Novri, 2021).
14	Aris Ansor, dkk (2017) Pembangkit Listrik Hybrid Solar Cell dan Turbin Angin di Pantai Tamban Kabupaten Malang	Model pembangkit listrik solar cell-turbin angin menghasilkan daya listrik solar cell 1,98 KW per hari dan pembangkit listrik turbin angin rata-rata menghasilkan 33,2-33,5 watt. Performa tertinggi terdapat pada beban 100-Watt dengan efisiensi sebesar 64,72% dan efisiensi terendah terdapat pada beban 25-Watt dengan efisiensi sebesar 63,68%, sehingga model pembangkit listrik hybrid solar cell-turbin angin memiliki efektifitas dan efisien yang baik untuk diterapkan di daerah pesisir Pantai (Ansori et al., 2017).
15	Ayong Hiendro, dkk (2021) Penerapan Turbin AWI-E1000T untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Desa Temajuk	Hasil pengukuran pada ketinggian 20 m di lokasi didapatkan kecepatan angin rata-rata sebesar 1,6 m/s. Nilai kecepatan ini cukup memadai untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga angin di daerah tersebut. Penerapan turbin angin AWI-E1000T dengan spesifikasi kecepatan cut-in 1,5 m/s menghasilkan energi listrik sebesar 1861 kWh per tahun (Hiendro & Yusuf, 2021).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dari literatur diatas, dapat disimpulkan bahwa kawasan pesisir pantai di Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup besar. Dengan karakteristik kecepatan angin di kawasan pesisir pantai umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin di wilayah daratan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: 1) Perbedaan tekanan udara antara laut dan daratan. Laut memiliki tekanan udara yang lebih rendah dibandingkan dengan daratan, sehingga angin akan bergerak dari laut ke daratan; 2) Adanya gerak gelombang laut yang membangkitkan angin. Selain itu, arah angin di kawasan pesisir pantai akan lebih konsisten dibandingkan dengan arah angin di wilayah daratan. Hal ini disebabkan karena pengaruh medan magnet bumi. Medan magnet bumi dapat menghambat perubahan arah angin. Kemudian adanya pengaruh pegunungan yang dapat menghalangi pergerakan angin, sehingga arah angin menjadi lebih konsisten (Sari et al., 2023). Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG, 2023), kecepatan angin di kawasan pesisir pantai Indonesia rata-rata berkisar antara 5 m/s sampai dengan 10 m/s. Kecepatan angin tersebut tergolong dalam kelas 5-7 pada skala Beaufort, yang merupakan kecepatan angin yang cukup tinggi untuk menggerakkan turbin angin (Sudarti & Dani, 2021). Menurut Bachtiar dan Hayatul (2018), menggambarkan kondisi alam yang terjadi berdasarkan tingkat kecepatan angin dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Data Kondisi Alam Terhadap Kecepatan (Bachtiar, A., & Hayattul, 2018).

Kelas	Kecepatan angin (m/s)	Kondisi alam
1	0,0 - 0,2	-
2	0,3 - 1,5	Angin tenang dan asap bergerak lurus keatas
3	1,6 - 3,3	Asap akan bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 - 5,4	Wajah akan terasa angin,daun-daun bergoyang pelan dan petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 - 7,9	Debu jalan,kertas berterbangan dan ranting pohon akan bergoyang
6	8,0 - 10,7	Ranting pohon akan bergoyang dan bendera berkibar
7	10,8 - 13,8	Ranting pohon yang besar bergoyang dan air dikolam berombak kecil
8	13,9 - 17,1	Ujung pohon akan melengkung dan hembusan angin terasa ditelinga
9	17,2 - 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon dan jalan berat karena melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon dan menyebabkan rumah rubuh
11	24,5 - 28,4	Dapat merubuhkan pohon dan terjadi kerusakan
12	28,5 - 32,6	Dapat menimbulkan kerusakan yang parah
13	32,7 - 36,9	Tornado

Berdasarkan literatur, diketahui bahwa pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik memiliki beberapa keunggulan, antara lain: 1) Energi angin merupakan sumber energi terbarukan. Energi angin tidak akan habis dan dapat digunakan secara terus menerus. Hal ini penting untuk mengatasi krisis energi yang sedang dihadapi oleh dunia saat ini; 2) Energi angin merupakan sumber energi yang bersih. Energi angin tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga tidak menimbulkan polusi udara. Hal ini penting untuk mengurangi dampak perubahan iklim; 3) Dalam pembangunan dan pengoperasiannya, memiliki biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga fosil seperti batu bara dan minyak bumi (Sari et al., 2023).

Namun, penting juga untuk diketahui bahwa beberapa tantangan dalam pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik, antara lain: 1) Angin memiliki arah yang tidak selalu konsisten. Arah angin di kawasan pesisir pantai yang berubah-ubah dapat mengganggu produksi energi listrik dari ketidakstabilan putaran turbin. Tantangan ini dapat diatasi dengan desain turbin angin yang dapat menyesuaikan arah putar dengan arah angin secara otomatis; 2) Pengaruh ketinggian gelombang laut. Gelombang laut yang tinggi dapat mengganggu kinerja turbin angin. Tantangan ini dapat diatasi dengan menempatkan turbin angin di area yang

memiliki ketinggian gelombang laut yang rendah; 3) Putaran turbin menyebabkan kebisingan yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna dan kesenyapan penugasan penjagaan Pantai. Tantangan ini dapat diatasi dengan menggunakan turbin angin yang memiliki desain yang lebih efisien terkait suara putarannya (Purwanti et al., 2022). Di Indonesia sendiri, menurut Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), potensi energi angin yang bisa dimanfaatkan setidaknya mencapai 60,647 MW. Nusa Tenggara Timur duduk di posisi pertama dengan potensi nilai energi angin 10,188 MW. Selanjutnya NTT diikuti oleh Jawa Timur di posisi kedua dengan potensi energi angin 7,907 MW, sedangkan di posisi terakhir DKI Jakarta yakni hanya sebesar 4 MW (Isidorus Mau Loko1), RB.Dwiseno Wihadi2), 2013).

Sebagai perbandingan, berikut adalah beberapa contoh pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik di kawasan pesisir pantai di Indonesia pada beberapa pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang besar di Indonesia (PTLEN, 2023):

1. PLTB Tanjung Jati B di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. PLTB ini memiliki kapasitas 250 megawatt dan menggunakan 66 turbin angin.
2. PLTB Teluk Lampung di Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. PLTB ini memiliki kapasitas 100 megawatt dan menggunakan 50 turbin angin.
3. PLTB Sidrap di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan. PLTB ini memiliki kapasitas 75 MW dan menggunakan 30 turbin angin.
4. PLTB Larantuka di Kabupaten Flores Timur, Nusa Tenggara Timur. PLTB ini memiliki kapasitas 50 megawatt dan menggunakan 30 turbin angin.

Namun, tidak sembarang angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik. Karakteristiknya haruslah angin yang mengalir secara laminar atau mengalir secara teratur. Kecepatan angin pun mesti spesifik pada kisaran tertentu, yakni antara 3,3 m/s hingga 25 m/s sesuai dengan standar minimal kecepatan angin yang dapat membangkitkan listrik. Sehingga dalam PLTB, setidaknya aliran angin harus memiliki kecepatan 3,3 m/s dengan maksud bisa memutar turbin dengan pembangkit listrik yang kecil. Sementara itu, angin juga dibatasi agar kecepatannya tidak melebihi 25 m/s supaya tidak mengganggu kekuatan struktur turbin. Turbin-turbin angin untuk PLTB diposisikan pada lahan luas tanpa ada benda atau bangunan-bangunan lain di sekitarnya yang menjadi penghalang dan akan mengganggu jalannya aliran angin, sehingga kecepatannya tidak dapat terjaga pasti (Widyanto et al., 2018). Dalam menjalankan peran pertahanan negara pada wilayah pesisir khususnya dipulau-pulau terluar, sangat penting adanya penggunaan energi alternatif, salah satunya melalui energi angin yang di konversi menjadi energi listrik untuk mengoperasikan sarana dan prasarana pos penjagaan, antara lain kebutuhan pencahayaan, komunikasi, navigasi, radar, dan lain sebagainya untuk menunjang operasional yang lebih baik dalam menjaga wilayah dan kedaulatan negara.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur bahwa potensi angin di pesisir pantai didukung beberapa faktor yaitu luasnya wilayah pesisir pantai yang cukup besar, kecepatan angin yang cukup tinggi, dan konsistensi arah angin. Diketahui bahwa pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik juga memiliki keunggulan yaitu sebagai sumber energi terbarukan, sumber energi yang bersih, biaya pembangunan dan pengoperasian yang relatif lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga fosil. Tetapi juga memiliki beberapa tantangan yaitu arah angin yang tidak selalu konsisten didaerah pesisir pantai, ketinggian gelombang laut yang menghalangi, dan masalah kebisingan yang ditimbulkan oleh kincir maupun turbin. Berdasarkan karakteristiknya, pemanfaatan PLTB di pesisir pantai Indonesia sangat potensial karena memiliki kecepatan angin rata-rata 5 m/s sampai dengan 10 m/s yang sangat

mencukupi dengan syarat kecepatan angin minimum untuk mengoperasikan PLTB sebesar 3,3 m/s. Oleh karena itu dapat dijadikan sebagai power supply dalam mendukung operasional pos penjagaan pesisir khususnya pulau terluar wilayah kedaulatan negara. Dalam perencanaan optimalisasi daya listrik PLTB yang dihasilkan dapat menyesuaikan dengan kebutuhan elektronika yang digunakan. Namun, beberapa literatur untuk tujuan efektivitas, untuk potensi yang lebih baik lagi dapat dilakukan integrasi antara pembangkit listrik tenaga angin dan tenaga surya. Hal tersebut dikarenakan dikawasan pesisir selain melimpahnya angin, juga sangat melimpahnya sinar matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, Z., Yushardi, Y., & Sudarti, S. (2023). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Turbin Angin. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Materi*, 7(1), 8–14.
- Ansori, A., Susila, I. W., Siregar, I. H., & Haryuda, S. I. (2017). Pembangkit Listrik Hybrid Solar Cell dan Turbin Angin. *Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 12(2), 74–81.
- Bachtiar, A., & Hayattul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), 11.
- Fachri, M. R., & Hendrayana, H. (2017). Analisa Potensi Energi Angin dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.22373/crc.v1i1.1377>
- Faisal, M. F., Arsyad, M. I., Marpaung, J., & Ratiandi, R. (2021). Pengembangan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Nelayan Guna Meningkatkan Kapasitas Ikan Tangkapan. *Jurnal Pengabdian*, 4(1), 62. <https://doi.org/10.26418/jplp2km.v4i1.44472>
- Hiendro, A., & Yusuf, I. (2021). Penerapan Turbin AWI-E1000T untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Desa Temajuk. *Jurnal Pengabdian*, 4(2), 169. <https://doi.org/10.26418/jplp2km.v4i2.46846>
- Isidorus Mau Loko1), RB.Dwiseno Wihadi2), Y. L. (2013). Pemanfaatan Kincir Angin Petani Garam untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Lakmaras, Kabupaten Belu, NTT. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg*, 8(5), 336–341.
- Novit, A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Penggunaan Kincir Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif Cadangan Yang Terbaru. *PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 6(1). <https://doi.org/10.31605/phy.v6i1.3138>
- Novri, R. R. (2021). The Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Journal of Research and Education Chemistry*, 3(2), 96. [https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3\(2\).7165](https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3(2).7165)
- Numberi, J. J., Siregar, S. P., M Uniplaita, T. K., Allo, R., Werdhani, A. S., Palamba, P., Liga, M., Oktaviani, T. W., & Matius Manalu, dan R. (2023). *Kajian Potensi Angin Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pulau Kecil di Pesisir Utara Provinsi Papua Study of Sea Wind as A Renewable Energy Source of Power Plan for Small Islands on The North Coast of Papua Province*. 5, 273–284.
- Purwanti, N. Y. N., Sudarti, & Yushardi. (2022). *Potensi Energi Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif Skala Mikro di Pesisir Pantai Puger Kabupaten Jember*. 9(1), 1–6.
- Sari, K. Z. R., . Y., & . S. (2023). Potensi Energi Angin Pada Kawasan Pesisir Pantai untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(4), 979–981. <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1317>
- Subandi, A. (2016). *Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Memanfaatkan Kecepatan Angin Rendah*. 111–115.

- Sudarti, S., & Dani, F. A. (2021). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pantai Blimbingsari Kabupaten Banyuwangi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5(2), 93. <https://doi.org/10.22373/crc.v5i2.9565>
- Syamsuarnis, S., & Candra, O. (2020). Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai Energi Listrik Alternatif bagi Masyarakat Nelayan Muaro Ganting Kelurahan Parupuk Kecamatan Koto Tangah. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(2), 44. <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.108487>
- Syihab, R. A. S. S. W. P. (2022). *Desain Turbin Angin Untuk Pemanfaatan Energi Angin (Studi Kasus pada Grid 3 Nusa Di Pulau Nusa Penida)*. 9(5), 2057–2066.
- Widyanto, S., Wisnugroho, S., & Agus, M. (2018). Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-Wangi. *Seminar Nasional Sain Dan Teknologi 2018*, 1–12.