



Review Jurnal: Efisiensi Penggunaan PLTB Pada Kondisi Struktur Geografis Indonesia

Steven C Montolalu¹, Prayer M Yacobs², Alzafandy L. Mawitjere³,
Daniel V. Handaru⁴, Reynaldi Pangkey⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia

e-mail: ¹oyimontolalu@gmail.com, ²prayeryacobs@gmail.com,

³malzafandy@gmail.com, ⁴danielhandaru914@gmail.com, ⁵Reynaldipangkey202@gmail.com

Abstrak

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) karena letak geografisnya yang strategis di daerah tropis dengan berbagai wilayah yang memiliki keberagaman geografis yang mempengaruhi kecepatan angin yang optimal untuk PLTB, syarat kecepatan angin rata-rata tidak kurang dari 2.5 m/s dalam suatu instalasi PLTB, namun dalam pembangunannya ada beberapa hal yang harus kita perhatikan yang bersangkutan tentang efisiensi, efisiensi penggunaan PLTB di Indonesia dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi geografis, pola angin, dan infrastruktur untuk mengetahui bagaimana efisiensinya dan penerapan PLTB dengan keberagaman geografis di Indonesia maka dilakukanlah studi literatur ini. Metode penelitian ini ialah Studi literatur dari berbagai sumber artikel dan jurnal terkait efisiensi penggunaan PLTB di Indonesia, dengan fokus pada analisis kecepatan angin, distribusi lokasi ideal, serta tantangan teknis dan non-teknis, dan penerapan pemodelan dalam pembangunan PLTB ini, hasilnya dapat menjadi pembelajaran dalam penerapan PLTB dalam suatu daerah hasilnya efisiensi PLTB di Indonesia sangat bergantung pada karakteristik geografis dan pola angin, dengan kecepatan angin rata-rata yang cenderung rendah di banyak wilayah namun dapat di maksimalkan pemanfaatan angin yang lemah dengan menggunakan turbin angin yang berjenis Sayonius / VAWT turbin ini dapat digunakan pada kondisi angin tidak beraturan dan lemah, selanjutnya adalah pemilihan lokasi strategis seperti pesisir atau dataran tinggi, serta adaptasi desain turbin untuk kecepatan angin rendah, menjadi kunci optimalisasi, namun, dibandingkan PLTB, PLTS lebih praktis karena radiasi matahari merata di seluruh wilayah Indonesia.

Kata kunci PLTB, efisiensi energi, turbin

Abstract

Indonesia has great potential in developing Wind Power Plants (PLTB) because of its strategic geographical location in the tropics with various regions that have geographical diversity which influences the optimal wind speed for PLTB, requiring an average wind speed of not less than 2.5 m/s in the installation of a PLTB, but in its construction there are several things that we must pay attention to which discuss efficiency, the efficiency of using PLTB in Indonesia is influenced by factors such as geographical conditions, wind patterns and infrastructure to find out how efficient it is and the application of PLTB with geographical diversity in Indonesia then This literature study was carried out. This research method is a literature study from various sources of articles and journals related to the efficient use of PLTB in Indonesia, with a focus on wind speed analysis, ideal location distribution, as well as technical and non-technical challenges, and implementation modeling in the construction of PLTB, the results can be a lesson In implementing PLTB in a region, the efficiency of PLTB in Indonesia is very dependent on geographical characteristics and wind patterns, with average wind speeds tending to be low in many areas but the use of weak winds can be maximized by using wind turbines of the Sayonius / VAWT Trubin type. can be used under conditions irregular and weak winds, next is choosing strategic locations such as coastal or highland areas, as well as adapting the turbine design to low wind speeds, is the key to optimization, but compared to PLTB, PLTS is more practical because solar radiation is evenly distributed throughout Indonesia.

Keywords PLTB, efficiency energy, turbine.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, jumlah populasi manusia terus meningkat secara signifikan. Peningkatan populasi ini berbanding lurus dengan kebutuhan energi yang semakin besar untuk mendukung berbagai aktivitas manusia, mulai dari kebutuhan rumah tangga, transportasi, hingga kebutuhan industri. Tingginya tingkat konsumsi energi ini telah menimbulkan kekhawatiran akan terjadinya krisis energi di masa depan, terutama mengingat ketergantungan besar pada sumber energi fosil, salah satu sumber utama energi listrik di Indonesia, seperti batu bara dan solar pada pembangkit listrik tenaga diesel, sangat terbatas dan terus menipis alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan bahan bakar diesel, sehingga tidak bisa mengimbangi penggunaan energi yang semakin meningkat setiap waktu, berdasarkan data statistik konsumsi listrik nasional kementerian ESDM (2020), terlihat bahwa konsumsi energi listrik nasional pada tahun 2015 sebesar 910 KWh/kapita meningkat tiap tahunnya hingga pada tahun 2020 konsumsi listrik nasional menjadi 1.142 KWh/kapita. [1]

Energi terbarukan dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, untuk mengantisipasi dan mengatasi potensi krisis energi tersebut, diperlukan inovasi dan pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu solusi lain energi bersih adalah pemanfaatan energi angin, angin merupakan sumber daya yang tidak ada habisnya. Di Indonesia terdapat beberapa daerah yang memiliki potensi energi angin untuk produksi listrik. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk produksi listrik dan mendukung program pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO₂ selama proses produksi energi listrik oleh turbin angin. Dari data Badan meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menyatakan bahwa kecepatan angin di tiap daerah di Indonesia berbeda-beda, pada tahun 2015 kecepatan angin tertinggi terjadi di daerah Kepulauan Bangka Belitung sebesar 4,05 m/s, daerah Nusa Tenggara Timur sebesar 4,04 m/s, dan daerah Jawa Timur sebesar 3,88 m/s. Dari data kecepatan angin tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin di Indonesia cenderung memiliki kecepatan angin yang rendah[2].

Namun, untuk merealisasikan potensi tersebut, diperlukan perencanaan yang matang, investasi yang signifikan, serta dukungan dari pemerintah dan masyarakat. Pembangunan infrastruktur PLTB harus memperhatikan aspek teknis, seperti pemilihan lokasi dengan kecepatan angin optimal, serta tantangan non-teknis, seperti pengelolaan sosial dan lingkungan. Dengan pendekatan yang terintegrasi, pemanfaatan energi angin di Indonesia dapat menjadi langkah strategis dalam mewujudkan ketahanan energi nasional dan mendukung target pengurangan emisi karbon global. Pembangunan PLTB harus melihat dari sisi geografis yang ada seperti bagaimana hembusan angin yang ada di wilayah pembangunan PLTB, seperti pemilihan konstruksi PLTB sebagai contoh turbinnya dengan design airfoil atau aerofoil adalah suatu bentuk geometri yang apabila ditempatkan di suatu aliran fluida akan memproduksi gaya angkat (lift) lebih besar dari gaya hambat (drag). Airfoil mempunyai bentuk ujung yang lancip untuk menjamin aliran udara sedapat mungkin sealiran Pemilihan airfoil berpengaruh pada torsi yang dihasilkan turbin. Semakin tinggi perbandingan nilai c_l/c_d per α suatu airfoil maka gaya lift dan gaya dragnya akan semakin baik. Gaya lift dan drag berpengaruh terhadap gaya resultan turbin yang berpengaruh pada torsi [3].

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan sebuah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari angin atau udara untuk menghasilkan listrik. Prinsip kerja PLTB berawal dari penggunaan energi angin yang menggerakkan baling-baling atau rotor pada turbin angin. Ketika angin berhembus dan mengenai baling-baling turbin, energi kinetik dari angin ini akan mengubah arah putaran baling-baling, yang kemudian diteruskan ke poros rotor proses ini menyebabkan rotor turbin berputar [4]. Putaran rotor ini selanjutnya diteruskan ke generator yang terhubung dengan sistem turbin angin. Pada generator, energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran rotor dikonversi menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi berkat prinsip elektromagnetik, di mana gerakan rotor menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan kumparan kawat di dalam generator, sehingga memunculkan arus listrik [5]. Arus listrik yang dihasilkan ini kemudian dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi, baik untuk skala kecil (seperti pembangkit listrik di daerah terpencil) maupun besar (seperti pembangkit listrik tenaga bayu di peternakan atau ladang. Secara keseluruhan, sistem PLTB memanfaatkan sumber daya alam yang terbarukan energi angin yang tidak



hanya ramah lingkungan, tetapi juga dapat menjadi alternatif yang sangat potensial untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini bebas dari polusi dan sumber energinya yaitu angin yang tersedia di mana pun [6]. Tujuan utama dari studi literatur ini adalah untuk memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai efisiensi penggunaan PLTB dalam geografis di Indonesia Secara keseluruhan, serta menawarkan solusi dan strategi untuk memanfaatkan potensi energi angin yang ada secara maksimal, seiring dengan upaya Indonesia dalam mencapai ketahanan energi dan keberlanjutan lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini untuk mengetahui efisiensi dalam penggunaan dan pembangunan PLTB dengan mempertimbangkan faktor- faktor geografis yang ada, penulis menggunakan metode penelitian dengan metode studi literatur dilakukan dengan merujuk pada sumber-sumber yang dapat dipertanggungjawabkan, seperti jurnal ilmiah dan buku referensi yang relevan dengan topik penelitian. Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk mendapatkan informasi yang mendalam mengenai efisiensi penggunaan komponen untuk efisiensi pada pembangunan PLTB. Informasi yang diperoleh dari studi literatur akan memberikan dasar teoretis yang kuat dalam menganalisa sistem PLTB yang efisien dalam pembangunan dengan mewujudkan penggunaan energi baru terbarukan yang bersih bebas dari energi fosil.

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

3.1. Studi Literatur

Pembahasan ini merujuk pada 15 jurnal artikel yang digunakan untuk menganalisa hasil penelitian yang sudah ada terdahulu dengan berbagai variabel penelitian yang ada di Indonesia

Tabel 1. Studi

NO	Judul	Tujuan	Hasil
1	Tinjauan Meteorologis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Wilayah Pulau Seram, Maluku [1]	Tujuan dalam penelitian tersebut adalah untuk mengidentifikasi lokasi terbaik untuk instalasi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Pulau Seram, Maluku.	Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa Pulau Seram memiliki potensi energi angin yang signifikan, dengan total energi yang dihasilkan mencapai 110.390 kWh/bulan. Tiga lokasi yang dianalisis—Kairatu, Kobisonta, dan Kilmury—menunjukkan potensi energi angin rata-rata antara 26.837 kWh hingga 8.794 kWh. Kilmury diidentifikasi sebagai lokasi paling berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, dengan potensi energi listrik terbesar berkisar antara 26,83 kW hingga 8439,55 kW. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya



			pengembangan energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik tenaga diesel di wilayah dengan rasio elektrifikasi rendah.
2	Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh. [7]	Tujuan dalam penelitian tersebut adalah untuk mengevaluasi kelayakan energi angin sebagai sumber daya alternatif untuk sistem hibrida di Banda Aceh.	Penelitian mengungkapkan bahwa potensi energi angin di Banda Aceh belum memenuhi syarat untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Meskipun kecepatan angin rata-rata di Aceh mencapai 4,9 m/detik, analisis dengan metode Weibull menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan tidak sesuai dengan potensi anginnya. Selain itu, distribusi frekuensi kecepatan angin paling sering terjadi pada rentang 1,5–3,5 m/detik, yang dianggap kurang memadai untuk mendukung pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.
3	Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal 9 Sudu Flat dengan Variasi Rasio Lebar Sudu Top Dan Bottom Untuk Meningkatkan Kinerja PLTB.[6]	Merancang turbin angin dengan sumbu horizontal yang memiliki 9 bilah datar serta variasi sudut pemasangan bilah. Melakukan pengujian dan analisis terhadap kinerja turbin angin sumbu horizontal dengan 9 bilah datar.	Berikut adalah spesifikasi hasil rancang bangun turbin angin yang dibuat: a. Jenis Turbin: Turbin angin dengan poros horizontal. b. Sudu: 9 bilah datar dengan variasi rasio lebar sisi atas (<i>top</i>) dan bawah (<i>bottom</i>). c. Dimensi Sudu: • Panjang: 300 mm • Lebar sisi bawah (<i>bottom</i>): 100 mm • Lebar sisi atas (<i>top</i>): divariasikan menjadi 100 mm, 80 mm, 60 mm, 40 mm, dan 20 mm • Ketebalan: 2 mm d. Bahan Sudu:



			Plat aluminium. e. Dimensi HUB: • Diameter: 160 mm • Ketebalan: 35 mm f. Bahan HUB: Nilon. g. Dimensi Poros: • Diameter: 19 mm • Panjang: 550 mm h. Bahan Poros: Besi pejal ST 40. i. Kerangka: • Tinggi rangka atas dan bawah: 1,2 m • Bahan: Besi hollow j. Sapuan Sudu: Diameter sapuan 85 cm. k. Generator: Generator DC dengan kapasitas 300 Watt. Desain ini dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi dalam memanfaatkan energi angin berdasarkan spesifikasi dan material yang digunakan.
4	Analisis Generator 3 P Tiper Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk PLTB Kapasitas 500w Peak Variasi Kecepatan 8 m/s Sampai Dengan 10m/s. [4]	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi generator 3 fasa magnet permanen dengan mempertimbangkan pengaruh kecepatan angin terhadap beban berupa lampu pijar. Metode yang digunakan adalah pengujian alat dengan variasi kecepatan angin, yaitu 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s, serta variasi beban. Pengujian dilakukan dengan mengukur kinerja generator 3 fasa pada berbagai tingkat beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi mencapai 26,46% pada daya 94,93 watt, sedangkan efisiensi terendah sebesar 20,60% pada daya 144,38 watt.	Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan hal-hal berikut: 1. Efisiensi Generator: Efisiensi tertinggi yang dicapai adalah 26,46% dengan daya listrik sebesar 94,93 watt, sementara efisiensi terendah adalah 20,60% pada daya listrik 144,38 watt. 2. Efisiensi terhadap Kecepatan Angin: Pada kecepatan angin 10 m/s, efisiensi generator tercatat sebesar 20,60%, sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s,



			efisiensi mencapai 26,46%. 3. Pengaruh Putaran Generator terhadap Tegangan: Tegangan keluaran dari generator 3 fasa sangat bergantung pada kecepatan putaran generator, karena sistem kemagnetannya bersifat permanen.
5	Analisa Kinerja Generator dengan Beban Lampu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal. [8]	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi beban terhadap kinerja generator pada turbin angin sumbu vertikal, serta dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga bayu di masa depan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, tegangan terkecil yang dihasilkan oleh generator adalah 0,5V pada kecepatan angin 1,4 m/s, sementara tegangan terbesar mencapai 7V pada kecepatan angin 12,2 m/s. Pada kondisi dengan beban lampu LED 12 Volt 3 Watt, tegangan terkecil yang dihasilkan adalah 0,17V pada kecepatan angin 1,4 m/s, dan tegangan terbesar adalah 6V pada kecepatan angin 12,2 m/s. Selain itu, daya output terkecil yang diperoleh adalah 0 Watt pada kecepatan angin 1,4 m/s, dan daya output terbesar tercatat 2,45 Watt pada kecepatan angin 12,2 m/s.
6	Pembangkit Listrik Tenaga Sngin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga di Derah Pesisir Pantai. [9]	Tujuan dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah untuk merancang dan membangun model kincir angin sumbu vertikal skala kecil yang dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik, khususnya untuk penerangan rumah tangga di daerah pesisir pantai yang memiliki potensi angin yang cukup stabil dan kontinyu.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 memiliki keunggulan dalam hal perakitan dan pengoperasian yang relatif mudah, karena dirancang portabel dan tidak memerlukan ruang yang terlalu luas. Selain itu, pengujian terkait potensi kecepatan angin terhadap putaran rotor generator



			menunjukkan bahwa putaran terendah tercatat 210 rpm pada kecepatan angin 3 m/s, sementara putaran tertinggi mencapai 500 rpm pada kecepatan angin 8 m/s. Pengujian juga mengindikasikan bahwa pengisian baterai paling efisien dilakukan pada tegangan antara 12,20 V hingga 14,30 V, dengan arus yang dihasilkan berkisar antara 1,73 A hingga 3,10 A.
7	Perbandingan Defleksi dan Berat Tower PLTB 24M dengan Menggunakan Profil Siku dan Pipa [10]	Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang perencanaan menara Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang efisien dari segi biaya dan layak untuk diterapkan di daerah-daerah yang belum terjangkau pasokan listrik.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah melalui tahap permodelan dan optimalisasi, tower dengan profil utama siku (model A) memiliki berat 4901,4 kg dan mengalami defleksi lateral sebesar 12 mm. Di sisi lain, tower dengan profil utama pipa (model B) lebih ringan, dengan berat 3781,7 kg, dan mengalami defleksi lateral sebesar 14 mm. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa tower dengan profil pipa lebih efisien untuk digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), karena memiliki berat yang lebih ringan dan biaya material yang lebih rendah dibandingkan dengan tower model A.
8	Rancang Bangun Turbin Angin Sudu Flat Poros Horizontal Dengan Variasi Perbandingan Luas Celah Air Exit Guna Meningkatkan Kinerja PLTB [3]	Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan desain turbin angin dengan sudu flat, yang dilengkapi dengan penambahan penyempitan celah (air exit split) di sepanjang keluaran sudu turbin, guna meningkatkan efisiensi kinerja turbin.	Hasil penelitian menunjukkan efisiensi terbaik sebesar 6.01% pada sudu lebar 80 mm dan 3.29% pada sudu lebar 100 mm, keduanya pada kecepatan angin 6 m/s dengan celah air exit 40 mm. Selain itu, efisiensi tertinggi pada celah 30 mm adalah 4.3% pada 103.40 rpm (7



			m/s), 2.91% pada 274.49 rpm (8 m/s), 2.834% pada 222.3 rpm (9 m/s), dan 1.86% pada 252.68 rpm (10 m/s). Daya output terbaik pada sudu 100 mm adalah 5.89 watt pada 10 m/s dengan celah 34 mm. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi lebar celah air exit dapat mempengaruhi kinerja turbin angin, terutama dalam kondisi kecepatan angin rendah.
9	Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras [11]	Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi angin yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik, serta mengumpulkan data yang diperlukan untuk analisis dan perhitungan dalam penelitian ini.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi angin di pantai Ciheras cukup mendukung untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin, dengan kecepatan angin yang berkisar antara 3 – 12 m/s. Simulasi menggunakan HOMER menghasilkan rata-rata daya listrik sebesar 129 W, sementara perhitungan manual menghasilkan daya sebesar 137 W.
10	Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu [2]	Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mengembangkan turbin angin vertikal tipe Darrieus yang efektif untuk aplikasi pada kecepatan angin rendah, serta untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Penelitian ini juga berfokus pada teknik desain dan fabrikasi turbin, serta parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja turbin, seperti dimensi, airfoil, sudut serang, panjang chord, jumlah bilah, dan material yang digunakan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi perancangan turbin Darrieus meliputi dimensi turbin, airfoil, sudut serang, panjang chord, jumlah bilah, dan material yang digunakan. Pengujian turbin Darrieus dengan 3 bilah menunjukkan bahwa dimensi turbin 0,4 m menghasilkan performa yang kurang optimal pada kecepatan angin rendah, namun lebih efisien pada kecepatan angin tinggi (8-12 m/s). Material akrilik yang digunakan tidak memberikan performa maksimal karena konstruksi bilah yang kurang kokoh. Selain itu, penggunaan



			perangkat lunak Q-blade sangat membantu dalam simulasi dan perbandingan parameter desain turbin.
11	Model Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Kinerja Pltb. [12]	Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan menerapkan metode fuzzy logic sebagai alat untuk menentukan efisiensi daya, berdasarkan kelas angin dan kecepatan angin sebagai parameter yang mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh PLTB.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC) berhasil meningkatkan persentase efisiensi daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Selain itu, algoritma Fuzzy Logic Controller yang diterapkan dalam penelitian ini mampu menentukan tingkat efisiensi berdasarkan penempatan turbin angin pada PLTB.
12	Fuzzy Logic Penentu Efisiensi Daya Turbin. [13]	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan fuzzy logic untuk meningkatkan efisiensi daya dari turbin angin (PLTB) di Indonesia, dengan mempertimbangkan kecepatan angin dan kelas angin untuk menentukan efisiensi output daya.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC) berhasil meningkatkan persentase efisiensi daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Selain itu, algoritma Fuzzy Logic Controller yang diterapkan dalam penelitian ini mampu menentukan tingkat efisiensi berdasarkan penempatan turbin angin pada PLTB.
13	Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker. [14]	Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan rasio daya keluaran sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan horizontal wind turbine (turbine angin tipe horizontal). Agar sistem dapat bekerja dengan baik dan optimal, penelitian ini mencakup perancangan, instalasi, dan evaluasi sistem di Politeknik Negeri Madiun. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, penelitian ini juga akan membandingkan kinerja sistem	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada sistem pembangkit listrik tenaga angin memberikan peningkatan rasio daya keluaran yang signifikan. Rata-rata daya yang dihasilkan pada pengujian sistem tanpa MPPT adalah 44,33%, sedangkan pada sistem yang menggunakan MPPT meningkat menjadi



		pembangkit yang menggunakan teknologi MPPT (Maximum Power Point Tracking) dengan sistem yang tidak menggunakan MPPT. Dengan perbandingan ini, diharapkan dapat diketahui pengaruh MPPT terhadap peningkatan daya keluaran dan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga angin tersebut.	51,88%. Hal ini menunjukkan bahwa MPPT mampu mengoptimalkan penyerapan daya angin dan meningkatkan efisiensi sistem pembangkit, yang pada gilirannya berpotensi untuk meningkatkan kinerja dan daya keluaran sistem pembangkit listrik tenaga angin secara keseluruhan.
14	Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc. [15]	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh angin terhadap beberapa aspek kinerja turbin angin, yaitu daya yang dihasilkan, kecepatan putaran turbin, dan besar tegangan output yang dihasilkan oleh generator. Penelitian ini bertujuan untuk memahami hubungan antara kecepatan angin, putaran turbin, dan daya yang dihasilkan, serta bagaimana perubahan kecepatan angin mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh generator. Dengan memahami hubungan-hubungan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai efisiensi dan kinerja sistem pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan variasi kecepatan angin dan putaran turbin.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap daya yang dihasilkan oleh generator DC. Daya angin yang diukur sebesar 27,6 Watt dan daya yang dihasilkan oleh generator sebesar 136,3 Watt. Selain itu, penelitian juga menemukan rata-rata tegangan sebesar 2,56 Volts.
15	Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt. [16]	Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat prototipe yang dapat mensimulasikan sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTB). Prototipe ini akan diuji kinerjanya dengan menggunakan blower sebagai alat untuk mensimulasikan variasi kecepatan angin rata-rata yang ada di beberapa daerah di Indonesia. Melalui simulasi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman tentang performa turbin angin dalam kondisi angin yang berbeda-beda, serta menguji seberapa efektif sistem PLTB tersebut	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin, maka tegangan yang dihasilkan oleh generator juga semakin tinggi, karena kecepatan angin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Secara teori, daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin ini tidak melebihi 15

		dalam menghasilkan daya sesuai dengan kondisi angin yang ada di berbagai lokasi di Indonesia.	Watt. Efisiensi tertinggi generator tercatat pada kecepatan angin 6 m/s, dengan efisiensi mencapai 6,86%. Selain itu, efisiensi kerja generator relatif stabil di atas 5% pada rentang kecepatan angin antara 5 m/s hingga 7 m/s, menunjukkan bahwa generator dapat bekerja dengan baik dalam rentang kecepatan angin tersebut. Hasil ini memberikan gambaran tentang batasan efisiensi dan daya yang dapat dicapai oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin dalam kondisi angin tertentu.
--	--	---	---

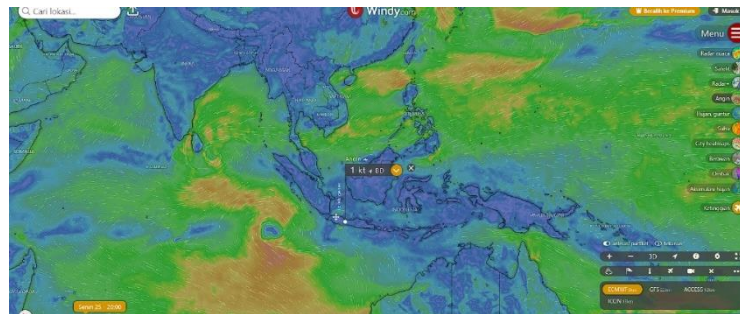
Tabel 2 . Jenis Turbin PLTB dan Penggunaannya Sesuai Geografis

No.	Jenis PLTB	Jenis Geografi
1	Jenis PLTB Turbin angin Savonius  Gambar 11. Turbin Angin Sayonius / VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) [9]	Turbin angin Savonius, salah satu jenis turbin angin vertikal, cocok digunakan pada kondisi geografis tertentu karena desainnya efisien bahkan pada kecepatan angin rendah dan arah angin berubah. Kondisi geografis berikut ini ideal untuk kincir angin Savonius: 1. Daerah dengan kecepatan angin rendah hingga sedang savonius berkinerja baik pada kecepatan angin rendah (2-6 m/s).Cocok untuk daerah pedesaan atau perkotaan yang arus anginnya tidak terlalu kuat seperti di daerah jawa. [17] 2. Saat angin tidak menentu atau berubah-ubah karena desainnya yang vertikal, Savonius tidak memerlukan mekanisme pelacakan angin seperti turbin horizontal.Ideal untuk area dengan arah angin yang terus berubah, seperti lembah dan perkotaan. 3. Area dengan ruang terbatas. Turbin Savonius berukuran relatif kecil dan mudah dipasang, sehingga cocok untuk atap rumah, gedung, dan kawasan perkotaan yang ruangnya terbatas.

		Cocok untuk kebutuhan energi skala kecil seperti rumah dan lampu jalan. 4. Lokasi dengan kebutuhan energi rendah hingga sedang. 5. Area dengan medan yang kompleks - Dirancang untuk menangkap angin dari segala arah, cocok untuk daerah perbukitan dan lembah yang menimbulkan turbulensi. 6. Area dengan angin kencang yang tidak stabil- Savonius efisien dalam angin sepoi-sepoi, namun desainnya yang sederhana dan kokoh juga membuatnya tahan terhadap kondisi angin kencang. Berbeda dengan turbin angin poros horizontal, turbin angin poros vertikal memiliki bilah rotor yang sejajar dengan arah angin, memungkinkan rotor untuk berputar. Salah satu keunggulan turbin ini adalah kemampuannya untuk beroperasi dengan angin dari segala arah. Secara umum, turbin angin poros vertikal terdiri dari rotor tipe Savonius, yang bekerja dengan memanfaatkan gaya dorong (drag), rotor tipe Darrieus, yang menggunakan gaya angkat (lift), serta kombinasi dari keduanya.[18]
2	Jenis PLTB Turbin HAWT  Gambar 12. Turbin angin HAWT [3]	Turbin angin sumbu horizontal (HAWT) mempunyai karakteristik tertentu, terutama untuk digunakan pada daerah dengan kecepatan angin tinggi dan stabil. Berikut contoh kondisi dan area ideal untuk HAWT: 1. Area dengan kecepatan angin tinggi dan stabil, HAWT memerlukan kecepatan angin rata-rata sekitar 6 sampai 8 m/s agar dapat beroperasi secara efektif. Contoh penerapan pada geografi : Indonesia : Daerah pesisir seperti pantai selatan Jawa (Yogyakarta, Pacitan). Pulau Sumba (Nusa Tenggara Timur), termasuk salah satu wilayah dengan potensi energi angin tertinggi di Indonesia, Kepulauan Nusa Tenggara dan Sulawesi Selatan. 2. Lokasi dengan medan terbuka HAWT lebih efektif di daerah dengan medan datar atau perbukitan landai tanpa banyak hambatan seperti bangunan atau pepohonan. Contoh Geografi : Dataran tinggi atau perbukitan rendah di Sulawesi dan Nusa Tenggara Timur.

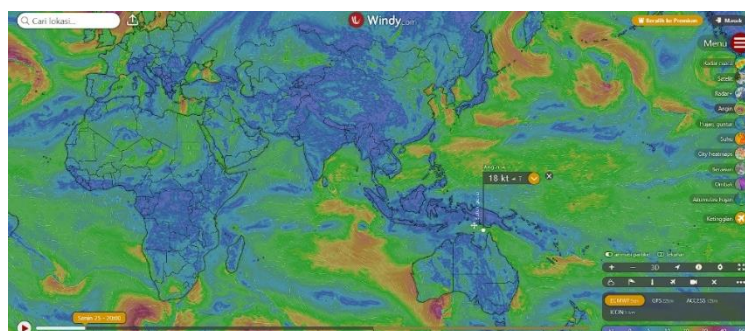
		3. Ladang angin lepas pantai Wilayah laut terbuka seringkali memiliki angin yang lebih kuat dan stabil, sehingga ideal untuk HAWT skala besar. Contoh Geografi : Indonesia, laut Selatan Jawa dan Selat Sunda. HAWT merupakan turbin yang poros utamanya berputar tergantung arah angin. agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan sumbu turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. biasanya turbin jenis ini memiliki bilah dengan bentuk <i>airfoil</i> mirip dengan sayap pesawat terbang. secara umum, semakin tinggi jumlah sudu maka semakin tinggi pula kecepatan putaran turbin. setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. keunggulan turbin jenis ini adalah efisiensinya yang tinggi dan kecepatan angin cut-in yang rendah. kekurangannya adalah desain turbin jenis ini lebih kompleks. hal ini dikarenakan diperlukan arah angin karena rotor hanya mampu menangkap angin dari satu arah.[9]
--	--	---

Berdasarkan pembahasan di atas dan analisa kami menggunakan aplikasi dari *windy wind* dengan memasukan beberapa lokasi di daerah antara lain Timur dan barat Indonesia untuk melakukan pengamatan angin, hasil yang didapatkan bahwa angin di daerah jawa itu hanya 1 knot / 0.8 m/s



Gambar 13. Alur angin di barat Indonesia aplikasi Windy-Wind

Sedangkan pengamatan angin di timur Indonesia mendapatkan 18 knot angin / 10m/s



Gambar 14. Alur angin di timur Indonesia aplikasi Windy-Wind



Untuk mendukung PLTB Syarat minimum kecepatan angin untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) bervariasi tergantung pada jenis turbin yang digunakan dan lokasi spesifik. Namun, secara umum, syarat minimum kecepatan angin untuk dapat memulai operasi turbin angin adalah sekitar 3–5 m/s (meter per detik). Kecepatan angin ini disebut sebagai *cut-in wind speed*, yaitu kecepatan angin minimum di mana turbin angin mulai menghasilkan daya listrik. Adapun beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan lokasi PLTB adalah:

1. *Cut-in Wind Speed*: Seperti yang disebutkan, ini adalah kecepatan angin minimum untuk turbin mulai beroperasi.
2. Kecepatan Angin Rata-rata: Untuk memastikan turbin bekerja secara efisien, lokasi pembangunan PLTB biasanya memerlukan kecepatan angin rata-rata tahunan sekitar 5–7 m/s. Lokasi dengan kecepatan angin lebih tinggi akan lebih optimal untuk pembangkit tenaga angin.
3. *Cut-out Wind Speed*: Ini adalah kecepatan angin maksimum di mana turbin angin akan berhenti beroperasi untuk mencegah kerusakan. Kecepatan ini biasanya sekitar 25 m/s.
4. Kecepatan Angin yang Stabil: Angin yang stabil dan konsisten sepanjang tahun lebih diutamakan untuk menghasilkan daya yang lebih terjamin.

Lokasi PLTB yang baik biasanya berada di daerah dengan kecepatan angin tinggi dan konsisten, seperti daerah pesisir, perbukitan, atau daerah terbuka yang tidak terhalang oleh bangunan besar atau pohon.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari review jurnal dengan judul "Efisiensi Penggunaan PLTB pada Kondisi & Kondisi Struktur Geografis Indonesia" adalah bahwa efisiensi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) sangat dipengaruhi oleh karakteristik geografis dan kondisi angin di Indonesia. Dengan kecepatan angin yang cenderung bervariasi dan rata-rata kecepatan angin yang relatif rendah di sebagian besar wilayah, pemilihan lokasi strategis dengan potensi angin tinggi, seperti di daerah pesisir, dataran tinggi, atau perairan lepas pantai, menjadi faktor kunci. Selain itu, adaptasi desain turbin angin, seperti penggunaan turbin yang dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah seperti penggunaan turbin horizontal untuk daerah yang memiliki kecepatan rata-rata 2-5m/s, kita harus memilih penggunaan turbin sesuai dengan keadaan angin pada wilayah yang akan menggunakan PLTB, diperlukan untuk mengoptimalkan efisiensi PLTB di Indonesia. Struktur geografis yang kompleks juga memerlukan studi mendalam terkait distribusi angin untuk mendukung keberlanjutan dan efektivitas PLTB di negara ini.

5. SARAN

Saran untuk penelitian berikutnya bisa dapat menerapkan dan mengembangkan teori-teori yang ada dengan geografi yang ada di daerah pembangunan PLTB, dalam hal efisiensi penelitian selanjutnya mungkin bisa dapat melanjutkan dalam menganalisis perbandingan penggunaan PLTS dan PLTB sebagai pembangkit listrik energi terbarukan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas teman-teman yang telah membantu dalam penulisan ini. Semoga informasi dan pembahasan ini dapat bermanfaat serta menjadi inspirasi untuk terus mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Angin, D. I. Wilayah, and P. Seram, "Tinjauan Meteorologis Potensi Pembangkit Listrik," vol. 2,



- no. 79, pp. 372–378, 2022.
- [2] I. Yasri, “Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu,” vol. 3, no. 2, pp. 2–5, 2016.
 - [3] A. S. Darmawan and D. Pratiwi, “Rancang Bangun Turbin Angin Sudu Flat Poros Horizontal Dengan Variasi Perbandingan Luas Celah Air Exit Guna Meningkatkan Kinerja PLTB,” *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 126, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1788.
 - [4] A. Kusuma and Supriyo, “Analisa Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk Pltb,” *Tek. Energi*, vol. 11, no. 1, pp. 12–17, 2015.
 - [5] I. B. F. Citarsa and I. A. S. Andyani, “Pengaruh Ketebalan Magnet Rotor terhadap Back EMF dan Efisiensi Permanent Magnet Synchronous Generator 12S8P,” *Dielektrika*, vol. 9, no. 1, pp. 11–17, 2022.
 - [6] Y. D. Herlambang and W. Wahyono, “Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal 9 Sudu Flat Dengan Variasi Rasio Lebar Sudu Top Dan Bottom Untuk Meningkatkan Kinerja PLTB,” *Eksergi*, vol. 15, no. 2, p. 70, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i2.1508.
 - [7] M. R. Fachri and H. Hendrayana, “Analisa Potensi Energi Angin dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh,” *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: 10.22373/crc.v1i1.1377.
 - [8] D. Monika, B. Guritno, D. F. Artharini, and I. M. Sudewo, “Analisa Kinerja Generator dengan Beban Lampu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal,” vol. 10, pp. 119–123, 2024.
 - [9] C. S. Yusuf Ismail Nakhoda, “Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai,” *Inst. Teknol. Nas. Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2017.
 - [10] B. Asukmajaya, “Perbandingan defleksi dan berat tower pltb 24 m dengan menggunakan profil siku dan pipa,” *J. Online Skripsi*, vol. 4, no. 1, pp. 267–272, 2023.
 - [11] A. Bachtiar and W. Hayyatul, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
 - [12] Y. D. Herlambang, D. Hendrawati, A. D. Agustin, K. A. Kusuma, S. Wahyuningsih, and W. Wigiantoro, “Model Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Kinerja Pltb,” *Eksergi*, vol. 16, no. 1, p. 35, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v16i1.2203.
 - [13] B. Handoyo and P. Joko, “FUZZY LOGIC PENENTU EFISIENSI DAYA TURBIN,” pp. 288–290.
 - [14] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker,” *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 1, no. 1, 2017, doi: 10.32486/jeecae.v1i1.5.
 - [15] M. Adam, P. Harahap, and M. R. Nasution, “Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 30–36, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3648.
 - [16] M. Iqbal and R. M. S. Adinandra, “Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt,” *Skripsi*, pp. 1–30, 2018.
 - [17] Atika Ratna Dewi and Sri Handini, “Analisis Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa Menggunakan Distribusi Weibull,” *J. Stat. dan Apl.*, vol. 6, no. 1, pp. 130–136, 2022, doi: 10.21009/jsa.06112.
 - [18] I. O. Silla, A. Sanusi, and Y. M. Pell, “ENERGI ALTERNATIF,” vol. 7, no. 1, pp. 64–68, 2022.