

Analisis Potensi dan Lokasi Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil di Lingkungan Kampus ITPLN menggunakan Data NASA POWER dan Simulasi HOMER

Muhammad Fachrizal Faqih Hilmawan¹, Fidelis Kisnardi Kuncoro Butarbutar¹, Novita Permatasyania¹, Muhammad Yusril Shandi¹, Andi Makkulau^{1*}

¹Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jl. Duri Kosambi Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11750.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: andi.mk@itpln.ac.id

Abstract – The utilization of wind energy as a renewable energy source represents a crucial strategy for reducing carbon emissions, particularly in urban environments. This study aims to analyze the wind energy potential and develop an optimal wind power plant (WPP) model for implementation within the Institut Teknologi PLN (ITPLN) campus. An experimental methodology was employed by measuring wind speeds at several predetermined locations, selected based on NASA POWER dataset analysis, while altitude optimization and system performance simulations were conducted using HOMER software. The results provide recommendations regarding the most suitable location and configuration for wind power plant deployment within the ITPLN campus area. The analysis indicates that the highest wind energy potential is located at Building A, with an average wind speed of approximately 3.66 m/s. At a hub height of 50 meters, this condition yields an average monthly output power of 182.63 W, making it the most optimal site for wind turbine installation. These findings are expected to serve as a foundation for the development of renewable energy-based campus systems and to support the broader implementation of sustainable and green energy solutions in urban areas.

Abstrak - Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan menjadi salah satu upaya penting dalam mendukung pengurangan emisi karbon, khususnya pada perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi angin serta model Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di area Kampus Institut Teknologi PLN (ITPLN). Metode penelitian ini bersifat eksperimental dilakukan melalui pengukuran kecepatan angin di beberapa titik lokasi yang sudah peneliti tentukan dari data NASA POWER dan untuk ketinggian serta simulasinya menggunakan perangkat lunak HOMER. Penelitian ini menghasilkan rekomendasi lokasi dan konfigurasi PLTB yang optimal untuk diimplementasikan di lingkungan Kampus ITPLN. Hasil analisis dan simulasi menunjukkan bahwa potensi energi angin tertinggi terdapat di lokasi Gedung A ITPLN, dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3,66 m/s sehingga menghasilkan daya keluaran rata-rata per bulan yaitu sebesar 182,63 Watt pada ketinggian 50 meter. Kondisi ini menjadikan lokasi tersebut sebagai area yang paling optimal untuk pemasangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan kampus berbasis energi terbarukan serta mendukung implementasi energi hijau di kawasan urban.

Keywords - HOMER, Institute of Technology PLN, NASA POWER, Renewable Energy, Wind Power Plant.

PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang sangat ramah lingkungan, karena tidak termasuk salah satu penyebab dari perubahan iklim

dan pemanasan global, karena energi yang dihasilkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti angin [1]. Energi merupakan salah satu kebutuhan mendasar manusia, termasuk di dalamnya energi listrik [2]. Pemanfaatan energi

angin sebagai salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) berakar pada prinsip konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik melalui turbin angin [3]. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit yang mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin sebagai mediana [4]. Prinsip kerja PLTB adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling atau kincir angin, kemudian energi putar ini diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik [5]. Pembangkit listrik tenaga angin memiliki efisiensi kerja paling baik dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya [6]. Salah satu solusi lain energi bersih adalah pemanfaatan energi angin, angin merupakan sumber daya yang tidak ada habisnya [7-8].

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah [9-10]. Turbin angin adalah suatu benda yang diperlukan untuk mengubah energi kinetik yang disediakan oleh angin menjadi energi listrik [11]. Performa turbin angin dipengaruhi oleh karakteristik aerodinamika bilah seperti koefisien *lift* dan *drag* yang menentukan efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik [12]. Efisiensi energi angin adalah kemampuan turbin angin mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik [13]. Dalam teori, efisiensi maksimum turbin angin dibatasi oleh Betz Limit sebesar sekitar 59,3%, artinya turbin tidak bisa menangkap seluruh energi angin [14]. Tenaga angin telah digunakan sejak tahun 2000 SM. Digunakan sebagai sumber energi alternatif. Potensi pemanfaatan energi angin di Indonesia juga besar karena Indonesia terdiri dari wilayah pesisir yang anginnya bertiup sangat kencang [15].

Kebutuhan energi listrik bagi masyarakat perkotaan sangat tinggi. Kebutuhan energi listrik terus meningkat tidak saja dipengaruhi oleh banyaknya penduduk tetapi juga faktor aktivitas ekonomi yang terus meningkat untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Semakin tinggi aktivitas ekonomi maka akan semakin besar kebutuhan akan energi listriknya [16-17]. Menambah pasokan listrik untuk perkotaan bukanlah pilihan yang mudah karena kendala investasi dan infrastruktur. Kota Jakarta menjadi salah satu daerah yang terbanyak menghabiskan energi listrik. Menurut Data PLN Tahun 2021, Jakarta mengkonsumsi energi listrik sebesar

14.724.520.787,56 GWh (perumahan) dan 4.184.303.379,41 GWh (industri). Salah satu solusi permasalahan kekurangan energi listrik di daerah perkotaan ini dapat diatasi dengan membangun pembangkit listrik mandiri dari energi terbarukan seperti surya dan seperti angin [18-19].

Studi pendahuluan yaitu hasil dari perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia menunjukkan bahwa teknologi turbin angin skala besar bekerja efektif pada kecepatan angin 5-20 m/s [20]. Belum banyak penelitian yang mengkaji potensi energi angin di kawasan urban/kampus dengan membandingkan beberapa titik lokasi dan variasi ketinggian turbin secara spesifik [21].

Salah satu inisiatif yang dapat dilakukan adalah Studi PLTB di lingkungan Institut Teknologi PLN sebagai bentuk kontribusi nyata dalam pengurangan emisi karbon serta menjadikan kampus sebagai model penggunaan energi terbarukan di wilayah urban Jakarta. Penelitian mengkombinasikan data NASA POWER, perhitungan matematis daya angin dan simulasi HOMER untuk memperoleh model PLTB yang sesuai dengan kondisi perkotaan. Penelitian terdahulu dominan membahas konfigurasi sistem *hybrid* dan analisis ekonomi menggunakan HOMER, namun, penelitian terkait analisis lokasi optimal PLTB skala kecil di lingkungan kampus perkotaan dengan pendekatan berbasis data NASA POWER dan simulasi HOMER masih terbatas.

Hasil penelitian ini konsisten dengan studi tentang potensi pembangkit tenaga angin dan *hybrid* di wilayah pesisir yang menggunakan simulasi HOMER untuk mendapatkan konfigurasi optimal [22]. Studi di Pantai Sedari menunjukkan penggunaan data angin lokal dan sistem *hybrid* dapat mengoptimalkan output energi listrik dari sumber angin dan surya [23-24]. Penelitian pada daerah Widuri dan Pantai Baru memperlihatkan bahwa sistem *hybrid* angin-surya yang dievaluasi dengan HOMER mampu menghasilkan konfigurasi daya yang layak secara teknis dan ekonomis untuk beban setempat [25-26]. Selain itu, studi potensi energi angin di Kalimantan Utara memberikan bukti bahwa variasi kecepatan angin tahunan berpengaruh terhadap potensi energi listrik di lokasi tertentu [27].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi energi angin di lingkungan Kampus Institut Teknologi PLN dengan menggunakan data NASA POWER dan simulasi HOMER, serta menentukan lokasi dan ketinggian

pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil yang paling optimal berdasarkan karakteristik daya listrik yang dihasilkan dan kecepatan angin. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh dari variasi ketinggian turbin terhadap performa sistem PLTB sebagai upaya dalam mendukung implementasi energi terbarukan di kawasan kampus perkotaan.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka analisis terintegrasi untuk pemilihan lokasi optimal dan evaluasi performa PLTB skala kecil di lingkungan kampus perkotaan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada simulasi sistem atau potensi energi secara makro, penelitian ini mengkombinasikan tiga pendekatan utama yaitu (1) Pemanfaatan data satelit NASA POWER untuk identifikasi awal potensi angin, (2) Analisis matematis untuk estimasi daya angin berdasarkan variasi ketinggian dan (3) Simulasi sistem menggunakan perangkat lunak HOMER untuk mengevaluasi performa energi secara teknis.

Selain itu, penelitian ini secara spesifik melakukan komparasi multilokasi pada skala mikro (atap gedung, area danau dan area terbuka kampus) yang mempertimbangkan karakteristik lingkungan perkotaan, sehingga memberikan kontribusi baru dalam aspek pemilihan lokasi optimal PLTB berbasis kondisi nyata lapangan. Pendekatan ini menghasilkan metode yang lebih aplikatif dan kontekstual dibandingkan studi sebelumnya, serta dapat diimplementasikan sebagai model pengembangan sistem energi terbarukan berbasis kampus di kawasan urban.

METODE

Desain, tempat dan waktu

Desain penelitian merupakan Penelitian Kuantitatif bertempat di ITPLN pada bulan Januari – Desember 2025.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Kampus ITPLN yang berlokasi di Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Lokasi penelitian dipilih karena memiliki potensi pemanfaatan energi angin skala kecil yang dapat mendukung pengembangan PLTB sebagai sumber energi terbarukan di kawasan perkotaan. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan analisis pemasangan PLTB pada tiga titik lokasi berbeda di area kampus,

yaitu atap Gedung A ITPLN, kawasan Danau ITPLN dan taman depan ITPLN.

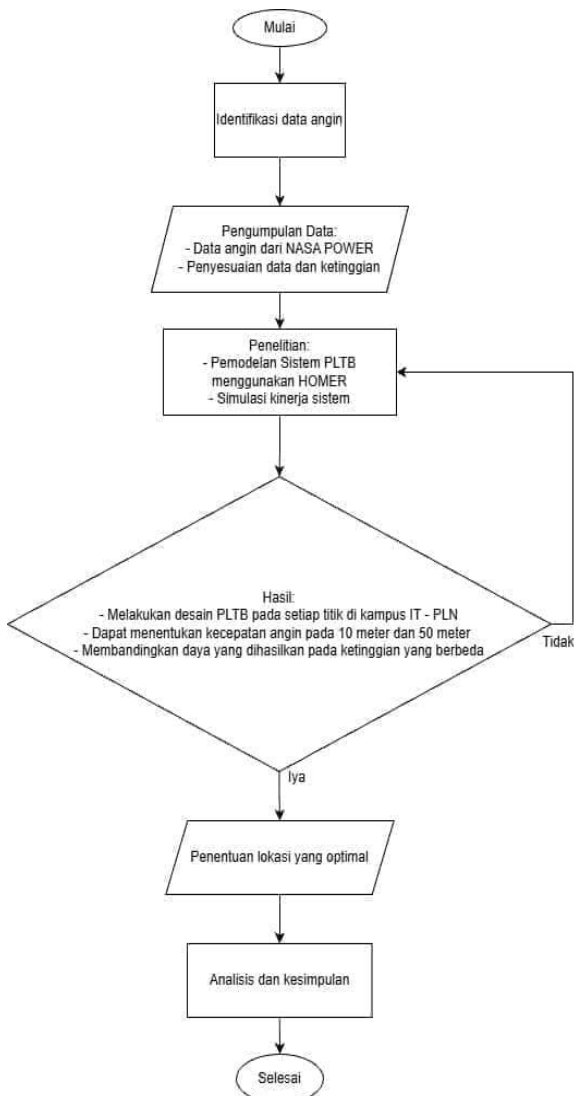


Gambar 1. Tiga Titik Area Kampus ITPLN

Gambar 1 menunjukkan tiga lokasi yang dipilih berdasarkan karakteristik lingkungan yang bervariasi, seperti perbedaan ketinggian, kondisi topografi, dan tingkat keterbukaan area terhadap aliran angin, sehingga memungkinkan dilakukannya perbandingan kinerja PLTB pada kondisi lokasi yang berbeda. Atap Gedung A ITPLN dipilih karena memiliki ketinggian yang relatif lebih tinggi dan minim hambatan fisik, sehingga berpotensi menerima kecepatan angin yang lebih besar. Sementara itu, area Danau ITPLN dan Taman Depan ITPLN dipilih untuk merepresentasikan kondisi permukaan terbuka di lingkungan darat dengan tingkat gangguan angin yang berbeda, sehingga dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai performa PLTB di berbagai kondisi lingkungan kampus.

Data

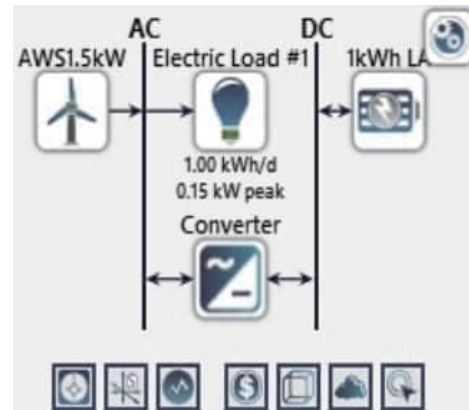
Desain penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis perancangan dan simulasi sistem PLTB di lingkungan Kampus ITPLN. Data kecepatan angin yang digunakan diperoleh dari basis data NASA POWER dan selanjutnya diolah serta disesuaikan dengan ketinggian turbin menggunakan persamaan profil angin. Pemodelan dan analisis kinerja sistem dilakukan dengan perangkat lunak HOMER untuk mengetahui potensi daya listrik yang dapat dihasilkan pada tiga lokasi penelitian yaitu Gedung A ITPLN, Danau ITPLN dan taman depan ITPLN. Hasil simulasi kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan kondisi lingkungan terhadap performa PLTB dan menentukan lokasi yang paling optimal. Alur dan tahapan penelitian secara sistematis disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Pada Gambar 2 terdapat *flowchart* yang menunjukkan alur penelitian, diawali dengan identifikasi potensi angin di lingkungan kampus ITPLN menggunakan data NASA POWER berupa kecepatan angin rata-rata bulanan pada tahun 2024-2025 dengan ketinggian 10 meter dan 50 meter. Kemudian dilakukan pengumpulan dan pengolahan data dengan menyesuaikan kecepatan angin terhadap ketinggian turbin dengan menggunakan persamaan profil angin. Penelitian ini menggunakan tipe turbin *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dengan kapasitas 1,5 kW dengan luas sapuan rotor 9,2 m², baterai penyimpanan 1 kWh, *converter* DC-AC, dan beban listrik harian sebesar 6,6 kWh/hari yang berupa lampu jalan kampus. Kemudian dilakukan pemodelan sistem pada *software* HOMER dengan parameter input berupa data kecepatan angin bulanan, tinggi hub turbin 10 meter dan 50 meter, kapasitas baterai, serta profil beban. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk mengetahui produksi

daya listrik, lokasi yang paling optimal pemasangan PLTB dan performa sistem. Sebagai bentuk validasi, hasil simulasi ini dibandingkan dengan kondisi lapangan berdasarkan lokasi di gedung A ITPLN, danau ITPLN dan taman ITPLN, seperti tingkat keterbukaan area, hambatan bangunan, serta kestabilan arah angin. Hasil analisis tersebut yang menjadi acuan untuk menentukan lokasi PLTB yang paling optimal, sehingga menghasilkan data simpulan penelitian.



Gambar 3. Desain PLTB HAWT di Area Kampus ITPLN 10 Meter dan 50 meter

Pada Gambar 3 ditampilkan desain sistem PLTB tipe HAWT yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak HOMER. Sistem yang dirancang terdiri atas turbin angin berkapasitas 1,5 kW sebagai sumber energi utama, *converter* untuk mengubah arus DC ke AC, baterai penyimpanan berkapasitas 1 kWh dan beban listrik AC sebesar 1 kWh/hari dengan beban puncak 0,15 kW. Rangkaian ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak HOMER untuk menganalisis kinerja sistem, keseimbangan energi dan potensi pemanfaatan energi angin dalam memenuhi kebutuhan listrik kampus.

Persamaan Matematika

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi angin pada ketinggian 10 meter dan 50 meter menggunakan pendekatan matematis dan perangkat lunak simulasi. Data yang digunakan berupa data kecepatan angin yang diperoleh dari basis data NASA POWER, sedangkan proses analisis dan pemodelan sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER. Variabel yang dianalisis meliputi kecepatan angin, ketinggian pengukuran, dan daya listrik yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan dan simulasi sistem energi berbasis data sekunder, tanpa melakukan eksperimen langsung di lapangan. Teknik analisis data dilakukan dengan menghitung daya angin pada masing-masing

ketinggian dan membandingkan hasilnya untuk mengetahui pengaruh variasi ketinggian terhadap potensi energi angin. Penelitian ini dalam menganalisis data menggunakan hasil perhitungan. Berikut rumus yang digunakan dalam pengolahan data [28]. Menghitung daya angin (1).

$$Ea = \frac{1}{2} Cp \rho A v^3 \tag{1}$$

Dimana

- Ea : Energi Angin
- Cp : Koefisien Daya (0.59) sesuai nilai betz 59%
- ρ : Kerapatan Udara (1,225 kg/m²)
- A : Luas Sapuan diketahui 9,2 m²
- v : Kecepatan Angin rata – rata perbulan

Menghitung daya rata – rata angin yang dihasilkan per tahun (2).

$$P_{out\ rata-rata} = \frac{P_{total}}{Jumlah\ Beban} \tag{2}$$

dengan:

- $P_{out\ rata-rata}$: Daya keluaran rata - rata dalam setahun
- P_{total} : Daya total

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menyajikan analisis potensi PLTB di lingkungan Kampus Institut Teknologi PLN berdasarkan data kecepatan angin dari NASA POWER dan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER. Analisis dilakukan dengan menggunakan data angin yang diambil pada NASA POWER untuk periode tahun 2024 – 2025 dengan parameter kecepatan angin jarak ketinggian 10 meter dan 50 meter. Jarak ketinggian 10 meter yang berlokasi di danau ITPLN (-6.168532, 106.724986) dan taman ITPLN (-6.168355,106.726933). Jarak ketinggian 50 meter berlokasi di gedung A ITPLN (-6.168358,106.726967) untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan lokasi dan ketinggian terhadap kinerja sistem PLTB.

Hasil Analisis Potensi Energi Angin

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kecepatan angin meningkat seiring bertambahnya ketinggian, sehingga berdampak langsung terhadap peningkatan potensi daya listrik yang dihasilkan. Pada ketinggian 10 meter, daya keluaran rata-rata yang diperoleh relatif lebih rendah dibandingkan pada ketinggian 50 meter akibat pengaruh hambatan permukaan dan kondisi lingkungan sekitar. Sebaliknya, pada ketinggian 50 meter, aliran angin

cenderung lebih stabil dan memiliki kecepatan yang lebih tinggi.

Ketinggian 10 Meter

Data kecepatan angin pada ketinggian 10 meter diperoleh dari basis data NASA POWER dan digunakan untuk menggambarkan karakteristik angin tahunan di lokasi penelitian. Data ini menjadi dasar dalam menganalisis potensi energi angin serta mengevaluasi kelayakan penerapan PLTB skala kecil di taman dan di danau dalam lingkungan Kampus ITPLN. Nilai kecepatan angin rata-rata bulanan disajikan dalam Tabel 1 yang menunjukkan kecepatan angin selama 1 tahun.

Tabel 1. Data Kecepatan Angin Ketinggian 10 Meter

| Bulan | Kecepatan angin rata-rata (m/s) |
|-----------|---------------------------------|
| Januari | 3.17 |
| Februari | 2.81 |
| Maret | 3.39 |
| April | 2.32 |
| Mei | 3.03 |
| Juni | 2.58 |
| Juli | 3.06 |
| Agustus | 2.76 |
| September | 2.42 |
| Oktober | 2.37 |
| November | 2.59 |
| Desember | 4.28 |

Ketinggian 50 Meter

Setelah dilakukan penyesuaian kecepatan angin terhadap ketinggian yang lebih tinggi, diperoleh data kecepatan angin rata-rata bulanan pada ketinggian 50 meter. Data ini digunakan untuk mengevaluasi peningkatan potensi energi angin dibandingkan dengan ketinggian 10 meter serta untuk menganalisis pengaruh ketinggian terhadap kinerja PLTB. Nilai kecepatan angin tersebut disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Kecepatan Angin Ketinggian 50 Meter

| Bulan | Kecepatan angin rata-rata (m/s) |
|-----------|---------------------------------|
| Januari | 4.00 |
| Februari | 3.50 |
| Maret | 4.40 |
| April | 2.93 |
| Mei | 3.86 |
| Juni | 3.23 |
| Juli | 3.87 |
| Agustus | 3.40 |
| September | 2.98 |
| Oktober | 2.93 |
| November | 3.26 |
| Desember | 5.51 |

Pada Tabel 1 dan 2 terdapat perbandingan antara kedua ketinggian yang menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian dari 10 meter ke 50 meter menghasilkan kenaikan kecepatan angin yang signifikan. Dengan demikian, pemasangan turbin angin pada ketinggian yang lebih tinggi, khususnya pada lokasi Gedung A ITPLN, berpotensi menghasilkan kinerja PLTB yang lebih optimal dibandingkan pemasangan pada permukaan tanah seperti di area danau ITPLN dan taman depan ITPLN.

Hasil Simulasi Sistem menggunakan HOMER

Simulasi sistem PLTB dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER untuk mengevaluasi potensi produksi energi listrik berdasarkan data kecepatan angin yang telah dianalisis sebelumnya. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pada berbagai ketinggian pemasangan turbin dan lokasi yang berbeda di lingkungan Kampus ITPLN. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk produksi energi tahunan, konsumsi energi, serta indikator kinerja sistem lainnya yang selanjutnya dianalisis secara komparatif pada ketinggian 10 meter dan 50 meter.

Profil Beban

Potensi energi angin di Area kampus ITPLN dapat digunakan untuk pemakaian di kampus sendiri. Berikut adalah beban listrik pemakaian dari PLN.

Tabel 3. Profil Beban

| Beban | Jumlah | Daya (Watt) | Total Daya (Watt) | Lama Waktu (Hari) | Konsumsi Perhari |
|-------------|--------|-------------|-------------------|----------------------|------------------|
| Lampu Jalan | 20 | 30 | 600 | 11 Jam (18:00-05:00) | 6600 |

Pada Tabel 3 ditampilkan analisis peralatan Listrik yang digunakan ini berupa lampu penerangan jalan dari data berikut dapat diperoleh jumlah total daya yang digunakan dalam 1 hari Adalah 6600 Watt/hari untuk peralatan Listrik yang digunakan. Dalam memperjelas pola penggunaan daya Listrik dalam satu hari, profil beban ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil Beban yang ditampilkan Melalui HOMER

Ketinggian 10 Meter (Lokasi Danau & Taman ITPLN)

Tabel 4. Daya Keluaran Pada Ketinggian 10 Meter

| Bulan | Daya Keluaran (Watt) |
|----------------------------------|----------------------|
| Januari | 105.6 |
| Februari | 73.7 |
| Maret | 129.5 |
| April | 41.5 |
| Mei | 92.4 |
| Juni | 57.09 |
| Juli | 95.2 |
| Agustus | 69.8 |
| September | 47.1 |
| Oktober | 44.2 |
| November | 57.7 |
| Desember | 260.6 |
| Daya Keluaran rata – rata | 89.55 |

Dalam mempermudah dalam pembacaan Tabel 4 dan dapat mengetahui secara langsung daya keluaran PLTB dengan kecepatan angin di ketinggian 10 meter pada Gambar 5 dalam bentuk grafik selama 1 tahun.



Gambar 5. Grafik Data Daya Keluaran 10 Meter Dalam Setahun

Ketinggian 50 Meter (Lokasi Gedung A ITPLN)

Tabel 5. Daya Keluaran Pada Ketinggian 50 Meter

| Bulan | Daya Keluaran (Watt) |
|----------------------------------|----------------------|
| Januari | 212.77 |
| Februari | 142.54 |
| Maret | 283.2 |
| April | 83.62 |
| Mei | 191.2 |
| Juni | 112.03 |
| Juli | 192.69 |
| Agustus | 130.67 |
| September | 87.98 |
| Oktober | 83.62 |
| November | 115.18 |
| Desember | 556.16 |
| Daya Keluaran rata – rata | 182.63 |

Dalam mempermudah membaca data pada Tabel 5 serta mengetahui secara langsung daya keluaran PLTB dengan kecepatan angin di ketinggian 50 meter, data divisualisasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Data Daya Keluaran 50 Meter dalam Setahun

Pembahasan dan Implikasi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian pemasangan turbin memberikan pengaruh signifikan terhadap daya keluaran PLTB di lingkungan perkotaan. Daya keluaran rata-rata sebesar 182,63 W pada ketinggian 50 meter lebih tinggi dibandingkan 89,55 W pada ketinggian 10 meter.

Temuan ini sejalan dengan studi Tasneem et al. yang menyatakan bahwa aplikasi turbin angin di wilayah urban umumnya memiliki kecepatan angin rendah hingga sedang (2–4 m/s), sehingga ketinggian hub turbin menjadi faktor kunci dalam meningkatkan stabilitas dan potensi daya [8]. Dibandingkan dengan penelitian sistem *hybrid* angin-surya di wilayah pesisir seperti Pantai Sedari dan Pantai Baru yang memiliki karakteristik angin lebih kuat dan terbuka, hasil penelitian ini menegaskan bahwa PLTB skala kecil tetap layak diterapkan di kawasan kampus urban dengan pendekatan pemilihan lokasi dan ketinggian yang tepat.

Dengan demikian, penelitian ini memperluas pemahaman mengenai implementasi PLTB di lingkungan non-pesisir dan memberikan dasar teknis bagi pengembangan kampus berbasis energi terbarukan.

Dampak pemanfaatan turbin angin skala kecil di lingkungan kampus juga sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan aplikasi PLTB sebagai sumber energi alternatif di lingkungan institusi pendidikan dan fasilitas publik [29]. Evaluasi potensi angin dengan pendekatan statistik dan distribusi kecepatan angin memberikan dasar ilmiah

yang kuat terhadap pentingnya pengukuran angin sesungguhnya untuk kajian lebih lanjut [30].

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ketinggian pemasangan turbin merupakan faktor utama yang memengaruhi potensi energi angin di lingkungan kampus ITPLN. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketinggian 50 meter menghasilkan daya rata-rata 182.63 W, lebih tinggi dibandingkan 89.55 W pada ketinggian 10 meter. Dengan demikian, lokasi Gedung A pada ketinggian 50 meter merupakan lokasi optimal untuk implementasi PLTB skala kecil. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data pengukuran langsung serta mengembangkan sistem hibrida untuk meningkatkan keandalan energi dan efektivitas pemanfaatan energi hijau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kami sampaikan kepada Institut Teknologi PLN khususnya LPPM ITPLN melalui pendanaan *Student Research Challenge* Tahun 2025 atas dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan. Kami juga menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing yang selama ini telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat membantu selama penyusunan dan pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

- [1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," Nov. 2018.
- [2] Syahrul, S. Laode, and Asrul, "Pembangunan Sumberdaya Energi Non-Konvensional Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Kecamatan Kontunaga Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara," 2024.
- [3] H. Sudarmanto, L. Fitryane, and B. D. Wahyuni K., "Studi Literatur: Potensi dan Pengembangan Energi Angin sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan di Wilayah Gorontalo," *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, vol. 3, no. 2, pp. 245–253, Dec. 2024, doi: 10.58169/jwikal.v3i2.646.

- [4] J. F. Hermanses, M. Rumbayan, and B. A. Sugiarso, "Animasi Interaktif Pembelajaran Energi Listrik Turbin Angin," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 171–180, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.35793/jtek.v9i3.30447>.
- [5] W. A. Zaenal, "Analisis Persepsi Masyarakat Terhadap Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Di Kecamatan Jerowaru," Apr. 2023. <https://risetekonomi.com/jurnal/index.php/jie/article/view/53>.
- [6] A. R. Rawal, "Tesis Analisis Potensi Penggunaan Turbin Angin pada Bangunan Tinggi di Kota Makassar (Studi Kasus: DELFT Apartemen)," Aug. 2023.
- [7] S. C. Montolalu, A. L. Mawitjere, D. V Handaru, R. Pangkey, J. T. Elektro, and N. Manado, "Efisiensi Penggunaan PLTB Pada Kondisi Struktur Geografis Indonesia," Jun. 2024.
- [8] Z. Tasneem *et al.*, "An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges," Nov. 01, 2020, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.dibe.2020.100033.
- [9] M. N. Habibie, A. Sasmito, and R. Kurniawan, "Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku," Sep. 2011.
- [10] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application," 2010.
- [11] R. E. Kinasih, "Studi Literatur: Analisis Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin pada (PLTA) Pembangkit Listrik Tenaga Angin," *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, vol. 6, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.31605/phy.v6i2.3332.
- [12] T. Wang, W. Zhong, Y. Qian, and C. Zhu, *Wind turbine aerodynamic performance calculation*. Springer, 2023. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-99-3509-3>.
- [13] A. Kalmikov, "Wind Power Fundamentals," in *Wind Energy Engineering*, T. M. Letcher, Ed., Academic Press, 2017, pp. 17–24. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809451-8.00002-3>.
- [14] P. Jamieson, *Innovation in wind turbine design*. John Wiley & Sons, 2018.
- [15] H. Lathifah, Sudarti, and Yushardi, "Analisis Potensi Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Energi Listrik Di Indonesia," *Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, vol. 2, Oct. 2023. DOI: <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1330>.
- [16] A. C. Koloay, H. Tumaliang, and M. Pakiding, "Perencanaan dan Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik di Kota Bitung," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, p. 3, 2018. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekd/ankom/article/view/22504>.
- [17] Y. Nassar and M. Khaleel, "Sustainable Development and the Surge in Electricity Demand Across Emerging Economies," vol 2, no 1, 2024, [Online]. <https://ijeos.org/index.php/ijeos/article/view/77>.
- [18] A. Makkulau, N. Pasra, S. Samsurizal, B. L. Yahya, and M. A. Alwan, "Analisis Sudut Kemiringan Optimum Panel Surya Atap di Kota Jakarta Menggunakan Data Global Solar Atlas," *Jurnal AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 11, no. 1, p. 48, Jan. 2026, doi: 10.36722/sst.v11i1.4874.
- [19] D. Boesrony, "Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) pada Kecepatan Angin Rendah untuk Penggunaan di Daerah Perkotaan Dengan Studi Kasus di Pt. Systech Data Integrasi di Jakarta," Jul. 2023.
- [20] B. Harianto and M. Karjadi, "Pengembangan Turbin Angin Skala Kecil untuk Energi Terbarukan untuk Daerah Terpencil," *R2J*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.38035/rrj.v7i1.
- [21] M. Akkoyunlu, "Evaluation of wind energy potential in a university campus," *International Journal of Global Warming*, vol. 14, p. 118, Jan. 2018, doi: 10.1504/IJGW.2018.088649.
- [22] Y. Tominaga, "CFD Prediction for Wind Power Generation by a Small Vertical Axis Wind Turbine: A Case Study for a University Campus," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16134912.
- [23] E. Widiyanto, D. B. Santoso, K. Kardiman, and N. Fauji, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Photovoltaic-Wind Turbines Di Pantai Sedari Karawang," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 3, no. 1, p. 41, Oct. 2019, doi: 10.30595/jrst.v3i1.3653.
- [24] A. S. Alayande, A. E. Emmies, I. K. Okakwu, O. K. Gbenga, and O. S. Okeolu, "Homer Pro-Based Approach For Designing And Optimizing A Grid-Tied Hybrid Renewable Energy System For A Rural Community," Vol 21, No 1 2025. <https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/1010>.
- [25] M. R. Ananda Saputra and N. Hudallah, "Analisis Ketercukupan Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin dan

- Surya) Pantai Baru,” *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 32–49, Apr. 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i1.2741.
- [26] M. N. Huda and I. H. Kurniawan, “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Tenaga Angin dan Tenaga Surya) Di Daerah Widuri Kabupaten Pematang Menggunakan Perangkat Lunak Homer *Hybrid Power Generation System Design (Wind Power And Solar Power) In The Widuri Area Pematang District Using Homer Software*,” 2023.
- [27] D. Sulaiman, S. Maria Ulva, A. Lingga Ratna Sari, J. Fisika, U. Kaltara, and T. Selor, “Potensi Sumber Energi Angin Sebagai Pembangkit Listrik Di Kalimantan Utara,” *JSB*, vol. 3, no. 1, 2024, doi: 10.61323/jsb.v3i1.116.
- [28] R. Putri, A. Hasibuan, M. Jannah, R. Kurniawan, W. V. Siregar, and M. Sayuti, “Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, 2022, doi: 10.30596/rele.v1i1.
- [29] A. Jaya, D. Maulidyawati, M. Hidayatullah, and I. Artikel, “Analisis Potensi Angin Dan Surya Di Universitas Teknologi Sumbawa Sebagai Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) Menggunakan Homer 3.16,” *Jurnal Elektronika, Sains dan Sistem Energi*, vol. 03, no. 02, pp. 28–34, 2024, doi: 10.51401/altron.v3i2.
- [30] R. Dwi, H. N Widya, Z. Toha, W. R. Purwo, M. A. Putri, and W. Ario, “Pemilihan Turbin Angin Skala Kecil Berdasarkan Analisis Potensi Energi Angin Menggunakan Windographer,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 13, no. 4, pp. 290–296, Nov. 2024, doi: 10.22146/jnteti.v13i4.8753.