

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU BERBASIS TURBIN VERTIKAL SEBAGAI ALAT PENGUKURAN TEGANGAN KELUARAN

Kevin Nuansa Aghita Sembiring¹, Usman², Fauziah Nur³

Politeknik Penerbangan Medan, Medan

e-mail: ¹nuansakevin0@gmail.com, ²usmandosen2024@gmail.com,

³nur4ziah@gmail.com

Abstract: *This final project discusses the design and construction of a Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)-based Wind Power Plant (PLTB) as a prototype for measuring output voltage. The system employs a Darius-type vertical wind turbine connected to a BLDC (Brushless Direct Current) motor functioning as a generator. The generator produces three-phase AC voltage, which is then rectified using a three-phase full-wave bridge rectifier with six diodes to generate DC voltage. The research focuses on testing the relationship between wind speed and output voltage on both the AC and DC sides. Measurements were carried out using a digital multimeter with artificial and natural wind sources. The results show that the output voltage increases with higher wind speed, and after rectification, the generated DC voltage is relatively stable and consistent with the theory of electrical energy conversion. Overall, the PLTB prototype successfully operates as intended to generate electrical voltage from wind energy and can serve as a reference for analyzing the performance of small-scale wind power systems as well as the development of renewable energy technologies.*

Keywords: *Wind Power Generator, Vertical Axis Wind Turbine, Renewable Energy.*

Abstrak: Proyek akhir ini membahas Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Berbasis Turbin Vertikal sebagai prototipe alat pengukuran tegangan keluaran. Sistem menggunakan turbin angin vertikal tipe Darius yang dihubungkan dengan motor BLDC (*Brushless Direct Current*) sebagai generator. Tegangan AC tiga fasa yang dihasilkan kemudian disearahkan melalui rangkaian *three-phase full-wave bridge rectifier* dengan enam dioda untuk menghasilkan tegangan DC. Penelitian difokuskan pada pengujian hubungan kecepatan angin dengan tegangan keluaran pada sisi AC maupun DC. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital dengan sumber angin buatan maupun alami. Hasil menunjukkan bahwa tegangan keluaran meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin, dan setelah penyearahan menghasilkan tegangan DC yang stabil sesuai teori konversi energi listrik. Secara keseluruhan, prototipe PLTB ini berhasil berfungsi sesuai tujuan untuk menghasilkan tegangan listrik dari energi angin, serta dapat dijadikan acuan analisis kinerja sistem PLTB skala kecil dan pengembangan energi terbarukan.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Turbin Angin, Energi Terbarukan.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, dan ekspansi sektor industri. Ketergantungan pada energi fosil yang bersifat terbatas serta menimbulkan dampak negatif

terhadap lingkungan, mendorong penelitian dan pengembangan energi terbarukan. Salah satu bentuk energi terbarukan yang cukup potensial adalah energi angin, karena sifatnya yang bersih, tersedia secara melimpah di alam, serta tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca (Wulandari et al., 2023).

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan teknologi yang memanfaatkan energi kinetik angin untuk memutar turbin yang terhubung ke generator listrik. Berdasarkan orientasi porosnya, turbin angin terbagi menjadi *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Turbin sumbu vertikal memiliki keunggulan, terutama untuk skala kecil, karena mampu menangkap angin dari segala arah, memiliki desain yang lebih sederhana, serta lebih adaptif di daerah perkotaan dengan turbulensi tinggi (Arief et al., 2020).

Dalam sistem konversi energi angin, generator memegang peranan penting dalam mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Salah satu tipe generator yang banyak digunakan adalah *Brushless Direct Current* (BLDC) yang bekerja dengan prinsip magnet permanen. Generator BLDC dapat menghasilkan tegangan AC tiga fasa yang selanjutnya perlu diubah menjadi tegangan DC agar dapat dimanfaatkan lebih lanjut, misalnya untuk sistem penyimpanan energi maupun aplikasi beban DC. Proses penyearahan tegangan ini umumnya menggunakan rangkaian dioda penyearah (*diode rectifier*) yang sederhana, efisien, dan mudah diaplikasikan (Kumar et al., 2016).

Analisis tegangan keluaran setelah penyearahan dioda menjadi aspek penting dalam penelitian PLTB, karena kualitas tegangan DC yang dihasilkan akan memengaruhi efisiensi keseluruhan sistem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara kecepatan angin, putaran turbin, serta besar tegangan keluaran yang dihasilkan. Misalnya, (Arief et al., 2020) menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan angin secara signifikan meningkatkan daya yang dihasilkan oleh turbin sumbu vertikal.

Hal ini diperkuat oleh temuan (Christoffer, 2017), yang melakukan

simulasi PLTB berbasis turbin sumbu vertikal dengan generator magnet permanen dan penyearah dioda, di mana karakteristik keluaran listrik sangat dipengaruhi oleh variasi kecepatan angin dan beban.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merancang sebuah prototipe PLTB dengan turbin sumbu vertikal dan generator BLDC yang dilengkapi dengan penyearah dioda. Fokus penelitian diarahkan pada pengukuran tegangan keluaran DC setelah proses penyearahan untuk mengetahui hubungan antara variasi kecepatan angin dengan tegangan yang dihasilkan. Hasil pengukuran ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam evaluasi kinerja PLTB skala kecil serta mendukung pengembangan sistem energi terbarukan yang efisien dan aplikatif.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif, yaitu metode yang bertujuan untuk mendeskripsikan dan menganalisis fenomena secara faktual dan sistematis tanpa manipulasi variabel. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan penelitian untuk menggambarkan secara rinci proses perancangan dan pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebagai media pembelajaran.

Tahapan penelitian meliputi perancangan alat dengan mendefinisikan komponen utama dan prinsip kerja, pengumpulan data melalui studi literatur serta observasi pendukung, instalasi sistem yang mencakup perakitan komponen mekanik dan kelistrikan, hingga tahap pengujian untuk memastikan kinerja *prototipe* sesuai dengan tujuan pembelajaran.

Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai proses konversi energi angin menjadi energi

listrik serta potensi penerapannya dalam konteks pendidikan (Collins et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Teknis Alat

Spesifikasi teknis menjelaskan seluruh komponen yang digunakan pada alat ini beserta karakteristik utamanya. Setiap komponen dipilih berdasarkan kemudahan pencarian di pasaran, kestabilan kerja, dan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran. Berikut ini adalah spesifikasi dari masing-masing bagian alat:

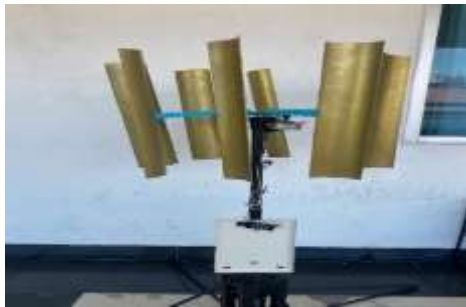
1. Turbin Angin: sistem turbin yang digunakan adalah turbin angin jenis vertikal Darius yang memiliki 8 bilah. Setiap bilah memiliki panjang 40 cm, dan dirancang agar mampu menangkap angin dari berbagai arah.
2. BLDC: Untuk mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik, digunakan motor BLDC (*Brushless DC*) berukuran 61x21 mm dengan *output* maksimum 22,5 Volt DC. Motor jenis ini dipilih karena efisien dan memiliki performa yang baik pada kecepatan putaran rendah.
3. Rangka penyangga: dibuat menggunakan bahan plastik yang ringan namun cukup kokoh untuk menopang seluruh sistem. Rangka ini memiliki tinggi sekitar 16 cm, disesuaikan dengan skala alat peraga dan mobilitas di dalam ruang praktikum.
4. Dioda: untuk mengubah arus bolak-balik (AC) dari *output* BLDC menjadi arus searah (DC), digunakan rangkaian penyearah dengan 6 buah dioda yang disusun dalam bentuk jembatan penyearah tiga fasa. Hal ini memastikan keluaran tegangan DC yang stabil.

Desain Fisik dan Tata Letak

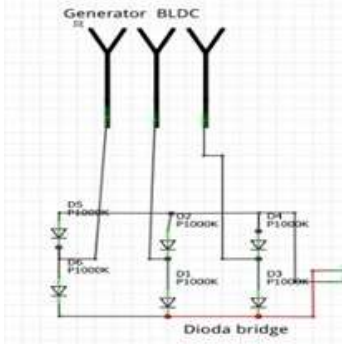
Desain fisik alat Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini dibuat dengan mempertimbangkan kemudahan penggunaan, efisiensi ruang, serta keamanan dalam lingkungan laboratorium. Tata letak tiap komponen dirancang agar aliran energi dari turbin ke baterai berjalan secara sistematis dan mudah diamati saat praktikum.

Desain fisik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini dibuat sederhana namun tetap memperhatikan aspek efisiensi, kestabilan, dan kemudahan praktikum. Susunan komponen dibuat vertikal untuk meniru prinsip kerja pembangkit bayu skala nyata sekaligus memanfaatkan ruang secara optimal. Pada bagian atas dipasang turbin angin vertikal tipe Darius dengan delapan bilah sepanjang 40 cm yang mampu menangkap angin dari berbagai arah serta tetap berputar pada kecepatan rendah. Tepat di bawahnya terpasang generator BLDC berukuran 61x21 mm yang dihubungkan langsung ke poros turbin melalui kopling sederhana, sehingga energi mekanik dari turbin dapat ditransmisikan secara efektif tanpa banyak kehilangan daya.

Seluruh sistem ditopang oleh rangka penyangga berbahan plastik setinggi 16 cm yang ringan, kuat, mudah dibentuk, serta tidak mudah korosi, sehingga sesuai untuk skala peraga pembelajaran. Di dekat generator dipasang rangkaian penyearah dengan enam dioda yang berfungsi mengubah keluaran AC menjadi DC. Penempatan ini juga bertujuan meminimalkan rugi daya akibat resistansi kabel sehingga hasil keluaran tegangan DC menjadi lebih stabil dan akurat untuk kegiatan pengukuran maupun analisis.



Gambar 1 Desain Fisik Alat



Gambar 2 Wiring Alat

Pengujian Sistem

1. Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tegangan yang dihasilkan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan angin terhadap tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil. Hal ini penting karena kinerja generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran turbin yang bergantung pada kecepatan angin. Dalam pengujian digunakan dua alat utama, yaitu

anemometer digital untuk mengukur kecepatan angin (m/s) dan multimeter digital untuk mencatat output listrik dari generator berupa tegangan (*Volt*). Data yang diperoleh kemudian dianalisis guna mengetahui hubungan antara kecepatan angin dan keluaran listrik.

Selain itu, dilakukan pula pengujian tegangan keluaran tiga fasa dari generator BLDC (*Brushless Direct Current*) untuk mengetahui besarnya tegangan AC pada berbagai variasi kecepatan angin. Tegangan yang diukur merupakan tegangan antar fasa (*line-to-line voltage*) dari fasa R, S, dan T. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan multimeter digital dengan menghubungkan probe ke terminal keluaran generator BLDC sebelum masuk ke penyearah enam dioda. Dengan metode ini diperoleh data murni berupa tegangan AC tiga fasa tanpa pengaruh proses penyearahan atau konversi.

Metode pengukuran langsung ini juga mempermudah pengamatan terhadap perubahan tegangan akibat variasi kecepatan angin sehingga hubungan antara besar tegangan keluaran dengan kecepatan aliran angin dapat dianalisis lebih akurat. Hasil pengujian keluaran tegangan AC tiga fasa dari generator BLDC ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Tegangan 3 Fasa Keluaran BLDC

No	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan R-S (VAC)	Tegangan S-T (VAC)	Tegangan T-R (VAC)
1	1.60	0.50	0.50	0.50
2	1.70	0.53	0.53	0.53
3	1.75	0.56	0.56	0.56
4	1.8	0.60	0.60	0.60
5	1.9	0.63	0.63	0.63
6	2.0	0.70	0.70	0.70
7	2.1	0.73	0.73	0.73

8	2.3	0.78	0.78	0.78
9	2.5	0.83	0.83	0.83
10	2.7	0.87	0.87	0.87
11	2.9	0.91	0.91	0.91
12	3.1	0.94	0.94	0.94
13	3.4	0.97	0.97	0.97
14	3.7	0.99	0.99	0.99
15	4.1	1.1	1.1	1.1

Berdasarkan data pada Tabel 1, terlihat bahwa nilai tegangan AC tiga fasa yang dihasilkan oleh generator BLDC meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa putaran rotor BLDC yang semakin cepat akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) yang lebih besar sesuai dengan prinsip hukum Faraday.

2. Pengujian Tegangan Keluaran Generator Setelah Melewati Dioda

Pengujian tegangan keluaran setelah melewati rangkaian penyearah dioda bertujuan mengetahui besarnya nilai tegangan DC yang dihasilkan oleh generator BLDC setelah proses penyearahan dari tegangan AC tiga fasa. Generator BLDC yang berputar akibat energi mekanik angin menghasilkan tegangan AC tiga fasa pada terminal keluarannya, yang kemudian dialirkan ke rangkaian penyearah enam dioda. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip penyearah gelombang penuh tiga fasa, di mana setiap pasangan dioda mengalirkan arus sesuai polaritas tegangan sehingga sinyal AC tiga fasa dapat diubah menjadi tegangan DC. Dengan demikian, energi listrik hasil konversi turbin angin dapat diaplikasikan pada sistem nyata.

Pengukuran dilakukan langsung pada terminal keluaran penyearah menggunakan multimeter digital. Metode ini dipilih karena mudah, praktis, serta mampu memberikan tingkat akurasi yang memadai untuk penelitian skala laboratorium. Data hasil pengukuran dicatat secara sistematis berdasarkan

variasi kecepatan angin, kemudian disusun dalam tabel untuk memudahkan analisis.

Hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan angin, semakin tinggi pula tegangan DC yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa proses penyearahan bekerja dengan baik dalam mengubah tegangan AC tiga fasa menjadi tegangan DC.

Tabel 2 Tegangan DC Setelah Melewati Dioda

No	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (VDC)
1	1.60	0.50
2	1.70	0.53
3	1.75	0.56
4	1.8	0.60
5	1.9	0.63
6	2.0	0.70
7	2.1	0.73
8	2.3	0.78
9	2.5	0.83
10	2.7	0.87
11	2.9	0.91
12	3.1	0.94
13	3.4	0.97
14	3.7	0.99
15	4.1	1.1

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian, prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

berbasis turbin vertikal berhasil dibuat dengan komponen utama berupa turbin angin tipe Darius, generator BLDC, rangka penyangga, dan penyearah tiga fasa. Alat ini bekerja dengan prinsip konversi energi, di mana energi angin menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator BLDC. Tegangan tiga fasa (AC) yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi tegangan DC melalui rangkaian penyearah berbasis enam dioda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, semakin tinggi pula tegangan DC keluaran yang dihasilkan. Secara keseluruhan, prototipe ini telah berfungsi sesuai tujuan, yakni sebagai media pengukuran tegangan keluaran serta gambaran nyata proses konversi energi angin menjadi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

Arief, A., Siregar, I. M., & Suwarno, S. (2020). Analisa Regresi Kecepatan

Angin Terhadap Daya Turbin Angin VAWT Dengan Variasi Sudut - Sudut. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 16(2), 89–96.

Christoffer, F. (2017). Simulations of Vertical Axis Wind Turbines With PMSG and Diode Rectifier. *Energy Procedia*, 1085–1091.

Collins, C. S., Onwuegbuzie, A. J., & Jiao, Q. G. (2021). Descriptive Research: Theoretical and Methodological Considerations. *International Journal of Education Research Methodology*, 45(3), 112–125.

Kumar, D., Fernandes, B. G., & Agarwal, V. (2016). Voltage Regulation of Small-Scale Wind Energy Conversion System Using BLDC Generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 31(2), 581–591.

Wulandari, R., Nugroho, A., & Putra, I. (2023). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil Menggunakan Turbin Sumbu Vertikal. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 12(1), 45–53