



Vertical Wind Turbine Coupled with Modified Synchronous Generator for Portable Power Generation

Agus Ulinuha[✉], M. Burhanduin Ubaidillah

Department of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

[✉] agus.ulnuha@ums.ac.id

^{doi} <https://doi.org/10.53017/uje.106>

Received: 10/08/2021

Revised: 23/09/2021

Accepted: 28/09/2021

Abstract

Coastal region normally has sufficient wind power that has not been properly utilized. On the other hand, some places in this region do not have electricity supply from the utility due to some reason. People activity in these areas may need some electricity at least for lighting the area in the evening. For the purpose of generating electricity, a portable power generation is developed to use the wind power and used to supply the power for the light. Wind power plants have so far used propellers with horizontal configurations. In this model, the blades used in propellers have limited dimensions due to mechanical considerations. In addition, the direction of the propeller needs to be directed toward the wind flow, so that a steering wheel and a rotating base are required. To overcome this problem, it is necessary to utilize a number of wind impulse blades placed on the vertical axis. In addition to the expectation to obtain greater thrust, no mechanical equipment is necessary to direct the turbine toward the direction of wind flow. These advantages are expected to increase the output voltage of the generator coupled to it. The generator used in this research is a modified induction motor with some additional magnetic poles to become synchronous generator. The generated power is used to charge a battery which is used to power the light at the night. Small scale generator prototype was developed and tested for coastal locations or other open spaces to obtain wind flow with sufficient power to drive turbine blades.

Keywords: Coastal region; Generator; Vertical Configuration; Wind flow; Wind turbine

Turbin Angin Vertikal Terkopel Generator Sinkron Termodifikasi untuk Pembangkitan Daya Portabel

Abstrak

Daerah pesisir secara umum memiliki tiupan angin yang cukup yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan daya listrik. Aktifitas di area ini seringkali membutuhkan daya listrik untuk kebutuhan penerangan pada malam hari. Untuk keperluan ini, perlu dikembangkan pembangkit daya listrik portabel dengan memanfaatkan tenaga angin. Pembangkit daya tenaga angin sejauh ini dikonstruksi dengan konfigurasi horizontal. Konstruksi ini memiliki kelemahan mekanis serta perlunya dudukan putar untuk mengarahkan turbin menghadap arah angin. Untuk mengatasi kelemahan ini, perlu dikonstruksi turbin angin konfigurasi vertikal yang membutuhkan konstruksi mekanis yang lebih sederhana serta tidak membutuhkan piranti mekanis untuk mengarahkan turbin menghadap arah angin. Generator yang dimanfaatkan merupakan modifikasi motor induksi 1 fasa dengan menambahkan strip magnetik pada *outer rotor* yang merupakan bagian dilekatkannya bilah turbin. Energi yang dibangkitkan generator disimpan pada baterai. Tegangan yang dibangkitkan dinaikkan sehingga memungkinkan arus mengalir dari generator ke baterai. Energi yang tersimpan pada baterai dimanfaatkan untuk menyalakan lampu pada malam hari. Prototipe sistem ini telah diuji pada lokasi pantai, namun dimungkinkan untuk dioperasikan pada tempat terbuka lainnya. Pengembangan skala besar juga dimungkinkan berbasis prototipe ini.

Kata kunci: Lokasi pantai; Generator; Konfigurasi vertikal; Tenaga angin

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi terbarukan pada saat ini mulai dikembangkan untuk mendampingi penggunaan bahan bakar fosil yang cadangannya mulai menipis. Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pengembangan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Energi terbarukan yang sekarang ini memiliki potensi sangat besar untuk dikembangkan adalah energi angin [1]. Energi angin merupakan energi yang bersih serta tidak mencemari lingkungan sekitar karena sifatnya tidak terlihat. Berdasarkan asumsi bahwa kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah Indonesia adalah sekitar 3 – 7 m/det, maka simulasi angin pada pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin mempunyai batasan variabel kecepatan angin yaitu 3 m/s – 7 m/s [2]. Energi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang hari serta cukup untuk bisa diterapkan di daerah pantai dan jalan tol untuk skala kecil maupun besar.

Generator merupakan komponen penting dalam pembangkitan daya listrik yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Harga yang mahal menjadi kendala dalam pemanfaatan generator dalam pembangkitan daya dari energi terbarukan ini. Skema yang hampir sama dengan motor induksi membuat motor induksi dapat dimanfaatkan menjadi generator sinkron. Motor induksi dijadikan sebagai alternatif untuk dimodifikasi menjadi generator sinkron dengan menambahkan medan magnet pada rotor agar bisa membangkitkan fluks yang memungkinkan pembangkitan tegangan dengan torsi mekanik yang ringan. Torsi yang ringan ini akan memungkinkan energi angin memutar kincir.

Indonesia mempunyai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) pertama di Kecamatan Pulu Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan, dengan menggunakan baling-baling konfigurasi horisontal [3]. Ada beberapa kekurangan dalam penggunaan baling-baling konfigurasi horizontal, yaitu harus mencari letak posisi arah angin berhembus, sehingga kurang optimal jika digunakan untuk arah angin yang berbeda. Salah satu bentuk baling-baling yang memungkinkan mendapatkan energi angin dari beberapa arah adalah menggunakan baling-baling konfigurasi vertikal [4]. Turbin vertikal dikopel dengan generator dengan rotor sisi luar (*outer rotor*). Keuntungan dari penempatan rotor sisi luar adalah baling-baling dapat langsung tersambung dengan generator tanpa perantara *pully* atau *gearbox* [5]. Generator dan komponen lainnya dapat ditempatkan dengan ketinggian yang relatif rendah, sehingga kontroller pada tower dapat langsung diperbaiki bila terjadi kerusakan pada sistem pengendaliannya.

Riset ini difokuskan untuk pembangkit skala *prototipe* dengan memodifikasi motor induksi 1 fasa menjadi generator sinkron dengan menambah medan magnet yang mengelilingi stator. Energi angin dimanfaatkan untuk memutar bilah turbin dan putaran tersebut akan menghasilkan tegangan yang disimpan pada batere. Energi yang sudah disimpan di batere digunakan untuk menyalakan lampu penerangan pada malam hari. Riset ini merupakan prototipe skala kecil yang dapat ditingkatkan pada pembuatan pembangkit listrik tenaga angin berskala besar. Pemanfaatan sistem portabel ini akan membantu penyediaan energi yang dimanfaatkan untuk penerangan pada tempat yang diperlukan.

2. Literatur Review

Kebutuhan bahan bakar fosil pada saat ini cenderung meningkat seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik. Hal ini karena pembangkitan energi listrik secara dominan menggunakan bahan bakar fosil. Jika tren ini berlanjut, maka pasokan energi untuk masa yang akan datang akan kehabisan sumber energi. Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik

dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang, dan Korea Selatan. Pertumbuhan PDB yang tinggi, mencapai rata-rata 6,04% per tahun selama periode 2017-2050, diperkirakan akan semakin mendorong peningkatan kebutuhan energi Indonesia pada masa yang akan datang. Hal ini menyebabkan peran Indonesia dalam pasar energi dunia dan dalam upaya penurunan emisi rumah kaca global bertambah signifikan [6].

Hal ini menjadi perhatian untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan dalam menjawab permasalahan tersebut. Penggunaan energi terbarukan untuk membangkitkan listrik belum mengambil bagian besar di dunia. Meskipun data akurat mungkin tidak tersedia, diakui terdapat peningkatan tren global dalam menggunakan energi terbarukan untuk pembangkit listrik. Estimasi menggunakan energi terbarukan pada 2040 akan menjadi hampir 25%. Indonesia kaya akan sumber daya alam yang berpotensi untuk dijadikan energi terbarukan [7]. Pemerintah sudah mendorong pemanfaatan potensi energi terbarukan (ET) sebagai pembangkit listrik yang diatur dalam Permen ESDM No. 12 Tahun 2017 dan sebagai bahan bakar sesuai Permen ESDM No. 12 Tahun 2015.

Energi angin merupakan contoh dari energi yang dapat dimanfaatkan untuk dijadikan energi terbarukan, karena energi ini ramah lingkungan serta bersih dari polusi. Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi mekanik angin menjadi energi listrik. Komponen utama sistem pembangkitan ini adalah generator. Dengan generator tersebut maka dapat dihasilkan arus listrik dari putaran sudu turbin yang bergerak karena hembusan angin. Untuk menggerakkan turbin agar bisa berputar, harus memiliki kecepatan angin minimal 2 m/det dan untuk menghasilkan listrik yang stabil sesuai kapasitas generatornya rata-rata 6-10 m/det [8].

Turbin angin sumbu vertikal atau *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin. Dengan demikian, rotor dapat berputar pada semua arah angin. VAWT juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan Turbin angin sumbu horizontal atau *Horizontal axis Wind Turbine* (HAWT) [9].

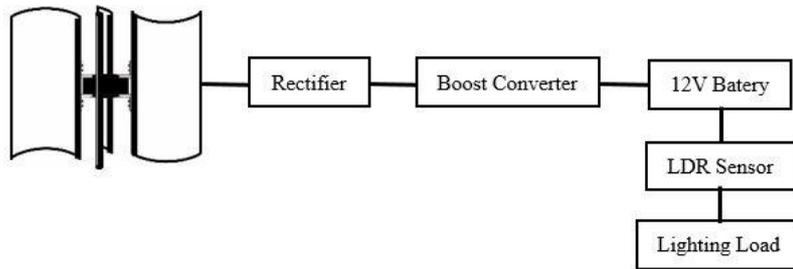
Putaran yang dihasilkan turbin dimanfaatkan generator untuk membangkitkan daya. Generator memiliki komponen stator dan rotor. Dalam riset ini, stator dikonstruksi dari sejumlah lilitan konduktor yang dibentuk dan disusun sedemikian rupa sesuai desain generator yang diinginkan. Jumlah kumparan pada stator tergantung banyaknya fasa yang diinginkan dan daya yang dihasilkan. Rotor merupakan elemen yang berputar mengelilingi stator yang terdiri sejumlah komponen magnetik. Besarnya medan magnet pada rotor akan memperbesar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Tahap selanjutnya setelah kincir yang sudah terkopel dengan generator adalah mengontrol tegangan keluaran dari generator dapat dimanfaatkan untuk memasok energi ke baterai yang akan dimanfaatkan untuk penerangan. Diperlukan sistem kendali untuk menyimpan dan mengeluarkan energi secara efisien.

Penerapan energi terbarukan ini akan bermanfaat karena biaya yang dikeluarkan cukup ekonomis dan bermanfaat dalam jangka panjang serta dengan perbaikan yang mudah dan cepat. Pada sisi lain ketersediaan sumber daya energi terbarukan yang cukup melimpah perlu untuk dimulai dengan memanfaatkan sumber energi tersebut untuk pembangkit

listrik, meskipun pada beban listrik skala kecil dan menengah. Makalah ini menyajikan pembangkit listrik tenaga angin konfigurasi vertikal untuk penerangan pada malam hari.

3. Metode

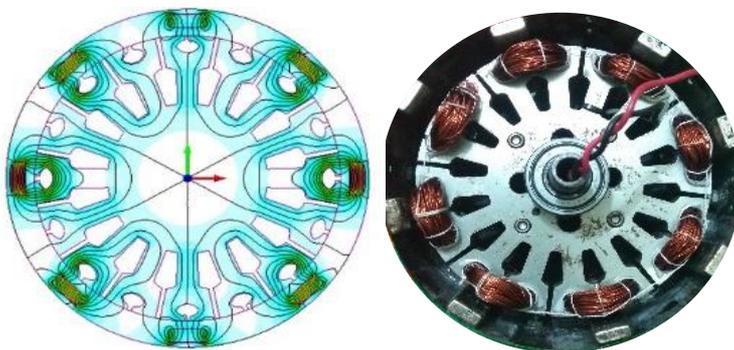
Pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan bilah vertikal dilakukan meliputi beberapa tahapan, dari mulai desain bilah untuk menghasilkan putaran yang maksimal saat terkena angin, modifikasi motor induksi 1 fasa menjadi generator sinkron, pembuatan kontroler yang dapat mengisi batere dengan efisien dan dapat digunakan untuk penerangan pada malam hari. Skema tersebut dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Skema Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin Konfigurasi Vertikal

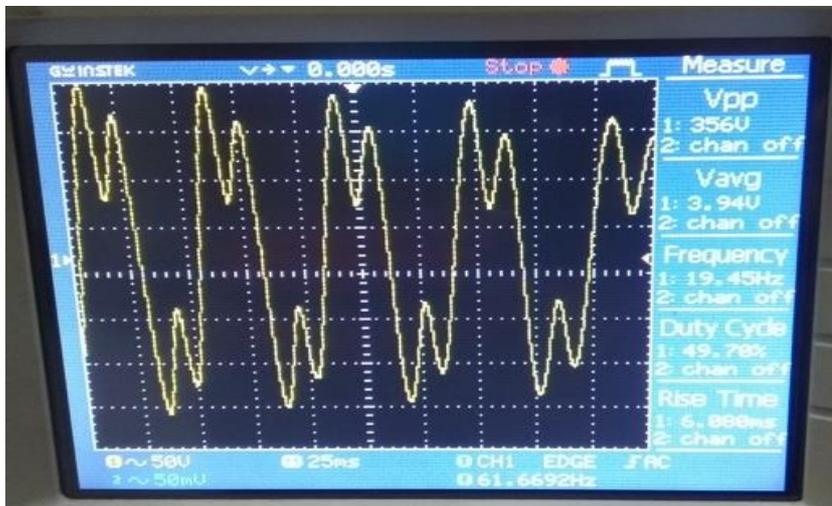
Sudut kincir yang tepat dengan sudut melengkung 12-17 derajat akan memudahkan kincir dapat berputar maksimal dan tidak memberatkan generator itu sendiri. Perlu adanya kreatifitas dalam proses pengembangan generator sinkron salah satunya dengan memanfaatkan motor induksi yang sudah mempunyai konstruksi yang tepat untuk dapat dimodifikasi menjadi generator dengan cara menambahkan magnet di sekeliling stator.

Jenis magnet yang dipakai dalam memodifikasi motor induksi menjadi generator adalah *neodymium* (juga dikenal NdFeB, NIB atau Neo-Magnet). Kemudahan dalam pembuatan *scale up* generator magnet permanen sangat memudahkan dalam mendesain generator dengan kapasitas daya tertentu hanya dengan mengubah parameter seperti kekuatan fluks magnet, jumlah kumparan dan belitannya, jumlah magnet serta ukuran diameter kawat. Skema modifikasi generator dan hasil frekuensi yang di bangkitkan dapat dilihat pada [Gambar 2](#) dan [Gambar 3](#).



Gambar 2. Skema modifikasi motor induksi 1 fasa menjadi generator sinkron

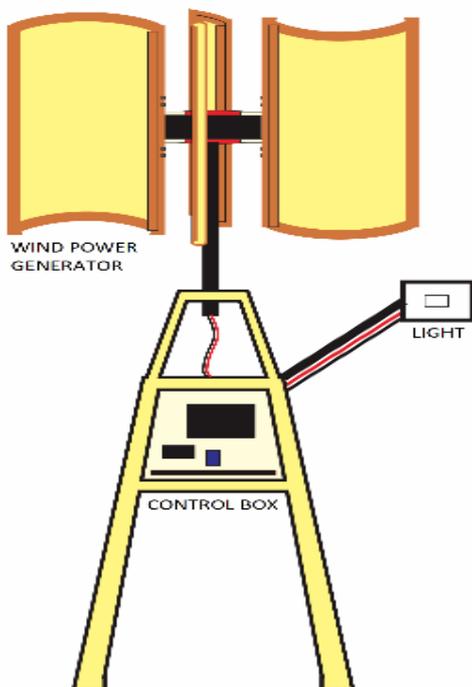
Siklus angin yang melimpah setiap hari akan mampu memutar kincir yang berbentuk vertikal yang terkopel generator dapat membangkitkan energi listrik untuk mengisi batere setiap saat. Rata-rata untuk kecepatan angin mencapai 4 sampai 7 m/s dengan ketinggian yang relatif rendah. Untuk sistem yang dikembangkan ini, pembangkit apat dipasang di pesisir pantai atau dipasang di tepi tol untuk keperluan penerangan. Desain prototipe dapat dilihat pada [Gambar 4](#)



Gambar 3. Frekuensi yang dihasilkan dari generator

Prototipe yang dikembangkan ini memanfaatkan motor induksi 1 fasa yang dimodifikasi menjadi generator sinkron dengan menambahkan magnet permanen pada rotor sebanyak 8 kutub. Ouput dari generator ini berupa tegangan AC yang kemudian disearahkan menggunakan rectifier dengan komponen 2 dioda, 1 kapasitor, 1 resistor. Nilai tegangan ouput dari generatot diatur dengan memanfaatkan *boost converter*, sehingga arus mengalir dari generator ke batere untuk keperluan penyimpanan.

Energi yang tersimpan di batere akan dimanfaatkan lampu DC 10 W yang penyalanya dikendalikan oleh sensor LDR. Lampu tersebut dimanfaatkan sebagai penerangan saat malam hari. Baling-baling angin vertikal dengan 4 bilah yang digunakan pada sistem ini diletakkan pada dudukan 4 tiang penyangga setinggi 1,5 m. Sistem ini dapat digunakan secara portabel terutama untuk lokasi terbuka. Sistem real ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Skema Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin Konfigurasi Vertikal



Gambar 5. Skema Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin Konfigurasi Vertikal

4. Hasil dan Pembahasan

Sistem sebagaimana [Gambar 5](#) dioperasikan dan dilakukan pengukuran/pengujian secara real. Pengukuran dilakukan mulai jam 09.30-15.00 di lokasi Parang Tritis. Kecepatan angin pada siang dan malam hari cukup tinggi. Pada [Tabel 1](#) ditunjukkan hasil pengukuran generator tanpa beban. Kecepatan angin berkorelasi dengan tegangan yang dihasilkan, semakin tinggi kecepatan, semakin besar tegangan. Pada jam 09.30 sampai 10.30 ketika tegangan dibawah 3 volt *boost converter* tidak mampu menaikkan tegangan keluaran generator menjadi minimal 12 Volt. Oleh karena itu, proses pengisian energi ke batere tidak dapat dilakukan.

Tabel 1. Pengukuran generator tanpa beban

Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Input (v)	Tegangan <i>Boost Converter</i> (v)
09.30	1	1,7	-
10.30	3	2,2	-
11.30	5,5	3	15,2
12.30	5,2	2,5	12,5
13.00	6	2,8	12,8
13.30	8,3	3,8	18,4
14.00	7,7	3,2	15,6
14.15	7,3	2,9	15
14.45	7,8	3	15
15.00	5,3	2,7	11,2

Hasil dari pengukuran pada [Tabel 2](#) menunjukkan tegangan generator dengan beban lampu atau mengisi batere. [Tabel 2](#) menunjukkan bahwa tegangan sudah cukup untuk mengisi batere. Tegangan minimal pengisian batere harus diatas 12 volt. Hal ini menegaskan bahwa modifikasi dengan pemasangan magnet permanen dan perubahan jumlah lilitan tembaga pada generator memungkinkan generator membangkitkan tegangan yang cukup untuk kecepatan rendah. Pengaturan nilai tegangan memegang peran penting yang memungkinkan arus yang mengalir dari generator ke batere. Adapun faktor penyebab tegangan input kecil adalah diameter dari rotor yang cukup besar sehingga menyebabkan jarak antar magnet permanent sedikit berjauhan.

Tabel 2. Pengukuran generator dengan beban

Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Input (v)	Tegangan <i>Boost Converter</i> (v)	Arus (A)
11.30	6,5	3	13	0,05
12.30	5,2	2,5	12,6	0,04
13.00	6	2,8	13,11	0,07
13.30	8,5	3,8	14,6	0,15
14.00	7,7	3,2	13	0,09
14.15	6,3	2,9	13,4	0,1
14.45	8	3	14,5	0,11
15.00	6,3	2,7	13,3	0,08

Hasil pengukuran sebagaimana [Tabel 2](#) menunjukkan bahwa saat terbebani oleh batere, tegangan cenderung turun dan akan kembali naik saat kecepatan angin meningkat. Meskipun demikian, arus yang dihasilkan kecil karena tegangan output generator yang rendah dinaikkan dengan *boost converter* menjadi minimal 12V. Dengan demikian, arus yang alirkan ke batere cukup kecil meskipun dapat tetap memasok energi ke batere. Untuk sistem pembangkit yang beroperasi kontinyu, pasokan energi ke batere cukup untuk mensuplai beban lampu sepanjang malam. Untuk mengetahui kinerja pengisian sumber batere 12V/6Ah, digunakan persamaan sebagai berikut [\[10\]](#):

$$h = \frac{Ah}{A} + \text{Defisiensi Batere } 20\% \quad (1)$$

dengan:

h : lama pengisian (jam)

Ah : Kapasitas batere

A : Arus Pengisian

Dengan demikian dapat diperhitungkan

$$h = \frac{6}{0,15} + \left(20\% \times \frac{6}{0,15}\right) \quad (2)$$

$$h = (40) + (0,2 \times 40)$$

$$h = 48 \text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil sebagaimana diuraikan sebelumnya, dapat diperoleh gambaran bahwa sistem yang dikembangkan merupakan prototipe sistem dengan skala kecil dengan nilai pembangkitan daya yang juga kecil. Meskipun demikian pembangkitan daya yang bersifat kontinyu memungkinkan generator memasok energi ke batere sedemikian, sehingga dapat dimanfaatkan untuk meyalakan lampu dalam durasi yang cukup. Sistem yang bersifat portabel merupakan keuntungan lain yang memungkinkan penempatan pada lokasi berbeda untuk membangkitkan daya yang memberi penerangan pada malam hari. Sistem yang dikembangkan ini dimungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut baik untuk dimensi yang lebih besar maupun duplikasinya untuk jumlah yang lebih banyak.

5. Kesimpulan

Desain dan implementasi prototipe pembangkit listrik tenaga angin konfigurasi vertikal berskala kecil sebagaimana disajikan dalam makalah ini telah dilakukan dan hasil hasil pengujian juga telah diperoleh. Dari pengoperasian sistem dan hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin konfigurasi vertikal tipe *prototipe* ini mampu memutar generator dengan output tegangan AC yang diubah menjadi tegangan DC menggunakan *rectifier*,
- 2) Generator yang dimanfaatkan dalam sistem ini direkonstruksi dari motor induksi 1 fasa dengan menambahkan strip magnetik pada *outer rotor* yang padanya ditempatkan bilah turbin untuk memutar rotor dengan kebutuhan torsi rendah,
- 3) Pembangkit ini dapat dimanfaatkan untuk penerangan pada jalan tol di bagian tengah karena jalur kanan kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi namun dapat juga digunakan di pesisir pantai yang memiliki kecepatan angin yang relatif stabil,
- 4) Pembangkit ini perlu adanya perbaikan dalam pembuatan bahan bilah dan model pengkopelan generator dengan bilah tersebut agar putaran yang dihasilkan efektif sehingga tidak saling mendorong saat ada angin pada salah satu sisi bilah,
- 5) Pemanfaatan *boost converter* dalam menaikkan tegangan input generator perlu dikendalikan dengan baik agar tegangan yang di keluarkan untuk mengisi batere cukup stabil,
- 6) Beban yang dipasok oleh sistem ini dapat beroperasi berkelanjutan dan cocok untuk penerangan pada malam hari saat dipakai di daerah yang belum mendapatkan pasokan listrik.

Referensi

- [1] S. N. Akour, M. Al-Heydari, T. Ahmed, and K. A. Khalil, "Experimental and theoretical investigation of micro wind turbine for low wind speed regions," *Renew. Energy*, vol.

- 116, pp. 215–223, 2018.
- [2] S. Martosaputro and N. Murti, “Blowing the Wind Energy in Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 273–282, Jan. 2014.
 - [3] W. S. A. WS, A. AR, and Y. Nantan, “Studi Kestabilan Tegangan dengan Masuknya PLTB Pada Sistem Interkoneksi Sulsebar,” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 17, no. 2, pp. 36–41, May 2020.
 - [4] M. K. Johari and A. F. Abdelgawad, “Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT),” *Int. J. Eng. Technol.*, pp. 2227–524, 2018.
 - [5] H. A. Lari, A. Kiyoumars, A. Darijani, B. Mirzaeian Dehkordi, and S. M. Madani, “Analysis and Design of a Permanent-Magnet Outer-Rotor Synchronous Generator for a Direct-Drive Vertical-Axis Wind Turbine,” *Iran. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 324–332, Dec. 2014.
 - [6] A. Sugiyono, P. Teknologi, S. Energi, I. Kimia, B. Pengkajian, and P. Teknologi, “outlook energi indonesia 2015-2035: prospek energi baru terbarukan Indonesia Energy Outlook 2015-2035: New and Renewable Energy Prospect.”
 - [7] F. Birol and M. Argiri, “World energy prospects to 2020,” *Energy*, vol. 24, no. 11, pp. 905–918, Nov. 1999.
 - [8] R. Nanang, G. Gunarto, and E. Sarwono, “study eksperimental berbagai macam jenis sudu turbin angin sumbu horisontal skala laboratorium,” UM Pontianak, Mar. 2016.
 - [9] Y. I. Nakhoda and C. Saleh, “Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, 2015.
 - [10] I. Susanti, “analisa penentuan kapasitas baterai dan pengisiannya pada mobil listrik,” *J. Elektra*, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, Jul. 2019.



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