

RANCANG BANGUN SISTEM PLTB MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN TAHAN CUACA EKSTREM UNTUK OPTIMALISASI ENERGI TERBARUKAN DI KAPAL

Shodiq Dhiya'ulhaq Khosyi*

Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal,
Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Edi Kurniawan

Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal,
Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Elly Kusumawati

Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal,
Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Info Artikel

Catatan Artikel:

Diterima: 13 Juli 2026

Revisi: 18 Juli 2026

Disetujui: 25 Juli 2026

DoI : 10.21009/jvote.v9i1.70480



Kata Kunci:

Energi Terbarukan Pembangkit
Listrik Tenaga Banyu
Kapal Generator DC.
Turbin Angin Archimedes

Abstrak

Kebutuhan energi listrik pada kapal yang terus meningkat mendorong pengembangan sumber energi terbarukan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan turbin angin tipe Archimedes sebagai sumber energi pendukung pada sistem kelistrikan kapal. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang meliputi tahap perancangan, pembuatan prototipe, serta pengujian statis dan dinamis. Prototipe terdiri atas turbin angin Archimedes, generator DC, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO₄, *inverter*, modul step-down, dan sistem *monitoring* berbasis ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa generator DC menghasilkan tegangan maksimum sebesar 13,9 V dengan arus pengisian sebesar 17,6 mA pada putaran 1.199,1 rpm. Pada pengujian dinamis, posisi angin dari arah kiri depan menghasilkan kinerja terbaik dengan arus pengisian 17,7 mA dan tegangan pengisian 5,7 V, sedangkan arah angin dari belakang tidak menghasilkan keluaran listrik. Pengujian lapangan menunjukkan bahwa lokasi tanpa hambatan bangunan menghasilkan pengisian yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan dengan lokasi yang terhalang bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin angin tipe Archimedes berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan pendukung sistem kelistrikan kapal, dengan kinerja yang dipengaruhi oleh arah datang angin dan kondisi lingkungan.

Artikel : Shodiq Dhiya'ulhaq Khosyi' (2026). Desain Pengembangan Sistem Monitoring Kedalaman Perairan Berbasis Usv. *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika*, 9(1), 11-19

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik pada sektor maritim mendorong pengembangan sumber energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Hingga saat ini, sebagian besar sistem kelistrikan kapal masih bergantung pada generator berbahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas rumah kaca serta memiliki keterbatasan ketersediaan bahan bakar. Salah satu alternatif yang berpotensi dikembangkan sebagai sumber energi pendukung adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Energi angin memiliki potensi yang cukup besar di wilayah perairan karena ketersediaannya yang melimpah dan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar pada sistem kelistrikan kapal. Berbagai penelitian mengenai PLTB telah dilakukan menggunakan beragam jenis turbin angin. Lubis et al. melaporkan bahwa peningkatan putaran turbin berbanding lurus dengan kenaikan tegangan dan arus keluaran generator. Habibie et al. mengembangkan turbin angin sumbu vertikal berbahan *fiberglass* dengan efisiensi mencapai 50,7%, sedangkan Ali Fikri dan Robbi menunjukkan bahwa jumlah sudu memengaruhi daya keluaran turbin Savonius. Penelitian lain oleh Hidayat dan Hermawan mengembangkan turbin *hybrid Savonius-Darrieus* untuk pengisian akumulator. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin merupakan faktor utama yang memengaruhi performa pembangkit listrik tenaga bayu, namun kajian mengenai pengaruh arah datang angin dan kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin masih relatif terbatas.

Corresponding author:

Edi Kurniawan, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia (edi.kurniawan@poltekpel-sby.ac.id)

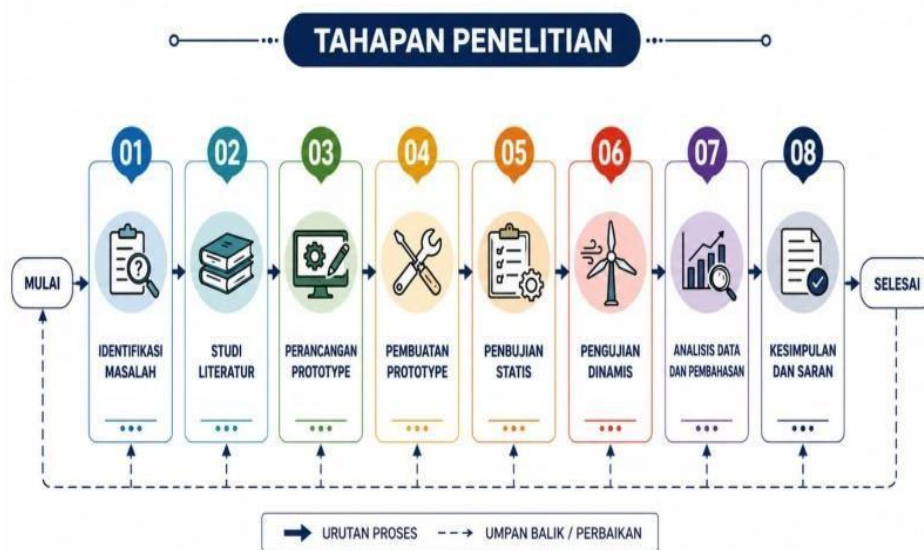
Turbin angin tipe Archimedes merupakan salah satu inovasi yang memiliki bentuk sudu spiral sehingga mampu menerima hembusan angin dari berbagai arah dengan lebih baik dibandingkan dengan beberapa turbin konvensional. Karakteristik tersebut menjadikan turbin Archimedes berpotensi diterapkan pada lingkungan maritim yang memiliki pola angin dinamis. Meskipun demikian, implementasi turbin Archimedes sebagai sumber energi pendukung pada kapal serta evaluasi kinerjanya pada kondisi angin ekstrem dan non-ekstrem masih belum banyak dilaporkan. Kondisi tersebut menjadi dasar perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik performa turbin pada berbagai kondisi operasional.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan turbin angin tipe Archimedes sebagai sumber energi pendukung sistem kelistrikan kapal. Evaluasi dilakukan melalui pengujian statis terhadap setiap komponen sistem serta pengujian dinamis pada berbagai arah datang angin dan kondisi lingkungan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik kinerja turbin Archimedes serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem energi terbarukan pada aplikasi kemaritiman.

METODE

Desain Penelitian

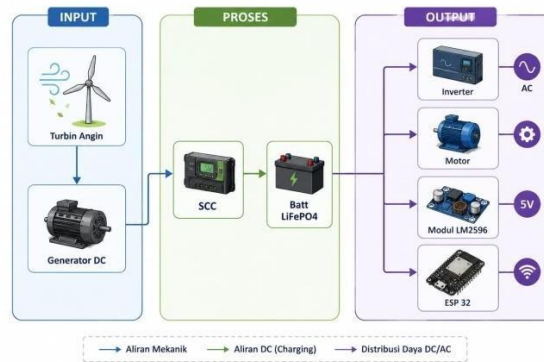
Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development/R&D*) yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan turbin angin tipe Archimedes sebagai sumber energi alternatif pendukung sistem kelistrikan kapal. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan sistem, studi literatur, perancangan prototipe, pembuatan alat, pengujian, analisis data, serta evaluasi kinerja sistem. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Perancangan Sistem

Prototype PLTB terdiri atas turbin angin tipe Archimedes, generator DC 12 V, Solar Charge Controller (SCC), baterai LiFePO₄, inverter, modul step-down LM2596, dan mikrokontroler ESP32 sebagai sistem monitoring. Turbin angin berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang diteruskan ke generator DC untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan kemudian diatur oleh SCC sebelum disimpan pada baterai LiFePO₄. Selanjutnya, inverter mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sebagai sumber daya beban, sedangkan modul step-down menyediakan tegangan 5 V untuk menyuplai ESP32. Konfigurasi sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem PLTB

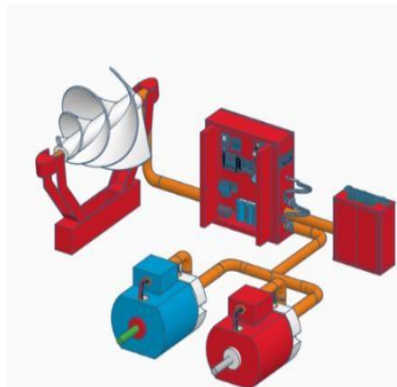
Prosedur Pengujian

Pengujian prototipe dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pengujian statis dan pengujian dinamis. Pengujian statis bertujuan untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang, meliputi generator DC, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO4, *inverter*, indikator kapasitas baterai, dan modul step-down. Parameter yang diamati meliputi tegangan keluaran, arus pengisian, serta kestabilan kerja masing-masing komponen. Pengujian dinamis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menghasilkan energi listrik akibat hembusan angin. Pengujian ekstrem menggunakan kipas angin dengan variasi arah datang angin dari depan, kiri depan, kanan depan, kanan belakang, kiri belakang, dan belakang. Parameter yang diukur meliputi kecepatan angin, tegangan pengisian, dan arus pengisian menggunakan anemometer serta multimeter digital. Selanjutnya dilakukan pengujian non-ekstrem menggunakan angin alami pada dua kondisi lingkungan, yaitu lokasi yang terhalang bangunan dan lokasi terbuka tanpa hambatan, untuk mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa prototipe PLTB.

HASIL DAN DISKUSI

Pengujian Statis

Pengujian statis dilakukan untuk memastikan seluruh komponen pada prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) bekerja sesuai dengan rancangan sebelum dilakukan pengujian dinamis. Komponen yang diuji meliputi generator DC, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO4, *inverter*, indikator kapasitas baterai, dan modul step-down. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen mampu beroperasi dengan baik sehingga sistem dapat digunakan pada tahap pengujian selanjutnya. Prototipe PLTB yang telah direalisasikan ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem terdiri atas turbin angin tipe Archimedes yang dihubungkan dengan generator DC sebagai pembangkit energi listrik. Energi listrik hasil konversi kemudian disalurkan menuju *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur proses pengisian baterai LiFePO4. Energi yang tersimpan pada baterai selanjutnya dikonversi menjadi tegangan AC menggunakan *inverter*, sedangkan modul step-down digunakan sebagai catu daya sistem *monitoring* berbasis ESP32.



Gambar 3. Prototipe sistem PLTB

Pengujian Generator DC

Pengujian generator DC dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kecepatan putaran generator terhadap tegangan dan arus pengisian yang dihasilkan. Pengujian dilakukan menggunakan bor listrik sebagai penggerak sehingga putaran generator dapat divariasikan secara bertahap. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Generator DC

No	RPM	Arus Pengisian (mA)	Tegangan Pengisian (VDC)
1	486,7	13,9 mA	9,7 V
2	700,0	15,2 mA	11,8 V
3	1199,1	17,6 mA	13,9 V

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan putaran generator memberikan pengaruh langsung terhadap kenaikan tegangan dan arus pengisian. Pada putaran 486,7 rpm generator menghasilkan tegangan sebesar 9,7 V dengan arus pengisian sebesar 13,9 mA. Ketika putaran meningkat menjadi 700 rpm, tegangan dan arus bertambah menjadi 11,8 V dan 15,2 mA. Nilai maksimum diperoleh pada putaran 1.199,1 rpm dengan tegangan sebesar 13,9 V dan arus pengisian sebesar 17,6 mA. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran rotor, semakin besar gaya gerak listrik (GGL) yang dihasilkan oleh generator sehingga meningkatkan tegangan dan arus keluaran. Karakteristik ini sesuai dengan prinsip induksi elektromagnetik, di mana tegangan induksi berbanding lurus dengan kecepatan perubahan fluks magnetik pada kumparan generator. Dengan demikian, generator DC mampu bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dirancang dan layak digunakan sebagai sumber pembangkit energi listrik pada prototipe PLTB. Secara keseluruhan, pengujian statis menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem mampu bekerja sesuai fungsi masing-masing dan saling terintegrasi dengan baik. Keberhasilan pengujian ini menjadi dasar bahwa prototype telah memenuhi persyaratan operasional untuk dilakukan pengujian dinamis pada berbagai kondisi kecepatan dan arah datang angin.

Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dalam mengonversi energi angin menjadi energi listrik pada berbagai kondisi operasional. Pengujian dilakukan melalui dua skenario, yaitu pengujian ekstrem menggunakan sumber angin buatan dengan variasi arah datang angin serta pengujian non-ekstrem menggunakan angin alami pada dua kondisi lingkungan yang berbeda. Parameter yang diamati meliputi kecepatan angin, arus pengisian, dan tegangan pengisian.

Pengujian Ekstrem

Pengujian ekstrem dilakukan menggunakan kipas angin dengan variasi arah datang angin dari depan, kiri depan, kanan depan, kanan belakang, kiri belakang, dan belakang. Pada setiap arah dilakukan variasi kecepatan angin mulai dari 2,6 m/s hingga 4,6 m/s. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ekstrem

No	Posisi	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Pengisian (mA)	Tegangan Pengisian (V DC)
1	Depan 1	2,6 m/s	6,8 mA	2,1 V
2	Depan 2	3,1 m/s	9,4 mA	2,8 V
3	Depan 3	3,6 m/s	11,8 mA	3,4 V
4	Depan 4	4,1 m/s	13,2 mA	3,8 V
5	Depan 5	4,6 m/s	14,5 mA	4,1 V
6	Kiri Depan 1	2,6 m/s	8,4 mA	2,7 V
7	Kiri Depan 2	3,1 m/s	11,6 mA	3,8 V
8	Kiri Depan 3	3,6 m/s	14,2 mA	4,6 V
9	Kiri Depan 4	4,1 m/s	16,1 mA	5,2 V

No	Posisi	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Pengisian (mA)	Tegangan Pengisian (V DC)
10	Kiri Depan 5	4,6 m/s	17,7 mA	5,7 V
11	Kanan Depan 1	2,6 m/s	7,1 mA	2,3 V
12	Kanan Depan 2	3,1 m/s	10,1 mA	3,0 V
13	Kanan Depan 3	3,6 m/s	12,6 mA	3,7 V
14	Kanan Depan 4	4,1 m/s	14,0 mA	4,1 V
15	Kanan Depan 5	4,6 m/s	15,2 mA	4,5 V
16	Kanan Belakang 1	2,6 m/s	0 mA	0 V
17	Kanan Belakang 2	3,1 m/s	0 mA	0 V
18	Kanan Belakang 3	3,6 m/s	0 mA	0 V

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin memberikan pengaruh terhadap peningkatan arus dan tegangan pengisian pada posisi angin yang efektif. Posisi kiri depan menghasilkan performa terbaik dengan arus pengisian maksimum sebesar 17,7 mA dan tegangan pengisian sebesar 5,7 V pada kecepatan angin 4,6 m/s. Sementara itu, posisi depan menghasilkan arus maksimum sebesar 14,5 mA dengan tegangan 4,1 V, sedangkan posisi kanan depan menghasilkan arus maksimum sebesar 15,2 mA dan tegangan sebesar 4,5 V. Sebaliknya, pada posisi kanan belakang, kiri belakang, dan belakang tidak diperoleh keluaran arus maupun tegangan pada seluruh variasi kecepatan angin. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sudut datang angin tidak mampu menghasilkan torsi yang cukup untuk memutar turbin sehingga generator tidak menghasilkan energi listrik. Perbedaan performa pada setiap posisi menunjukkan bahwa orientasi datang angin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan turbin Archimedes dalam menangkap energi angin. Bentuk sudu spiral memungkinkan turbin menerima aliran angin secara lebih efektif pada arah tertentu sehingga menghasilkan putaran generator yang lebih tinggi. Dengan demikian, selain kecepatan angin, orientasi pemasangan turbin menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan pada implementasi PLTB di kapal.

Pengujian Non-Ekstrem

Pengujian non-ekstrem dilakukan menggunakan angin alami untuk mengetahui performa prototype pada kondisi lingkungan yang lebih mendekati aplikasi sebenarnya. Pengujian dilakukan pada dua lokasi, yaitu lokasi yang terhalang bangunan dan lokasi terbuka tanpa hambatan.

a. Pengujian pada Lokasi Terhalang Bangunan

Hasil pengujian pada lokasi yang terhalang bangunan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Non-Ekstrem pada Lokasi Terhalang Bangunan

No	Waktu Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Pengisian (mA)	Tegangan Pengisian (V DC)	Tegangan Baterai (V DC)
1	08.00 WIB	1,2 m/s	4,1 mA	8,5 V	10,80 V
2	08.30 WIB	1,8 m/s	6,5 mA	8,9 V	10,82 V
3	09.00 WIB	1,1 m/s	3,8 mA	8,4 V	10,85 V
4	09.30 WIB	1,9 m/s	7,0 mA	9,0 V	10,89 V
5	10.00 WIB	1,4 m/s	5,0 mA	8,6 V	10,94 V
6	10.30 WIB	2,0 m/s	7,5 mA	9,1 V	10,98 V
7	11.00 WIB	1,3 m/s	4,5 mA	8,5 V	11,03 V
8	11.30 WIB	1,7 m/s	6,2 mA	8,8 V	11,08 V
9	12.00 WIB	1,5 m/s	5,6 mA	8,5 V	11,14 V

Kecepatan angin yang diperoleh berkisar antara 1,1 m/s hingga 2,0 m/s dengan arus pengisian maksimum sebesar 7,5 mA dan tegangan pengisian maksimum sebesar 9,1 V. Nilai keluaran yang relatif rendah menunjukkan bahwa keberadaan bangunan menyebabkan aliran angin menjadi tidak stabil akibat turbulensi sehingga energi kinetik yang diterima turbin berkurang. Kondisi tersebut mengakibatkan putaran generator menjadi lebih rendah dibandingkan pengujian menggunakan sumber angin buatan.

b. Pengujian pada Lokasi Tidak Terhalang Bangunan

Pengujian selanjutnya dilakukan pada lokasi terbuka tanpa hambatan untuk mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa prototype. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Non-Ekstrem pada Lokasi Tidak Terhalang Bangunan

No	Waktu Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Pengisian (mA)	Tegangan Pengisian (VDC)	Tegangan Baterai (VDC)
1	08.00 WIB	1,4 m/s	5,1 mA	11,2 V	10,8 V
2	08.30 WIB	1,7 m/s	6,8 mA	11,5 V	10,9 V
3	09.00 WIB	2,1 m/s	8,9 mA	11,8 V	11,0 V
4	09.30 WIB	2,4 m/s	10,7 mA	12,1 V	11,1 V
5	10.00 WIB	2,8 m/s	12,8 mA	12,4 V	11,3 V
6	10.30 WIB	3,1 m/s	14,6 mA	12,8 V	11,5 V
7	11.00 WIB	3,5 m/s	16,9 mA	13,1 V	11,7 V
8	11.30 WIB	3,8 m/s	18,7 mA	13,4 V	12,9 V
9	12.00 WIB	4,2 m/s	21,3 mA	13,8 V	12,2 V

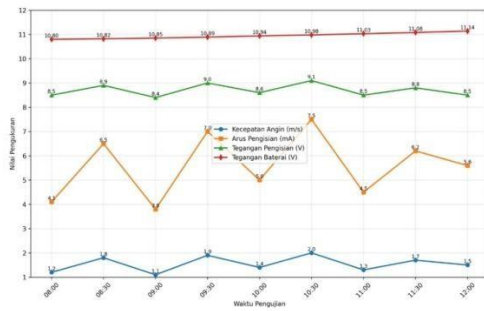
Pada lokasi terbuka diperoleh kecepatan angin berkisar antara 1,4 m/s hingga 4,2 m/s dengan arus pengisian maksimum sebesar 21,3 mA dan tegangan pengisian sebesar 13,8 V. Dibandingkan lokasi yang terhalang bangunan, arus pengisian maksimum meningkat sekitar 184%, sedangkan tegangan pengisian juga mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa aliran angin yang lebih stabil mampu meningkatkan putaran turbin sehingga proses konversi energi berlangsung lebih optimal. Secara keseluruhan, hasil pengujian dinamis menunjukkan bahwa performa prototype PLTB dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu kecepatan angin, arah datang angin, dan kondisi lingkungan. Semakin tinggi kecepatan angin yang diterima turbin, semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, posisi pemasangan turbin yang memperoleh aliran angin secara langsung menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan posisi yang mengalami hambatan. Temuan ini menunjukkan bahwa penempatan turbin pada area kapal yang memiliki paparan angin bebas merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan efisiensi sistem PLTB.

Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Kinerja PLTB

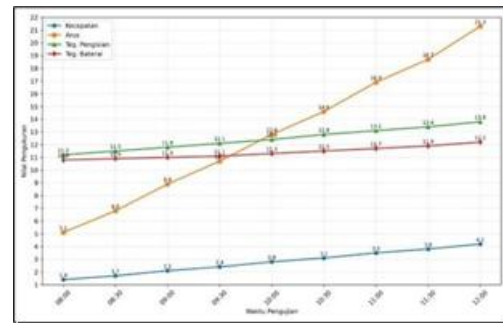
Selain pengujian menggunakan kipas angin, prototype juga diuji pada kondisi angin alami di dua lokasi berbeda, yaitu lokasi yang terhalang bangunan dan lokasi terbuka tanpa penghalang.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Pengujian Lapangan

Lokasi	Karakteristik Hasil
Terhalang bangunan	Arus dan tegangan pengisian relatif rendah dan fluktuatif
Tidak terhalang bangunan	Arus dan tegangan lebih tinggi serta stabil



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Non Ekstrem Lokasi Tidak Terhalang Bangunan



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Non-Ekstrem pada Lokasi Terhalang Bangunan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan memberikan pengaruh signifikan terhadap performa PLTB. Pada lokasi yang dikelilingi bangunan, aliran angin mengalami turbulensi sehingga energi kinetik yang diterima turbin menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada lokasi terbuka aliran angin dapat diterima secara lebih merata sehingga menghasilkan putaran turbin yang lebih stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan lokasi pemasangan PLTB merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan agar sistem mampu menghasilkan energi listrik secara optimal. Untuk implementasi pada kapal, posisi pemasangan turbin sebaiknya ditempatkan pada area yang memiliki paparan angin langsung dan seminimal mungkin terhalang oleh struktur kapal sehingga efisiensi pembangkitan energi dapat ditingkatkan.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototype PLTB menggunakan turbin angin tipe Archimedes mampu menghasilkan tegangan pengisian maksimum sebesar 13,9 V dan arus pengisian sebesar 17,6 mA pada putaran generator 1.199,1 rpm. Selain itu, posisi datang angin dari arah kiri depan menghasilkan performa terbaik dengan arus pengisian sebesar 17,7 mA dan tegangan pengisian sebesar 5,7 V pada kecepatan angin 4,6 m/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bentuk sudu spiral turbin Archimedes mampu menangkap energi angin secara lebih efektif pada sudut tertentu sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Lubis et al. (2019) yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan putar turbin berbanding lurus dengan kenaikan tegangan dan arus keluaran generator. Meskipun penelitian tersebut menggunakan turbin angin horizontal dengan alternator mobil sebagai generator, karakteristik hubungan antara putaran turbin dan daya listrik yang dihasilkan tetap menunjukkan kecenderungan yang sama dengan penelitian ini. Penelitian Habibie et al. (2024) melaporkan bahwa turbin angin sumbu vertikal berbahan fiberglass mampu menghasilkan daya sebesar 108,20 W pada kecepatan angin 21,6 m/s dengan efisiensi turbin mencapai 50,7%. Dibandingkan dengan penelitian tersebut, prototipe yang dikembangkan pada penelitian ini menghasilkan daya yang lebih rendah karena menggunakan generator DC berkapasitas kecil dan ditujukan sebagai prototipe skala laboratorium. Namun demikian, penelitian ini memiliki keunggulan pada aspek pengujian arah datang angin serta simulasi kondisi operasional yang mendekati lingkungan maritim.

Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Ali Fikri dan Robbi (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan angin menyebabkan kenaikan daya keluaran turbin. Pada penelitian ini peningkatan kecepatan angin dari 2,6 m/s menjadi 4,6 m/s menghasilkan peningkatan arus pengisian pada seluruh arah pengujian yang efektif. Hal ini menunjukkan bahwa energi kinetik angin yang diterima turbin menjadi faktor dominan dalam meningkatkan performa sistem PLTB. Berbeda dengan penelitian Hidayat dan Hermawan (2024) yang lebih menitikberatkan pada pengisian akumulator menggunakan turbin hybrid Savonius-Darrieus, penelitian ini mengevaluasi pengaruh arah datang angin terhadap performa turbin Archimedes. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa arah angin dari belakang tidak menghasilkan keluaran listrik karena sudu tidak menerima gaya dorong yang cukup untuk memutar generator. Temuan ini menunjukkan bahwa orientasi pemasangan turbin merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam implementasi PLTB pada kapal. Selain itu, pengujian lapangan memperlihatkan bahwa lokasi tanpa hambatan

bangunan menghasilkan arus dan tegangan pengisian yang lebih stabil dibandingkan lokasi yang terhalang bangunan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa turbulensi angin akibat penghalang fisik dapat menurunkan efisiensi penangkapan energi oleh turbin. Oleh karena itu, pada implementasi nyata di kapal, posisi pemasangan turbin sebaiknya ditempatkan pada area yang memperoleh aliran angin bebas agar performa pembangkitan energi dapat dimaksimalkan.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak hanya berhasil merealisasikan prototype PLTB menggunakan turbin Archimedes, tetapi juga memberikan informasi mengenai karakteristik kinerja turbin terhadap variasi arah angin dan kondisi lingkungan. Aspek tersebut menjadi nilai tambah dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengevaluasi hubungan antara kecepatan angin dan daya keluaran tanpa mempertimbangkan pengaruh orientasi angin terhadap performa sistem.

KESIMPULAN

Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan turbin angin tipe Archimedes berhasil dirancang, direalisasikan, dan dioperasikan sesuai dengan rancangan sistem. Seluruh komponen utama, meliputi turbin angin, generator DC, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO₄, inverter, dan sistem monitoring, mampu bekerja secara terintegrasi sehingga sistem dapat mengonversi energi angin menjadi energi listrik sebagai sumber energi alternatif pendukung pada kapal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja sistem dipengaruhi oleh kecepatan angin, arah datang angin, serta kondisi lingkungan pengujian. Turbin menghasilkan performa terbaik ketika menerima hembusan angin dari arah kiri depan, sedangkan arah angin dari belakang tidak menghasilkan energi listrik karena sudut datang angin tidak mampu menghasilkan torsi yang cukup untuk memutar generator. Selain itu, lokasi pengujian tanpa hambatan bangunan menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan lokasi yang terhalang bangunan, menunjukkan bahwa kualitas aliran angin berpengaruh terhadap efisiensi konversi energi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin tipe Archimedes memiliki potensi untuk diterapkan sebagai sumber energi terbarukan pendukung sistem kelistrikan kapal. Selain mampu menghasilkan energi listrik pada berbagai kondisi pengujian, penelitian ini memberikan informasi mengenai pengaruh orientasi datang angin dan kondisi lingkungan terhadap performa sistem, yang dapat menjadi dasar dalam pengembangan desain serta penentuan posisi pemasangan turbin pada aplikasi maritim di masa mendatang

REFERENSI

- Ajeng Mallira. (2023). Strategi Menghindari Cuaca Ekstrem Di Laut China Selatan Pada Kapal Mv. Segara Mas Skripsi.
- Ali Fikri, M., & Robbi, N. (2023). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe U Dengan Menggunakan Variasi Sudu.
- Ananditya, A., Yanti, S., Raya Tengah No, J., Gedong, K., Rebo, P., & Timur, J. (2020). Perancangan Sistem Informasi Penjualan Voucher Game Online Berbasis Desktop Pada Aren.Net Di Depok. *Jurnal Riset Dan Aplikasi Mahasiswa Informatika (JRAMI)*, 01.
- Energy Agency, I. (2023). Electricity Market Report_Update 2023. www.iea.org
- Global Wind Energy Council. (2024). Renewable power capacity by region. www.irena.org/Data/Statistical- (Diakses pada tanggal 02 Februari 2026)
- Habibie, H., Lapisa, R., Irzal, I., & Abadi, Z. (2024). Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Modifikasi Menggunakan Empat Buah Blade. *MASALIQ*, 4(1), 445–455. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2668> (Diakses pada tanggal 02 Februari 2026)
- Hidayat, M. I., & Chandra Hermawan, A. (2024). Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius-Darrieus Untuk Pengisian Akumulator 66

- Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius-Darrieus Untuk Pengisian Akumulator.
- Huang, Y., Shigetomi, Y., Chapman, A., & Matsumoto, K. (2019). Uncovering household carbon footprint drivers in an aging, shrinking society. *Energies*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/en12193745> (Diakses pada tanggal 02 Februari 2026)
- Idris, F., & Roza, I. (2023). JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering) Rancang Bangun Inverter Pure Sine Wave Full Bridge Menggunakan Arduino Nano Sebagai Pembangkit SPWM Design of a Pure Sine Wave Full Bridge Inverter Using Arduino Nano as a SPWM Generator. *Agustus*, 7(1). <https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.9753> (Diakses pada tanggal 02 Februari 2026)
- Jamil, M., Saputra, A., & Nugraha Gusniar, I. (2020). Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha Maret 2023 Proses Pembuatan Bilah Tipe Teperles Dengan Airofoil Naca 4418 Pada Horizontal Axis Wind Turbine (Hawt) Di PT. Lentera Bumi Nusantara The process of making teperless type blades with NACA 4418 pada horizomtal AXIS wind Turbine (HAWT) at Lentera Bumi Nusantara. <https://doi.org/10.23887/jptm.v11i1.56779> (Diakses pada tanggal 02 Februari 2026)
- Jiang, Y., & Song, W. (2023). Predicting the Cycle Life of Lithium-Ion Batteries Using Data-Driven Machine Learning Based on Discharge Voltage Curves. *Batteries*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/batteries9080413> (Diakses pada tanggal 05 Februari 2026)
- Lista Utami, A., Hadi, W., Chaidir, A. R., Jember, F. T.-U., Kalimantan, J., 37, N., Summersari, K., Jember, K., & Timur, J. (2023). Rancang Bangun Generator Axial Flux Tiga Fasa dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Rotor dan Stator Ganda untuk Pengisian Baterai 12 Volt A Design of Three Phase Axial Flux Generator with Permanent Magnet Neodymium (NdFeB) Double Rotor and Stator for 12 Volt Battery Charging. *TELKA*, 9(2), 84–98
- Lubis, S., Lubis, F., & Harahap, D. P. (2019). PLTB Sebagai Alternatif Energi Baru Terbarukan. Muhammad Adam, P. H. M. R. N. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator DC.
- Putra, A. S., Afianti, H., & Watiasih, R. (2023). Comparative Analysis of Solar Charge Controller Performance Between MPPT and PWM on Solar Panels. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(1), 1197–1202. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v7i1.217> (Diakses pada tanggal 05 Februari 2026)
- Siregar, T. (2023). Stages of Research and Development Model Research and Development (R&D). *DIROSAT: Journal of Education, Social Sciences & Humanities*, 1, 142–158. <https://doi.org/10.58355/dirosat.v1i4.48> (Diakses pada tanggal 05 Februari 2026)
- World Meteorological Organization. (2024). State of the global climate 2023. United Nations, World Meteorological Organization.
- Yassa Descania, D. (2023). Penerapan Metode Prototype Pada Pengembangan Sistem Antrian Online Di Kementrian Atr/Bpn Kab. Sukabumi. *INDEXIA: Informatic and Computational Intelligent Journal*, 5(1), 1–18.