



Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Turbin Savonius *Portable* untuk Pengisian Daya *Smartphone*

M. Dwi Ikma Cahya Anggara¹, Mahendra Widyartono²

^{1,2}Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 9 Juli 2026

Direvisi 20 Juli 2026

Diterbitkan 21 Juli 2026

Keywords:

PLTB portabel

Turbin Savonius

Energi Angin

Pengisian Daya *Smartphone*

Energi Terbarukan

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik untuk perangkat portabel seperti *smartphone* terus meningkat, sementara akses terhadap jaringan listrik konvensional masih terbatas di sejumlah wilayah, terutama kawasan pesisir dan lokasi aktivitas luar ruangan. Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi dimanfaatkan melalui turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah hingga menengah tanpa mekanisme pengarah angin. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji kinerja pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) portabel berbasis turbin Savonius dua bilah yang dipadukan dengan generator DC 24 V, sistem transmisi rantai-sproket, dan modul DC-DC *booster* untuk menghasilkan keluaran USB 5 V sebagai pengisi daya *smartphone*. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif yang meliputi perancangan, pembuatan prototipe, serta pengujian menggunakan *blower* dan angin alami di Pantai Kenjeran, Surabaya, pada rentang kecepatan angin 2–9 m/s. Parameter yang diamati meliputi kecepatan angin, putaran turbin, tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi konversi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin meningkatkan putaran turbin serta keluaran listrik. Pada kecepatan angin 9 m/s diperoleh tegangan 4,95 V, arus 0,24 A, daya 1,18 W, dan putaran turbin 150 RPM. Efisiensi konversi energi tertinggi mencapai 31,39% pada kecepatan angin 6 m/s, sedangkan pengisian daya *smartphone* secara stabil dicapai pada kecepatan angin di atas 7 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTB Savonius portabel berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan untuk pengisian daya perangkat elektronik berdaya rendah.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

M. Dwi Ikma Cahya Anggara,

Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: manggara.22029@mhs.unesa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong tingginya ketergantungan masyarakat terhadap perangkat elektronik portabel, yang tidak hanya digunakan untuk komunikasi tetapi juga aktivitas ekonomi, pendidikan, hingga keperluan keamanan [1]. Persoalan muncul ketika kapasitas baterai perangkat tersebut terbatas, sementara akses ke sumber listrik konvensional tidak selalu tersedia, khususnya di wilayah terpencil atau saat digunakan pada aktivitas di luar ruangan. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sistem pembangkit energi portabel berbasis sumber terbarukan yang praktis, ringkas, dan ramah lingkungan.

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan potensi besar di Indonesia. Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia berada pada kisaran 2–6 m/s, yang tergolong kategori rendah hingga sedang [2]. Pada kondisi kecepatan angin seperti ini, turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius menjadi pilihan yang tepat karena dapat beroperasi secara efektif tanpa memerlukan sistem pengarah angin dan tetap mampu menghasilkan torsi awal yang baik pada kecepatan rendah [3].

Lokasi penelitian dipilih di kawasan Pantai Kenjeran, Kecamatan Bulak, Kota Surabaya, yang merupakan wilayah pesisir utara Jawa Timur dengan karakteristik angin laut yang relatif stabil. Berdasarkan observasi awal, kecepatan angin di kawasan tersebut umumnya berkisar antara 2–10 m/s dan cenderung meningkat pada siang hingga sore hari akibat pengaruh sirkulasi angin laut, sehingga lokasi ini dinilai representatif untuk menguji karakteristik keluaran listrik, efisiensi konversi energi, serta kemampuan sistem PLTB Savonius portabel dalam mengisi daya *smartphone* pada kondisi lapangan yang sesungguhnya.

Turbin Savonius bekerja berdasarkan prinsip perbedaan gaya hambat (*drag force*) antara dua atau lebih bilah berbentuk setengah silinder. Konfigurasi dua bilah dipilih pada penelitian ini karena memiliki keunggulan berupa kecepatan rotasi yang lebih tinggi, bobot yang ringan, serta kemudahan dalam pembuatan dan perawatan, sehingga cocok untuk aplikasi portabel [4]. Studi terdahulu turut membuktikan bahwa konfigurasi dua bilah menghasilkan *tip speed ratio* yang lebih besar dibandingkan konfigurasi tiga bilah pada kecepatan angin rendah, meskipun torsi yang dihasilkan relatif lebih kecil [5].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi pemanfaatan turbin Savonius untuk pengisian daya perangkat elektronik berskala kecil. Salah satu studi mengembangkan sistem pengisian daya berbiaya rendah berbasis energi angin yang mampu menghasilkan tegangan DC 5 V untuk keperluan *smartphone* [6]. Penelitian lain merancang turbin portabel berbilah lipat yang menghasilkan daya 5–10 W pada kecepatan angin 3–5 m/s [7], sedangkan studi lainnya memadukan turbin Savonius berprofil rendah dengan *triboelectric nanogenerator* untuk meningkatkan efisiensi konversi energi hingga 18% [5]. Pada konteks aplikasi luar ruangan, kombinasi turbin angin dengan panel surya juga terbukti mampu memperpanjang waktu operasi pengisian daya perangkat portabel [8], sementara prototipe turbin portabel lain dilaporkan mampu mengisi ulang *smartphone* hingga 13 kali pada kecepatan angin 3–6 m/s [9]. Penelitian dalam negeri turut memperlihatkan bahwa turbin Savonius berbahan PVC dua bilah mampu menghasilkan daya 3,5 W pada kecepatan 2,02 m/s, cukup untuk menyalakan lampu LED dan mengisi *power bank* [10], sedangkan studi lain menekankan pentingnya desain bilah ringan dan struktur lipat agar turbin mudah dibawa [11].

Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi turbin Savonius dua bilah dalam bentuk perangkat portabel yang dikombinasikan dengan generator DC tipe MY1016, sistem transmisi rantai-sproket, serta modul DC-DC *booster* untuk menghasilkan keluaran USB 5 V yang siap digunakan mengisi daya *smartphone*. Selain itu, pengujian dilakukan tidak hanya secara rekayasa di laboratorium, tetapi juga secara langsung pada kondisi angin alami di lapangan, sehingga hubungan antara kecepatan angin, putaran turbin, tegangan, arus, dan daya listrik dapat dianalisis secara terintegrasi dan mendekati kondisi penggunaan nyata.

Berangkat dari kebutuhan akan sumber energi portabel yang ramah lingkungan, penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) portabel berbasis turbin Savonius dua bilah sebagai media pengisian daya *smartphone*. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran karakteristik keluaran listrik yang meliputi tegangan, arus, dan daya pada berbagai variasi kecepatan angin, disertai analisis efisiensi konversi energi serta kestabilan kinerja sistem dalam menghasilkan keluaran DC 5 V. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kelayakan penerapan PLTB portabel sebagai sumber energi alternatif untuk perangkat elektronik berdaya rendah.

2. METODA

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif, yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian PLTB Savonius dua bilah portabel untuk pengisian daya *smartphone*. Pengukuran dilakukan terhadap kecepatan angin, tegangan, arus, dan daya keluaran pada berbagai kondisi operasi.

Tahapan penelitian diawali dengan telaah pustaka untuk menghimpun referensi yang relevan, dilanjutkan dengan observasi lapangan guna menentukan lokasi pengujian serta beban yang akan digunakan. Setelah data awal diperoleh, dilakukan perhitungan dimensi dan pemilihan material sebelum masuk ke tahap perancangan dan pembuatan prototipe. Prototipe yang telah selesai kemudian diuji, apabila hasil pengujian belum memenuhi kriteria yang diharapkan, proses perancangan dan pengujian diulang sampai diperoleh hasil yang sesuai, sebelum akhirnya dilakukan analisis dan pembahasan menyeluruh terhadap data yang terkumpul.

2.1. Alat dan Bahan

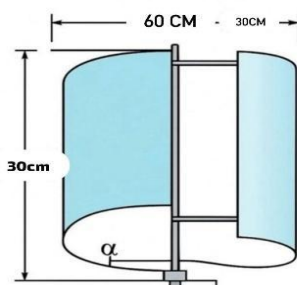
Peralatan yang digunakan meliputi gergaji PVC, bor, obeng, solder, lem PVC/epoxy, multimeter digital, serta tang dan kunci pas. Bahan utama yang digunakan pada pembuatan prototipe disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

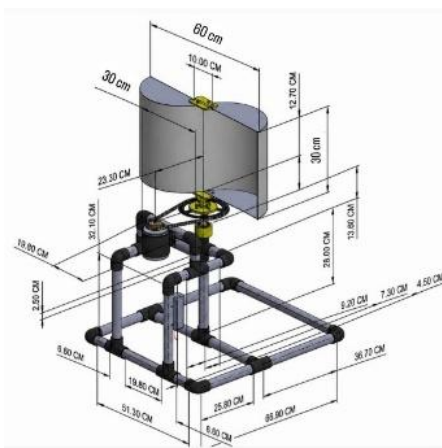
No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Generator DC 24 V	Motor DC 24 V, tipe MY1016	1 buah
2	Dioda Schottky 1N5819	1 A, 40 V	1 buah
3	Kapasitor elektrolit	4700 μ F / 25 V	2 buah
4	Modul DC–DC Boost	PSU-0005 (PFM control)	1 modul
5	Induktor	22 μ H	1 buah
6	Kapasitor keramik	100 nF	1 buah
7	Kabel jumper merah & hitam	-	$\pm$ 1 m
8	Pipa PVC (bilah turbin)	-	secukupnya

2.2. Perancangan Turbin dan Luas Sapuan

Tahap perancangan diawali dengan menentukan dimensi rotor turbin Savonius dua bilah sebagai komponen utama yang berfungsi menangkap energi angin. Gambar 1 menunjukkan desain dan dimensi rotor yang digunakan, sedangkan Gambar 2 memperlihatkan desain keseluruhan sistem PLTB portabel yang terdiri atas turbin Savonius, sistem transmisi rantai-sproket, generator DC, regulator *DC–DC booster*, dan keluaran USB 5 V. Dimensi rotor dipilih dengan diameter 30 cm dan tinggi 30 cm sehingga menghasilkan luas sapuan sebesar 0,09 m², dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kemampuan menangkap energi angin, kemudahan pembuatan, dan aspek portabilitas sistem.



Gambar 1. Desain Turbin Savonius 2 Bilah



Gambar 2. Desain PLTB Turbin Savonius Portabel

Berdasarkan dimensi tersebut, dilakukan perhitungan luas sapuan turbin sebagai dasar untuk menentukan kemampuan turbin dalam menangkap energi angin. Luas sapuan turbin dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$A = D \times H \quad (1)$$

dengan

A = luas sapuan turbin (m²),

D = diameter turbin (m),

H = tinggi turbin (m).

Untuk menentukan luas sapuan berdasarkan target daya yang ingin dicapai, digunakan persamaan daya turbin angin sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times v^3 \times C_p \quad (2)$$

dengan

P = daya mekanik turbin (W),
 ρ = massa jenis udara (kg/m^3),
 A = luas sapuan turbin (m^2),
 v = kecepatan angin (m/s),
 C_p = koefisien daya turbin.

Sehingga luas sapuan turbin dapat diperoleh melalui penyusunan ulang Persamaan (2) menjadi Persamaan (3).

$$A = \frac{P}{(0,5 \times \rho \times C_p \times v^3)} \quad (3)$$

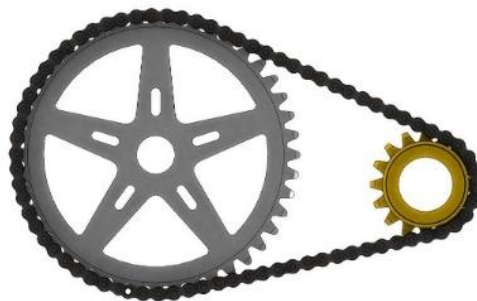
dengan

A = luas sapuan turbin (m^2);
 P = daya mekanik yang diinginkan (W);
 ρ = massa jenis udara (kg/m^3);
 v = kecepatan angin (m/s); dan
 C_p = koefisien daya turbin.

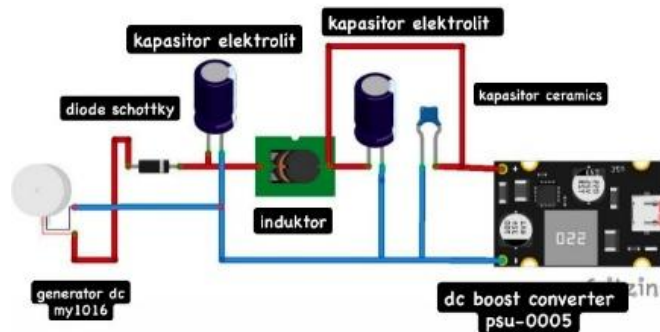
Dengan menetapkan target daya mekanik sebesar 2 W, massa jenis udara $1,225 \text{ kg/m}^3$, kecepatan angin acuan 4 m/s, dan koefisien daya turbin Savonius sebesar 0,20, diperoleh luas sapuan teoretis sekitar $0,25 \text{ m}^2$. Nilai tersebut kemudian disesuaikan dengan pertimbangan portabilitas, kemudahan pembuatan, serta efisiensi penggunaan material, sehingga dipilih dimensi turbin dengan diameter (D) 0,30 m dan tinggi (H) 0,30 m yang menghasilkan luas sapuan aktual sebesar $0,09 \text{ m}^2$. Pendekatan penentuan dimensi turbin berdasarkan luas sapuan dan kebutuhan daya telah digunakan dalam perancangan turbin angin sumbu vertikal [15]. Selain itu, optimasi konfigurasi rotor melalui modifikasi geometri dan penambahan komponen pendukung, seperti *check valve*, terbukti mampu meningkatkan karakteristik aerodinamika serta koefisien daya turbin Savonius [19]. Temuan tersebut juga menunjukkan bahwa optimasi geometri rotor berpengaruh terhadap peningkatan performa aerodinamika, koefisien daya, dan efisiensi turbin Savonius dalam mengonversi energi angin menjadi energi mekanik [13], [17].

2.3. Sistem Transmisi dan Sistem Proteksi

Sistem transmisi dan proteksi dirancang untuk meningkatkan putaran generator serta menjaga kestabilan tegangan keluaran selama proses konversi energi. Gambar 3 menunjukkan konfigurasi sistem transmisi yang menggunakan rantai dan sproket, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan rangkaian proteksi kelistrikan yang terdiri atas *blocking diode* dan modul *DC-DC boost converter* sebagai penstabil tegangan sebelum disalurkan ke *smartphone*.



Gambar 3. Sistem Transmisi



Gambar 4. Instalasi Proteksi Kelistrikan

Generator dihubungkan ke poros turbin melalui sistem transmisi rantai dan sproket dengan perbandingan gigi 44T : 16T, sehingga diperoleh rasio transmisi sebesar $i = \frac{44}{16} = 2,75$. Rasio tersebut berfungsi sebagai *speed increaser*, yaitu setiap satu putaran poros turbin menghasilkan sekitar 2,75 putaran pada poros generator sehingga generator dapat mencapai putaran kerja yang lebih tinggi meskipun turbin beroperasi pada kecepatan angin rendah. Penggunaan sistem transmisi untuk meningkatkan putaran generator pada turbin Savonius juga telah diterapkan pada penelitian sebelumnya dan terbukti mampu meningkatkan tegangan serta daya listrik yang dihasilkan [16]. Untuk mengamankan rangkaian dari arus balik maupun lonjakan tegangan akibat perubahan mendadak kecepatan putaran turbin, sistem dilengkapi dioda penyearah (*blocking diode*) sebagai proteksi utama, serta modul DC–DC *booster* PSU-0005 yang berfungsi menaikkan sekaligus menstabilkan tegangan keluaran pada level 5 V DC agar sesuai dengan kebutuhan pengisian daya *smartphone* melalui *port* USB.

2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan parameter kecepatan angin (v), luas sapuan turbin ($A = 0,09 \text{ m}^2$), massa jenis udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$), daya angin (P_{angin}), daya mekanik turbin (P_{turbin}), tegangan keluaran (V), arus keluaran (I), daya listrik (P_{listrik}), serta efisiensi sistem (η), melalui persamaan berikut:

$$P_{\text{angin}} = 0,5 \times \rho \times A \times v^3 \quad (4)$$

$$P_{\text{turbin}} = C_p \times P_{\text{angin}} \quad (5)$$

$$P_{\text{listrik}} = V \times I \quad (6)$$

$$\eta = \left(\frac{P_{\text{listrik}}}{P_{\text{turbin}}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

Nilai koefisien daya $C_p = 0,20$ mengacu pada hasil eksperimen turbin Savonius dua bilah dengan tinggi 0,3 m yang menunjukkan kisaran efisiensi aerodinamis 0,18–0,23 pada kecepatan angin 3–4 m/s [12]. Sebagai ilustrasi, pada kecepatan angin 4 m/s diperoleh P_{angin} sebesar 3,53 W, P_{turbin} sebesar 0,71 W, dan pada asumsi tegangan 5 V serta arus 0,04 A, P_{listrik} sebesar 0,20 W, sehingga efisiensi sistem pada kondisi tersebut mencapai 28,17%.

2.5. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengujian rekayasa dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya menggunakan *mini jet blower* sebagai sumber angin buatan sehingga kecepatan angin dapat dikendalikan sesuai variasi yang direncanakan. Sementara itu, pengujian lapangan dilakukan di kawasan Pantai Kenjeran, Surabaya (koordinat -7,208029, 112,7778594) dengan memanfaatkan angin alami. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki karakteristik angin pesisir yang relatif stabil sehingga sesuai untuk mengevaluasi kinerja PLTB portabel pada kondisi operasi nyata. Seluruh pengujian dilaksanakan pada tanggal 14–24 Juni 2026 pukul 14.00–21.00 WIB, dengan kondisi cuaca yang mendukung proses pengambilan data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe PLTB turbin Savonius portabel yang ditunjukkan pada Gambar 5 telah selesai dirakit sebagai hasil implementasi dari tahap perancangan. Prototipe ini mengintegrasikan turbin Savonius dua bilah, sistem transmisi rantai-sproket, generator DC, modul *DC-DC boost converter*, serta keluaran USB 5 V dalam satu sistem. Selanjutnya, prototipe digunakan untuk mengevaluasi karakteristik keluaran listrik, efisiensi konversi energi, dan kemampuan pengisian daya *smartphone* pada pengujian laboratorium maupun lapangan.



Gambar 5. Prototipe PLTB Turbin Savonius Portabel

Pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik keluaran generator dan kemampuan sistem dalam mengisi daya *smartphone* melalui pengujian rekayasa menggunakan *blower* pada variasi kecepatan angin 2–9 m/s serta pengujian lapangan menggunakan angin alami. Setiap pengujian rekayasa diulang sebanyak empat kali setelah putaran turbin stabil selama ± 30 detik untuk memperoleh hasil yang representatif [18], [20]. Pengujian lapangan dilakukan untuk memvalidasi kinerja sistem pada kondisi operasi sebenarnya [18].

3.1. Karakteristik Keluaran Generator pada Pengujian Rekayasa

Pengujian rekayasa dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran generator pada berbagai variasi kecepatan angin. Hasil pengukuran tegangan, arus, daya, putaran turbin, dan status pengisian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Output Generator secara Rekayasa

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	RPM	Status
2	0,00	0,00	0,00	0	OFF
3	0,00	0,00	0,00	39	OFF
4	2,76	0,00	0,00	84	OFF
5	3,92	0,08	0,31	106	ON-OFF
6	4,35	0,18	0,78	121	ON-OFF
7	4,38	0,20	0,88	132	ON
8	4,81	0,24	1,15	141	ON
9	4,95	0,24	1,18	150	ON

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa generator belum menghasilkan tegangan pada kecepatan angin 2–3 m/s karena putaran turbin belum mencukupi untuk menggerakkan generator. Tegangan mulai terdeteksi sebesar 2,76 V pada kecepatan 4 m/s, kemudian meningkat hingga 4,95 V pada 9 m/s. Arus mulai terbentuk pada kecepatan 5 m/s sebesar 0,08 A dan meningkat menjadi 0,24 A pada 9 m/s, sehingga daya keluaran turut naik dari 0,31 W menjadi 1,18 W. Peningkatan tersebut diikuti kenaikan putaran turbin dari 39 RPM menjadi 150 RPM, yang menunjukkan sistem transmisi rantai-sproket mampu meningkatkan putaran generator secara efektif. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan kecepatan angin meningkatkan putaran turbin dan daya keluaran generator [17], [20]. Selain itu, karakteristik aliran angin turut memengaruhi kestabilan putaran turbin dan efisiensi konversi energi sehingga performa sistem cenderung lebih baik pada kecepatan angin yang lebih tinggi.

3.2. Pengisian *Smartphone* pada Pengujian Rekayasa

Setelah karakteristik keluaran generator diperoleh, dilakukan pengujian pengisian daya *smartphone* untuk mengevaluasi kinerja sistem pada berbagai variasi kecepatan angin. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengisian *Smartphone* secara Rekayasa

Kecepatan Angin (m/s)	Regulator (V)	Arus (A)	Daya (W)	Baterai Awal	Baterai Akhir	Waktu	Status
5	3,82	0,08	0,306	4%	8%	10 menit	Mengisi daya
6	4,15	0,18	0,747	8%	11%	10 menit	Mengisi daya
7	4,38	0,20	0,876	11%	16%	10 menit	Mengisi daya
8	4,55	0,24	1,092	15%	20%	10 menit	Mengisi daya
9	4,68	0,24	1,123	20%	26%	10 menit	Mengisi daya

Berdasarkan Tabel 3, pada kecepatan angin 5–6 m/s proses pengisian daya masih berada pada kondisi *charge ON-OFF* karena tegangan keluaran regulator belum cukup stabil. Ketika kecepatan angin mencapai 7 m/s, sistem mulai bekerja secara stabil (*charge ON*) sehingga proses pengisian daya berlangsung secara kontinu. Kinerja terbaik diperoleh pada kecepatan angin 9 m/s, dengan peningkatan kapasitas baterai dari 20% menjadi 26% dalam waktu 10 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pengisian daya *smartphone* meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin yang diterima turbin. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dan lebih stabil sehingga mampu meningkatkan kinerja sistem konversi energi pada turbin Savonius [18]. Selain itu, kestabilan keluaran listrik juga menjadi faktor penting dalam pemanfaatan turbin Savonius sebagai sumber energi untuk beban listrik berdaya rendah [6].

3.3. Efisiensi Konversi Energi

Efisiensi konversi energi dihitung untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTB dalam mengubah energi angin menjadi energi listrik pada berbagai variasi kecepatan angin. Hasil perhitungan daya angin, daya mekanik turbin, daya listrik, dan efisiensi sistem disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Efisiensi Konversi Energi Angin menjadi Energi Listrik

Kecepatan Angin (m/s)	P_{angin} (W)	P_{turbin} (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	$P_{listrik}$ (W)	Efisiensi (%)
5	6,89	1,38	3,82	0,08	0,306	22,20
6	11,91	2,38	4,15	0,18	0,747	31,39
7	18,91	3,78	4,38	0,20	0,876	23,17
8	28,22	5,64	4,55	0,24	1,092	19,36
9	40,18	8,04	4,68	0,24	1,123	13,97

Berdasarkan Tabel 4, peningkatan kecepatan angin menyebabkan daya angin, daya mekanik turbin, dan daya listrik terus meningkat. Namun, efisiensi sistem tidak bertambah secara linier. Efisiensi tertinggi sebesar 31,39% diperoleh pada kecepatan angin 6 m/s, kemudian menurun hingga 13,97% pada 9 m/s. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya angin lebih besar dibandingkan kemampuan sistem dalam mengonversinya menjadi daya listrik akibat rugi-rugi pada turbin, sistem transmisi rantai-sproket, generator, dan regulator DC–DC selama proses konversi energi.

Fenomena serupa juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan daya angin tidak selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi sistem karena masih terdapat rugi-rugi pada setiap tahapan konversi energi [1]. Selain itu, karakteristik aliran angin serta kualitas komponen penyusun sistem pembangkit turut memengaruhi efisiensi konversi energi sehingga performa keseluruhan sistem tidak hanya ditentukan oleh besarnya kecepatan angin [12]. Hasil tersebut juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa efisiensi sistem turbin Savonius dipengaruhi oleh kemampuan rotor menangkap energi angin serta karakteristik sistem konversi energi yang digunakan [14]. Secara umum, nilai efisiensi yang diperoleh masih berada di bawah batas teoretis Betz sebesar 59,3%, yang merupakan kondisi wajar karena turbin Savonius termasuk turbin tipe *drag* dengan koefisien daya yang secara alami lebih rendah dibandingkan turbin tipe *lift*.

3.4. Hasil Pengujian Lapangan (Angin Alami)

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe PLTB pada kondisi angin alami. Hasil pengukuran kecepatan angin, putaran turbin, tegangan, arus, daya, dan status operasi sistem selama pengujian lapangan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Output pada Kondisi Angin Alami

Kecepatan Angin (m/s)	RPM	V	I (A)	P (W)	Status
6,7	129	4,31	0,19	0,81	ON
1,2	0	0,00	0,00	0,00	OFF
9,1	147	4,85	0,25	1,21	ON
6,1	121	4,32	0,18	0,77	ON
7,6	137	4,58	0,22	1,00	ON
8,2	142	4,78	0,24	1,15	ON
6,5	126	4,30	0,18	0,77	ON

Berbeda dengan pengujian rekayasa, hasil pengujian lapangan pada Tabel 5 menunjukkan keluaran listrik yang lebih berfluktuasi akibat variasi kecepatan angin alami. Daya keluaran tertinggi sebesar 1,21 W diperoleh pada kecepatan angin 9,1 m/s, sedangkan pada 1,2 m/s generator belum mampu menghasilkan arus sehingga pengisian daya tidak berlangsung. Meskipun demikian, peningkatan kecepatan angin tetap diikuti oleh kenaikan tegangan, arus, dan daya keluaran, sehingga menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan hasil pengujian rekayasa.

Hasil pengujian malam hari pada Tabel 6 memperlihatkan pola yang serupa. Pada kecepatan angin 0,8–2,6 m/s sistem masih berada pada kondisi *charge OFF*, sedangkan pada 6,8–8,9 m/s sistem menghasilkan tegangan mendekati 5 V dengan arus maksimum 0,25 A dan daya keluaran 1,24 W, sehingga proses pengisian daya *smartphone* dapat berlangsung secara stabil.

Tabel 6. Pengujian Output Langsung pada Malam Hari

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	RPM	Keterangan
0,8	0,00	0,00	0,00	0	Charge OFF
2,6	1,58	0,00	0,00	48	Charge OFF
4,7	3,86	0,08	0,31	108	Charge ON-OFF
6,8	4,42	0,18	0,80	131	Charge ON
8,9	4,96	0,25	1,24	149	Charge ON

3.5. Sistem Proteksi

Sistem PLTB dilengkapi modul regulator *DC–DC boost converter* 5 V untuk menstabilkan tegangan keluaran generator sebelum disalurkan ke *smartphone*, serta modul pengisi daya USB dengan fitur pembatas arus (*current limiting*) guna mencegah pembebanan berlebih pada generator. Selain itu, *smartphone* yang digunakan telah dilengkapi *Battery Management System* (BMS) sebagai proteksi terhadap kondisi *overcharge*, *overvoltage*, dan *overcurrent*. Selama pengujian, indikator *charge ON–OFF* pada kecepatan angin 5–6 m/s menunjukkan tegangan masukan belum stabil, sedangkan pada 7–9 m/s proses pengisian berlangsung stabil tanpa indikasi kenaikan suhu berlebih maupun gangguan pada perangkat.

3.6. Pengisian *Smartphone* pada Kondisi Lapangan

Pengujian pengisian daya *smartphone* pada kondisi lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTB dalam menyuplai daya menggunakan angin alami. Hasil pengukuran tegangan regulator, arus, daya, perubahan kapasitas baterai, waktu pengisian, dan status pengisian disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian Langsung Waktu Pengisian *Smartphone*

Kecepatan Angin (m/s)	Regulator (V)	Arus (A)	Daya (W)	Baterai Awal	Baterai Akhir	Waktu	Status
2,0	0,00	0,00	0,00	25%	25%	15 menit	OFF
1,1	0,00	0,00	0,00	25%	25%	15 menit	OFF
7,6	4,48	0,21	0,94	25%	25%	15 menit	ON-OFF
9,1	4,81	0,25	1,20	25%	27%	15 menit	ON
1,5	0,00	0,00	0,00	27%	27%	15 menit	OFF

Hasil pengujian lapangan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa efektivitas pengisian daya meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin. Pada kondisi kecepatan angin rata-rata 9,1 m/s, regulator menghasilkan tegangan keluaran sebesar 4,81 V dengan arus 0,25 A sehingga kapasitas baterai *smartphone* mengalami peningkatan sebesar

2% selama periode pengujian. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem mampu menyediakan suplai daya yang memadai untuk proses pengisian pada kecepatan angin yang relatif tinggi.

Pengujian pengisian daya pada malam hari sebagaimana disajikan pada Tabel 8 memperlihatkan kecenderungan yang serupa. Pada rentang kecepatan angin 0,8–2,6 m/s, sistem belum mampu menghasilkan daya yang cukup untuk memulai proses pengisian. Ketika kecepatan angin mencapai 5,7 m/s, proses pengisian mulai terjadi namun masih belum stabil. Kinerja optimum diperoleh pada kecepatan angin 8,9 m/s, ketika regulator menghasilkan tegangan sebesar 4,93 V dengan arus 0,25 A, sehingga kapasitas baterai *smartphone* meningkat dari 41% menjadi 43% dalam waktu 10 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin di atas 7 m/s merupakan kondisi yang paling efektif untuk mendukung proses pengisian daya menggunakan sistem PLTB portabel yang dikembangkan.

Tabel 8. Pengisian *Smartphone* di Lapangan pada Malam Hari

Kecepatan Angin (m/s)	Regulator (V)	Arus (A)	Baterai Awal	Baterai Akhir	Waktu	Keterangan
0,8	0,00	0,00	40%	40%	10 menit	Charge OFF
2,6	1,62	0,00	40%	40%	10 menit	Charge OFF
5,7	3,92	0,08	40%	41%	10 menit	Charge ON-OFF
8,9	4,93	0,25	41%	43%	10 menit	Charge ON
1,9	0,00	0,00	42%	42%	10 menit	Charge ON

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan angin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik keluaran listrik PLTB berbasis turbin Savonius portabel. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar putaran turbin dan generator yang dihasilkan, sehingga tegangan, arus, dan daya keluaran turut mengalami peningkatan. Pada kecepatan angin 5 m/s sistem menghasilkan tegangan sebesar 3,92 V, arus 0,08 A, dan daya 0,31 W, sedangkan pada kecepatan angin 9 m/s nilai tersebut meningkat menjadi 4,95 V, 0,24 A, dan 1,18 W.

Efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik menunjukkan kecenderungan yang tidak linier terhadap peningkatan kecepatan angin. Nilai efisiensi maksimum sebesar 31,39% diperoleh pada kecepatan angin 6 m/s, kemudian mengalami penurunan hingga 13,97% pada kecepatan 9 m/s. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh meningkatnya rugi-rugi pada sistem, baik yang berasal dari komponen mekanis, transmisi, generator, maupun regulator DC–DC, sehingga pertambahan daya keluaran tidak lagi sebanding dengan kenaikan energi angin yang tersedia.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem pengisian daya *smartphone* melalui keluaran DC 5 V beroperasi secara efektif pada kecepatan angin menengah hingga tinggi. Proses pengisian masih bersifat intermiten pada rentang kecepatan 5–6 m/s, kemudian menjadi stabil pada kecepatan angin di atas 7 m/s. Kinerja terbaik dicapai pada kecepatan angin 9 m/s, yang mampu meningkatkan kapasitas baterai *smartphone* dari 20% menjadi 26% dalam waktu 10 menit. Dengan demikian, PLTB turbin Savonius portabel memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan untuk mendukung pengisian daya perangkat elektronik berdaya rendah. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada penerapan sistem proteksi tegangan dan arus, integrasi penyimpanan energi berbasis baterai yang dilengkapi *Battery Management System* (BMS), optimasi desain bilah dan rasio transmisi, serta penerapan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan kinerja, keandalan, dan kemudahan operasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, serta dosen pembimbing atas bimbingan dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] M. I. Alhamid, M. Y. Efendi, M. A. Darmawan, N. Amir, T. Prasetyo, M. Y. A. Ramadhan, and M. Gozan, "Experimental and Simulation Investigation of a Savonius Vertical Axis Wind Turbine for Residential Applications: A Case Study in Indonesia," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 45, no. 1, Art. no. 2331241, 2024, doi: 10.1080/01430750.2024.2331241.
- [2] BMKG, Kecepatan Angin Maksimum di Bulan Januari Provinsi Jawa Timur, 2025. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id> Accessed: Jul. 2026.
- [3] M. N. Zadeh, M. Pourfallah, S. Safari Sabet, M. Gholinia, and A. T. Ahangar, "Performance Assessment and Optimization of a Helical Savonius Wind Turbine by Modifying the Bach's Section," *SN Applied Sciences*, vol. 3, Art. 739, 2021, doi:10.1007/s42452-021-04731-0.
- [4] I. Siregar, S. D. Nugroho, C. Z. Pratiwi, I. Mawardi, A. Jibril, and S. Suhadi, "Experimental study the performance of a 6-bladed Savonius vertical axis wind turbine using polyvinyl chloride material," *Bull. Electr. Eng. Inform.*, vol. 13, no. 6, pp. 3821–3832, 2024. doi: 10.11591/eei.v13i6.6224

- [5] Z. Mu, G. Tong, Z. Xiao, Q. Deng, F. Feng, Y. Li, and G. Van Arne, "Study on aerodynamic characteristics of a Savonius wind turbine with a modified blade," *Energies*, vol. 15, no. 18, 2022. doi: 10.3390/en15186757
- [6] M. Latif, A. Farizi, M. Muharam, H. D. Laksono, S. Yunus, A. Rajab, and Fitrilina, "Prototipe Turbin Angin Savonius pada Kecepatan Angin Skala Kecil untuk Pengisian Baterai," *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 19–24, 2022, doi: 10.33369/jamplifier.v12i1.21673.
- [7] M. Laxmikant, D. Jadhav, V. Gavade, L. Deshmukh, A. Gore, and G. Gangde, "Harnessing Wind Power for On-the-Go Device Charging: Revolutionizing Portable Mobile Chargers," in *Proc. IEEE BITCON*, 2024, doi:10.1109/BITCON63716.2024.10985636.
- [8] C. Wardana, I. S. Siswantoro, and Sugiyanto, "Pengaruh Kontroler Maximum Power Point Tracking (MPPT) terhadap Efisiensi Daya Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Tipe Savonius Dua Sudu," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 209–223, 2023, doi: 10.14710/jebt.19034.
- [9] W. Santoso, H. Saputro, and H. Bugis, "Experimental Study of Savonius Turbine Performance on the Beach Coast of Demak District of Demak Electrical Power Generated," *Journal of Mechanical Engineering and Vocational Education (JOMEVE)*, vol. 3, no. 2, pp. 75–82, 2020, doi: 10.21831/jomeve.v3i2.36873.
- [10] P. N. Mosely, "The design and production of a portable small wind turbines," *Int. J. Front. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, 2024, doi: 10.25236/ijfet.2024.060519.
- [11] A. Nag and S. Sarkar, "Performance Analysis of Helical Savonius Hydrokinetic Turbines Arranged in Array," *Ocean Engineering*, vol. 241, Art. no. 110020, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.110020.
- [12] K. Calautit and C. Johnstone, "Experimental investigation and performance analysis of building-integrated wind energy systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 19, p. 100457, 2023, doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100457.
- [13] B. Deda Altan and G. S. Gultekin, "Investigation of performance enhancements of Savonius wind turbines through additional designs," *Processes*, vol. 11, no. 5, 2023, doi: 10.3390/pr11051473.
- [14] M. A. Ismail, A. H. El-Shafie, and M. F. Zain, "Performance Evaluation of a Portable Savonius Vertical Axis Wind Turbine for Low Wind Speed Applications," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 86, pp. 365–378, 2024, doi: 10.1016/j.aej.2023.11.065.
- [15] R. B. Anggoro, R. Setyobudi, A. Sadrina, and S. Chalimah, "Design and Development of a Vertical Axis Wind Turbine with PVC Blades Using Solidworks Simulation," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 150–158, 2024, doi: 10.29103/jreece.v4i2.16561.
- [16] Y. D. Herlambang, S. Supriyo, B. Prasetyo, and T. H. Mulud, "Unjuk Kerja Turbin Savonius Menggunakan Generator Sinkron Magnet Permanen pada Variasi Pembebanan dan Kecepatan Angin yang Berbeda," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 272–278, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2860.
- [17] R. Afffy, E. Saber, and H. Awad, "Investigation of an Innovative Savonius Turbine in Practice," *Scientific Reports*, vol. 15, Art. no 6937, 2025. doi: 10.1038/s41598-025-88544-w.
- [18] M. I. Hidayat and A. C. Hermawan, "Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius–Darrieus untuk Pengisian Akumulator," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 66–72, Jan. 2024, doi: 10.26740/jte.v13n1.p66-72.
- [19] Y. Setyo Indartono, I. Farozan, and G. T. Fauzanullah, "Experimental Study into the Effect of Multi-staging and Check Valve Addition on the Performance of Savonius Wind Rotors with Modified-Bach Blade," *International Journal of Technology*, vol. 16, no. 2, 2025, doi: 10.14716/ijtech.v16i2.6389.
- [20] Y. K. Singh, S. K. Ghosh, and T. Maity, "Experimental and Numerical Investigation of the Impact of Turbulence on a Small-Scale Double-Stage Savonius Vertical Axis Wind Turbine in an Open Environment Application," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 61, Art. no. 103540, 2025, doi: 10.1016/j.tsep.2025.103540.