

## Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kompak Untuk Pengisian Daya Perangkat Elektronik

Agung Setiawan\*, Rahman Arifuddin, Aries Boedi Setiawan

Universitas Merdeka Malang, Indonesia

Email: agungsetiawan.1235@gmail.com\*, rahman.arifuddin@unmer.ac.id, aries@unmer.ac.id

### Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan kritis dalam aktivitas luar ruangan, mendukung fungsi komunikasi darurat, penerangan, dokumentasi visual, navigasi GPS, dan operasional perangkat medis portabel. Keterbatasan akses sumber listrik konvensional di kawasan terpencil seperti pegunungan dan hutan belantara menciptakan risiko keselamatan yang signifikan, terutama dalam kondisi darurat. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pembangkit listrik tenaga angin portabel berbasis energi terbarukan untuk aplikasi luar ruangan. Metode penelitian meliputi kajian literatur sistematis, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi, fabrikasi prototipe mekanik dengan pendekatan modular, serta pengujian lapangan dalam kondisi operasional nyata. Sistem ini mengintegrasikan generator angin DC mini berdaya nominal 5W dengan konverter buck-boost otomatis untuk stabilisasi tegangan keluaran. Monitoring parameter listrik dilakukan menggunakan sensor INA3221 dengan akurasi tinggi, diproses oleh mikrokontroler ESP32, dan disimpan secara lokal melalui kartu microSD dalam format CSV untuk analisis retrospektif. Energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai aki 6V 7Ah dan dapat didistribusikan untuk pengisian perangkat elektronik melalui port USB standar 5V. Hasil pengujian lapangan menunjukkan sistem mampu menghasilkan tegangan keluaran stabil sebesar 6,5V dengan arus 12,66 mA pada kecepatan angin optimal 12,2 km/jam, menghasilkan daya keluaran maksimal 0,0829 W. Sistem menunjukkan cut-in speed pada kecepatan angin 8 km/jam dan mampu mengisi baterai aki 6V secara efektif. Temuan ini mengonfirmasi kelayakan teknis sistem pembangkit angin portabel skala mikro sebagai solusi energi alternatif untuk kegiatan luar ruangan berskala kecil.

**Kata Kunci :** pembangkit angin kompak, ESP32, INA3221, Energi luar ruang, energi terbarukan

Corresponding Author; Agung Setiawan  
E-mail: agungsetiawan.1235@gmail.com



### Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi kekayaan alam yang luar biasa, dengan lebih dari 400 gunung yang tersebar di seluruh nusantara, menjadikannya destinasi favorit bagi para pecinta aktivitas luar ruangan (Nurhidayati et al., 2025). Data Kementerian Pariwisata tahun 2020 mencatat sekitar 3 juta pendaki domestik dan 150 ribu pendaki mancanegara yang mengunjungi berbagai kawasan pegunungan di Indonesia (Widodo, 2023). Aktivitas outdoor ini tidak hanya mencakup pendakian gunung, tetapi juga kegiatan ekspedisi ilmiah, penelitian ekologi, fotografi alam, dan operasi pencarian dan penyelamatan (SAR). Namun, tantangan utama yang dihadapi para pelaku aktivitas luar ruangan adalah minimnya akses terhadap sumber daya energi listrik konvensional di lokasi terpencil. Keterbatasan ini tidak hanya mengurangi kenyamanan, tetapi juga berpotensi

membahayakan keselamatan, terutama dalam situasi darurat yang memerlukan komunikasi real-time, penerangan, atau pengoperasian perangkat medis portabel.

Kebutuhan energi listrik di alam bebas mencakup berbagai aspek kritis: (1) komunikasi darurat melalui perangkat satelit atau telepon seluler, (2) penerangan portabel untuk keselamatan malam hari, (3) dokumentasi visual dan navigasi GPS, (4) pengoperasian perangkat medis seperti oksimeter atau nebulizer portabel, dan (5) sistem pemantauan cuaca atau lingkungan untuk kegiatan riset. Ketergantungan pada baterai disposable atau power bank konvensional memiliki keterbatasan signifikan dalam hal kapasitas energi, berat beban yang harus dibawa, dan dampak lingkungan akibat limbah baterai. Oleh karena itu, pengembangan sistem energi mandiri berbasis sumber terbarukan menjadi solusi strategis yang berkelanjutan.

Energi terbarukan, khususnya energi angin, menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan ini. Energi terbarukan didefinisikan sebagai sumber energi yang dapat diregenerasi secara alami melalui proses alam dalam waktu singkat, tanpa menyebabkan deplesi sumber daya alam (Naylor et al., 2020; Hosseini & Wahid, 2020). Indonesia memiliki potensi energi angin yang signifikan, terutama di kawasan pegunungan dengan topografi tinggi dan wilayah pesisir dengan kecepatan angin rata-rata 3-6 m/s (Ong & Lai, 2021; Triyono & Sudarsono, 2020). Menurut data Kementerian ESDM, potensi energi angin Indonesia mencapai 60,6 GW, namun pemanfaatannya baru mencapai kurang dari 1% dari total potensi yang tersedia (Kementerian ESDM, 2020; Rachmat et al., 2021). Pemanfaatan energi angin skala mikro untuk aplikasi portabel masih sangat terbatas, terutama untuk kebutuhan outdoor personal (Hernandez & Martinez, 2020; Siahaan & Simanjuntak, 2021).

Penelitian terkait pembangkit listrik tenaga angin skala kecil telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Hadiatna et al. (2023) melakukan studi kelayakan pembangkit listrik hybrid surya-bayu di Kota Bandung, menganalisis potensi kombinasi kedua sumber energi untuk meningkatkan efisiensi sistem dan kontinuitas pasokan daya. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem hybrid mampu mengompensasi fluktuasi energi angin dengan kontribusi energi surya, menghasilkan keandalan sistem yang lebih tinggi. Lathifah et al. (2023) menganalisis potensi pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi listrik di berbagai wilayah Indonesia, mengidentifikasi bahwa kawasan pegunungan dan pesisir memiliki kecepatan angin rata-rata yang memadai untuk pembangkit skala kecil. Studi tersebut menekankan pentingnya pemilihan lokasi dan karakterisasi profil angin lokal untuk optimalisasi performa sistem.

Dalam konteks sistem portabel, Sukandi et al. (2020) merancang kontroler pembangkit listrik hybrid angin dan surya berbasis Arduino, mengintegrasikan sistem monitoring dan pengaturan daya otomatis untuk meningkatkan efisiensi konversi energi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler dapat meningkatkan efisiensi sistem hingga 15% melalui optimalisasi algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT). Nugraha dan Achmad (2022) mengimplementasikan konverter buck-boost pada sistem hybrid turbin Savonius dan panel surya, mengatasi masalah fluktuasi tegangan input yang menjadi tantangan utama dalam sistem energi terbarukan skala kecil. Hasil penelitian menunjukkan konverter buck-boost mampu menghasilkan tegangan keluaran stabil dengan efisiensi konversi 85-90%. Monika et al. (2024) merancang pembangkit listrik tenaga bayu dengan turbin Savonius yang diklaim memiliki efisiensi lebih tinggi dalam kecepatan angin rendah dibandingkan turbin horizontal konvensional.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, terdapat celah riset (research gap) yang signifikan dalam pengembangan sistem pembangkit angin portabel untuk aplikasi luar ruangan personal. Pertama, sebagian besar penelitian fokus pada sistem skala menengah hingga besar dengan instalasi permanen, bukan pada portabilitas dan kemudahan mobilitas. Kedua, integrasi

sistem monitoring berbasis IoT dengan data logging lokal untuk analisis performa real-time masih jarang dieksplorasi dalam konteks sistem portabel. Ketiga, belum banyak penelitian yang menganalisis performa sistem pada kondisi kecepatan angin rendah dan fluktuatif, yang merupakan karakteristik umum di alam bebas.

Urgensi penelitian ini didorong oleh beberapa faktor kunci: (1) meningkatnya jumlah aktivitas outdoor pasca pandemi COVID-19, dengan pertumbuhan rata-rata 25% per tahun berdasarkan data Kementerian Pariwisata, (2) kesadaran yang semakin tinggi terhadap keselamatan dan kesiapsiagaan dalam aktivitas luar ruangan, terutama setelah beberapa kejadian kecelakaan yang melibatkan kegagalan komunikasi akibat perangkat elektronik mati, (3) komitmen global terhadap penggunaan energi bersih dan berkelanjutan sesuai Sustainable Development Goals (SDGs) poin 7 tentang energi bersih dan terjangkau, dan (4) kebutuhan akan solusi energi mandiri yang ringan, kompak, dan mudah dibawa dalam aktivitas ekspedisi jangka panjang.

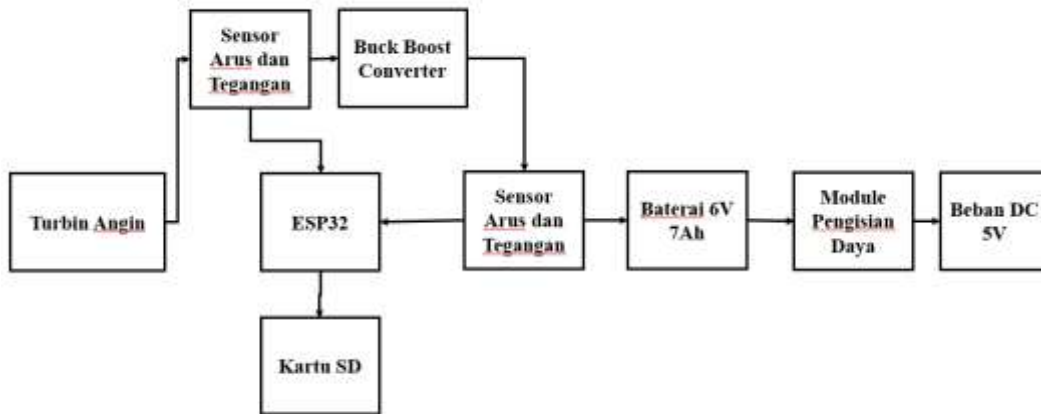
Kebaruan penelitian (novelty) ini terletak pada beberapa aspek inovatif: (1) Desain sistem modular yang dapat dibongkar-pasang (foldable design) dengan berat total di bawah 2 kg, memudahkan transportasi dan penyimpanan dalam ransel pendakian. (2) Integrasi sensor INA3221 triple-channel untuk monitoring parameter listrik (tegangan, arus, dan daya) secara simultan pada tiga titik pengukuran berbeda (input generator, output konverter, dan beban), memberikan data komprehensif untuk analisis efisiensi sistem. (3) Implementasi sistem data logging otomatis ke microSD dalam format CSV untuk analisis retrospektif tanpa memerlukan konektivitas internet, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang banyak mengandalkan cloud storage. (4) Karakterisasi performa sistem pada rentang kecepatan angin rendah (3-12 km/jam), yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur eksisting namun sangat relevan untuk kondisi lapangan di Indonesia. (5) Penggunaan konverter buck-boost otomatis dengan switching dinamis untuk mengakomodasi fluktuasi tegangan input yang ekstrem, meningkatkan stabilitas output tanpa intervensi manual.

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan celah riset di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga angin portabel dengan spesifikasi: kompak, ringan, mudah dibawa, dilengkapi sistem monitoring terintegrasi, dan mampu beroperasi pada kondisi kecepatan angin rendah yang karakteristik di alam bebas Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa prototipe sistem energi alternatif yang layak digunakan untuk aktivitas luar ruangan, serta kontribusi teoretis berupa data empiris mengenai performa sistem pembangkit angin skala mikro pada kondisi operasional riil di Indonesia.

## **Metode Penelitian**

### **Perancangan Sistem**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen rekayasa dengan merancang sistem pembangkit listrik tenaga angin yang kompak namun tetap dapat menghasilkan daya.

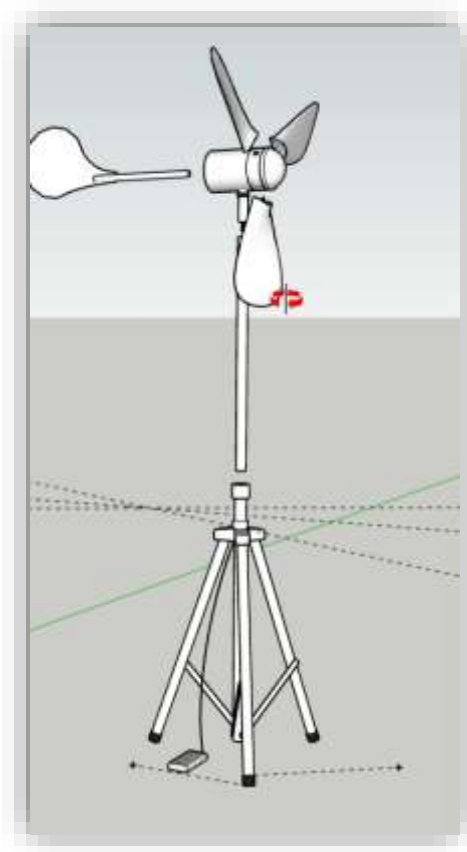


**Gambar 1. Parancangan Sistem**

Pada Gambar 1. Terdapat keseluruhan sistem, alur kerja dimulai dari turbin angin yang terhubung dengan generator. Turbin mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik, yang kemudian memutar rotor generator untuk menghasilkan energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Selanjutnya, sensor arus dan tegangan digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dan arus masukan dari generator. Data pengukuran ini kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32. Daya listrik yang masuk kemudian dikondisikan menggunakan konverter buck-boost untuk menghasilkan tegangan keluaran yang stabil pada 7,2V, meskipun tegangan input bersifat fluktuatif. Setelah proses konversi, daya keluaran diukur kembali untuk mengetahui besar daya aktual hasil konversi. Selisih antara daya masukan dan keluaran dianalisis untuk menghitung efisiensi sistem. Data hasil pengukuran ini disimpan oleh ESP32 ke dalam kartu microSD dalam format file CSV. Daya yang dihasilkan dari sistem ini selanjutnya dapat digunakan untuk mengisi daya perangkat elektronik, khususnya perangkat dengan kebutuhan tegangan 5V melalui port USB.

### **Perancangan Hardware**

Pada perancangan hardware, turbin angin didesain agar kompak dan mudah untuk dibawa berkegiatan di alam bebas. Berikut ini merupakan desain turbin angin yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan.

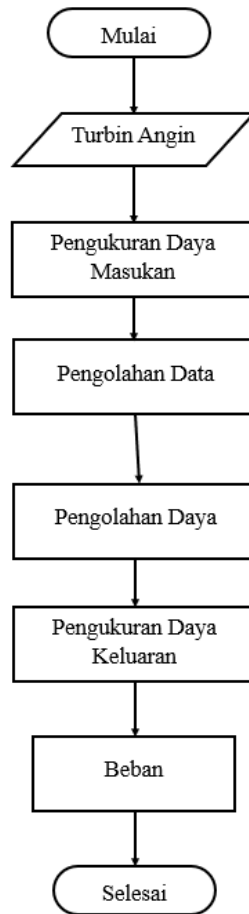


**Gambar 2. Desain Turbin Angin Kompak**

Pada Gambar 2. Turbin dibuat dapat dilepas dan dipasang agar memudahkan pada saat penyimpanan. Selain itu, pemilihan bahan yang ringan juga berpengaruh pada berat total turbin angin.

### Perancangan Software

Alur kerja sistem didesain seperti pada flowchart berikut ini.



**Gambar 3. Flowchart Sistem**

Pada Gambar 3. dari skema flowchart sistem atau cara kerja turbin. Berikut penjelasan dari langkah-langkah flowchart sistem:

Mulai sistem siap digunakan.

Generator yang terhubung dengan turbin angin akan menghasilkan listrik

Pengukuran daya dari masing-masing pembangkit pada sistem yang kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirim serta disimpan di kartu SD.

Pengubahan daya dilakukan agar listrik dapat dihasilkan dengan stabil.

Pengukuran daya keluaran.

Penyimpanan daya pada Baterai.

Penggunaan daya untuk beban DC 5V.

### Hasil dan Pembahasan

Dari hasil Penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat diperoleh beberapa data mengenai pengukuran sensor INA3221, konverter buck boost, serta pengukuran kecepatan Angin terhadap daya yang dihasilkan.



**Gambar 4. Pengujian Alat**

### **Pengujian Sensor INA3221**

Pengujian sensor INA3221 dilakukan dengan cara perbandingan dengan alat ukur multimeter yaitu multimeter Zoyi dengan tipe ZT102A untuk pengukuran tegangan dan pengukuran arus.

**Tabel 1. Pengujian Kalibrasi Sensor INA3221 Tegangan**

No.	Pengukuran (V)		Error Absolute	Error Relatif (%)
	Multimeter	Serial Monitor		
1.	3.98	3.94	0.04	1.005%
2.	4.06	4.07	0.1	0.246%
3.	4.090	4.072	0.018	0.440%
4.	4.091	4.075	0.016	0.391%

Secara umum, perbedaan nilai antara pembacaan multimeter dan sensor INA3221 cukup kecil, dengan nilai error absolut berkisar antara 0.010–0.040 V. Untuk menilai akurasi sensor INA3221 dilakukan perhitungan presentase error relatif yang didapatkan yaitu sangat rendah. Rata-rata error relatif dari keempat pengukuran tersebut adalah sekitar 0.52%, yang berada jauh di bawah ambang toleransi pengukuran 2% untuk sensor tegangan.

**Tabel 2. Pengujian Kalibrasi Sensor INA3221 Arus**

No.	Pengukuran (mA)		Error Absolute	Error Relatif (%)
	Multimeter	Serial Monitor		
1.	342.7	344.8	2.1	0.613%
2.	340.5	342.0	1.5	0.441%
3.	341.8	342.40	0.6	0.176%
4.	342.6	345.20	2.6	0.759%

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai arus yang diperoleh dari INA3221 memiliki error absolut antara 0.6 hingga 2.6 mA. Berdasarkan perhitungan error relatif, nilai rata-rata error

relatif adalah sekitar 0.497%, yang masih di bawah ambang batas toleransi pengukuran arus sebesar 3% untuk sensor ini.

Hal ini menunjukkan bahwa INA3221 cukup akurat dalam mengukur arus, bahkan dalam kisaran ratusan miliampere. Pembacaan arus melalui mikrokontroler dan komunikasi I2C menunjukkan kestabilan dan keandalan, selama sistem bebas dari gangguan sinyal dan koneksi antar pin sensor dijaga dengan baik.

### Pengujian Konverter Buck Boost

Pada pengujian langsung konverter Buck Boost, didapatkan data pengukuran seperti pada tabel 3.

**Tabel 3. Pengukuran Input dan Output Konverter Menggunakan Generator**

	Timestamp	Vin (V)	Ain (mA)	Vout (V)	Aout (mA)	Power Output (W)
1.	16:18:24	2.74	92.0	6.53	10.76	0.0702
2.	16:18:28	2.74	92.0	6.54	10.76	0.0704
3.	16:18:30	2.74	62.4	6.55	12.66	0.0829
4.	16:18:32	2.74	92.0	6.54	10.38	0.0678

Pada keempat sampel pengujian, tegangan input dari generator DC konsisten berada pada angka 2.74 V, yang menunjukkan bahwa sumber input berada dalam batas yang relatif rendah. Tegangan output dari konverter berhasil dinaikkan hingga sekitar 6.53–6.55 V, menunjukkan bahwa fungsi boost pada konverter bekerja dengan baik dalam menaikkan tegangan ke level yang diinginkan, yaitu mendekati target sistem 7.2 V. Arus input (Ain) bervariasi antara 62.4 mA hingga 92.0 mA, sedangkan arus output (Aout) berkisar antara 10.38 mA hingga 12.66 mA. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat konversi arus secara proporsional terhadap perubahan beban, dan juga mencerminkan sifat dasar konverter buck-boost di mana kenaikan tegangan akan menyebabkan penurunan arus, sesuai hukum konservasi energi.

Daya output tertinggi dicapai pada pengukuran ketiga, yaitu 0.0829 Watt, dengan tegangan output 6.55 V dan arus 12.66 mA. Sementara nilai daya terendah adalah 0.0678 Watt. Fluktuasi daya ini masih berada dalam rentang yang wajar mengingat fluktuasi arus input dan output. Hal ini menunjukkan bahwa konverter mampu bekerja secara dinamis menyesuaikan kondisi masukan dan beban, meskipun efisiensi sistem secara keseluruhan masih perlu dihitung dengan membandingkan daya input dan output.

Pengujian ini menunjukkan bahwa konverter buck-boost yang digunakan mampu meningkatkan tegangan input yang rendah secara konsisten hingga mendekati tegangan kerja sistem (6.5 V), serta menyediakan arus yang cukup untuk mengisi baterai dan mengoperasikan beban. Dengan daya output berkisar antara 67–83 mW, konverter ini layak diterapkan pada sistem energi skala kecil di luar ruang, terutama untuk pengisian daya perangkat bertegangan rendah. Evaluasi lanjutan mengenai efisiensi total konversi dan stabilitas jangka panjang masih diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut.

### Pengukuran Daya Terhadap Kecepatan

Kecepatan angin akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Pengukuran Kecepatan angin dilakukan dengan anemometer BENETECH tipe GM816. Berikut ini merupakan hasil pengukuran kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan.

**Tabel 4. Pengukuran Daya Terhadap Kecepatan Angin**

Timestamp	Vin (V)	Ain (mA)	Vout (V)	Aout (mA)	Power Output (W)	Kecepatan Angin (Km/h)
1. 11:12:33	2.66	15.6	6.55	0.61	0.003995	8.6
2. 11:23:08	2.58	7.6	3.33	0.00	0.000000	5.3
3. 11:24:40	1.26	2.0	0.00	0.00	0.000000	3.9
4. 16:18:30	2.74	62.4	6.55	12.66	0.0829	12.2

Berdasarkan data di atas, dapat diamati bahwa output daya konverter secara langsung dipengaruhi oleh kecepatan angin. Pada kecepatan angin terendah (3.9 Km/h), tegangan input hanya mencapai 1.26 V dengan arus sangat rendah (2.0 mA), sehingga konverter tidak mampu menghasilkan output daya (0 W). Hal serupa terjadi saat kecepatan angin 5.3 Km/h, di mana output tegangan menurun drastis menjadi 3.33 V namun tidak ada arus yang mengalir (0 mA), menyebabkan daya tetap nol.

Sebaliknya, pada kecepatan angin 8.6 Km/h (pengukuran ke-1), sistem mulai menunjukkan aktivitas konversi daya dengan output sebesar 6.55 V dan 0.61 mA yang menghasilkan daya sebesar 0.003995 W. Kinerja optimal tercapai pada pengukuran ke-4 dengan kecepatan angin 12.2 Km/h, menghasilkan tegangan output 6.55 V dan arus 12.66 mA, dengan daya output tertinggi sebesar 0.0829 W.

Data ini menunjukkan bahwa konverter buck-boost bekerja secara efektif jika energi input dari generator cukup, yang sangat bergantung pada kecepatan angin. Pada kecepatan rendah (<6 Km/h), energi yang dihasilkan oleh turbin angin belum cukup untuk memberikan daya yang dapat dikonversi secara signifikan. Namun, pada kecepatan di atas 8 Km/h, sistem mulai menunjukkan efisiensi konversi yang stabil, terutama pada kecepatan optimal (sekitar 12 Km/h).

Temuan ini mendukung teori bahwa sistem pembangkit angin berskala kecil memiliki ambang batas kecepatan angin minimum (cut-in speed) di mana sistem mulai menghasilkan energi secara efektif. Hal ini penting untuk diperhatikan dalam aplikasi luar ruang, di mana fluktuasi kecepatan angin menjadi faktor utama dalam performa sistem.

Konverter buck-boost dalam sistem ini bekerja optimal hanya ketika kecepatan angin mencapai atau melebihi ambang tertentu, yakni sekitar 8–12 Km/h. Pada rentang kecepatan tersebut, tegangan input cukup tinggi untuk dikonversi secara efisien menjadi tegangan stabil 6.55 V. Oleh karena itu, keberhasilan sistem sangat tergantung pada lokasi dan kondisi lingkungan, serta mungkin memerlukan integrasi dengan sumber energi tambahan seperti panel surya untuk menjaga kontinuitas daya.

### Kesimpulan

Turbin angin kompak yang dirancang mampu menghasilkan energi listrik dengan kinerja awal 3.9Km/h dan mulai menghasilkan daya output pada kecepatan angin 8 Km/h dan menunjukkan performa optimal pada 12.2 Km/h dengan output tertinggi sebesar 6.5 V, 12.66 mA, dan daya 0.0829 W. Pada konverter buck-boost dapat mengubah tegangan input rendah menjadi

tegangan output stabil sebesar 6.5 V yang sesuai untuk pengisian mengisi aki 6V 7Ah. Dengan desain yang kompak, sistem ini menunjukkan potensi sebagai solusi penyedia daya portabel untuk kebutuhan luar ruang berskala kecil.

#### Daftar Pustaka

- Hadiatna, F., Fauziah, D., & Syahirah, E. (2023). Studi kelayakan pembangkit listrik tenaga hybrid surya bayu di Kota Bandung. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(3). <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v11i3.811>
- Hernandez, J., & Martinez, J. (2020). Micro wind energy solutions for portable applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110072. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110072>
- Hosseini, S. E., & Wahid, M. A. (2020). Renewable energy development in Southeast Asia: The potential of wind energy. *Renewable Energy*, 151, 1009–1024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.019>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2020). *Laporan tahunan potensi energi terbarukan Indonesia*. Kementerian ESDM.
- Lathifah, H., Sudarti, & Yushardi. (2023). Analisis potensi pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi listrik di Indonesia. *JPST*, 2(4). <http://jurnal.minartis.com/index.php/jpst/>
- Monika, D., Nadhiroh, N., Kamil, I., Aprilianto, M. F., Pamekas, A. H., & Sitindaon, E. (2024). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu dengan turbin Savonius. *SNTE*, 9(1), 62–67.
- Naylor, M., Malshe, S., & Singh, S. (2020). Wind energy and sustainable development: Potential and challenges. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(2), 201–210. <https://doi.org/10.14710/ijred.9.2.201-210>
- Nugraha, A., & Achmad, I. (2022). Implementasi buck–boost converter pada hybrid turbin angin Savonius dan panel surya. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication*, 3(2).
- Nurhidayati, S. E., Muliani, L., Judijanto, L., Apriyanto, A., Haryanti, T., Darmayasa, D., Haryani, H., Rohmah, I. Y., Hadiati, M. S., & Arifiyanti, A. A. (2025). *Pesona pariwisata Indonesia: Potensi, pengembangan, dan inovasi membangun destinasi pariwisata Indonesia*. PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ong, K. M., & Lai, L. Y. (2021). The future of wind energy in Southeast Asia: A focus on Indonesia's wind potential. *Energy Reports*, 7, 2115–2125. <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2021.04.014>
- Rachmat, A., Haryanto, S., & Sumarno, S. (2021). Energy development in Indonesia: Opportunities and challenges for wind power. *Energy Policy*, 145, 111733. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111733>
- Siahaan, S., & Simanjuntak, E. (2021). Portable wind energy solutions for rural and remote applications in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110251. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110251>
- Sukandi, A., Ridwan, E., Andini, D., Gifari, H. N., Irawan, I., & Iriansyah, M. F. (2020). Rancang bangun kontroler pembangkit listrik hybrid angin dan surya berbasis Arduino. *Prosiding Semnas Mesin PNJ*, 62–72. <http://jurnal.pnj.ac.id>
- Triyono, M. P., & Sudarsono, S. (2020). Wind energy potential in Indonesia: A review of resource assessment and future outlook. *Energy Procedia*, 158, 4554–4561. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.12.573>

Widodo, W. S. (2023, September 27). Indonesia punya 400-an gunung, potensi wisatanya besar sekali. *Detik Travel*. <https://travel.detik.com/travel-news/d-6953185/indonesia-punya-400-an-gunung-potensi-wisatanya-besar-sekali>