



Perancangan dan Modifikasi Turbin Angin Savonius-Panel Surya Sebagai Model Teknologi Hybrid Penghasil Energi Terbarukan

Design and Modification of a Savonius Wind Turbine-Solar Panel Hybrid Technology Model For Renewable Energy Generation

Vigaska Fajrizamajid Nueguinea¹, Ardian Infantono²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara

E-mail: vigaskafajri@gmail.com, ardian.infantono@aau.ac.id

Abstract— *The increasing demand for sustainable and environmentally friendly energy encourages the development of hybrid renewable power systems. This study aims to design and analyze the performance of a hybrid power generation system by integrating a vertical axis Savonius wind turbine with polycrystalline solar panels mounted on the turbine blades. The research involved system modification, laboratory testing, and field experiments to measure voltage output, current, power, and system efficiency. The modified Savonius turbine utilized a Regency 20-inch fan dynamo rewound with 0.8 mm copper wire and equipped with neodymium permanent magnets to improve electromagnetic induction. Field testing conducted at Parangkusumo Beach produced a maximum wind speed of 7.4 m/s and moderate solar intensity, resulting in a combined electrical output of 24.2 V and 87.45 W. The hybrid configuration increased power output by approximately 70% compared to the single Savonius turbine without solar integration. The hybrid system demonstrated continuous electrical energy generation in varying environmental conditions, making it suitable for small-scale energy needs, especially in remote and off-grid regions. Further development is recommended by adding an energy storage system and automated control circuitry to improve output stability.*

Keywords— Renewable energy, Savonius turbine, solar panel, hybrid system, efficiency.

Abstrak— *Peningkatan kebutuhan energi ramah lingkungan mendorong pengembangan sistem pembangkit berbasis energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis kinerja sistem pembangkit listrik hybrid melalui integrasi turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius dengan panel surya polycrystalline yang dipasang pada bilah turbin. Metode penelitian meliputi modifikasi generator, pengujian laboratorium, serta uji lapangan untuk mengukur keluaran tegangan, arus, daya, dan efisiensi sistem. Generator yang digunakan merupakan dinamo kipas angin Regency 20 inci yang dimodifikasi dengan lilitan kawat 0,8 mm dan magnet neodimium untuk meningkatkan induksi elektromagnetik. Pengujian lapangan di Pantai Parangkusumo pada kecepatan angin maksimum 7,4 m/s dan intensitas cahaya sedang menghasilkan keluaran daya gabungan sebesar 24,2 V dan 87,45 W. Sistem hybrid ini meningkatkan daya keluaran sekitar 70% dibandingkan turbin Savonius tanpa panel surya. Kombinasi energi angin dan surya terbukti mampu menjaga suplai daya secara berkelanjutan dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga cocok diterapkan pada kebutuhan energi skala kecil, khususnya di daerah terpencil. Disarankan pengembangan lebih lanjut dengan penambahan sistem penyimpanan energi dan kontrol otomatis untuk meningkatkan stabilitas daya keluaran.*

Kata Kunci— Energi terbarukan, Turbin Savonius, Panel surya, Sistem hybrid, Efisiensi.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik seiring dengan pertumbuhan populasi dan industrialisasi global mendorong pencarian sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Indonesia, dengan kondisi geografis yang kaya akan potensi energi terbarukan, menghadapi tantangan dalam pemanfaatan optimal sumber daya tersebut. Energi angin dan matahari merupakan dua sumber utama yang dapat dimanfaatkan secara bersamaan untuk menghasilkan energi listrik secara efisien. Potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar, dengan total kapasitas mencapai sekitar 3.500 gigawatt (GW), terdiri atas tenaga surya sebesar 3.200 GW, tenaga angin 155 GW, serta sumber lainnya seperti tenaga air dan panas bumi. Namun, pemanfaatannya masih sangat rendah, dengan kontribusi energi terbarukan terhadap total pembangkitan listrik nasional hanya sekitar 3% pada tahun 2021, menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara potensi dan realisasi pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia [1].

Meningkatnya kebutuhan akan sumber energi yang efektif dan efisien menjadi salah satu masalah utama. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi semakin mahal dan terbatas, sehingga mendorong berbagai pihak untuk melakukan penelitian terhadap sumber energi baru yang terjangkau dan tersedia secara berkelanjutan. Energi baru terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin, menawarkan solusi yang tidak akan habis dan sesuai dengan kondisi iklim Indonesia yang relatif stabil. Kombinasi panel surya dan turbin angin, yang dikenal sebagai sistem *hybrid power*, memungkinkan pemanfaatan energi secara optimal. Panel surya efektif bekerja pada siang hari, sedangkan turbin angin lebih efisien pada malam hari. Sistem manajemen energi berperan penting dalam menjadwalkan penggunaan energi agar diperoleh hasil yang maksimal [1].

Meskipun demikian, integrasi panel surya dan turbin angin dalam satu sistem masih jarang ditemukan. Penelitian ini menghadirkan inovasi dengan memasang panel surya pada bilah turbin angin Savonius, menghasilkan sistem turbin angin hybrid yang memadukan dua sumber energi terbarukan. Dalam sepuluh tahun terakhir, penelitian yang menggabungkan kedua sumber energi tersebut masih sangat terbatas. Diharapkan, penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi angin dan surya dalam satu alat yang hemat ruang dan dapat beroperasi secara optimal baik pada siang maupun malam hari.

II. LANDASAN TEORI

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan permintaan energi yang terus bertambah tidak sebanding dengan ketersediaan energi fosil yang semakin menurun. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan dapat dimanfaatkan dalam jangka panjang. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah penggunaan energi terbarukan, seperti energi angin dan energi surya, untuk menghasilkan energi listrik tanpa menimbulkan polusi.

A. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber alam yang tidak akan habis karena dapat diperbaharui secara alami dalam waktu singkat. Jenis energi ini meliputi energi surya, energi angin, air, dan biomassa. Pemanfaatan energi terbarukan sangat penting dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca.

Dalam penelitian ini, dua sumber energi terbarukan digunakan, yaitu energi angin dan energi surya. Energi angin digunakan untuk memutar turbin angin, sedangkan energi surya digunakan

untuk menghasilkan energi listrik melalui panel surya (*solar cell*). Kedua sistem ini dapat bekerja secara bergantian tergantung pada kondisi lingkungan, sehingga menghasilkan pasokan listrik yang lebih stabil.

B. Konversi Energi

Daya keluaran panel surya dapat dinyatakan dengan Persamaan 1:

$$P_{pv} = G \cdot A \cdot \eta \quad (1)$$

di mana P_{pv} adalah daya panel (W), G intensitas radiasi (W/m^2), A luas permukaan panel (m^2), dan η efisiensi panel. Daya kinetik angin yang dapat dimanfaatkan turbin dinyatakan dengan Persamaan 2:

$$P_{v\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

dengan ρ massa jenis udara (kg/m^3), A luas sapuan turbin (m^2), dan v kecepatan angin (m/s).

C. Turbin Angin Savonius

Turbin Savonius merupakan turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang bekerja berdasarkan gaya seret. Keuntungan utamanya adalah mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah, konstruksi sederhana, dan tidak membutuhkan sistem orientasi arah angin. Daya mekanik turbin dinyatakan melalui:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$$

dengan C_p koefisien daya turbin (0,2–0,3 untuk Savonius).

D. Induksi Elektromagnetik pada Generator

Menurut Hukum Faraday, tegangan induksi berbanding lurus dengan jumlah lilitan kawat dan perubahan fluks magnetik:

$$E = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Penggunaan magnet neodimium meningkatkan densitas fluks dan daya keluaran, namun juga meningkatkan torsi lawan sehingga turbin harus memiliki torsi awal yang cukup.

E. Panel Surya

Panel surya menghasilkan arus searah (DC) melalui efek fotovoltaiik, di mana foton yang diserap material semikonduktor melepaskan elektron bebas. Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan:

$$P = V \cdot I$$

yang menunjukkan ketergantungan keluaran terhadap intensitas cahaya dan luas penampang panel.

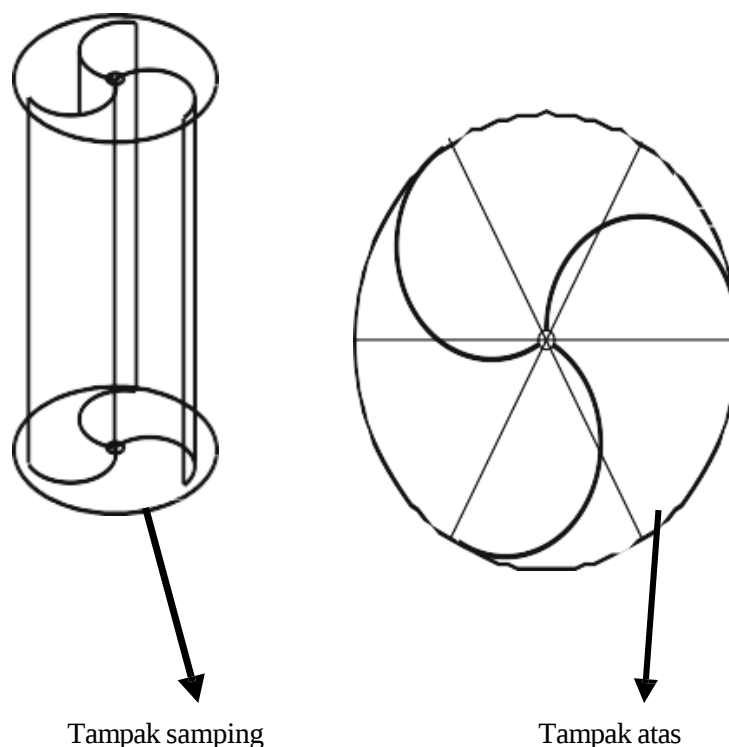
Pada penelitian ini, hasil keluaran dari turbin angin (dinamo) dan panel surya tidak disimpan dalam baterai, melainkan langsung digunakan untuk menghidupkan beban. Tujuannya adalah untuk mengetahui secara langsung besaran tegangan dan arus yang dihasilkan dari kedua sumber energi terbarukan tersebut pada kondisi nyata.

III. MODEL YANG DIUSULKAN

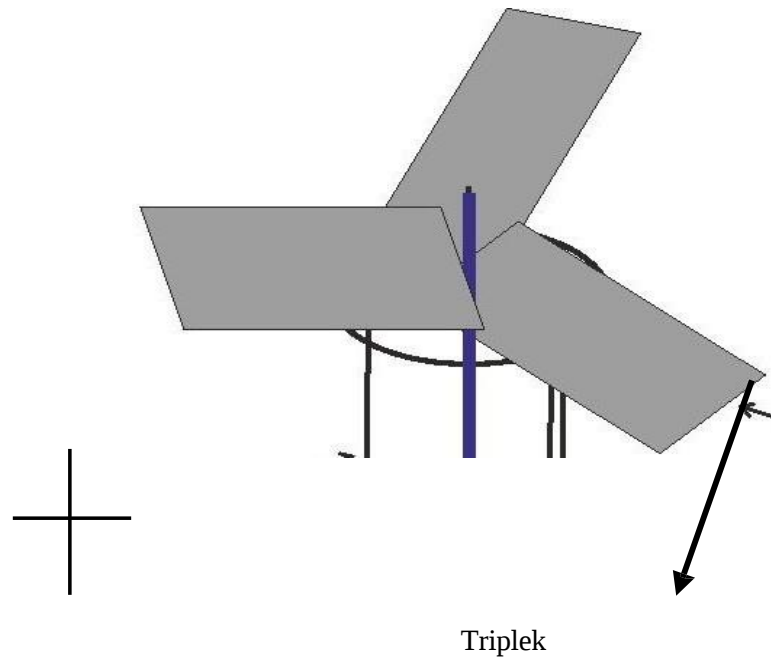
A. Desain struktur turbin

Desain turbin angin Savonius pada penelitian ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek efisiensi aerodinamis dan kemampuan integrasi dengan sistem *hybrid* tenaga angin dan surya (Gambar 1). Bilah turbin dibuat menggunakan pipa PVC yang dibentuk melengkung secara simetris untuk meningkatkan kemampuan menangkap hembusan angin. Bentuk lengkung tersebut berfungsi memaksimalkan gaya dorong (*drag force*) serta meminimalkan hambatan udara, sehingga menghasilkan putaran turbin yang lebih stabil dan efisien pada berbagai kecepatan angin.

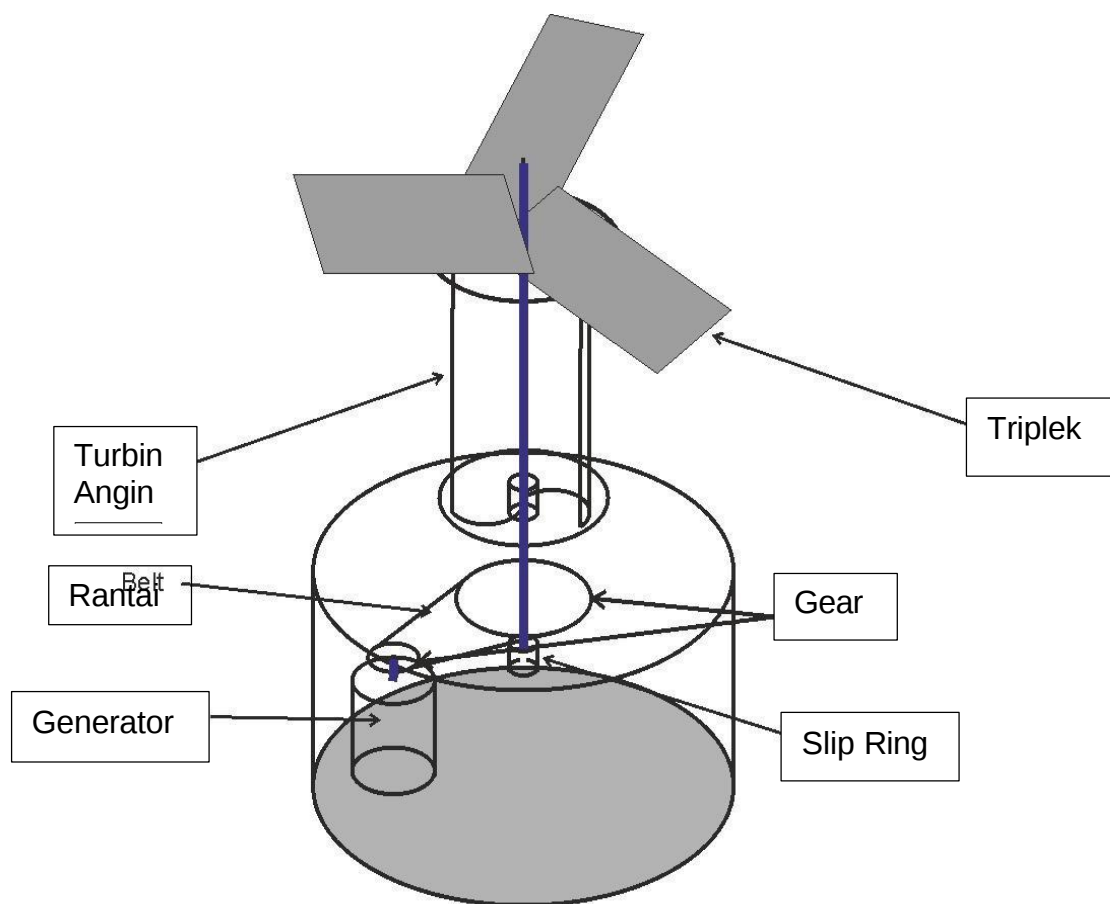
Pada tahap awal perancangan, dilakukan modifikasi dengan menambahkan plat triplek pada bagian atas bilah turbin (Gambar 2). Penambahan ini bertujuan untuk memperluas luas penampang tangkapan angin, sehingga kecepatan rotasi turbin meningkat dan energi mekanik yang dihasilkan menjadi lebih besar (Gambar 3).



Gambar 1. Desain awal turbin



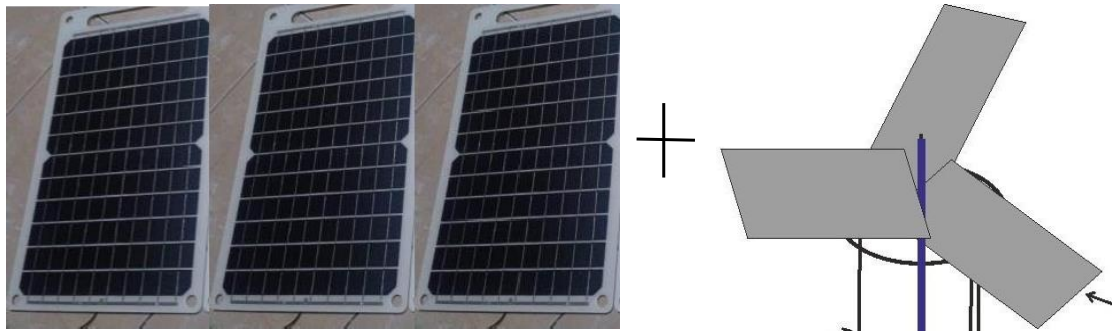
Gambar 2. Desain posisi triplek. angin savonius



Gambar 3. Desain Struktur Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan bilah turbin triplek

B. Desain struktur panel surya

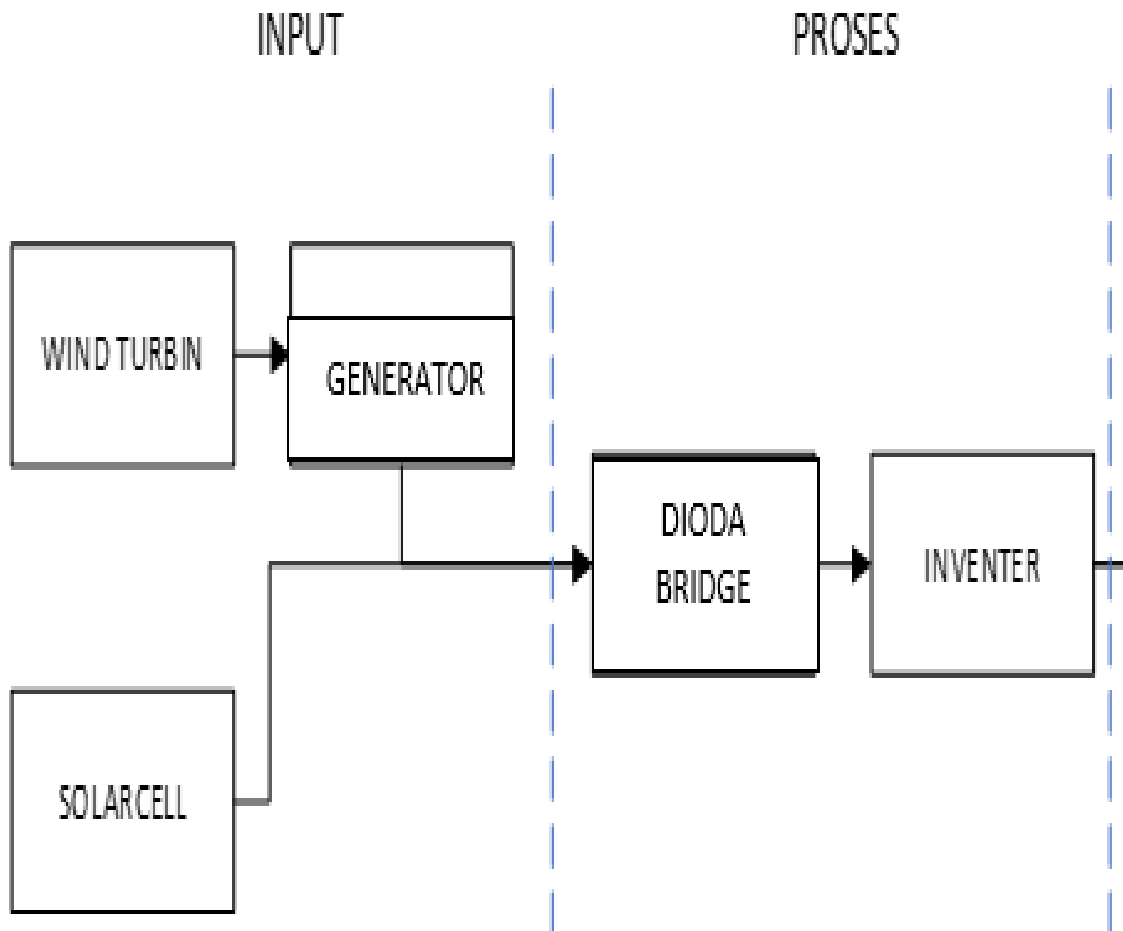
Panel surya yang digunakan merupakan jenis *polycrystalline* yang berfungsi sebagai sumber energi tambahan pada turbin angin serta membantu menambah gaya dorong pada bilah turbin. Jenis ini dipilih karena harganya terjangkau, tahan terhadap kondisi lingkungan, dan memiliki efisiensi yang cukup baik (Gambar 4). Panel surya dipasang pada bagian atas bilah turbin yang terbuat dari pipa PVC sebagai pengganti triplek pada desain awal, sehingga tercipta sistem *hybrid* yang mampu memanfaatkan energi angin dan matahari secara bersamaan.



Gambar 4. Panel Surya *Polycrystalline* dan bilah turbin tambahan

C. Skema Rangkaian Sistem Hybrid

Sistem *hybrid* turbin angin–panel surya pada penelitian ini memanfaatkan dua sumber energi terbarukan secara bersamaan tanpa menggunakan baterai atau regulator. Energi angin ditangkap oleh bilah turbin Savonius yang memutar generator (dinamo modifikasi), menghasilkan arus bolak-balik (AC) yang kemudian disearahkan menggunakan dioda bridge menjadi arus searah (DC). Arus DC ini selanjutnya masuk ke inverter yang mengubahnya kembali menjadi AC, sebelum dialirkan melalui trafo agar tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan beban. Secara terpisah, energi matahari dihasilkan dari panel surya polycrystalline berkapasitas 10 Wp sebanyak tiga buah yang disusun seri. Arus listrik dari panel surya melewati slip ring terlebih dahulu untuk memungkinkan transmisi listrik dari bilah turbin yang berputar, kemudian melewati dioda tunggal sebelum masuk ke inverter dan trafo. Kedua sumber energi ini bertemu pada inverter dan trafo, sehingga sistem *hybrid* dapat menyuplai beban secara simultan, menjaga kestabilan tegangan, dan meningkatkan efisiensi konversi energi meskipun kondisi angin atau cahaya matahari bervariasi (Gambar 5).

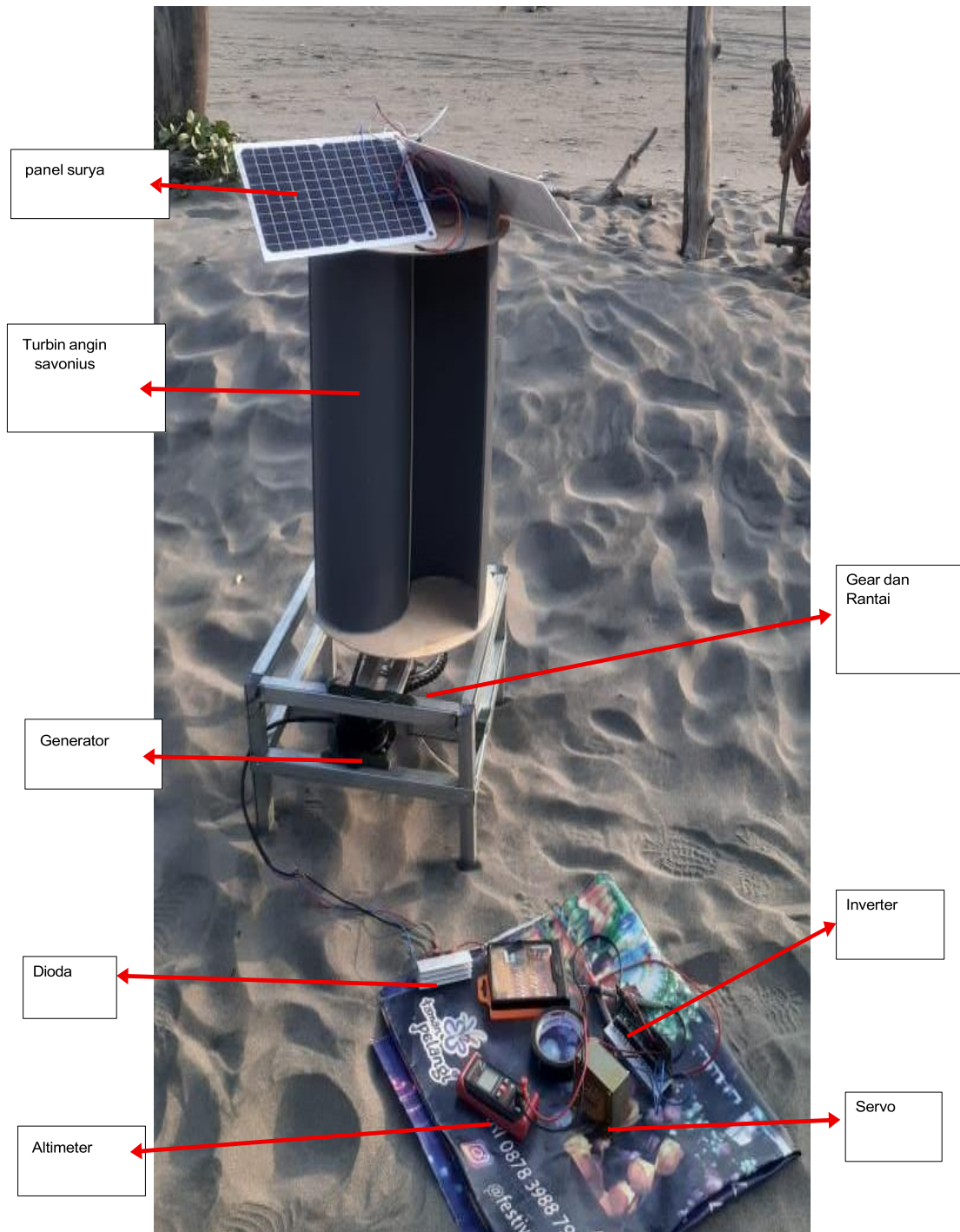


Gambar 5. Panel Surya *Polycrystalline* dan bilah turbin tambahan

IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Hasil implementasi perancangan model *Wind Turbine Savonius Hybrid* seperti pada Gambar 6. Model yang dirancang diuji di Pantai Parangkusumo, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 6. Hasil perancangan *Wind Turbine Savonius Hybrid*

Pengembangan sistem pembangkit listrik *hybrid* dilakukan dengan turbin angin Savonius dan panel surya. Alternator dimodifikasi dari dinamo kipas angin 20 inch dengan lilitan kawat 0,8 mm dan rotor magnet neodimium. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan tegangan puncak 191 V AC dengan daya 611 W menggunakan mesin bor sebagai penggerak rotor. Pengujian lapangan di Pantai Parangkusumo menghasilkan 3,141 V DC pada angin sedang, sedangkan pengujian malam hari di lahan terbuka menunjukkan 120,5 V AC dan arus 4,2 A. Panel surya tiga buah berkapasitas 10 WP yang dipasang seri pada bilah turbin menghasilkan daya maksimum 39,1 W

pada cahaya penuh, menurun sesuai intensitas cahaya. Sistem *hybrid* yang menggabungkan turbin dan panel surya melalui dioda penyearah dan inverter 500 W mampu menghasilkan keluaran listrik stabil untuk beban rumah tangga kecil.

B. Pembahasan

Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa modifikasi alternator dan penggunaan magnet neodimium meningkatkan induksi elektromagnetik sehingga arus keluaran meningkat signifikan, meskipun tegangan sedikit menurun. Kombinasi turbin angin dan panel surya terbukti meningkatkan daya total dan efisiensi konversi energi. Pengujian lapangan menegaskan sistem tetap stabil meskipun kecepatan angin bervariasi dan intensitas cahaya berbeda. Panel surya memberikan kontribusi tambahan pada siang hari, sementara turbin angin tetap mampu menghasilkan daya pada malam hari atau kondisi angin alami. Sistem *hybrid* ini menunjukkan kemampuan memanfaatkan energi angin dan matahari secara simultan, menjaga stabilitas tegangan dan arus DC, serta siap digunakan dengan performa optimal untuk aplikasi rumah tangga skala kecil.

V. KESIMPULAN

Sistem hybrid turbin angin Savonius dengan panel surya mampu memanfaatkan energi angin dan cahaya matahari secara optimal, menghasilkan listrik berkesinambungan siang dan malam. Modifikasi alternator dan penggunaan magnet permanen serta panel surya berfungsi efektif untuk konversi energi menjadi listrik, meningkatkan efisiensi, ramah lingkungan, dan siap menyalakan beban listrik ringan secara praktis.

Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan desain turbin lebih efisien pada kecepatan angin rendah, penggunaan inverter berkualitas lebih baik, penambahan sistem penyimpanan energi (baterai), perawatan berkala untuk menjaga kinerja, serta penerapan inovasi ini dalam skala lebih besar untuk daerah terpencil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Jurnal ini disusun dengan bantuan dari berbagai pihak yang membantu untuk penyelesaiannya. Untuk itu, pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih dan rasa hormat setinggi-tingginya kepada:

1. Kolonel Tek Wahyu Kusumahardi, S.T.,M.Sc. selaku Kepala Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara yang sudah banyak memberikan arahan dan masukan untuk kelancaran tugas akhir ini.
2. Kolonel Tek Dr. Ir. Ardian Infantono, S.Kom.,M.Eng. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta memberikan bimbingan, petunjuk, arahan dan masukan mulai dari awal penyusunan sampai pada akhir penyusunan tugas akhir.
3. Dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan masukan dan arahan untuk penyelesaian naskah tugas akhir ini.
4. Mama, Ayah, dan Adik yang selalu memberikan banyak doa agar tetap semangat dalam menyelesaikan naskah tugas akhir ini.
5. Seluruh rekan Perwira siswa yang telah memberi dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian naskah tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu demi satu yang telah berpartisipasi memberikan bantuan dalam penyusunan naskah tugas akhir ini.

Demikian ucapan terimakasih pada penyusunan jurnal ini. Menyadari keterbatasan kemampuan dalam penulisan jurnal ini, kami berharap adanya saran maupun kritik yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan jurnal ini. Kami berharap semoga jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan siapa saja yang membutuhkan. Semoga Tuhan Yang Maha Esamemberikan limpahan berkat dan karunia-Nya untuk meniti pengabdian kita di TNI Angkatan Udara

REFERENSI

- [1] Bohari, H., Matsumoto, Y., dan Kyushu University Research Team (2024). Performance Evaluation of Small-Scale Hybrid Savonius Wind Turbine and Photovoltaic System. *Journal of Sustainable Power and Energy Systems*, Kyushu University, Japan.
- [2] Hasan, H., 2020. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya di Pulau Saugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
- [3] Moranain, M., 2023. Desain sistem panel surya fleksibel dengan penambahan reflektor cermin untuk peningkatan output konversi energi listrik [Tugas akhir]. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area
- [4] Moranain, M., 2023. Desain sistem panel surya fleksibel dengan penambahan reflektor cermin untuk peningkatan output konversi energi listrik [Tugas akhir]. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
- [5] Nakhoda, Y.I., 2015. Rancang bangun kincir angin pembangkit tenaga listrik sumbu vertikal Savonius portabel menggunakan generator magnet permanen. Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, Industri Inovatif. [6] PDCA12-70 data sheet," Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [6] Rondonuwu, A., 2022. Manajemen energi hybrid power system menggunakan panel surya dan turbin angin. *Teknik Elektro*, Politeknik Negeri Manado, Kelurahan Buha, Manado, Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV).
- [7] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [8] Wardhana, S.E. (2017) Rancang Bangun Pembangkit Listrik Hibrida Menggunakan Kincir Angin Sumbu Vertikal Savonius dan Panel Sel Surya Skala Kecil. Skripsi. Institut Teknologi Nasional Malang.
- [9] Wardana, M., 2020. Pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja generator pada turbin angin sumbu vertikal. *Teknik Elektro*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, *Jurnal Teknik Elektro*
- [10] Yuwono, A.H., 2024. Smart farming dengan pembangkit hybrid berbasis IoT sebagai kontrol dan monitoring di area pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang.