

PEMANFAATAN UDARA BUANG OUTDOOR AC SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN BUCK-BOOST CONVERTER DENGAN PID

¹R. Wahyu Kushendranto, ²Riny Sulistyowati, ³Nariyah Silviana Erwanti

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya

¹hendrawahyu959@gmail.com, ²riny.971073@itats.ac.id, ³nariyahse@gmail.com

Abstract - This study explores the innovation of utilizing outdoor AC exhaust air as an alternative energy source to generate electricity, considering that wind is a useful renewable energy. AC exhaust air offers the advantage of constant wind speed, making it ideal for turning turbines. The focus of this study is a Savonius-type vertical wind turbine specifically designed for energy conversion efficiency from various wind directions. The energy generated by the turbine is then forwarded to a DC generator. The electricity generated is then stabilized using a PID controller-based Buck-Boost Converter. This system aims to maintain a constant output voltage of 14.4 V, which is very efficient for charging 12 V batteries. System testing was conducted at the SMKS Jembatan Suramadu Office, Madura. The results showed that the wind speed from the AC exhaust air ranged from 8-10 m/s, sufficient to rotate the turbine and generate electricity. The output voltage was proven to be stable with an average error of only 0.042% of the desired set point. This system not only shows optimal power conversion efficiency, but also offers an innovative solution for the utilization of renewable energy in urban areas. This research contributes to alternative lighting that is energy efficient and helps reduce electricity consumption in offices, showing great potential for practical application.

Keywords — *Wind Turbine, Savonius, Buck-Boost Converter, Renewable Energy, PID Control*

Abstrak— Penelitian ini mengeksplorasi inovasi pemanfaatan udara buang outdoor AC sebagai sumber energi alternatif untuk menghasilkan listrik, mengingat angin adalah energi terbarukan yang bermanfaat. Udara buang AC menawarkan keuntungan kecepatan angin yang konstan, menjadikannya ideal untuk memutar turbin. Fokus penelitian ini adalah turbin angin vertikal tipe Savonius yang dirancang khusus untuk efisiensi konversi energi dari berbagai arah tiupan angin. Energi yang dihasilkan turbin kemudian diteruskan ke generator DC. Listrik yang dihasilkan selanjutnya distabilkan menggunakan Buck-Boost Converter berbasis PID controller. Sistem ini bertujuan mempertahankan tegangan keluaran tetap pada 14,4 V, yang sangat efisien untuk pengisian baterai 12 V. Pengujian sistem dilakukan di Kantor SMKS Jembatan Suramadu, Madura. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan angin dari udara buang AC berkisar antara 8-10 m/s, cukup memadai untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Tegangan keluaran terbukti stabil dengan rata-rata error hanya 0,042% dari set point yang diinginkan. Sistem ini tidak hanya menunjukkan efisiensi konversi daya yang optimal, tetapi juga menawarkan solusi inovatif untuk pemanfaatan energi terbarukan di area perkotaan. Penelitian ini berkontribusi pada alternatif penerangan yang hemat daya dan membantu mengurangi konsumsi listrik di perkantoran, menunjukkan potensi besar untuk aplikasi praktis.

Kata Kunci— *Turbin Angin, Savonius, Konverter Buck-Boost, Energi Terbarukan, Kontrol PID*

PENDAHULUAN

Angin sebagai sumber energi terbarukan menawarkan potensi besar untuk mengatasi tingginya kebutuhan listrik, terutama di area perkotaan yang memiliki keterbatasan ruang dan kecepatan angin yang tidak menentu. Penelitian ini mengusulkan solusi inovatif dengan memanfaatkan udara buang dari unit outdoor AC sebagai sumber energi angin yang konsisten. Unit outdoor AC, yang umum ditemukan di perkantoran seperti SMKS Jembatan Suramadu, Madura, berfungsi sebagai pendingin ruangan server 24 jam dan menghasilkan kecepatan angin buang yang stabil antara 8-10 m/s. Kecepatan angin ini dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin vertikal tipe Savonius, dipilih karena kemampuannya mengonversi energi angin dari berbagai arah. Turbin ini dihubungkan dengan generator DC untuk mengubah energi mekanik menjadi listrik. Karena tegangan keluaran generator bervariasi, sistem ini dilengkapi dengan Buck-Boost Converter berbasis PID controller. Konverter ini berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan

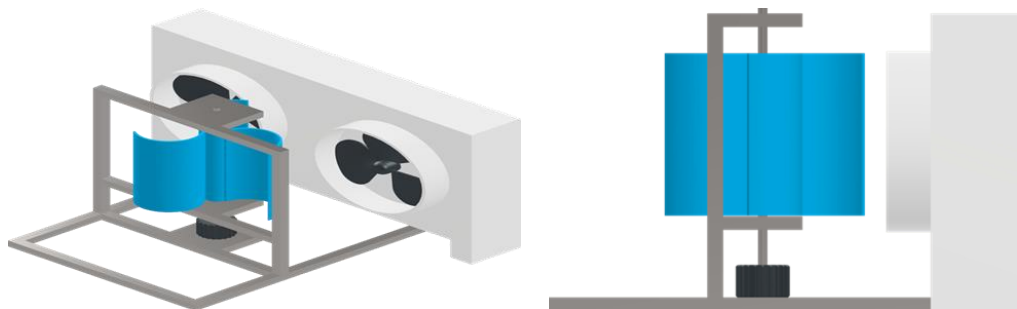
untuk mempertahankan keluaran stabil pada 14,4 V, yang optimal untuk pengisian baterai 12V12Ah dan menyuplai beban lampu DC, mencegah kerusakan peralatan dan meningkatkan efisiensi [1], [2], [3].

Pemanfaatan udara buang outdoor AC ini memberikan sumber energi angin yang lebih cepat dan konsisten dibandingkan angin alami. Dengan mekanisme turbin Savonius yang berputar akibat dorongan angin buang, generator menghasilkan energi listrik yang kemudian distabilkan oleh Buck-Boost Converter dengan kontrol PID. Sistem ini memungkinkan penyimpanan daya listrik pada baterai dan pemanfaatan energi tersebut sebagai penerangan alternatif. Secara keseluruhan, penelitian ini menyajikan pendekatan inovatif dan berkelanjutan dalam pemanfaatan energi terbarukan di lingkungan perkotaan. Dengan mengurangi ketergantungan pada sumber listrik konvensional, sistem ini berpotensi mengurangi beban konsumsi daya listrik di perkantoran dan menyediakan solusi penerangan yang hemat energi [4], [5].

Penelitian ini mengembangkan prototipe pembangkit listrik alternatif menggunakan hembusan angin dari unit outdoor AC[6]. Angin 3 m/s yang dihasilkan menggerakkan generator hingga 180 rpm, menghasilkan 1,20 volt. Pengujian dengan beban lampu LED dan resistor menunjukkan bahwa semakin besar hambatan, semakin kecil daya yang dihasilkan [7]. Hasil terbaik menunjukkan bahwa pengendalian PI Controller dengan nilai $K_p = 0,003$ dan $K_i = 7$ memberikan performa optimal. Dari pengujian variasi beban, didapatkan rata-rata rise time 0,22 detik, settling time 0,029 detik, overshoot 1,05%, dan error steady state 3,20%, dengan efisiensi daya sebesar 82,29%. Sedangkan pada pengujian variasi tegangan kontrol terbaik PI Controller menghasilkan rata-rata rise time 0,033 detik, settling time 0,041 detik, overshoot 1,35%, error steady state 8,40%, dan efisiensi daya sebesar 77,35% [8].

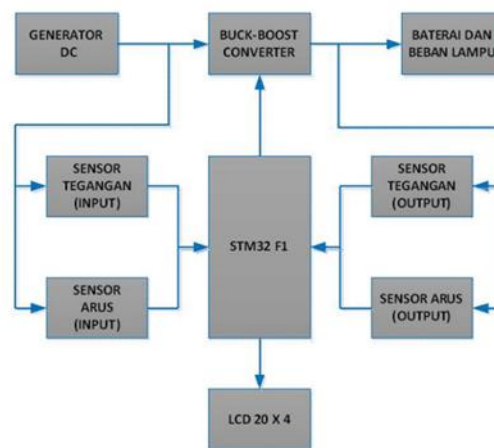
METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang stabil dan efisien. Tahapan awal yang krusial adalah proses perancangan secara teliti, yang mencakup spesifikasi teknis dari turbin angin, generator DC, dan konverter Buck-Boost. Sistem diawali dengan penggunaan turbin angin vertikal tipe Savonius yang berfungsi untuk menggerakkan generator DC sebagai sumber energi listrik awal[9]. Tegangan keluaran dari generator tersebut kemudian diatur oleh konverter Buck-Boost yang dikendalikan secara real-time oleh mikrokontroler STM32 F1 untuk memastikan kestabilan tegangan keluaran[10].



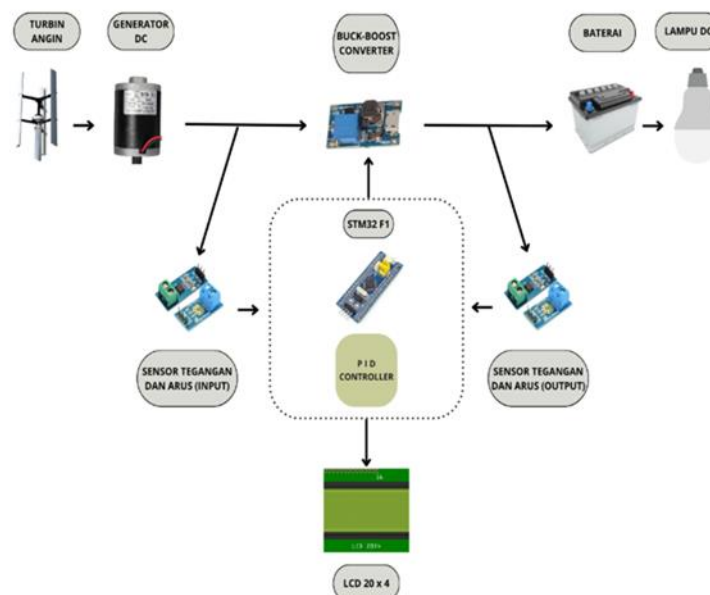
Gambar 1. Desain 3D Perancangan Rangka Turbin Angin

Gambar 1 menunjukkan desain 3D dari rangka turbin angin Savonius. Rangka tersebut memiliki dimensi tinggi 100 cm dan lebar 100 cm, dengan kedudukan dasar setinggi 15 cm. Material yang digunakan terdiri dari plat stainless steel untuk sudu turbin, pipa aluminium sebagai poros utama, serta besi sebagai penyangga. Sistem juga dilengkapi dengan bearing untuk mendukung rotasi poros dan sebuah generator berkapasitas 24V sebagai penghasil energi listrik.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Gambar 2 memperlihatkan blok diagram dari sistem pembangkitan energi angin. Dalam blok ini, ditampilkan alur kerja mulai dari turbin angin Savonius yang menggerakkan generator DC. Tegangan yang dihasilkan kemudian dialirkan ke konverter Buck-Boost. Sensor tegangan dan arus ditempatkan untuk membaca parameter keluaran dan memberikan umpan balik ke mikrokontroler STM32 F1. Mikrokontroler ini kemudian mengatur nilai tegangan keluaran sesuai target sebelum disalurkan ke beban.



Gambar 3. Sistem Hardware

Gambar 3 menampilkan susunan sistem perangkat keras (hardware) secara keseluruhan. Mikrokontroler STM32 F1 bertugas mengatur modulasi lebar pulsa (PWM) secara dinamis, untuk mempertahankan tegangan keluaran konstan pada 14V DC, meskipun tegangan input dari generator bervariasi antara 7V hingga lebih dari 14V. Sensor tegangan dan arus mengukur kondisi aktual dari generator dan konverter, kemudian mengirimkan data ke mikrokontroler untuk proses pengendalian[11]. Energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai untuk menjaga kestabilan suplai ke beban[12]. Efektivitas sistem ini diuji dengan menggunakan beban berupa lampu DC 12V 10W.

Secara umum, energi potensial angin dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin poros dalam sistem tenaga angin[13]. Model turbin poros biasa digunakan sebagai pembangkit atau generator berdasarkan teori dasar, angin

menggerakkan rotor bersama baling-baling dengan kecepatan tertentu kemudian poros turbin gerakan tersebut dihubungkan langsung dengan poros yang selanjutnya akan memutar generator sehingga generator menghasilkan energi yaitu energi listrik [14]. Pada rangkaian baterai seri arus yang akan dialirkan tetap sama namun untuk tegangannya meningkat sesuai dengan jumlah tegangan baterai yang dirangkai. Untuk rangkaian baterai secara paralel nilai tegangannya tetap sama, namun pada rangkaian ini nilai arusnya meningkat sesuai jumlah arus yang ada di tiap baterai yang dirangkai [15].

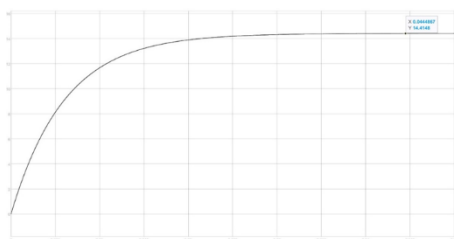
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai parameter kontrol PID (KP, KI, KD) guna mengontrol keluaran tegangan agar mencapai 14.4 volt. Metode trial and error diterapkan dengan mencoba nilai parameter secara bertahap dan menganalisis hasilnya melalui simulasi Simulink MATLAB. Proses pengujian menggunakan input tegangan 18 volt untuk setiap kombinasi parameter. Hasil pengujian trial and error lebih rinci disajikan dalam Tabel 1.

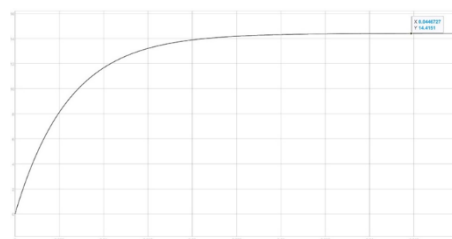
Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter KP, KI, dan KD Pada Simulink

No	KP	KI	KD	Hasil Output Tegangan
1	2	0.1	0.001	Overshoot = 14.8702 volt
2	4	0.1	0.001	Overshoot = 14.6406 volt
3	6	0.1	0.001	Overshoot = 14.5619 volt
4	8	0.1	0.001	Overshoot = 14.5169 volt
5	10	0.1	0.001	Overshoot = 14.4897 volt
6	2	0.2	0.001	Overshoot = 14.8419 volt
7	4	0.4	0.001	Overshoot = 14.6463 volt
8	6	0.6	0.001	Overshoot = 14.5993 volt
9	8	0.8	0.001	Overshoot = 14.424 volt
10	10	0.9	0.001	Overshoot = 14.4148 volt
11	2	0.2	0.002	Overshoot = 14.7775 volt
12	4	0.4	0.002	Overshoot = 14.6357 volt
13	6	0.6	0.002	Overshoot = 14.5371 volt
14	8	0.8	0.002	Overshoot = 14.4151 volt
15	10	0.9	0.002	Overshoot = 14.415 volt

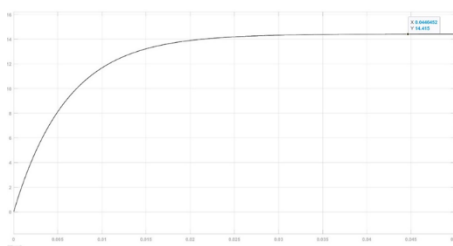
Berdasarkan Tabel 4.1, tiga kombinasi PID mendekati target 14.4V, yaitu pada pengujian ke-10, 14, dan 15. Kombinasi terbaik adalah KP=10, KI=0.9, KD=0.002, menghasilkan overshoot 14.415V (Gambar 4.3). Parameter ini akan digunakan pada mikrokontroler STM32 untuk mengendalikan Buck-Boost Converter. Pengujian selanjutnya akan membandingkan hasil aktual dengan simulasi; jika ada perbedaan signifikan, akan dilakukan evaluasi ulang desain atau faktor lain.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. (a) Hasil Simulasi Ke-10 Kontrol PID pada *Buck Boost Converter*, (b) Hasil Simulasi Ke-14 Kontrol PID pada *Buck Boost Converter*, (c) Hasil Simulasi Ke-15 Kontrol PID pada *Buck Boost Converter*

Berdasarkan Tabel 1. tiga kombinasi PID mendekati target 14.4V, yaitu pada pengujian ke-10, 14, dan 15. Kombinasi terbaik adalah $K_P=10$, $K_I=0.9$, $K_D=0.002$, menghasilkan overshoot 14.415V (Gambar 4). Parameter ini akan digunakan pada mikrokontroler STM32 untuk mengendalikan *Buck-Boost Converter*. Pengujian selanjutnya akan membandingkan hasil aktual dengan simulasi; jika ada perbedaan signifikan, akan dilakukan evaluasi ulang desain atau faktor lain.

Pembahasan Data Pengujian selama 7 Hari

Pengujian selama 7 hari menghasilkan data tegangan keluaran generator dan Buck-Boost Converter yang bervariasi setiap harinya. Untuk menganalisis kestabilan dan efisiensi sistem, dilakukan perhitungan rata-rata harian, yang kemudian dirata-ratakan kembali untuk mendapatkan nilai rata-rata keseluruhan selama 7 hari. Data rata-rata harian ini disajikan dalam Tabel 2 hingga 4 sebagai dasar analisis lebih lanjut.

Tabel 2. Rangkuman Pengujian Dengan Beban Tanpa Buck Boost Converter

Hari Ke-	Rata-Rata Parameter		
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Keluaran Generator (V)	Arus Keluaran Generator (A)
1	10,39	15,7	0,25
2	10,53	15,71	0,23
3	10,42	15,65	0,25
4	10,47	15,68	0,25
5	10,18	15,46	0,24
6	10,26	15,57	0,26
7	10,14	15,5	0,21
Rata-Rata	10,34	15,61	0,241

Berdasarkan Tabel 2 rata-rata harian dari 15 data pengujian menunjukkan kecepatan angin yang tidak stabil (10.14-10.53 m/s), dengan rata-rata 10.34 m/s. Tegangan keluaran generator juga tidak stabil (15.5-15.7 volt) dengan rata-rata 15.61 volt, sementara arus keluaran generator berada di kisaran 0.21-0.26 A dengan rata-rata 0.241 A.

Tabel 3. Rangkuman Pengujian Tanpa Beban Dengan Buck Boost Converter

Hari Ke-	Rata-Rata Parameter		
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Keluaran Generator (V)	Tegangan Buck Boost (V)
1	10,46	18,58	14,4
2	10,54	18,74	14,4
3	10,73	18,82	14,41
4	10,60	18,54	14,4
5	10,60	18,59	14,4
6	10,60	18,49	14,4
7	10,50	18,29	14,4
Rata-Rata	10,58	18,579	14,401

Berdasarkan Tabel 3 dari 15 data pengujian harian, kecepatan angin rata-rata bervariasi antara 10.46 hingga 10.73 m/s, dengan rata-rata keseluruhan 10.58 m/s. Tegangan keluaran generator menunjukkan rentang 15.82 hingga 18.29 volt, dengan rata-rata 18.579 volt. Sementara itu, tegangan buck boost menunjukkan kestabilan pada rentang 14.4 hingga 14.41 volt, dengan nilai rata-rata 14.401 volt.

Tabel 4. Rangkuman Pengujian Dengan Beban Dengan Buck Boost Converter

Hari Ke-	Rata-Rata Parameter				
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Keluaran Generator (V)	Arus Keluaran Generator (A)	Tegangan Keluaran Buck Boost (V)	Arus Keluaran Buck Boost (A)
1	10,10	12,23	1,71	14,32	1,01
2	10,20	12,31	1,77	14,42	1
3	10,10	12,44	1,64	14,42	1,08
4	10,20	12,36	1,73	14,44	1,09
5	10,10	12,31	1,7	14,41	1,05
6	10,30	12,36	1,76	14,42	1,05
7	10,20	12,32	1,61	14,42	0,99
Rata-Rata	10,17	12,333	1,703	14,407	1,039

Berdasarkan Tabel 4 rata-rata kecepatan angin harian dari 15 data pengujian menunjukkan ketidakstabilan (10.10-10.30 m/s) dengan rata-rata 10.17 m/s. Tegangan keluaran generator juga tidak stabil (12.23-12.44 volt) dengan rata-rata 12.333 volt. Arus keluaran generator berkisar 1.61-1.71 A dengan rata-rata 1.703 A. Sementara itu, tegangan keluaran buck boost relatif stabil (14.32-14.44 volt) dengan rata-rata 14.407 volt, mendekati set point 14.4 volt. Arus keluaran buck boost berada di rentang 0.99-1.09 A dengan rata-rata 1.039 A. Penelitian ini menggunakan beban lampu LED 3mm dan resistor sebagai hambatan. Terdapat lima variabel hambatan yang digunakan, dan setelah perhitungan, diketahui bahwa pengaruh perubahan pembebanan pada resistor berbanding terbalik. Semakin besar hambatan yang ada, daya yang dihasilkan semakin kecil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan udara buang dari unit AC luar ruang dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 9–10,5 m/s terbukti memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin berbasis turbin vertikal tipe Savonius. Namun demikian, tegangan keluaran yang dihasilkan oleh turbin mengalami fluktuasi yang cukup signifikan akibat gangguan eksternal seperti turbulensi angin, yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap kestabilan beban. Untuk mengatasi permasalahan ini, telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem penstabil tegangan menggunakan buck-boost converter yang dikendalikan oleh algoritma PID, dengan set point yang ditetapkan sebesar 14,4 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mempertahankan tegangan secara stabil dengan efisiensi konversi berada dalam rentang 67,43% hingga 69,00%. Dengan demikian, penggunaan buck-boost converter berbasis kendali PID terbukti efektif dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran dan memastikan kinerja beban berjalan secara aman dan optimal dari energi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. D. Herlambang, D. Hendrawati, A. D. Agustin, K. A. Kusuma, S. Wahyuningsih, And W. Wigiantoro, "Model Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Kinerja Pltb," *Eksergi J. Tek. Energi*, Pp. 35–39, 2020.
- [2] S. Riyadi And S. Y. Margen, "Desain Turbin Angin Poros Vertikal Untuk Penggerak Pompa Air," *Maj. Ilm. Momentum*, Vol. 16, No. 2, 2020.
- [3] M. Rijal, "Skripsi Perancangan Turbin Angin Berporos Horizontal Dengan Daya Rated 2.000 W," 2022.
- [4] S. Saboor, "Precision Air-Conditioning Report On Precision Air-Conditioning Submitted By S . Saboor National Institute Of Technology , Karnataka," No. June, 2015, Doi: 10.13140/Rg.2.1.2789.6483.
- [5] Y. P. Umbu, R. I. Sudjoko, And B. Wasito, "Prototipe Pembangkit Listrik Alternatif Dengan Memanfaatkan Hembusan Angin Dari Unit Outdoor Ac," In *Prosiding Snitp (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)*, 2020.
- [6] Y. P. Umbu, R. I. Sudjoko, and B. Wasito, "Prototipe Pembangkit Listrik Alternatif Dengan Memanfaatkan Hembusan Angin Dari Unit Outdoor Ac", *SNITP*, vol. 4, no. 1, Feb. 2022
- [7] B. R. Ananda, "Implementasi Desain Buck Converter Dengan Pid Controller Menggunakan Metode Tuning Genetic Algorithm (GA)," Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2020.
- [8] S. Lienkov, "Use Of Rescue Mode For UAV On The Basis Of STM32 Microcontrollers," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 3506–3513, Jun. 2020, doi: 10.30534/ijatcse/2020/156932020.
- [9] Rozi Ahmad Subkhi Azal and Riny Sulistyowati, "Using Buck Boost Converter In The Solar Cell Of Window Blind: Pemanfaatan Solar Cell Pada Tirai Jendela (Window Blind) Dengan Buckboost Converter", *PELS*, vol. 2, Dec. 2021
- [10] A. Nurdiyanto And S. Isnur Haryudo, "Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius", *JTE*, vol. 9, no. 1, Jul. 2019.
- [11] F. Azis, P. Bosowa Jalan Kapasa Raya No, and K. Makassar, "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Sumber Pencahayaan Pada Perahu Nelayan," *Journal Of Electrical Enggining (Joule)*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [12] F. Azis, P. Bosowa Jalan Kapasa Raya No, and K. Makassar, "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Sumber Pencahayaan Pada Perahu Nelayan," *Journal Of Electrical Enggining (Joule)*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [13] M. Azzahra, A. Chaeroni, I. Rosadi, and E. Endarti, "Proses Modifikasi Alat Anemometer Pada Alat Peraga Mini Wind Tunnel," vol. 2 No. 2, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.35894/jmd.v2i2.32>.
- [14] Moch Farhan Putra Pratama, Riny Sulistyowati, Nariyah Silviana Erwanti, Hari Agus Sujono, Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Ventilator dengan Buck-Boost Converter , *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan 2024*.
- [15] B. Florus King, D. Panjaitan, and A. Hartoyo, "Sistem Kontrol Charging Dan Discharging Serta Monitoring Kesehatan Baterai," *Pontianak*, 2020. doi: <https://doi.org/10.26418/j3eit.v8i1.40959>.