Uji Karakteristik Model Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan Variasi Kecepatan Angin Berbasis Buck Converter

Juber Hezron Ra'dak[1,*], Yusri Ambabunga[2,*], dan Nofrianto Pasae[3,*]

[1,2,3] Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Poros Sa'dan, Rantepao Kakondongan, Indonesia

[1]juberhezron02@gmail.com ; [2]ambabungayusri76@gmail.com ; [3]nofrianto@ukitoraja.ac.id

***Email korespondensi:** juberhezron02@gmail.com*

***Abstract* — This study investigates the comparison of generator outputs between Savonius and Darrieus wind turbines at various wind speeds. The research reveals that Savonius turbines demonstrate better voltage stability at low wind speeds, particularly in the range of 6 to 10 m/s, making them a more optimal choice for small-scale wind power generation at low wind speeds. On the other hand, Darrieus turbines tend to perform better at higher wind speeds, such as 8 m/s, but produce lower voltages at low wind speeds. These findings provide practical guidance for selecting wind turbines based on local wind speed characteristics to enhance the effectiveness of small-scale wind power generation.**

***Keyword* — comparison of Savonius and Darrieus generator; small-scale wind power generation.**

Abstrak — Studi ini menginvestigasi perbandingan output generator antara turbin angin tipe Savonius dan Darrieus pada berbagai kecepatan angin. Penelitian menunjukkan bahwa turbin angin Savonius menunjukkan stabilitas yang lebih baik dalam menghasilkan tegangan pada kecepatan angin rendah, khususnya dalam rentang 6 sampai 10 m/s. Hal ini membuatnya menjadi pilihan yang lebih optimal untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil pada kecepatan angin rendah. Di sisi lain, turbin angin Darrieus cenderung memiliki kinerja yang lebih baik pada kecepatan angin yang lebih tinggi, seperti 8 m/s, namun menghasilkan tegangan yang rendah pada kecepatan angin rendah. Hasil penelitian ini memberikan panduan praktis bagi pemilihan turbin angin berdasarkan karakteristik kecepatan angin lokal untuk meningkatkan efektivitas pembangkit listrik tenaga angin.

Kata kunci — pembangkit listrik tenaga angin skala kecil; perbandingan output generator Savonius dan Darrieus.

I. Pendahuluan

Energi terbarukan merujuk pada sumber daya energi yang diperoleh dari sumber alam yang dapat diperbaharui secara terus-menerus [1]. Sumber daya ini tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat diperbarui dengan cepat, membuatnya menjadi pilihan yang berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi global [2].

Pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan kebutuhan energi global telah mendorong penelitian dan pengembangan dalam mencari sumber energi terbarukan yang berkelanjutan [3]. Salah satu solusi yang semakin berkembang adalah pemanfaatan energi angin sebagai sumber daya untuk pembangkit listrik [4]. Energi angin telah terbukti menjadi sumber daya yang bersih dan dapat diperbaharui, menyediakan alternatif yang berkelanjutan untuk mengatasi tantangan krisis energi [5]. Sumber daya ini tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat diperbarui dengan cepat, membuatnya menjadi pilihan yang berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi global [6].

Pembangkit listrik tenaga angin menjadi pilihan yang menarik. Penelitian pada PLTB skala kecil juga dapat berkontribusi pada kemajuan teknologi pembangkit listrik berbasis biomassa secara keseluruhan [7], melalui inovasi dalam desain, efisiensi, dan keberlanjutan operasional [8]. Keberlanjutan ekonomi dan lingkungan pembangkit listrik tenaga angin juga mencerminkan dorongan global untuk menghadapi masalah keamanan energi [9]. Ketergantungan berlebihan pada pasokan energi konvensional membuat banyak negara mencari alternatif yang dapat mengurangi risiko terhadap fluktuasi harga bahan bakar dan ketidakpastian pasokan [10].

Pada tingkat lokal, masalah ini juga relevan, terutama di daerah yang belum terjangkau oleh infrastruktur energi tradisional. Pembangunan pembangkit listrik tenaga angin di wilayah-wilayah tersebut dapat meningkatkan akses terhadap listrik, mendukung pengembangan ekonomi lokal, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

Buck converter merupakan rangkaian elektronik yang digunakan untuk menaikkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih tinggi. Prinsip kerjanya didasarkan pada konversi daya dari sumber tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi, tanpa menambah daya secara keseluruhan [11].

II. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengamatan dan pengukuran terhadap variabel-variabel yang berpotensi memengaruhi objek penelitian. Tiga jenis variabel yang digunakan yaitu sebagai berikut:

A. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan faktor-faktor yang memengaruhi kinerja generator seperti tegangan dan arus pada saat pengoperasian. Contohnya adalah kecepatan angin.

B. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi fokus pengukuran, yang dipengaruhi oleh kecepatan angin dan desain turbin.

C. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dapat diatur selama proses pengambilan data, yaitu dengan mengatur jarak rotor turbin dari blower.

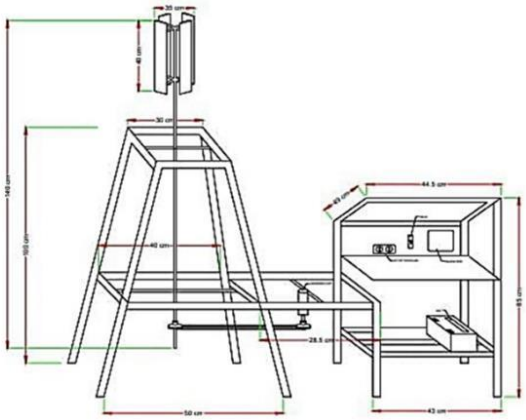
Dengan memperhatikan ketiga jenis variabel ini secara cermat, penelitian dapat membandingkan tegangan dan arus yang dihasilkan generator pada kecepatan angin yang ditentukan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang dapat diukur secara langsung. Tahapan penelitian meliputi:

D. Studi Literatur

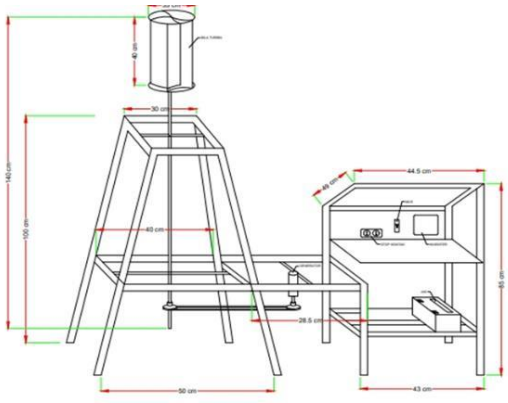
Studi literatur pada pembangkit listrik tenaga angin melibatkan penyelidikan dan analisis terhadap berbagai literatur ilmiah, artikel, buku, laporan penelitian, dan sumber informasi lainnya yang relevan dengan topik tersebut.

E. Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal

Desain turbin dibuat untuk dua tipe, yaitu tipe Darrieus dan tipe Savonius, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Desain turbin angin sumbu vertikal tipe Darrieus



Gambar 2. Desain turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius

F. Instalasi Sistem Turbin Angin Sumbu Vertikal

Instalasi dan perakitan turbin angin sumbu vertikal melibatkan serangkaian langkah teknis yang penting untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan sistem pembangkit listrik tersebut.

G. Pengujian Sistem

Pengujian sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) adalah proses evaluasi dan verifikasi kinerja suatu sistem tenaga angin untuk menghasilkan listrik, guna memastikan sistem dapat beroperasi secara efisien dan andal.

H. Pengambilan Data

Pengambilan data pada pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) melibatkan pengumpulan informasi terkait kinerja dan operasi sistem tersebut, yang diperlukan untuk pengolahan data.

I. Pengolahan Data

Pengolahan data pembangkit listrik tenaga angin melibatkan hasil pengumpulan, analisis, dan interpretasi informasi untuk mengoptimalkan kinerja dan operasional pembangkit listrik tenaga angin.

J. Perancangan Buck Converter

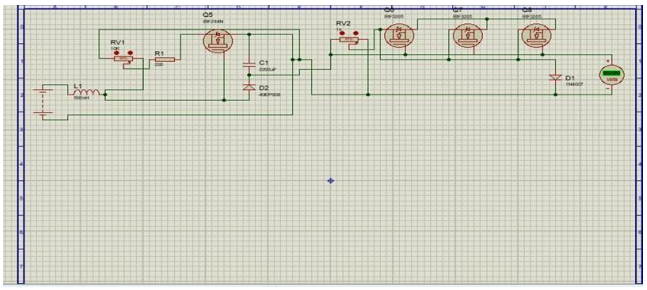
Perancangan alat menggunakan software Proteus 8, yaitu perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi elektronik, desain skematik, serta desain dan layout PCB (Printed Circuit Board).

K. Desain Skematik

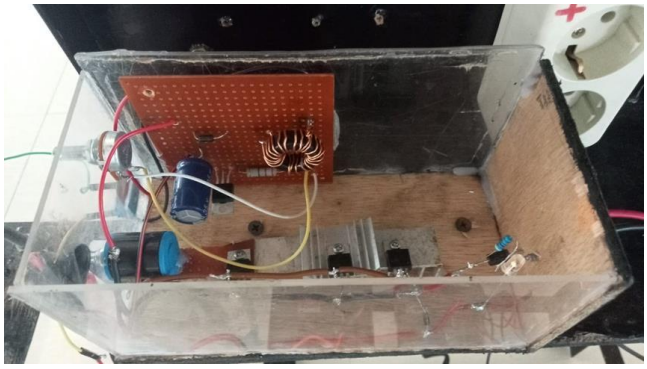
Proteus memungkinkan pengguna untuk membuat dan memodifikasi skema rangkaian elektronik, termasuk penempatan komponen seperti resistor, kapasitor, IC, dan transistor, serta menghubungkan komponen-komponen tersebut sesuai kebutuhan rangkaian.

L. Simulasi Rangkaian

Salah satu fitur utama Proteus adalah kemampuannya mensimulasikan rangkaian elektronik sehingga pengguna dapat menguji dan menganalisis perilaku rangkaian sebelum memproduksi PCB secara fisik. Proteus juga mendukung simulasi mikrokontroler seperti PIC, AVR, ARM, dan Arduino, sehingga pengguna dapat menulis dan menguji kode langsung pada simulasi.



Gambar 3. Desain skematik buck converter



Gambar 4. Hasil perancangan buck converter

M. Potensiometer

Potensiometer adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mengukur dan mengatur tegangan atau resistansi dalam suatu rangkaian. Potensiometer memiliki tiga terminal: dua terminal terhubung ke ujung-ujung elemen resistif, dan terminal ketiga terhubung ke penyapu (wiper) yang bergerak sepanjang elemen resistif.

N. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronik yang digunakan untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik dalam bentuk medan listrik. Kapasitor terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan isolator yang disebut dielektrik.

O. Transistor

Transistor IRFZ44N adalah jenis transistor MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) yang digunakan sebagai sakelar elektronik atau penguat daya. Transistor IRFZ3205 adalah MOSFET yang digunakan sebagai sakelar dalam sirkuit elektronik untuk mengendalikan arus besar dengan tegangan kontrol yang kecil. Konfigurasi seri dapat memberikan kontrol yang lebih baik terhadap arus dan tegangan di dalam rangkaian, meningkatkan stabilitas operasionalnya.

P. Dioda

Dioda memiliki dua terminal yang disebut anoda dan katoda. Fungsi utama dioda adalah mengalirkan arus listrik dari anoda ke katoda dan menghambat aliran arus dalam arah sebaliknya.

Q. Fuse

Fuse (sekering) adalah perangkat pengaman listrik yang digunakan untuk melindungi rangkaian listrik dari kerusakan akibat arus yang berlebihan. Fuse terdiri dari kawat atau strip logam yang meleleh ketika arus yang mengalir melaluinya melebihi batas.

III. Proses Perakitan PLTB

Pada pembuatan pembangkit listrik tenaga angin ini, tahapan dimulai dengan menyiapkan bahan, pembuatan, merangkai kelistrikan, dan mengujinya di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro.



Gambar 5. Pembuatan PLTB



Gambar 6. Hasil pembuatan PLTB tipe Savonius



Gambar 7. Hasil pembuatan PLTB tipe Savonius

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pengambilan Data

Setelah melakukan pengukuran nilai output generator pada kecepatan angin 6, 7, 8, 9, dan 10 m/s, maka diperoleh nilai rata-rata output generator sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai rata-rata output generator turbin angin tipe Darrieus

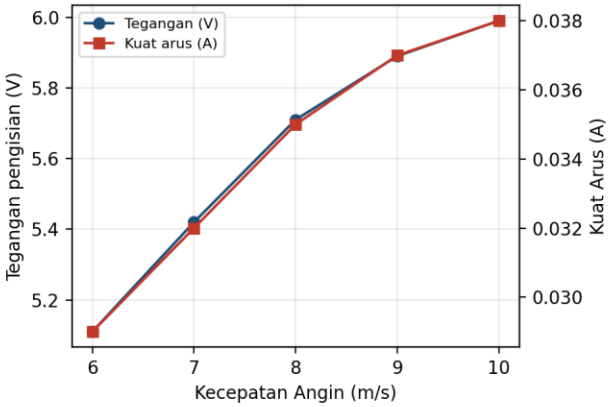
Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
6	3.03	0.010	0.032
7	4.03	0.020	0.082
8	5.79	0.035	0.200
9	6.02	0.037	0.223
10	7.40	0.045	0.334

Tabel 2. Nilai rata-rata output generator turbin angin tipe Savonius

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
6	5.11	0.029	0.148
7	5.42	0.032	0.173
8	5.71	0.035	0.198
9	5.89	0.037	0.218
10	5.99	0.038	0.225

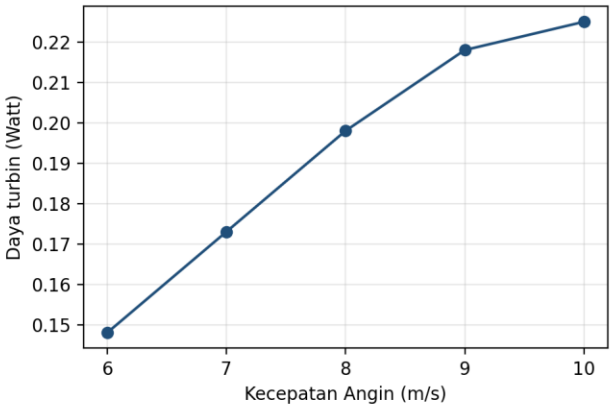
B. Pembahasan Hasil Penelitian

Data yang diperoleh dari pengukuran output generator dari dua jenis turbin mencatat nilai output generator pada berbagai kecepatan angin. Pengukuran dilakukan pada kecepatan angin 6, 7, 8, 9, dan 10 m/s. Variasi ini menggambarkan perbedaan kemampuan dua jenis turbin angin dalam menghasilkan tegangan.



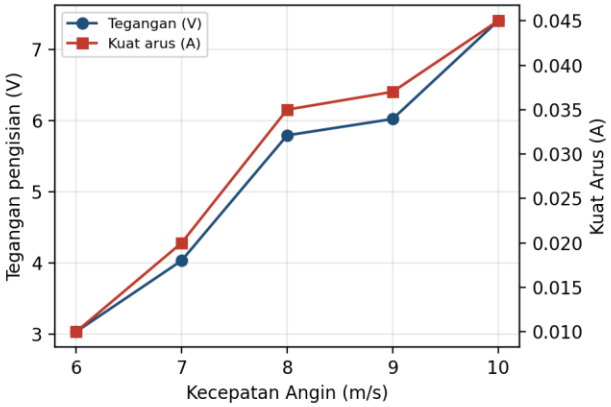
Gambar 8. Grafik hubungan tegangan dan arus terhadap kecepatan angin turbin Savonius

Grafik di atas menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin memberikan lebih banyak energi ke sistem, yang meningkatkan tegangan pengisian dan kuat arus yang dihasilkan. Turbin angin Savonius mampu beroperasi baik pada kecepatan angin rendah karena grafik menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring bertambahnya kecepatan angin.



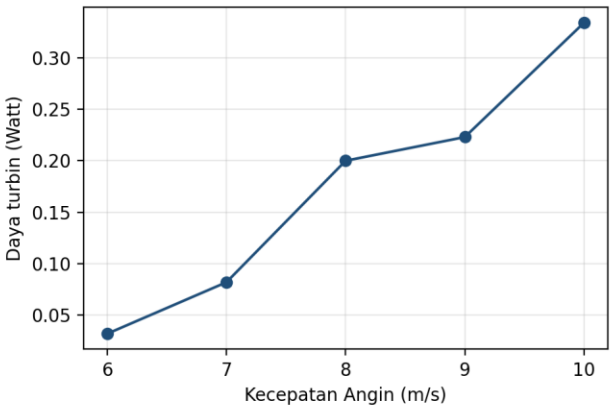
Gambar 9. Grafik hubungan daya terhadap kecepatan angin turbin Savonius

Grafik di atas menunjukkan bahwa daya output generator juga meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin, sama seperti tegangan dan arus pada Gambar 8.



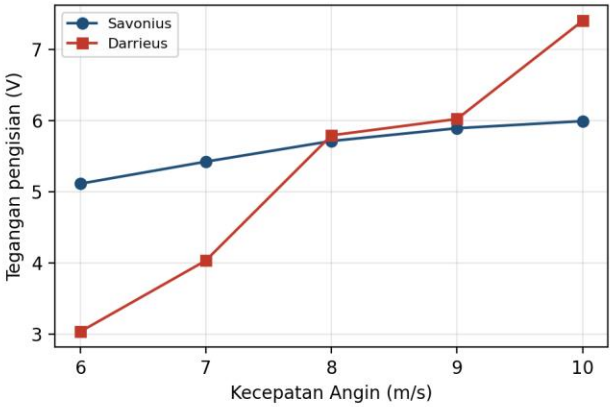
Gambar 10. Grafik hubungan tegangan dan arus terhadap kecepatan angin turbin Darrieus

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 8 m/s, tegangan pengisian dan kuat arus hampir sejajar, menunjukkan bahwa pada titik ini peningkatan kecepatan angin memberikan peningkatan signifikan pada keduanya. Peningkatan daya yang paling signifikan terjadi antara kecepatan angin 7 m/s dan 8 m/s.



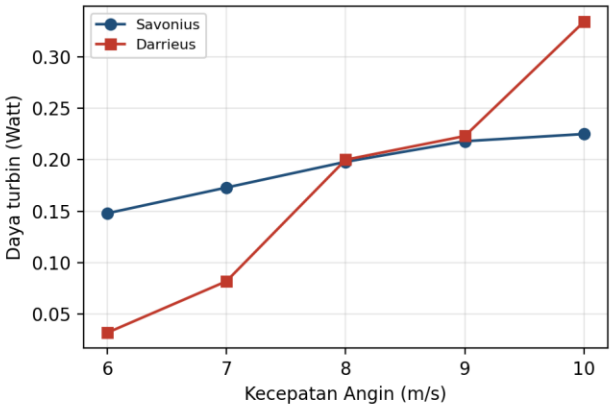
Gambar 11. Grafik hubungan daya terhadap kecepatan angin turbin Darrieus

Grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan daya meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin, dengan peningkatan yang signifikan terjadi pada kecepatan angin 8 m/s, mencapai 0,198 watt.



Gambar 12. Grafik perbandingan tegangan turbin tipe Savonius dan Darrieus terhadap laju kecepatan angin

Grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan tegangan pada turbin Savonius lebih konstan seiring dengan perubahan kecepatan angin, dibandingkan dengan tegangan pada turbin Darrieus yang meningkat secara signifikan pada kecepatan angin 8 m/s dan 10 m/s.



Gambar 13. Grafik perbandingan daya turbin tipe Savonius dan Darrieus terhadap laju kecepatan angin

Pada grafik di atas terlihat peningkatan daya seiring dengan perubahan kecepatan angin untuk turbin Savonius, namun untuk turbin Darrieus peningkatan daya naik secara drastis pada kecepatan angin 8 m/s dan 10 m/s.

V. Kesimpulan

Hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro dengan membandingkan output generator dua jenis turbin angin model sumbu vertikal dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1) Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Buck Converter pada sistem pengisian daya baterai meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan oleh turbin angin tipe Savonius dan Darrieus pada saat beroperasi pada kecepatan angin rendah.

2) Turbin angin Savonius cenderung lebih stabil dalam menghasilkan tegangan pada berbagai kecepatan angin.

Untuk kecepatan angin 6 sampai 10 m/s, turbin angin yang cocok digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil adalah turbin angin Savonius karena mampu menghasilkan tegangan yang optimal saat beroperasi di kecepatan angin rendah. Berbeda halnya dengan turbin angin tipe Darrieus yang hanya menghasilkan tegangan kecil pada kondisi kecepatan angin rendah, sehingga penggunaannya pada kecepatan angin 6 sampai 10 m/s kurang efektif karena turbin tipe Darrieus baru bekerja secara optimal pada kecepatan angin 8 m/s.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, yang telah memberikan kesempatan berharga ini untuk terus berkarya dan berusaha dalam menyelesaikan jurnal ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Yusri Ambabunga, S.T., M.T., dan Ir. Nofrianto Pasae, S.T., M.T., yang telah memberikan bimbingan, dukungan, serta inspirasi yang sangat berarti dalam penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang turut membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Z. Hasid, A. Noor, dan E. Kurniawan, Ekonomi Sumber Daya Alam Dalam Lensa Pembangunan Ekonomi. 2022.

[2] S. Yana, A. Yulisma, dan T. M. Zulfikar, "Manfaat Sosial Ekonomi Energi Terbarukan: Kasus Negara-negara ASEAN," Jurnal Serambi Engineering, vol. 7, no. 1, hlm. 2587–2600, 2021, doi: 10.32672/jse.v7i1.3820.

[3] V. Dwisari, S. Sudarti, dan Y. Yushardi, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan," OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika, vol. 7, no. 2, hlm. 376–384, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i2.3322.

[4] M. Hetharia, S. Hernowo, S. Irianto, dan K. Wicaksono, "Pemanfaatan Energi Angin untuk Menghasilkan Listrik," Jurnal Voering, vol. 6, no. 2, hlm. 45–57, 2021.

[5] C. Alkalah, No Title No Title No Title, vol. 19, no. 5. 2016.

[6] C. Alkalah, No Title No Title No Title, vol. 19, no. 5. 2016.

[7] I. Suryanti dan E. A. Setiawan, "Analisis Pengembangan Bisnis Model Microgrid untuk Penyediaan Tenaga Listrik dalam Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan pada Kawasan Wisata Geopark," Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan, vol. 17, no. 2, hlm. 413, 2023, doi: 10.35931/aq.v17i2.2002.

[8] D. Rahmawati, M. Ulum, M. Farisal, dan K. Joni, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596," Jurnal Arus Elektro Indonesia, vol. 7, no. 3, hlm. 84, 2021, doi: 10.19184/jaei.v7i3.28128.

[9] D. P. Andini, D. Saefudin, P. Handayani, Y. G. Sugiarta, F. Vauzia, dan S. Suyanto, "Desain dan implementasi rangkaian konverter jenis non-isolated buck and boost DC-DC," JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga), vol. 3, no. 3, hlm. 247–254, 2023, doi: 10.35313/jitel.v3.i3.2023.247-254.

[10] LPEM, "Analisis Bisnis dan Kebijakan untuk Mendorong Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Indonesia," Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia, no. November, 2023.

[11] J. Caron dan J. R. Markusen, "(referensi tidak lengkap pada naskah asli)," hlm. 1–23, 2016.