

Optimasi Daya Generator *Tidal Wave Turbine*, *Wind Turbine*, dan *Photovoltaic* di Pantai Selatan

Wahyu Alfinda Maharani¹, Ari Murtono², Tundung Subali Patma³
e-mail: contact.alfinda@gmail.com, ari.murtono@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 13 Mei 2024

Direvisi 20 Juni 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Tidal Wave Turbine

Wind Turbine

Photovoltaic

Buck-boost converter

PWM

ABSTRAK

Pembangkit listrik pesisir Indonesia masih menggunakan minyak bumi. Salah satu sumber energi alternatif yang menghasilkan listrik adalah *photovoltaic*. Faktor yang mempengaruhi *photovoltaic* menghasilkan tegangan listrik adalah intensitas cahaya matahari dan temperatur. Agar tegangan listrik lebih maksimal, penelitian ini menggunakan sistem *hybrid* antara *photovoltaic*, *tidal wave turbine*, dan *wind turbine*. Cara kerja *wind turbine* adalah memanfaatkan angin untuk memutar turbin dan menggerakkan generator. Sedangkan cara kerja *tidal wave turbine* adalah memanfaatkan arus laut untuk memutar turbin *vertical axis* supaya menggerakkan generator dan mengkonversinya menjadi energi listrik dengan menyimpan tegangan ke baterai aki. Tegangan *photovoltaic* dapat berubah sesuai intensitas sinar matahari, tegangan turbin arus laut dapat berubah sesuai arus laut, dan tegangan turbin angin dapat berubah sesuai kondisi angin. Ketika tegangan *photovoltaic*, turbin arus laut, dan turbin angin dibawah 12 Volt, tegangan akan dinaikkan menggunakan rangkaian *boost converter*. *Buck converter* aktif ketika tegangan mencapai lebih dari 14 Volt dan akan diturunkan hingga 13,5 Volt.

ABSTRACT

Indonesia's coastal power plants still use petroleum. One of alternative energy source that produces electricity is photovoltaic. Influencing factors of photovoltaics to produce electrical voltage are the intensity of sunlight and temperature. In order to maximize electrical voltage, this research uses a hybrid system between photovoltaic, wave turbine and wind turbine. The way a wind turbine works is that it uses wind to rotate the turbine and drive a generator. Meanwhile, the way a tidalwave turbine works is by using ocean currents to rotate a vertical axis turbine to drive a generator and convert it into electrical energy by storing voltage in a battery. Photovoltaic voltage can change according to the intensity of sunlight, ocean current turbine voltage can change according to ocean currents, and wind turbine voltage can change according to wind conditions. When the voltage of photovoltaics, ocean current turbines and wind turbines is below 12 Volts, the voltage will be increased using a boost converter circuit. The buck converter is active when the voltage reaches more than 14 Volts and will be reduced to 13.5 Volts.

Keywords:

Tidal Wave Turbine

Wind Turbine

Photovoltaic

Buck-boost converter

PWM

Penulis Korespondensi:

Wahyu Alfinda Maharani,

D4 Teknik Elektronika,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.

Email: contact.alfinda@gmail.com

Nomor HP/WA aktif: +62 818-052-753-34



1. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi terbaru yang ramah lingkungan, terutama yang dapat mengurangi berbagai dampak buruk yang ditimbulkan akibat penggunaan BBM [1]. Untuk mengatasi kerugian akibat kenaikan harga BBM tersebut, Indonesia harus mulai meneliti secara intensif potensi energi arus laut, angin, dan matahari agar bisa dimanfaatkan. Maka dari itu, alat ini dibuat untuk membantu masyarakat di daerah pesisir pantai untuk mengembangkan energi potensial yang mereka miliki.

Akan tetapi permasalahan utama dari *wind turbine*, *tidal wave turbine*, dan *photovoltaic* adalah minimnya keluaran daya yang dihasilkan serta keluaran yang tidak konstan dan efisiensi yang rendah pada kondisi tertentu seperti kuat-lemahnya hembusan angin, kuat lemahnya arus laut, dan intensitas cahaya matahari pada daerah tersebut [2]. Maka dari itu *buck-boost* konverter diperlukan untuk menaikkan dan menurunkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin, turbin arus laut, dan *photovoltaic*.

Dalam penelitian ini ketika *photovoltaic*, turbin angin, dan turbin arus laut dapat mengkonversi sinar matahari menjadi suatu energi listrik dengan menyimpan tegangan yang dihasilkan ke baterai aki. Tegangan dari *photovoltaic* dapat berubah sesuai intensitas sinar matahari, turbin arus laut dapat berubah-ubah tegangannya sesuai dengan kondisi arus laut, dan turbin angin juga dapat berubah-ubah tegangannya sesuai dengan kondisi angin, oleh karena itu ketika tegangan yang dihasilkan oleh *photovoltaic*, turbin arus laut, dan turbin angin dibawah 12 Volt, tegangan akan dinaikkan menggunakan rangkaian *boost converter*. *Buck converter* aktif ketika tegangan yang diterima lebih dari 14 Volt. *Buck converter* sendiri akan menurunkan tegangan sesuai kebutuhan baterai dan pada saat keluaran *photovoltaic* sampai 13,5 Volt [3].

Tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui cara mengoptimalkan tegangan keluaran menggunakan rangkaian *buck-boost* konverter pada sistem *photovoltaic*, turbin arus laut, dan turbin angin, dapat mendesain kontrol menggunakan *buck-boost* konverter agar tegangan output stabil, serta dapat mengetahui hasil keluaran *buck-boost* konverter.

Agar penelitian ini memperoleh tujuan tujuan tersebut, peneliti menggunakan landasan teori mengenai turbin arus laut yang terdiri dari beberapa jenis yakni vertical axis turbine dan horizontal axis turbine, turbin angin yang menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik dengan sumbu vertikal dan horizontal [4], *photovoltaic array* berupa suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik dan dalam penelitian ini jenis *photovoltaic array* yang digunakan adalah *monocrystalline photovoltaic* karena memiliki tingkat efisiensi paling tinggi [5], *buck-boost converter* yang jika dirangkai dapat menyesuaikan tegangan keluar dengan mengatur nilai *duty circle*-nya [6], Pulse Width Modulation (PWM) yang dapat memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda [7], sensor arus ACS712 yaitu perangkat yang mendeteksi arus listrik (AC atau DC) di kawat, dan menghasilkan sinyal sebanding dengan itu [8], sensor tegangan yaitu seperangkat alat yang dipakai untuk mendeteksi arus listrik (AC atau DC) di kawat dan menghasilkan sinyal sebanding dengan itu [9], relay berwujud saklar atau *switch* elektrik, *microcontroller arduino uno*, serta LCD 20x4 yang dipakai untuk menampilkan data arus dan tegangan yang diterima oleh sensor arus dan sensor tegangan [10], [11].

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat langkah-langkah yang akan dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi daya, diantaranya melakukan studi literatur yang berkaitan dengan proses-proses optimasi daya tenaga angin, arus laut, dan *photovoltaic* dan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dan dapat dijadikan acuan pada penelitian ini. Kemudian dilakukan pengembangan dan pembuatan alat dengan metode kontrol PWM [12].

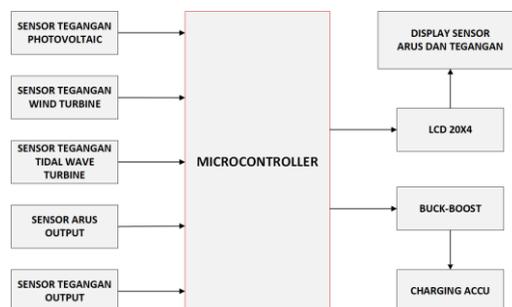
Kemudian variabel pada penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu variabel bebas, yakni masukan energi potensi laut (cahaya) dan variabel tergantung atau terikat, yakni hasil keluaran tegangan yang nantinya akan masuk kedalam aki/baterai [13]. Pengujian penelitian dilakukan dengan pengujian komponen, pengujian alat, deskripsi data sesuai dengan variabel, deskripsi data sesuai variabel, analisa data, interpretasi hasil, perumusan kesimpulan, analisa, dan pembuatan laporan [14]. Setelahnya, metode analisa data yang akan dilakukan adalah analisa pengaruh energi masukan terhadap keluaran tegangan yang akan dihasilkan dan analisa pengaruh rangkaian *buck-boost converter*



terhadap tegangan yang di hasilkan oleh turbin. ada perancangan sistem untuk optimasi daya generator *tidal wave turbine*, *wind turbine*, dan *photovoltaic* di pantai selatan ini memiliki beberapa spesifikasi [15], di antaranya yaitu:

1. Dimensi Tiang
 - Panjang : 68 cm
 - Lebar : 20 cm
 - Tinggi : 200 cm
2. Dimensi Box
3. Bahan Tiang : Besi
4. Bahan Box : Mika
5. Sensor : Sensor ACS dan Tegangan
6. Prosesor : Arduino Uno
7. Display : LCD 20 x 4
8. Tegangan Kerja Arduino: 5 Volt DC
 - Spesifikasi masukan ke *Buck-Boost*
 - a) *Tidal Wave Turbine*:
 - Tegangan satu modul = 5 - 9 Volt
 - pW = 0,1 - 0,11 W
 - Tegangan output maksimal = 1 Volt
 - Tegangan output minimum = 0,5 Volt
 - b) *Wind Turbine*:
 - Tegangan satu modul = 5 - 9 Volt
 - pW = 0,1 - 0,11 W
 - Tegangan output maksimal = 1 Volt
 - Tegangan output minimum = 0,5 Volt
 - c) *Photovoltaic*:
 - Tegangan satu modul = 0,5 volt
 - pW = 50 W
 - Tegangan output maksimal = 20,4 Volt
 - Tegangan output minimum = 15,4 Volt
 - Spesifikasi keluaran dari *Buck-Boost*
 - a) Tegangan masukan = 8 Volt – 24 Volt
 - b) Tegangan keluaran = 8 Volt – 24 Volt
 - c) Arus masukan = Maks 4 Ampere
 - d) Arus keluaran = Maks 2 Ampere

Diagram blok untuk mengetahui cara kerja rangkaian secara keseluruhan perencanaan system optimasi daya generator *tidal wave turbine*, *wind turbine*, dan *photovoltaic* di pantai selatan adalah sebagai berikut:



Gambar 1: Diagram Blok Sistem



Selain itu, dalam metode penelitian juga dibahas perancangan mekanik bagi *photovoltaic*, *wind turbine*, dan *tidal wave turbine*, perancangan elektronik, perancangan LCD 20x4, perancangan sensor tegangan input dan output, perancangan sensor arus ACS, perancangan rangkaian *buck-boost*, dan perancangan *software system* [16].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengujian sistem *photovoltaic*, semakin tinggi intensitas cahaya, maka semakin besar juga daya yang dihasilkan melalui panel. Sementara pengujian sistem wind turbinel menunjukkan bahwa kecepatan angin yang berbeda-beda sangat berpengaruh pada putaran motor yang menghasilkan tegangan dan arus keluaran. Sehingga semakin tinggi kecepatan anginnya, maka semakin tinggi pula putaran pada motor juga tegangan dan arus keluarannya. Daya hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan wind tunnel ini minimal hasil yang didapatkan adalah 0.4-Watt dan maksimal 0.88 Watt.

Pengujian sistem *tidal wave turbine* menunjukkan bahwa kecepatan angin dari *wind tunnel* yang diibaratkan sebagai arus laut yang berbeda-beda sangat berpengaruh pada putaran motor yang menghasilkan tegangan pada generator dan tegangan pada keluaran regulatornya. Sehingga semakin tinggi gelombang arus laut, maka semakin tinggi pula putaran pada motor juga berpengaruh pada tegangan dan arus keluarannya. Selanjutnya, daya hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan *wind tunnel* ini minimal hasil yang didapatkan adalah 0.5 watt dan maksimal 1 watt.

Pengujian sensor arus untuk mendapatkan nilai error pembacaan sensor yang dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur memiliki error rata-rata 1.788%. Pengujian sensor arus ACS712 dilakukan dengan membandingkan pembacaan pada sensor dan alat ukur *clamp meter*. Pengujian sensor tegangan bertujuan agar mendeteksi tegangan output dan mengirimkan sinyal analog pada pin Arduino UNO dengan tegangan yang rendah agar dapat mengetahui apakah tegangan output telah sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan, sehingga Arduino uno akan mengeluarkan jumlah sinyal PWM sesuai dengan kebutuhan setpoint yang telah ditentukan dengan hasil pengujian. Pengujian rangkaian LCD agar LCD dapat menampilkan tulisan yang dikehendaki dengan jelas dengan hasil sebagai berikut:



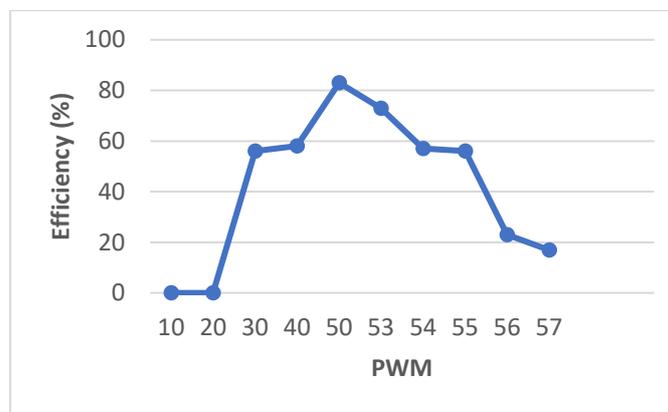
Gambar 2: Hasil pengujian LCD pada *Buck-Boost*

Selanjutnya hasil pengujian buck boost converter tanpa beban untuk mengetahui apakah DC Converter dapat bekerja dalam mode Buck atau mode Boost dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa DC Converter Buck--Boost bekerja dan aktif sesuai besar dan nilai PWM yang diberikan pada *Buck-Boost*. Pengujian ini dilakukan tanpa beban pada output DC Converter serta pemberian PWM dan untuk mengetahui apakah DC Converter dapat bekerja dalam mode Buck atau mode Boost. Dari pengujian yang telah dilakukan pada kondisi PWM 10-50 terjadi penurunan tegangan, dimana pada output tegangan lebih rendah daripada tegangan input 12V. Dari pengujian yang telah dilakukan pada kondisi PWM 10-50 terjadi penurunan tegangan, dimana pada output tegangan lebih rendah daripada tegangan input 24V. Dari pengujian tersebut didapatkan keluaran buck Converter yang nonlinier, sehingga perubahan PWM terhadap tegangan output tidak sama. Dari pengujian yang telah dilakukan pada kondisi PWM 1-10 terjadi kenaikan tegangan, dimana pada output tegangan lebih tinggi daripada tegangan input 12V. Terjadi perubahan



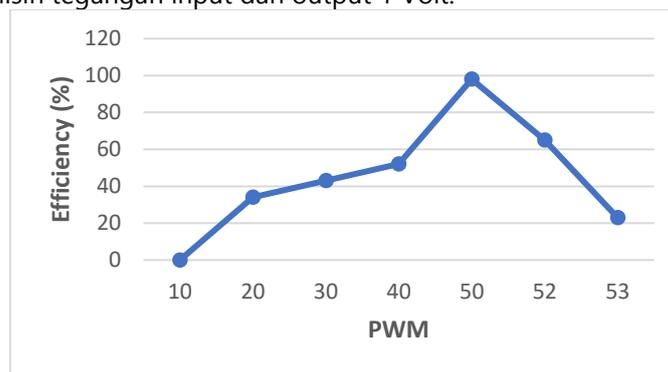
tegangan dimana PWM semakin besar maka output tegangan semakin besar, dengan perubahan 1 Volt s.d. 3 Volt setiap terjadi perubahan 1 PWM. Dari pengujian yang telah dilakukan pada kondisi PWM 1-6 terjadi kenaikan tegangan, dimana pada output tegangan lebih tinggi daripada tegangan input 24V dan pada hasil pengujian ini maksimum yang dicapai adalah sebesar 41,64V dengan perubahan 1 Volt s.d. 4 Volt setiap terjadi perubahan 1 PWM. Perubahan PWM dihentikan dikarenakan adanya kenaikan arus input yang signifikan yaitu melebihi 4 ampere. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada pengujian yang telah dilakukan dapat diamati dan diketahui DC Converter *Buck-Boost* bekerja dan aktif sesuai besar dan nilai PWM yang diberikan pada *Buck-Boost*, selain itu PWM yang diberikan pada *buck* dan *boost* diberikan masing-masing sehingga terdapat 2 channel PWM yang ada pada Arduino UNO yang digunakan untuk *buck-boost* ini.

Sementara pada hasil pengujian *buck-boost converter* dengan beban PWM 10-50 adalah kondisi Buck dan PWM 51-60 adalah kondisi Boost dilakukan beberapa pengujian. Pengujian pertama yaitu dengan menguji DC Converter dengan menggunakan beban sebesar 20 Ω dan dengan tegangan input 12V menunjukkan hasil efisiensi tertinggi didapatkan ketika nilai mencapai 50 PWM, efisiensi baik ketika nilai daya input dan daya output memiliki jarak yang tidak jauh sehingga tidak banyak daya yang terbuang, pada kondisi ini selisih tegangan input dan output 0 volt.



Gambar 3: Grafik Efisiensi dengan beban 20 Ω dan Input 12V

Lalu pada pengujian kedua, DC Converter dipakaikan beban sebesar 20 Ω dan dengan tegangan input 24V. Hasilnya adalah efisiensi tertinggi didapatkan ketika nilai PWM sebesar 50 dan dalam kondisi ini pada dapat diamati, efisiensi baik ketika nilai daya input dan daya output memiliki jarak yang tidak jauh sehingga tidak banyak daya yang terbuang, pada kondisi ini selisih tegangan input dan output 1 Volt.

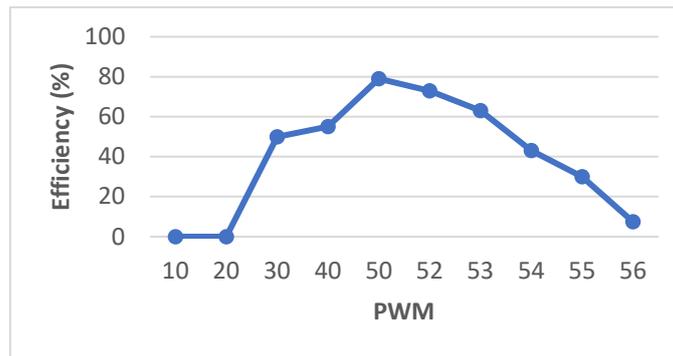


Gambar 4: Grafik Efisiensi dengan beban 20 Ω dan Input 24V

Lalu pada pengujian selanjutnya, DC Converter diuji menggunakan beban sebesar 10 Ω dan dengan tegangan input 12V. Hasilnya adalah tingkat efisiensi tertinggi didapatkan ketika nilai PWM sebesar 50 dan dalam kondisi ini



pada Tabel 4.18 dapat diamati, efisiensi baik ketika nilai tegangan input dan tegangan output memiliki jarak yang tidak jauh sehingga tidak banyak daya yang terbuang (+/- 1 Volt).



Gambar 5: Grafik Efisiensi dengan beban 10Ω dan Input 12V

Pengujian selanjutnya dengan DC Converter yang dipakaikan beban sebesar 10Ω dan dengan tegangan input 24V. Hasilnya menampilkan angka efisiensi tertinggi aalah 50 PWM dan dalam kondisi ini dapat diamati, efisiensi baik ketika nilai daya input dan daya output memiliki jarak yang tidak jauh sehingga tidak banyak daya yang terbuang, pada kondisi ini selisih tegangan input dan output 2 Volt.

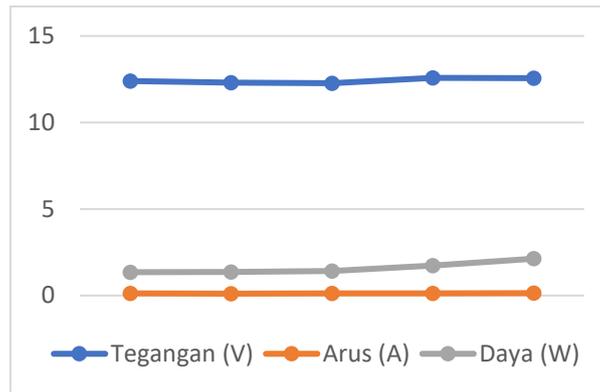


Gambar 6: Grafik Efisiensi dengan beban 10Ω dan Input 24V

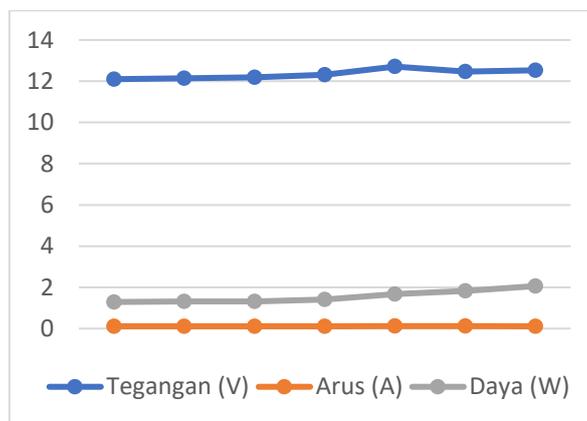
Kemudian dilakukan pengujian sistem yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari *Buck-Boost* yang telah dirancang untuk digunakan sebagai media charging *accu* serta mengetahui perubahan nilai pada input dan output dari *buck-boost* dengan mengujinya terhadap perubahan tegangan input serta terhadap lama waktu charging *accu*. *Buck-boost* dapat mencharger battery *accu* dengan perubahan input tegangan 9V s.d. 19V seperti yang telah dilakukan, akan tetapi terdapat perbedaan pada input dan output dari *Buck-Boost* yang menyebabkan perubahan efisiensi untuk melakukan charging pada *accu*. Pada pengujian yang telah dilakukan juga dapat diamati bahwa yang paling signifikan terhadap perubahan input adalah arus pada output *Buck-Boost*, dimana jika tegangan input lebih tinggi maka output dari *buck-boost* dapat lebih tinggi untuk melakukan charging *accu*. Sementara pengujian pengaruh waktu terhadap *buck-boost* untuk pengisian pada battery, pada pengujian ini digunakan tegangan input yang berubah-ubah dan tegangan output yang berubah-ubah dan mengamati hasil perubahan waktu terhadap pengisian battery. Digunakannya waktu siang hari agar output maksimum didapatkan, sehingga dapat menyuplai secara maksimal.

Pengujian keluaran sistem *buck-boost* pada Gambar 7 menunjukkan bahwa bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan putaran turbin. Kemudian pada Gambar 8 merupakan pengukuran pada *tidal wave turbine* dan menghasilkan keluaran pada generator menunjukkan bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan *wind tunnel*.



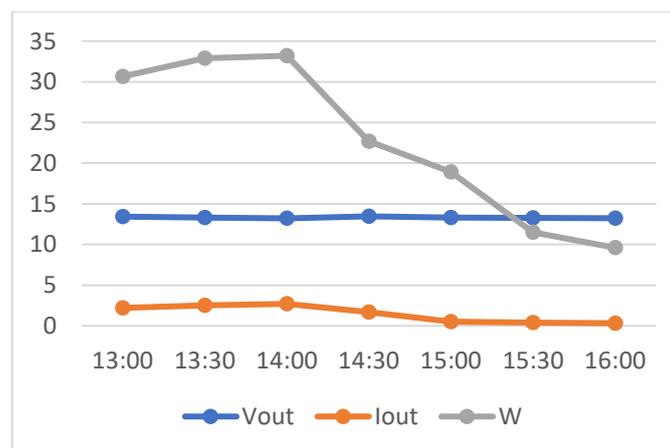


Gambar 7: Grafik Hasil Pengujian *Wind Turbine* Dengan Sistem *Buck-Boost*



Gambar 8: Grafik Hasil Pengujian *Tidal Wave Turbine* Dengan Sistem *Buck-Boost*

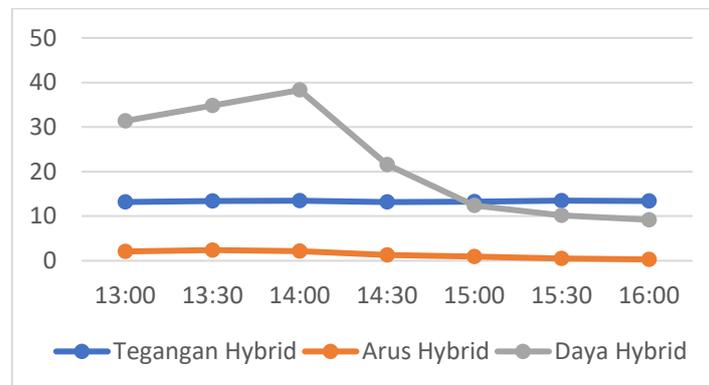
Selanjutnya, hasil uji keluaran *photovoltaic* menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh sel surya tidak stabil. Hal ini disebabkan karena kondisi cuaca pada saat pengukuran berubah-ubah sehingga sinar yang diterima oleh sel surya juga berubah-ubah.



Gambar 9: Grafik Hasil Pengujian *Photovoltaic* Dengan Sistem *Buck-Boost*



Selanjutnya dilakukan pengujian keluaran yang digunakan untuk pengisian daya pada accu dan hasil uji menunjukkan bahwa tegangan yang didapatkan setelah melakukan sistem hybrid terjadi kenaikan sampai 13.47 Volt DC dan arus pada pembangkit juga mengalami kenaikan sampai 2.4 Ampere. Sistem hybrid yang dilakukan pada tiga sumber energi listrik menghasilkan daya sampai 38.3 Watt dan membutuhkan waktu selama 1 jam 9 menit untuk mengisi accu 45Ah hingga penuh.



Gambar 10: Grafik Hasil Pengujian Sistem Hybrid

Setelah melakukan pengujian alat dan pengukuran tegangan *photovoltaic*, *wind turbine*, dan *tidal wave turbine* yang tidak berbeban menunjukkan kenaikan tegangan berbanding lurus dengan arus dan daya karena tidak adanya beban yang dapat menghambat kenaikan arus, sehingga semakin naiknya radiasi dan kecepatan angin yang diterima oleh *photovoltaic* dan generator dari *wind turbine* dan *tidal wave turbine* akan mempengaruhi kenaikan arus dan tegangan sehingga daya pun ikut naik. Naik turunnya tegangan serta daya pada pengukuran *photovoltaic*, *wind turbine*, dan *tidal wave turbine* ditentukan oleh kondisi angin, arus laut, dan intensitas cahaya matahari. Dengan kata lain, intensitas radiasi, besar gelombang laut, dan kecepatan angin berpengaruh pada daya input *photovoltaic*, *wind turbine*, dan *tidal wave turbine*. Daya input dari *photovoltaic*, *wind turbine*, dan *tidal wave turbine* ini akan mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan untuk charging *accu*.

Dari hasil pengujian alat ini, peneliti menemukan empat kelebihan alat ini, yakni:

- Hybrid* ketiga energi yang digunakan adalah cahaya matahari, angin, dan gelombang laut yang tidak akan pernah habis dan tersedia secara bebas.
- Tidak tergantung lagi pada sumber daya dari PLN karena menggunakan matahari, angin dan gelombang laut sebagai sumber energi utama.
- Terjadi kenaikan tegangan dan arus dari sistem hybrid dari tiga pembangkit dengan sumber energi berbeda.
- Ketika salah satu sumber energi tidak bisa mensupply, maka beban akan disokong oleh sumber energi yang lainnya. Misalnya, ketika matahari terbenam, atau angin sedang tidak kencang, atau ketika gelombang laut surut.

Tak hanya kelebihan, alat ini pun masih memiliki kekurangan dan membutuhkan optimalisasi dan inovasi pada beberapa aspek, di antaranya:

- Alat ini masih tergolong alat yang dapat dikatakan mahal karena membutuhkan perawatan dan harga komponen yang digunakan juga terbilang tinggi.
- Masih harus mengoptimalkan penyesuaian dan pengembangan sistem perancangan alat supaya alat dapat menghasilkan tegangan, daya, dan efisiensi yang lebih tinggi.
- Turbin VAT yang dibuat ini masih tergolong lemah untuk menghasilkan tegangan yang optimal sehingga masih memerlukan penyesuaian dan optimalisasi lagi ke depannya.

4. KESIMPULAN



Dari hasil penelitian dan pengujian pada sistem alat ini dapat disimpulkan bahwa rangkaian *buck-boost* dapat mengisi ulang battery *accu* dengan perubahan input tegangan 9V s.d. 19V. Sementara tegangan yang dihasilkan pada sistem *photovoltaic* mencapai 19.1 Volt pada pukul 13.00 WIB dan arusnya mencapai 2,7 Ampere dengan daya mencapai 54.2 Watt Tegangan yang dihasilkan oleh generator *wind turbine* mencapai 9.19 Volt dan arus 0.11 Ampere dengan daya yang mencapai 1.21 Watt, Sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh generator *tidal wave turbine* mencapai 8.2 Volt dan arus 0.12 Ampere dengan daya mencapai 1.31 Watt. Untuk tegangan yang dihasilkan pada output sistem *buck-boost* dari *photovoltaic* mencapai 13.46 Volt pada pukul 14.00 WIB dan arusnya mencapai 2,7 Ampere dengan daya mencapai 33.2 Watt. Tegangan yang dihasilkan oleh sistem *buck-boost* generator *wind turbine* sampai 12.58 Volt dan arus mencapai 0.14 Ampere dengan daya yang mencapai 2.13 Watt. Sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh sistem *buck-boost* generator *tidal wave turbine* mencapai 12.71 Volt dan arus 0.12 Ampere dengan daya mencapai 2.06 Watt, sehingga sistem hybrid yang dilakukan pada tiga sumber energi listrik menghasilkan daya hingga 38.3 Watt dan membutuhkan waktu kurang lebih selama 1 jam 9 menit untuk mengisi *accu* 45Ah hingga penuh.

5. SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, peneliti menyarankan bahwa sebaiknya generator yang dipakai pada *wind* dan *tidal wave turbin* dapat memproduksi tegangan yang lebih besar. Untuk rangkaian *buck-boost converter* yang dikembangkan untuk charger *accu* dapat disesuaikan menggunakan salah satu metode lain yakni metode MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Metode ini secara ideal dapat mengisi ulang daya baterai *accu* dengan lebih baik. Lalu, penggunaan *hybrid* ketiga sumber alternatif listrik ini dapat dikembangkan dalam skala yang lebih besar menyesuaikan dengan kebutuhan listrik masyarakat. Misalnya, dapat menjadi penyedia sumber listrik di perumahan warga atau perkantoran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Pramudiyanto and S. W. A. Suedy, "Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrem," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 86–99, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.9990.
- [2] I. Achmad and A. T. Nugraha, "Implementasi Buck-Boost Converter pada Hybrid Turbin Angin Savonius dan Panel Surya," *J. Comput. Electron. Telecommun.*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.52435/complete.v3i2.192.
- [3] D. Priyambodo and Anggara Trisna Nugraha, "Design and Build A Photovoltaic and Vertical Savonius Turbine Power Plant as an Alternative Power Supply to Help Save Energy in Skyscrapers," *J. Electron. Electromed. Eng. Med. Informatics*, vol. 3, no. 1, pp. 57–63, 2021, doi: 10.35882/jeemi.v3i1.9.
- [4] F. Rivantoro and I. S. Arief, "Studi Pemilihan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (Pltal) Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp)," *J. Tek. Its*, vol. 4, no. 2, pp. 114–118, 2015.
- [5] D. Purnama Sari and R. Nazir, "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator - Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n1.104.2015.
- [6] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*. 2011. doi: 10.1016/B978-0-323-99216-9.00042-1.
- [7] R. D. Nareswara and A. I. Agung, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Beban Listrik Berbasis Internet of Things (IOT)," *J. Tek. Elektro*, vol. 08, no. 03, pp. 499–506, 2019.
- [8] A. I. Hartana, P. Iswahyudi, S. Lestari, P. P. Surabaya, and W. Server, "Listrik Berbasis Web Server Menggunakan Mini," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Penerbangan*, pp. 1–11, 2019.
- [9] N. Hudham, *Menghitung Kwh berbasis 89C51 dengan System dtmf*. Jakarta: Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2013.
- [10] S. P. Santosa and R. M. W. Nugroho, "Rancang Bangun Alat Pintu Geser Otomatis Menggunakan Motor DC 24 V," *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 9, no. 1, pp. 38–44, 2021, doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201.
- [11] U. M. Arief, "Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk Pengukuran Level Ketinggian dan Volume Air," *J. Ilm. "Elektrikal Enjiniring" UNHAS*, vol. 09, no. 02, pp. 72–77, 2011.
- [12] A. Effendi and A. Yuana, "Pembangkit Listrik Sistem Hibrida Sel Surya Dengan Energi Angin," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [13] J. Sarwono, *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [14] L. Noprizal, M. Syukri, and S. Syahrizal, "Perancangan Prototype Generator Magnet Permanen 1 Fasa Jenis Fluks Aksial Pada Putaran Rendah," *Kitekro*, vol. 1, no. 1, pp. 40–44, 2016.
- [15] A. Hwas and R. Katebi, "Wind turbine control using PI pitch angle controller," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 2, no. PART 1, pp. 241–246, 2012, doi: 10.3182/20120328-3-it-3014.00041.
- [16] A. Komarudin, "Desain Dan Analisis Proporsional Kontrol Buck-Boost Converter," *J. ELTEK, Malang Vol 12, No.02, Oktober 2014 ISSN 1693-4024*, vol. 12, no. 02, pp. 78–89, 2014.

