

Optimalisasi Energi Angin Pada Pltb Sebagai Charging Station Berbasis Electrical Switch

Ifan Awang Riski Widayat¹, Firilia Filiana^{1*}, Thorikul Huda¹, Happy Aprillia¹, Kartika Nugraheni²

¹Teknik Elektro, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

²Matematika, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

*firiliafiliana@gmail.com

Abstrak—Sumber energi terbarukan terus dikembangkan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Salah satu contohnya adalah pembangkit listrik tenaga bayu, yang menggunakan tenaga angin sebagai sumber energi. Pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber energi listrik belum banyak digunakan dalam skala kecil untuk mendukung aktivitas sehari-hari seperti charging station untuk smartphone. Keberadaan angin yang selalu ada dapat menjadi potensi untuk meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang akan menyuplai charging station. PLTB menggunakan turbin tipe helical savanius yang dapat berputar dalam kecepatan angin yang rendah. Sistem yang dibuat menggunakan tegangan DC sebesar 24v mulai dari generator hingga ke buck-boost converter, dan 12v mulai baterai hingga ke port output untuk meningkatkan efisiensi sistem dikarenakan output dari charging station adalah tegangan DC. Untuk mengantisipasi perubahan kecepatan angin yang tiba-tiba, PLTB akan memiliki baterai sehingga selain suplai dari generator langsung, beban juga dapat disuplai oleh baterai. Electrical switching akan ditempatkan sebelum beban untuk menentukan sumber yang akan menyuplai. Electrical switch akan memilih sumber yang tertinggi untuk disalurkan ke buck converter dan port charging. Setelah dilakukan pengujian diperoleh bahwa charging station mampu memberikan daya maksimal 40 watt selama 2 jam dengan kondisi angin yang berubah.

Kata Kunci—Charging Station; Electrical Switch; Energi Angin; Offgrid; PLTB

DOI: [10.22441/jte.2025.v16i3.009](https://doi.org/10.22441/jte.2025.v16i3.009)

I. PENDAHULUAN

Energi ramah lingkungan telah menjadi perbincangan utama dalam konteks teknologi energi listrik yang semakin berkembang. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan teknologi energi listrik yang mendorong manusia untuk mencari alternatif energi baru dan terbarukan, mengingat sifat terbatas dan dampak negatif yang ditimbulkan energi konvensional seperti bahan bakar fosil. Energi ramah lingkungan, seperti energi angin, menjadi salah satu pilihan unggulan dalam menjaga kelestarian bumi karena tidak menimbulkan polusi udara [1, 2]. Energi angin merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan. Namun, untuk mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik, diperlukan perangkat seperti turbin angin dan generator. Kecepatan angin yang cukup rendah di Indonesia, yaitu antara 3 m/s sampai 6 m/s, mengindikasikan

adanya potensi untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan skala kecil [3]. Oleh karena itu, penelitian mengenai turbin angin semakin berkembang di Indonesia.

Dalam perancangan turbin angin, ada beberapa parameter yang perlu diperhitungkan, termasuk bentuk blade, jenis airfoil, dan material yang digunakan. Selain itu, penyesuaian terhadap profil angin di lokasi pemasangan turbin menjadi hal yang penting untuk mencapai efisiensi optimal, terutama di daerah-daerah dengan kecepatan angin relatif rendah [4, 5]. Salah satu jenis turbin angin yang berpotensi digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah adalah turbin angin vertikal jenis Savonius [2]. Turbin angin jenis savonius, baik tipe-S maupun tipe-U dapat digunakan pada kecepatan angin rendah. Prinsip kerjanya sederhana, di mana turbin berputar karena perbedaan gaya tarik yang bekerja pada bagian cekung dan cembung bilahnya [3, 4, 6].

Selain turbin angin, penggunaan energi angin juga dapat diterapkan dalam rangkaian sederhana untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Misalnya, dengan membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang dapat digunakan untuk charging station [7, 8]. Perangkat elektronik yang banyak digunakan saat ini, yaitu smartphone, akan menjadi device yang dapat menggunakan charging station ini. Penelitian akan dilakukan di Kota Balikpapan melihat perkembangan kota yang semakin pesat berkaitan dengan isu pemindahan ibu kota negara. Prototype ini juga dapat meningkatkan diversifikasi pemanfaatan sumber daya terbarukan, dan optimalisasi ketersediaan energi terbarukan secara maksimal.

Pembuatan sistem PLTB untuk charging station melibatkan penentuan berbagai parameter penting seperti besar beban yang akan disuplai, ukuran baterai yang sesuai dengan beban, dan pemilihan jenis generator yang tepat untuk pengisian daya baterai. Sistem yang akan dibangun juga harus secara kontinyu mampu memberikan daya di tengah perubahan kecepatan angin.

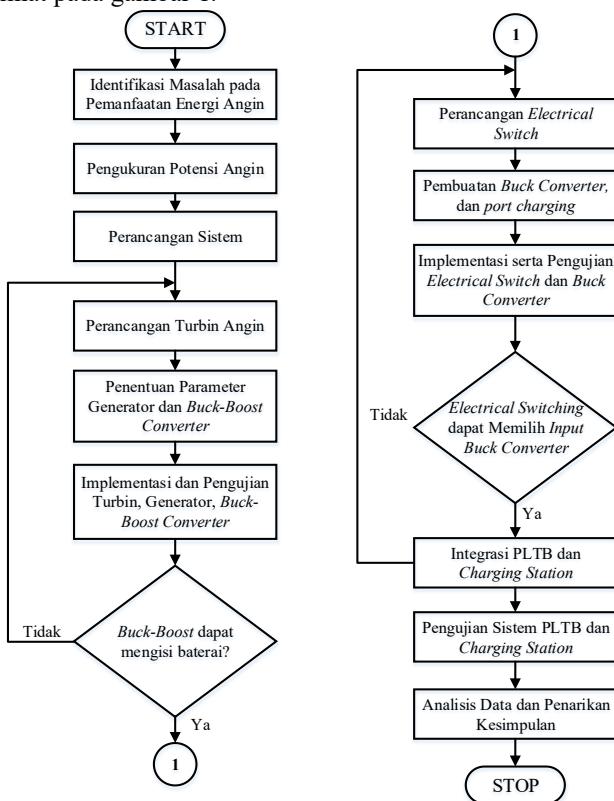
II. PENELITIAN TERKAIT

Pembangunan PLTB biasa dilakukan dalam skala besar dan dibangun di pinggir kota maupun di daerah yang tidak dekat dengan penduduk [9]. Padahal potensi angin ini juga terdapat di wilayah perkotaan misalnya di Kota Balikpapan. Pemilihan turbin angin dan komponen yang tepat memungkinkan pembangunan PLTB yang dekat dengan pemukiman masyarakat.

Sistem PLTB sederhana tanpa beban telah diteliti pada [2, 4, 6] dan sistem yang kompleks hingga ada transfer energi ke grid telah dibangun pada [10]. Sistem yang akan dibuat pada penelitian ini akan berada diantaranya, yaitu sistem pembangkit dan charging station akan dibuat secara sederhana sehingga tidak banyak energi yang terbuang dalam proses perubahan energi mekanik ke energi listrik. Hal ini dilakukan agar sistem yang dibangun dapat langsung dimanfaatkan. Perubahan angin yang tiba - tiba dapat memberikan sumber yang tidak kontinyu dan perlu pengaturan khusus. Penelitian [11] telah mencoba mengatasi perubahan ini dengan Vehicle to Grid, dimana pengaturan dilakukan pada bagian tegangan keluaran. Sementara penelitian [12] telah menggunakan converter sebagai switch untuk banyak sumber. Penelitian ini menggunakan switch dengan jenis electrical switch sebagai kontrol untuk mengatasi perubahan angin dari sisi sumber.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data kecepatan angin melalui pengukuran langsung di lokasi penelitian. Selanjutnya dilakukan simulasi dan perhitungan sebelum melakukan implementasi sistem. Metodologi penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

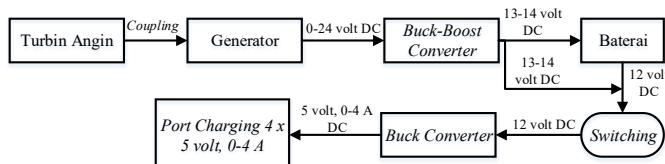
A. Pengukuran Potensi Angin

Pengukuran potensi angin dilakukan melalui pengambilan data langsung menggunakan anemometer di lokasi penelitian, yaitu Kota Balikpapan. Pengambilan data akan menjadi dasar penentuan generator yang akan digunakan. Data yang akan diambil berupa kecepatan angin di beberapa kondisi seperti saat cuaca yang panas, cuaca mendung, dan kondisi saat angin

kencang untuk memperkirakan kecepatan maksimal dan potensi angin.

B. Perancangan Sistem

Rancangan sistem dapat dilihat melalui blok diagram pada gambar 3. yang menggambarkan secara garis besar bentuk dari rancangan alat yang akan dibuat. Sistem PLTB bermula pada turbin angin yang memutar generator dan menghasilkan tegangan variabel 0–24 v. Tegangan akan masuk ke dalam Buck-Boost Converter yang akan mengubah tegangan variabel menjadi 13–14 v untuk mengisi baterai. Dari PLTB, tegangan ini masuk kedalam Electrical Swiching sebelum ke charging station. Electrical switch akan bekerja untuk mencari input bagi Buck Converter. Jika tegangan dari Buck-Boost Converter tidak ada atau putaran dari turbin sangat rendah, maka electrical switching akan memindah input ke baterai. Output dari electrical swiching akan menjadi input pada Buck Converter yang akan menurunkan tegangan ke 5v dengan arus maksimal di 4A sesuai dengan kebutuhan beban.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

C. Implementasi dan Pengujian Sistem

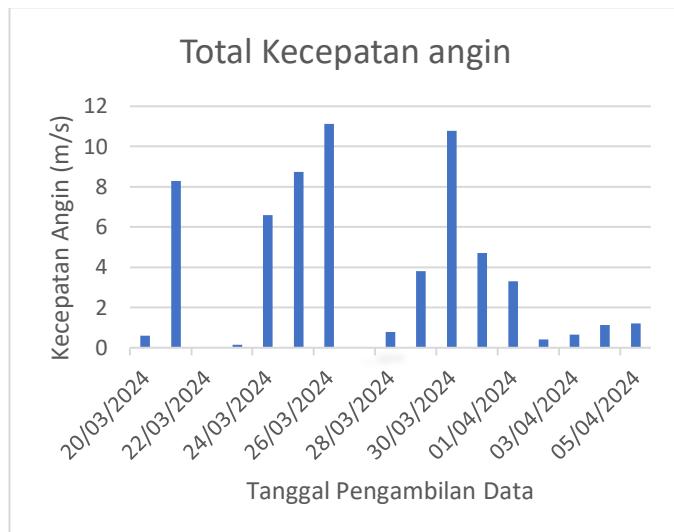
Setelah turbin selesai difabrikasi, turbin akan di-coupling dengan generator dalam satu shaft. Generator selanjutnya akan mengalirkan daya ke Buck-Boost Converter yang akan terhubung ke baterai sebagai tempat penyimpanan daya. Setelah implementasi, akan dilakukan beberapa pengujian sebagai berikut:

- Pengujian kecepatan turbin saat memutar Generator. Turbin akan diuji pada beberapa kecepatan angin berdasarkan data yang telah diperoleh sebelumnya.
- Pengujian daya output Generator untuk melihat kemampuan Generator dalam menghasilkan tegangan yang dapat dialirkkan ke Buck-Boost Converter. Generator sudah berada dalam satu shaft dengan turbin angin saat pengujian ini dilakukan.
- Pengujian ketiga adalah pengujian tegangan output Buck-Boost Converter dengan menggunakan input variabel yang berasal dari power supply. Selanjutnya Buck-Boost Converter akan dihubungkan dengan charger baterai untuk melihat kondisi baterai saat charging dan discharging dengan memperhatikan parameter kesehatan baterai agar penggunaan baterai optimal.
- Pengujian Electrical Switch dan Buck Converter. Logika yang dibangun berdasarkan kecepatan angin. Jika kecepatan angin tinggi, maka input bagi charging station akan diambil langsung dari Buck-Boost Converter. Tetapi jika angin rendah, maka input akan diperoleh dari baterai. Electrical switch akan dihubungkan dengan buck converter dan dilakukan pengujian untuk melihat kemampuan switching bekerja untuk memprioritaskan tegangan dari Buck-Boost Converter jika terdapat dua input.

Pengujian Sistem PLTB dan Charging Station dilakukan setelah sistem diintegrasikan. Pengujian keseluruhan sistem mulai dari turbin angin hingga port charging. Dilanjutkan dengan pengujian sistem keseluruhan menggunakan beban minimum hingga maksimal dari 1 – 4 port.

IV. HASIL DAN ANALISA

Pengujian kecepatan angin telah dilakukan selama 17 hari mulai tanggal 20 Maret 2024 di pukul 17.00 WITA hingga tanggal 5 April 2024 di pukul 21.00 WITA selama 24 jam. Kecepatan angin diambil setiap detik dengan rata – rata nilai per hari diperlihatkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Total Kecepatan Angin per hari.

Dari data ini terlihat bahwa kecepatan angin di Balikpapan relatif rendah sehingga membutuhkan turbin angin yang dapat berputar dalam kecepatan rendah. Data ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan spesifikasi dari turbin, dan generator. Kecepatan angin ini sesuai dengan kecepatan angin yang cukup rendah di Indonesia, yaitu antara 3 m/s sampai 6 m/s. Hal ini mengindikasikan adanya potensi untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan skala kecil [1].

Salah satu jenis turbin angin yang berpotensi digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah adalah turbin angin vertikal jenis Savonius [2]. Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin vertikal dengan jenis savonius helical yang memiliki 2 sudu dengan renggang twist sebesar 45 derajat. Tinggi turbin angin yang digunakan adalah 110cm, dengan diameter pipa (poros turbin) adalah 3cm. Setiap sudu memiliki panjang 17 cm, sehingga lebar total pada bilah baling-baling adalah 37cm. Tinggi dudukan generator adalah 70 cm, dan tinggi maksimal turbin dengan dudukan adalah 195 cm.

Generator yang digunakan dalam sistem ini adalah generator DC 24 v dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1. Generator DC ini dapat menghasilkan energi listrik walaupun dengan putaran pelan (low rpm) sehingga bisa memaksimalkan kecepatan angin di lokasi yang di tangkap oleh sudu atau turbin angin.

Tabel 1. Spesifikasi Generator

<i>Part Description</i>	Motor DC
<i>Item Dimensions</i>	9.5 x 5.5 x 4.8 cm
<i>Item Weight</i>	0.8 kg
<i>Max supply voltage</i>	24V
<i>GBW (typ) (MHz)</i>	17
<i>Slew rate (typ) (V/μs)</i>	40
<i>Iout (typ) (A)</i>	1.5 A

Daya dari Buck-Boost Converter akan masuk ke Electrical switch yang terdiri dari relay 12V DC 10A. Relay ini berfungsi untuk mengalihkan arah aliran daya. Ketika generator menghasilkan tegangan input, maka relay akan aktif (on) dan membuat kaki Normally Open (NO) menjadi terhubung (Close), sehingga menghubungkan generator ke dalam rangkaian. Namun, jika tidak ada daya dari generator, maka kaki NO akan kembali terbuka, dan kaki Normally Closed (NC) akan terhubung, mengalirkan daya dari baterai. Daya ini akan terhubung dengan Buck Converter yang mengalirkan daya ke beban melalui port charging.

Buck Converter dapat menyuplai arus sebesar 2 Ampere dengan tegangan 5 V. Charging station ini memiliki 4 port sehingga total daya yang dapat disalurkan adalah 40 Watt. Pada penggunaan yang sebenarnya, daya yang digunakan sebenarnya bisa lebih kecil karena suplai daya dari charging station akan mengikuti kebutuhan beban yang terhubung. Buck Converter juga mampu membatasi over discharge pada baterai dimana pengecasan berhenti pada tegangan di bawah 10.3v. Gambar 5 memperlihatkan keseluruhan sistem kelistrikan dari Buck-Boost Converter hingga Buck Converter.

Pada pengujian generator dilakukan dengan coupling generator dengan turbin yang dilakukan secara indoor dan menggunakan sumber angin buatan dengan jarak 2 meter. Kecepatan sumber angin terbagi menjadi 3 yaitu speed 3 adalah 30m/s, speed 2 adalah 14m/s, dan speed 1 adalah 8m/s. Setelah sumber angin ini diarahkan ke turbin angin, didapat kan kecepatan putar pada turbin adalah 10 m/s pada speed 3, 5,6 m/s pada speed 2, dan 3 m/s pada speed 1.

Pengujian buck-boost dilakukan menggunakan tegangan variabel yang yaitu 5v, 12v, 24v dan maks di 30v. Tegangan di suplai menggunakan power supply untuk mendapatkan tegangan yang konstan, sementara pada output buck boost diberikan beban berupa baterai dengan tujuan melihat kemampuan buck boost dalam mensuplai beban maksimal walaupun tegangan input variabel.

Tabel 2. Hasil Pengujian Buckboost

No	Tegangan input (volt)	Tegangan output (volt)	Kondisi Pembebatan Baterai
1	5	13.5	Terhubung dan stabil
2	13.7	13.5	Terhubung dan stabil
3	24.3	13.5	Terhubung dan stabil
4	30.93	13.5	Terhubung dan stabil

Pengujian keseluruhan sistem mulai dari PLTB hingga charging station telah terhubung. Berdasarkan pengujian, didapatkan bahwa putaran turbin dan generator yang dibutuhkan untuk menyuplai rangkaian adalah sekitar 108rpm. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan bahwa tegangan minimal yang dibutuhkan untuk menyuplai rangkaian adalah 9V, yang dapat dicapai dengan kecepatan angin sekitar 108-111rpm dengan pengukuran menggunakan Tachometer yang diukur dari poros turbin. Pada penempatan di lapangan, turbin ditempatkan dengan posisi turbin berada pada atas dudukan yang dibuat dengan tinggi 70cm agar turbin tidak terhalang dak dari rooftop, dan penempatan turbin adalah pada gedung setinggi 5 meter. Kemampuan angin di lokasi untuk menyuplai rangkaian dapat dilihat pada Tabel 3. Pengukuran baterai yang terhubung pada rangkaian merupakan state of charge dari baterai pada rangkaian charging station.

Tabel 3. state of charge baterai menggunakan rangkaian turbin.

No	Waktu pengukuran	Jam	Tegangan baterai	Keterangan
1	05/05/2024	10.00	10.3v	Kondisi awal baterai
2	05/05/2024	17.00	12v	Pengukuran setelah adanya pengisian daya
3	05/05/2024	19.00	10v	Baterai di kosongkan
4	06/05/2024	10.00	12.83v	Pengukuran setelah adanya pengisian daya
5	06/05/2024	17.00	14.06v	Pengukuran daya ke dua setelah pengisian daya
6	06/05/2024	21.00	11.5v	Baterai di kosongkan
7	07/05/2024	10.00	14.5v	Pengukuran setelah adanya pengisian daya
8	07/05/2024	13.00	10v	Baterai di kosongkan
9	07/05/2024	17.00	12.89v	Pengukuran setelah adanya pengisian daya

Dari pengujian yang dilakukan ini dapat di analisis bahwa rangkaian charging station dapat disuplai oleh turbin yang dibuat dibuktikan dengan tegangan baterai yang meningkat setiap dilakukan pengukuran pada saat baterai terhubung di rangkaian charging station. Pada saat turbin diletakan di atas gedung, penangkapan angin yang dilakukan turbin dapat dikatakan baik karena pada kondisi angin sedang turbin dapat berputar dan menyuplai daya pada rangkaian charging station. Rangkaian Charging Station digunakan untuk menyuplai beban dengan periode beberapa jam saat baterai dikosongkan dengan data beban seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian Charging Station Dengan 4 Beban

No.	Hand Phone	State of Charge HP
1	Hp 1	90%
2	Hp 2	78%

3	Hp 3	93%
4	Hp 4	95%

Pengujian Charging station dilakukan selama 1 jam 45 menit dan dilakukan dengan menghubungkan 4 beban pada charging station. Didapatkan pada pengujian hp 1 terisi 90% daya, hp 2 terisi 78% daya, hp 3 terisi 93% daya, hp 4 terisi 95% daya, sumber yang digunakan adalah generator dan baterai yang terhubung pada rangkaian Charging Station. Dari pengujian yang dilakukan dapat di simpulkan bahwa daya charging station mampu mengisi daya pada beban handphone.

V. KESIMPULAN

Charging Station yang dibuat telah dioptimalkan untuk memanfaatkan potensi angin. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa kecepatan angin dapat digunakan untuk Charging Station yang menggunakan turbin Savonius Helical dan rangkaian buck-boost dengan baterai 9Ah untuk mengoptimalkan pengisian daya pada kondisi angin pelan atau siang hari. Output Charging Station mencapai maksimal 40 watt atau sekitar 5 volt 2 ampere, yang diatur menggunakan rangkaian Buck Converter. Dengan menggunakan Buck-Boost Converter, Charging Station tetap mampu menyuplai beban pada kondisi angin tertentu dengan meningkatkan tegangan dari generator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan untuk semua pihak yang telah mendukung berlangsungnya penelitian ini. Pertama kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui program BIMA. Kemudian kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini dan tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahman R, Bandri S, Putra AM dan Premadi A. Analisa Model Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius Tipesudu Helical 3 Berbanding Tipe Sudu U3. Ensiklopedia Research and Community Service Review [Internet]. 2022 [cited 2024 Mar.31]; 2(1): 344 – 349. Available from: <https://doi.org/10.33559/err.v2i1.1442>
- [2] M. Zemamou, M. Aggour, A. Toumi. Review of savonius wind turbine design and performance. Energy Procedia [Internet]. 2017. Volume 141. Pages 383-388. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.047>.
- [3] Dwi Lestari N, Nasbey H dan Sunaryo S. Desain Turbin Angin Savonius Sumbu Horizontal Tipe-U Untuk Kecepatan Angin Rendah. Prosiding SNF [Internet]. 2023 [cited 2024 Mar.31]; 11(1): FA-3. Available from: <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/33486>
- [4] Simanjuntak J, Tangkuman S dan Rondonuwu I. Simulasi Pengaruh Jumlah Dan Panjang Sudu Terhadap Daya Turbin Angin Tipe Poros Horisontal. JPTMU [Internet]. 2021 [cited 2024 Mar.31]; 10(1). Available from: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/poros/article/view/34765>
- [5] Anupam Dewan, Adesh Gautam, Rahul Goyal. Savonius wind turbines: A review of recent advances in design and performance enhancements. Materials Today: Proceedings [Internet]. 2021. Volume 47. Part 11. 2976-2983. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.205>.
- [6] Nurdyanti A, Isnur Haryudo S. Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius. JTE [Internet]. 2019 [cited 2024 Mar.30]; 9(1). Available from: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/29892>

- [7] Amer A, Azab A, Azzouz MA dan Awad AS, A Stochastic Program for Siting and Sizing Fast Charging Stations and Small Wind Turbines in Urban Areas. *IEEE Transactions on Sustainable Energy* [Internet]. 2021 [cited 2024 Mar.31]; 12 (2): 1217-1228. doi: 10.1109/TSTE.2020.3039910
- [8] Noer Z, Fathurrahman M, Siregar AN, Awanda M, Agus MA dan Siahaan LF. Solar-Based Smartphone Charging Stations with Voltage, Current, and Power Monitoring. *Journal of Technomaterial Physics* [Internet]. 2023 [cited 2024 Mar.30]; 5 (2): 111-117. Available from: <https://doi.org/10.32734/jotp.v5i2.13348>
- [9] Chagas CCM, Pereira MG, Rosa LP, da Silva NF, Freitas MAV, Hunt JD. From Megawatts to Kilowatts: A Review of Small Wind Turbine Applications, Lessons From The US to Brazil. *Sustainability*. 2020; 12(7):2760. <https://doi.org/10.3390/su12072760>
- [10] Vadi S, Gurbuz FB, Bayindir R dan Hossain E. Design and Simulation of a Grid Connected Wind Turbine with Permanent Magnet Synchronous Generator. 2020 8th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid).2020. doi:10.1109/icsmartgrid49881.2020
- [11] Siagian P dan Fahreza. Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle to Grid (V2G). Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS) 2023. 2023. 356-361. <https://www.seminar-id.com/prosiding/index.php/sainteks/article/view/462/455>
- [12] Sarebanzadeh M, Hosseinzadeh MA, Garcia C, Babaei E, Islam S dan Rodriguez J. Reduced Switch Multilevel Inverter Topologies for Renewable Energy Sources. *IEEE Access*. 2021. vol. 9: 120580-120595. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3105832.