IMPLEMENTASI PENERANGAN JALAN UMUM HIBRID ENERGI MATAHARI DAN ANGIN BERBASIS INTERNET OF THINGS

Murie Dwiyaniti[1)], Silawardono[2)], Nana Sutarna[3)], Yani Haryani[2)], dan Danang Widjajanto[1)] , Hasan Abdullah[2)], Nabil Amanda[1)], dan Randa Ahmad C.S[1)]

[1]Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl Prof Dr G.A Siwabessy, Depok, 16425
[2]Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl Prof Dr G.A Siwabessy, Depok, 16425
[3]Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Prof Dr G.A Siwabessy, Depok, 16425
E-mail: murie.dwiyaniti@elektro.pnj.ac.id

Abstract

Generally, streetlights installed on roads use solar power (PV) as an electricity source. However, PV is very dependent on sunlight and is limited. So streetlights based on PV require large-capacity batteries to be able to supply streetlights electricity for 12 hours (18.00-06.00). An alternative solution is to add other energy sources, for example, wind energy. This article discusses the implementation of streetlights that have two energy sources (hybrid PV and wind) with an IoT-based monitoring system. Various sensors are integrated to determine the performance of the PV-wind hybrid streetlights and data acquisition via the IoT platform in real-time for system analysis purposes. As a result, the PV-wind hybrid streetlights showed good performance. PV is capable of producing a voltage of up to 21.26 V. Meanwhile, a wind turbine is capable of producing a voltage of up to 13.97 V. The hybrid energy source of PV and wind synergizes well so that it can power streetlights 20% longer than streetlights based on PV alone. However, PV-wind hybrid streetlights are not optimal if implemented in the Depok area because the wind gust speed is very low. PV-wind hybrid streetlights are very suitable for implementation in areas with strong wind gusts such as coastal areas.

Keywords: streetlights *hybrid, PV, wind, IoT, Blynk*

Abstrak

Umumnya PJU yang dipasang dijalan menggunakan tenaga surya (PV) sebagai sumber listrik. Namun PV sangat bergantung pada cahaya matahari dan terbatas. Sehingga PJUTS memerlukan baterai berkapasitas besar agar mampu mensuplai listrik PJU selama 12 jam (pukul 18.00-06.00). Alternatif solusinya adalah menambahkan sumber energi lain pada PJUTS, misalnya energi angin. Artikel ini membahas implementasi PJU yang memiliki dua sumber energy (hibrid PV dan angin) dengan sistem monitoring berbasis IoT. Berbagai sensor diintegrasikan untuk mengetahui kinerja PJUTS hybrid angin dan akusisi data melalui platform IoT secara *real time* untuk keperluan analisa sistem. Hasilnya, PJUTS hybrid angin menunjukkan kinerja yang baik. PV mampu menghasilkan tegangan hingga 21,26 V. Sedangkan turbin angin mampu menghasilkan tegangan hingga 13.97 V. Sumber energi hybrid PV dan angin bersinergi dengan baik sehingga mampu menyalakan PJU 20% lebih lama dibandingkan dengan PJUTS saja. Namun PJUTS hybrid angin kurang maksimal jika diimplementasikan pada daerah Depok karena kecepatan hembusan angin sangat kurang. PJUTS hibrid angin sangat cocok diimplentasikan pada daerah dengan hembusan angin yang kencang seperti daerah pantai.

Kata Kunci: *PJU hibrid, PV, angin, IoT, Blynk*

PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) sangat diperlukan untuk menerangi daerah yang gelap sehingga memberikan lingkungan yang aman bagi pejalan kaki dan pengemudi (Fotios et al., 2015). Saat ini, di jalan umum seperti tol, pemukiman, dan taman banyak menggunakan PJU dengan sumber listrik dari tenaga surya (PJUTS). Tahun 2018, program pemasangan PJUTS telah dilaksanakan oleh Kementerian ESDM yang tersebar di seluruh Indonesia tepatnya di 25 Provinsi, dengan jumlah unit PJUTS yang terpasang sebanyak 21.839 unit. Untuk tahun 2019, Kementerian ESDM membangun kurang lebih 20.980 unit PJUTS untuk dipasang di seluruh Indonesia (EBTKE, 2019).

Secara umum, lampu PJUTS beroperasi secara mandiri dan tidak memerlukan kabel jaringan antar tiang, sehingga instalasinya menjadi lebih mudah, praktis, ekonomis, dan dapat terhindar dari *black out* total jika terjadi gangguan. Untuk prinsip kerjanya, panel surya menangkap energi yang terkandung dalam cahaya/sinar matahari, lalu mengubahnya menjadi energi listrik dan energi tersebut di simpan di dalam baterai. Energi yang tersimpan di dalam baterai sangat bergantung pada cahaya matahari. Namun cahaya matahari tidak bisa secara terus menerus menghasilkan energi listrik, misalnya saat malam hari, cuaca mendung atau hujan. Sehingga besarnya kapasitas baterai perlu dihitung agar tidak tekor ketika digunakan sebagai energi untuk menyalakan lampu PJU selama 12 jam (mulai pukul 18.00 – 06.00). Semakin besar kapasitas baterai tentu semakin mahal, berat, dan membutuhkan ruangan panel yang besar. Permasalahan disini adalah bagaimana kapasitas baterai dapat diperkecil agar berbiaya murah namun tetap dapat memberikan energi ke lampu PJU selama 12 jam.

Alternatif solusinya adalah menambahkan sumber energi lain pada lampu PJU, misalnya angin. Kelebihan sumber energi angin adalah dapat menghasilkan listrik secara terus-menerus sepanjang hari. Jika energi matahari dan angin di hybrid pada lampu PJU maka penggunaan baterai sebagai penyimpan energi dapat diperkecil kapasitasnya. Sehingga biaya satu titik lampu PJU menjadi lebih murah.

Studi analisis penggunaan energi hybrid solar-angin sebagai sumber listrik telah dilakukan di beberapa negara (Adaramola et al., 2014; Bekele & Palm, 2010; M. J. Khan & Iqbal, 2005), digunakan untuk beban rumah tangga (Al-Turjman et al., 2020), sistem irigasi pertanian (Z. A. Khan et al., 2022; Shivrath et al., 2012), dan lampu PJU (Ali & Ammari, 2022; Kawde et al., 2022; Nyemba et al., 2019). Namun hampir semua

penelitian tersebut menggunakan simulasi *software* Homer untuk desain dan analisis data sehingga yang dihasikan adalah data kondisi ideal. Padahal jika data diambil secara riil banyak faktor eksternal yang mempengaruhinya, sehingga hasilnya kemungkinan jauh dari ideal. Salah satu solusi untuk mendapatkan data secara riil adalah menggunakan sensor dan mikrokontroler yang terhubung ke platform IoT. Penggunaan IoT untuk PJUTS hybrid angin telah dilakukan pada penelitian (Hans & Tamhane, 2020), namun penelitian ini baru sebatas rencana yang disimulasikan dengan Simulink Matlab. Sedangkan penelitian (Hossain et al., 2022) menggunakan IoT untuk monitoring arus dan tegangan PJUTS hybrid angin namun penerapannya masih sebatas eksperimen di laboratorium belum diaplikasikan ke PJU yang sebenarnya.

Pada penelitian ini analisis data dilakukan secara *real time* bukan simulasi melalui implementasi sistem hybrid energi PV-angin untuk PJU yang berlokasi di Taman Gedung D, Politeknik Negeri Jakarta yang mengintegrasikan beberapa sensor. Data dari sensor dikirimkan melalui platform IoT secara *real time* untuk keperluan analisa sistem. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis performansi PJUTS yang dihibridkan dengan energi angin melalui akusisi data parameter kelistrikan dari setiap output secara *real-time* menggunakan platform IoT.

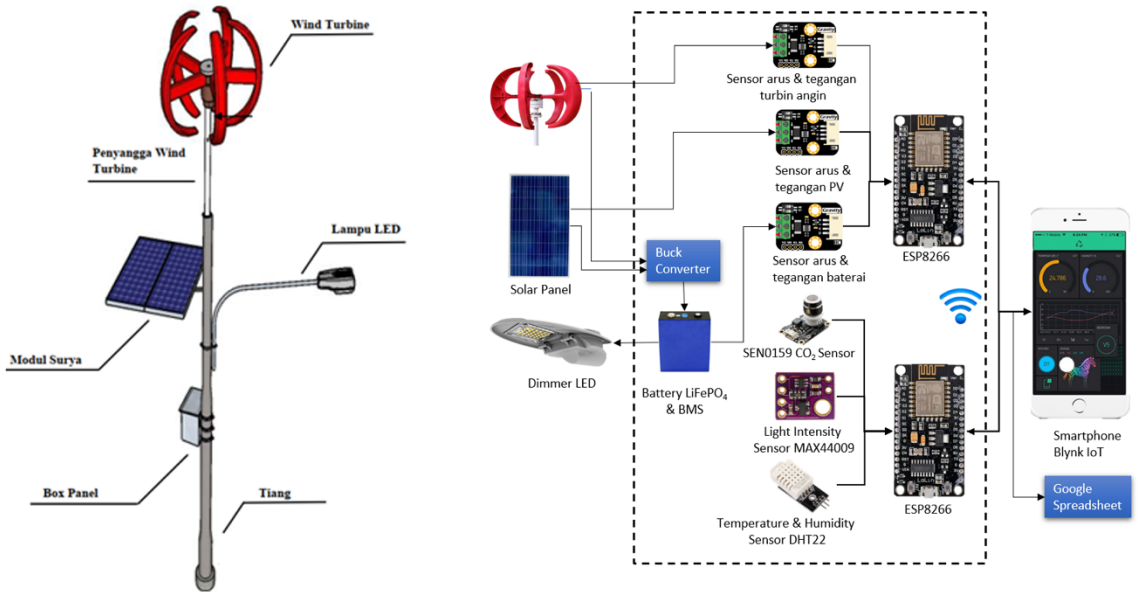
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan membangun sistem PJUTS hybrid angin yang terintegrasi dengan berbagai sensor. Penelitian dilakukan di laboratorium Listrik. Sedangkan lokasi pemasangan PJUTS hybrid angin terletak di taman Gedung D, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Gambaran umum sistem PJUTS hybrid angin dapat dilihat pada Gambar 1A yang terdiri dari turbin angin, PV, tiang, box panel, dan lampu LED. Sistem PJUTS hybrid energi angin terintegrasi dengan 10 sensor yaitu sensor arus dan tegangan PV, sensor arus dan tegangan turbin angin, sensor arus dan tegangan baterai, sensor $C0_2$, sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor kelembapan. Blok diagram sistem terlihat pada Gambar 1.B. Data dari sensor dikirimkan melalui platform IoT secara *real-time* per dua puluh menit untuk keperluan analisa sistem.

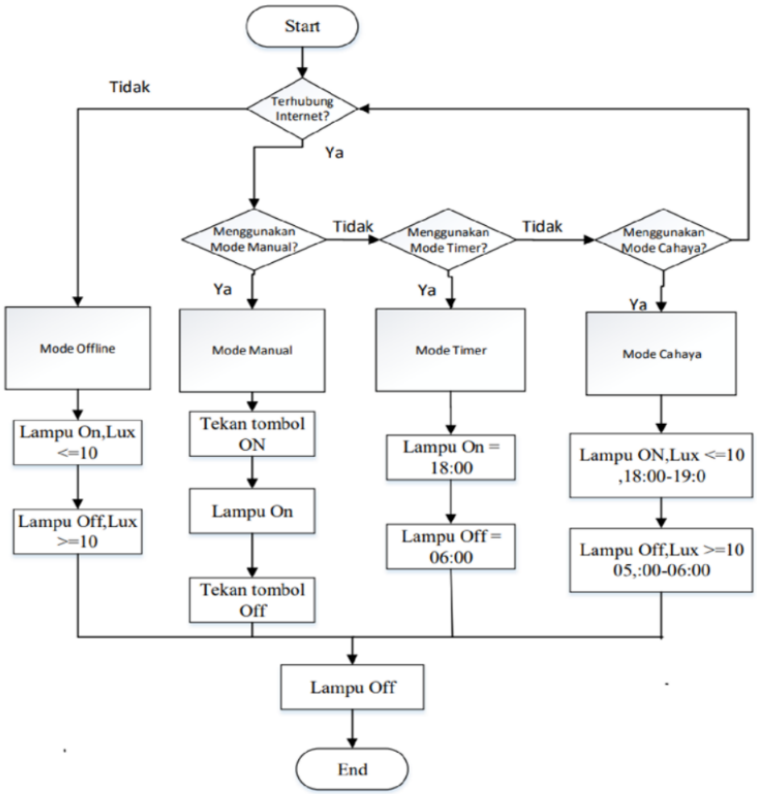
PJUTS hybrid angin dapat dinyalakan melalui *smartphone* dengan mode manual, mode cahaya, dan mode *timer*. Jika tidak ada jaringan internet, PJUTS hybrid angin

tetap bisa menyala melalui mode *offline* dengan menggunakan sensor LDR. *Flowchart* deskripsi PJUTS hybrid angin terlihat pada Gambar 2.



A B

Gambar 1. (A) Desain dan (B) blok diagram PJUTS hybrid angin



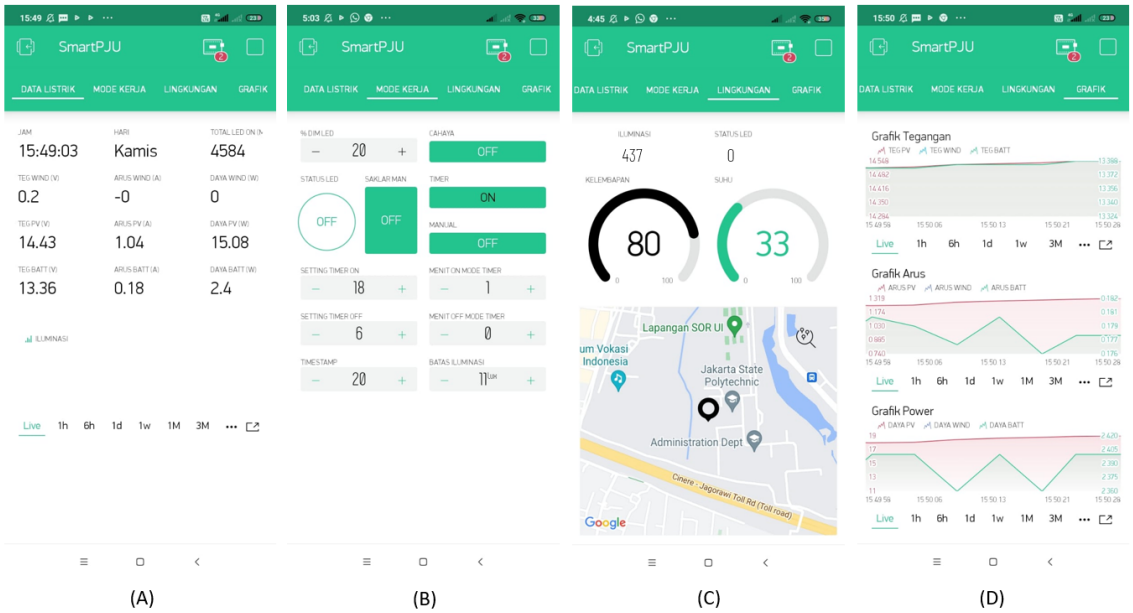
Gambar 2. *Flowchart* mode On-Off PJUTS hybrid angin

Komponen utama pada sistem PJUTS hybrid angin adalah solar panel 100 WP, turbin angin 300W, baterai LiFePO4 4s 30Ah, lampu LED 30 W yang dapat di *dimmer*, dan tiang lampu 4 m. Sistem monitoring berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan berbagai sensor yang terintegrasi. Pengujian dan analisis pada implementasi PJUTS hybrid angin dilakukan dengan membandingkan tegangan dan arus baterai pada saat PJUTS beroperasi dengan dan tanpa sistem hybrid.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tampilan IoT platform Blynk

Platform IoT yang digunakan pada penelitian ini adalah Blynk. Kemudahan dalam membuat tampilan/ pemrograman dan kestabilan koneksi merupakan alasan kami menggunakan platform Blynk. Tampilan data pada layar platform Blynk terlihat pada Gambar 3.



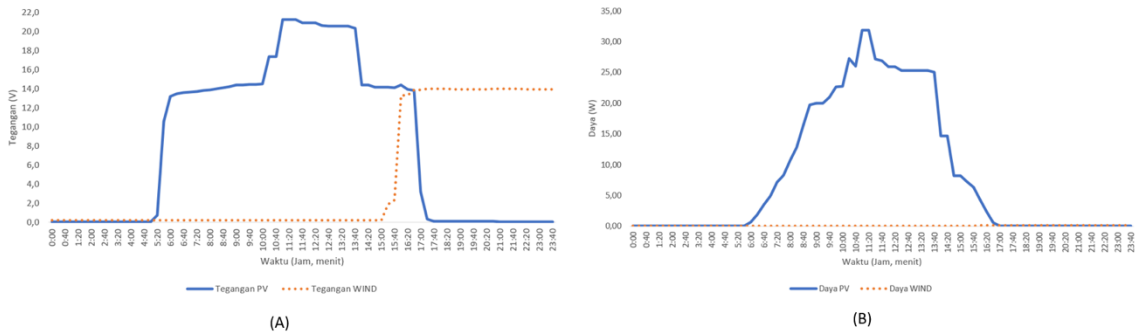
Gambar 3 Tampilan data pada aplikasi Blynk (A) nilai tegangan, arus, dan daya; (B) mode kerja; (C) sensor dan lokasi PJU; (D) grafik tegangan, arus, daya

Pada Gambar 3A, terlihat tampilan Blynk yang menampilkan data pada hari Kamis, jam 15.49 WIB, PV menghasilkan tegangan 14,43 V, arus 1,04 A, dan daya 15,08 W, namun tidak ada angin sehingga tegangan *output* (turbin angin) kecil dan tidak ada arus maupun daya. Tegangan baterai pada saat itu 13,36 V dengan arus 0,18 A. Arus sebesar

0,18 A diberikan oleh baterai untuk sumber listrik mikrokontroler. Mode kerja PJUTS hybrid angin dapat dipilih, yaitu mode manual, cahaya, dan *timer*. Jika memilih mode *timer*, *setting* waktu lampu menyala dan mati dapat di *setting* melalui aplikasi Blynk seperti terlihat pada Gambar 3B. Sedangkan Gambar 3C menampilkan data *real time* iluminasi 437 Lux, suhu 33^0C, kelembapan 80 RH, dan posisi PJUTS hybrid angin pada Politeknik Negeri Jakarta. Data suhu dan kelembapan pada tampilan Blynk sama dengan data pada website BMKG di wilayah Depok. Gambar 3D merupakan grafik harian tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh PV, angin, dan baterai.

2. Real-time data monitoring kinerja PV dan turbin angin

Pemantauan kinerja PV dan turbin angin berupa pengukuran tegangan, arus, dan daya dilakukan dengan memasang sensor wattmeter digital I2C pada masing-masing keluaran. Data dari sensor dibaca oleh mikrokontroler dan dikirim ke IoT untuk ditampilkan pada aplikasi Blynk dan direkam pada Google *spreadsheet*. Grafik hasil pengukuran tegangan dan daya PV dan turbin angin terlihat pada Gambar 4. Data tersebut merupakan rekaman data yang diambil pada tanggal 21 September 2023 selama 24 jam (0.00 – 23.40 WIB).



Gambar 4. Grafik data PV dan Wind (A) tegangan dan (B) daya

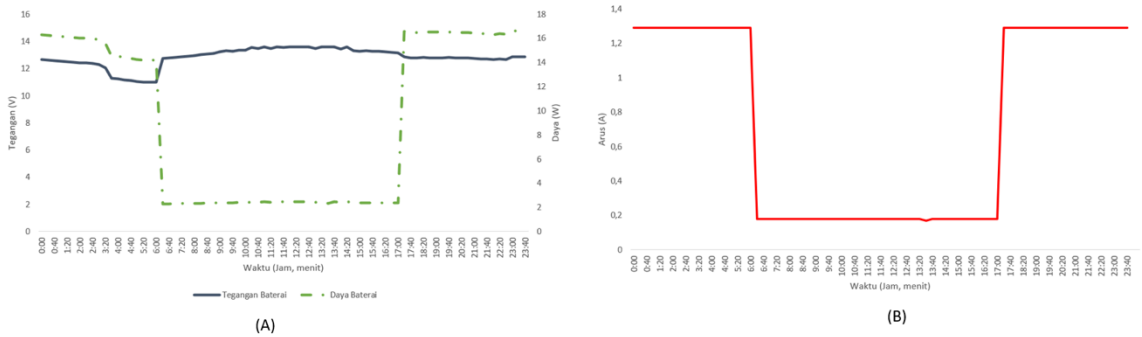
Pada Gambar 4A, PV mulai menghasilkan tegangan pada jam 5.20 WIB saat matahari terbit. Kondisi ini sejalan dengan penelitian (Yuliananda et al., 2015)(Mandal & Singh, 2017)(Dwiyaniti et al., 2022) bahwa tegangan PV sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari. Puncak tegangan PV adalah 21,26 V pada jam 11.00 WIB. Setelah jam 17.00 WIB tegangan PV berangsur-angsur turun seiring dengan matahari tenggelam. Sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Di wilayah Depok, pada pagi dan siang hari hembusan angin

sangat sedikit dengan kecepatan sekitar 4 – 10 km/j, sehingga turbin angin hanya menghasilkan tegangan sekitar 0,2 V. Mulai jam 15.00 WIB angin mulai berhembus dengan kecepatan sekitar 11 – 22 km/j, sehingga turbin angin menghasilkan tegangan 5,34 – 13.97 V.

Daya yang dihasilkan oleh PV dan turbin angin terlihat pada Gambar 4B. Daya PV tertinggi adalah 31.89 W. Sedangkan daya turbin angin tertinggi adalah 0.14 W, sehingga pada grafik tidak terlihat. Daya PV dihasilkan mulai jam 5.40 hingga 17.00 WIB, sedangkan daya turbin angin mulai dihasilkan pada jam 15.00 hingga dini hari. Hal ini terjadi karena minimal tegangan turbin angin untuk menghasilkan arus adalah 13 V. Nilai tegangan tersebut dapat diperoleh jika kecepatan hembusan angin minimum 11 km/j.

3. *Real-time* Monitoring Kinerja Baterai

Arus yang dihasilkan oleh PV dan turbin angin disimpan pada baterai LiFePO4 dengan kapasitas adalah 25 Ah, 12 V. Baterai ini digunakan untuk memberikan sumber listrik pada mikrokontroler selama 24 jam dan lampu PJU selama 12 jam. Pada Gambar 5B terlihat bahwa mulai pukul 6 pagi hingga 18.00 WIB, baterai hanya menyuplai arus sebesar 0,18 A yang merupakan beban mikrokontroler. Sedangkan pada pukul 18.00 WIB hingga 6 pagi, arus baterai menjadi lebih besar karena terdapat tambahan beban lampu, sehingga total arus menjadi 1,29 A.



Gambar 5. Grafik (A) tegangan dan daya baterai; (B) arus baterai

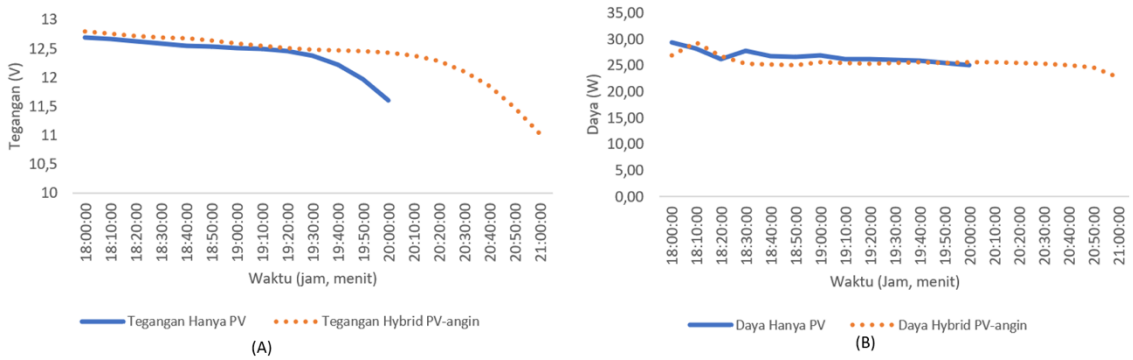
Berdasarkan Gambar 5A, pada jam 06.20 WIB baterai mulai melakukan pengisian. Hal ini terlihat dari kenaikan tegangan baterai. Pengisian baterai dilakukan oleh dua sumber secara bersamaan yaitu PV dan angin. Namun pada pagi hingga sore, PV menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Sedangkan turbin angin mulai

menghasilkan energi listrik pada sore hingga malam hari. Maksimum tegangan pengisian pada baterai LiFePO4 adalah 13,58 V, setelah tegangan tersebut tercapai, kontrol baterai akan memutus sumber.

PJUTS hybrid angin mulai menyala pada jam 18.00 hingga 06.00 WIB, baterai melakukan pengosongan. Hal ini terlihat dari penurunan tegangan dan naiknya daya baterai hingga 16,31 W. Penurunan tegangan baterai saat pengosongan minimum 11 V. Artinya jika baterai telah mencapai tegangan minimum, kontrol baterai akan memutuskan beban dan sistem akan mati. Hal ini berfungsi untuk menjaga keamanan dan *life time* baterai.

4. Efesiensi kinerja baterai

Pengujian kapasitas baterai sebagai tempat penyimpanan energi dilakukan dengan tujuan untuk melihat apakah penambahan energi angin mempengaruhi kinerja baterai. Pada pengujian ini, baterai digunakan untuk memberikan sumber listrik lampu PJU dengan daya 30 W. Pengujian dilakukan mulai jam 18.00 – 21.00 WIB. Data hasil pengujian terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perbandingan (A) tegangan dan (B) daya pada baterai saat hanya sumber PV dan hybrid PV-angin

Pada Gambar 6A terlihat perbandingan tegangan antara PJU yang hanya bersumber PV dengan PJU yang bersumber hybrid PV-angin. Jika sumber hanya PV, baterai dapat memberikan sumber listrik ke PJU selama 2 jam (18.00 - 20.00 WIB). Namun PJU dengan sumber hybrid PV-angin, lampu PJU menyala lebih lama, sekitar 3 jam (18.00 – 21.00 WIB). Daya baterai baik dengan sumber hanya PV maupun hybrid PV-angin adalah sama antara 25 – 30 W (Gambar 6B), namun pada jam 20.00 WIB, daya baterai yang bersumber PV telah habis. Dengan demikian, selisih lamanya baterai

dapat memberikan sumber listrik ke PJU adalah 1 (satu) jam atau prosentase penambahan waktu sebesar 20%. Hal ini terjadi karena baterai pada PJU hybrid PV-angin tetap mendapatkan arus pengisian dari energi angin walaupun kecil pada malam hari. Sedangkan baterai pada PJUTS tidak mendapatkan arus pengisian pada malam hari.

SIMPULAN

Implementasi PJUTS hybrid angin berbasis IoT telah berhasil dilakukan. PJUTS hybrid angin menunjukkan kinerja yang baik. PV mampu menghasilkan tegangan hingga 21,26 V. Sedangkan turbin angin mampu menghasilkan tegangan hingga 13.97 V. Sumber energi hybrid PV dan angin bersinergi dengan baik sehingga mampu menyalakan PJU 20% lebih lama dibandingkan dengan PJUTS saja. Namun PJUTS hybrid angin kurang maksimal jika diimplementasikan pada daerah Depok karena kecepatan hembusan angin sangat kurang. PJUTS hibrid angin sangat cocok diimplentasikan pada daerah dengan hembusan angin yang kencang seperti daerah pantai.

DAFTAR PUSTAKA

Adaramola, M. S., Agelin-Chaab, M., & Paul, S. S. (2014). Analysis of hybrid energy systems for application in southern Ghana. *Energy Conversion and Management*, *88*, 284–295.

Al-Turjman, F., Qadir, Z., Abujubbeh, M., & Batunlu, C. (2020). Feasibility analysis of solar photovoltaic-wind hybrid energy system for household applications. *Computers & Electrical Engineering*, *86*, 106743.

Ali, N. M., & Ammari, H. (2022). Design of a hybrid wind-solar street lighting system to power LED lights on highway poles. *AIMS Energy*, *10*(2), 177–190.

Bekele, G., & Palm, B. (2010). Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia. *Applied Energy*, *87*(2), 487–495.

Dwiyaniti, M., Kusumaningtyas, A. B., Wardono, S., & Lestari, K. S. (2022). A Real-time Performance Monitoring of IoT based on Integrated Smart Streetlight. *2022 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 131–135.

EBTKE. (2019). KESDM Akan Bangun Lebih Dari 20 Ribu PJUTS Tahun 2019. *Humas EBTKE*. https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/04/10/2205/kesdm.akan.bangun.lebih.dari.20.ribu.pjuts.tahun.2019

Fotios, S., Unwin, J., & Farrall, S. (2015). Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review. *Lighting Research & Technology*, *47*(4), 449–469.

Hans, M. R., & Tamhane, M. A. (2020). IoT based hybrid green energy driven street lighting system. *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)*, 35–41.

Hossain, J., Algeelani, N. A., Al-Masoodi, A. H. H., & Kadir, A. F. A. (2022). Solar-wind power generation system for street lighting using internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *26*(2), 639.

Kawde, N., Bodne, N., & Kimmatkar, K. (2022). Smart Street Light Using Wind-Solar Hybrid Energy System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *10*(8), 1923–1928.

Khan, M. J., & Iqbal, M. T. (2005). Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renewable Energy*, *30*(6), 835–854.

Khan, Z. A., Imran, M., Altamimi, A., Diemuodeke, O. E., & Abdelatif, A. O. (2022). Assessment of wind and solar hybrid energy for agricultural applications in Sudan. *Energies*, *15*(1), 5.

Mandal, S., & Singh, D. (2017). Real time data acquisation of solar panel using arduino and further recording voltage of the solar panel. *International Journal of Instrumentation and Control Systems*, *7*(3), 15–25.

Nyemba, W. R., Chinguwa, S., Mushanguri, I., & Mbohwa, C. (2019). Optimization of the design and manufacture of a solar-wind hybrid street light. *Procedia Manufacturing*, *35*, 285–290.

Shivrath, Y., Narayana, P. B., Thirumalasetty, S., & Narsaiah, E. L. (2012). Design & integration of wind-solar hybrid energy system for drip irrigation pumping application. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, *2*(4), 2947–2950.

Yuliananda, S., Sarya, G., & Hastijanti, R. A. R. (2015). Pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran panel surya. *JPM17: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *1*(02).