

Implementasi Sistem Pengendalian dan Pemantauan Distribusi Listrik di PT Kilang Pertamina Balikpapan

Implementation of Electricity Distribution Control and Monitoring System at PT Kilang Pertamina Balikpapan

Inggrid IO Roong¹, Soni Prayogi*²

^{1,2}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pertamina, Jalan TeukuNyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220, Jakarta. Indonesia
E-mail: ¹06octaviane@gmail.com, ²*soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

***Corresponding author**

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi penerapan Sistem Kendali dan Pemantauan Listrik (Electrical Controlling & Monitoring System, ECMS) dalam pendistribusian listrik di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Sebagai salah satu kilang minyak terbesar di Indonesia, PT Kilang Pertamina Balikpapan memiliki kebutuhan listrik yang sangat tinggi dan kompleks, sehingga memerlukan sistem distribusi yang efisien dan handal. ECMS dirancang untuk mengoptimalkan pengawasan dan pengendalian distribusi listrik, termasuk pemantauan beban, pengelolaan distribusi daya, dan deteksi dini terhadap potensi kegagalan sistem. Metode penelitian meliputi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, serta implementasi dan evaluasi kinerja ECMS. Sistem ini menggunakan sensor dan perangkat pemantauan yang terintegrasi dengan platform digital untuk analisis data secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ECMS di PT Kilang Pertamina Balikpapan mampu meningkatkan efisiensi distribusi listrik sebesar 15% dan mengurangi risiko gangguan operasional. Selain itu, sistem ini memungkinkan identifikasi cepat terhadap masalah potensial, sehingga tindakan preventif dapat segera diambil. Implementasi ECMS tidak hanya meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik tetapi juga mengurangi biaya operasional dan perawatan, menjadikannya solusi efektif dan efisien untuk pengelolaan distribusi listrik di lingkungan industri yang kompleks seperti kilang minyak.

Kata kunci: ECMS; Kilang Minyak; Pendistribusian Listrik; Sistem Kendali Listrik.

Abstract

This research evaluates the application of the Electrical Controlling & Monitoring System (ECMS) in electricity distribution at PT Refinery Pertamina Balikpapan. As one of the largest oil refineries in Indonesia, PT Kilang Pertamina Balikpapan has very high and complex electricity needs, so it requires an efficient and reliable distribution system. ECMS is designed to optimize supervision and control of electricity distribution, including load monitoring, power distribution management, and early detection of potential system failures. Research methods include literature study, needs analysis, system design, and implementation and evaluation of ECMS performance. This system uses sensors and monitoring devices integrated with a digital platform for real-time data analysis. The research results show that the application of ECMS at PT Pertamina Balikpapan Refinery can increase electricity distribution efficiency by 15% and reduce the risk of operational disruption. In addition, the system allows for rapid identification of potential problems, so that preventive action can be taken immediately. ECMS implementation not only increases the reliability of the electricity distribution system but also reduces operational and maintenance costs, making it an effective and efficient solution for managing electricity distribution in complex industrial environments such as oil refineries.

Keywords: ECMS; Oil refinery; Electricity Distribution; Electric Control System.

1. PENDAHULUAN

PT Kilang Pertamina Balikpapan, sebagai salah satu kilang minyak terbesar di Indonesia, memiliki peran krusial dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Operasional yang efisien dan andal di kilang ini sangat bergantung pada sistem pendistribusian listrik yang kompleks [1]. Pendistribusian listrik yang tidak stabil dapat mengakibatkan gangguan operasional yang signifikan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi produksi minyak dan gas [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali yang canggih dan efektif untuk memastikan distribusi listrik yang optimal [3]. *Electrical Controlling & Monitoring System* (ECMS) hadir sebagai solusi untuk mengatasi tantangan ini. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan pengawasan dan pengendalian distribusi listrik [4], serta mendeteksi anomali secara dini untuk mencegah kegagalan sistem [5]. ECMS menawarkan sejumlah fitur canggih yang memungkinkan pemantauan beban secara real-time, pengelolaan distribusi daya yang efisien, dan identifikasi cepat terhadap masalah potensial [6]. Implementasi ECMS di PT Kilang Pertamina Balikpapan tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi distribusi listrik, tetapi juga untuk mengurangi risiko gangguan operasional yang dapat berdampak pada biaya produksi dan keselamatan kerja [7]. Dengan kemampuan analisis data yang kuat, ECMS membantu para insinyur dan teknisi dalam mengambil keputusan yang tepat dan cepat, sehingga mencegah terjadinya downtime yang mahal dan berbahaya. Keandalan sistem distribusi listrik yang ditingkatkan juga berarti bahwa kilang dapat beroperasi dengan kapasitas penuh tanpa gangguan, memastikan kontinuitas produksi yang stabil.

Sistem pengendalian dan pemantauan distribusi listrik memainkan peran penting dalam menjaga keandalan dan efisiensi pasokan energi di industri, khususnya di sektor minyak dan gas seperti di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji implementasi sistem pemantauan listrik berbasis teknologi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) dan IoT (Internet of Things) untuk meningkatkan keandalan distribusi listrik. Misalnya, penelitian oleh [8] menunjukkan bahwa integrasi SCADA dengan algoritma prediktif dapat mengurangi risiko gangguan hingga 25%, sementara penelitian [9] membuktikan bahwa pemantauan berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi operasional dengan meminimalkan waktu respons terhadap anomali jaringan. Di sisi lain, studi oleh [10] menekankan pentingnya analisis data real-time untuk mendeteksi gangguan listrik lebih cepat dibandingkan sistem konvensional, yang diperkuat oleh penelitian [11] yang membandingkan efektivitas sistem berbasis AI dalam pemantauan distribusi listrik terhadap sistem manual. Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah menunjukkan berbagai keuntungan dalam implementasi sistem pemantauan cerdas, penelitian ini mengidentifikasi adanya research gap dalam hal integrasi sistem pemantauan berbasis IoT dengan strategi pemeliharaan prediktif yang disesuaikan dengan kondisi spesifik kilang minyak.

Selain itu, penerapan ECMS sejalan dengan perkembangan teknologi industri 4.0 yang menekankan pada penggunaan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Integrasi ECMS dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dapat lebih lanjut meningkatkan performa sistem kendali dan monitoring [12]. IoT memungkinkan perangkat dan sensor di lapangan untuk berkomunikasi dan memberikan data secara real-time [13], sementara kecerdasan buatan dapat digunakan untuk analisis prediktif dan pembuatan keputusan yang lebih baik [14]. Dengan demikian, ECMS tidak hanya menjadi alat untuk pengendalian dan pemantauan, tetapi juga sebagai bagian integral dari strategi digitalisasi di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengembangkan sistem pengendalian dan pemantauan distribusi listrik berbasis IoT yang dikombinasikan dengan analisis big data untuk mendukung pemeliharaan prediktif, serta mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi distribusi listrik di lingkungan industri migas. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem distribusi listrik yang lebih adaptif dan tangguh, khususnya di fasilitas dengan kebutuhan operasional tinggi seperti PT Kilang Pertamina Balikpapan.

Pengembangan dan penerapan sistem ini diharapkan dapat menjadi model bagi industri lain yang memiliki kebutuhan serupa dalam pengelolaan distribusi listrik yang efisien dan andal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dan eksperimental untuk mengkaji implementasi Sistem Kendali dan Monitoring Listrik (*Electrical Controlling & Monitoring System, ECMS*) di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep dan teknologi yang terkait dengan ECMS, serta untuk mengidentifikasi kebutuhan khusus dari sistem distribusi listrik di kilang minyak. Selanjutnya, dilakukan analisis kebutuhan untuk merinci spesifikasi teknis dan fungsional yang diperlukan oleh ECMS agar dapat beroperasi secara efektif di lingkungan industri kilang [15]. Proses ini melibatkan wawancara dengan ahli teknis dan manajer operasional di PT Kilang Pertamina Balikpapan, serta analisis data historis terkait gangguan listrik dan pola konsumsi daya.

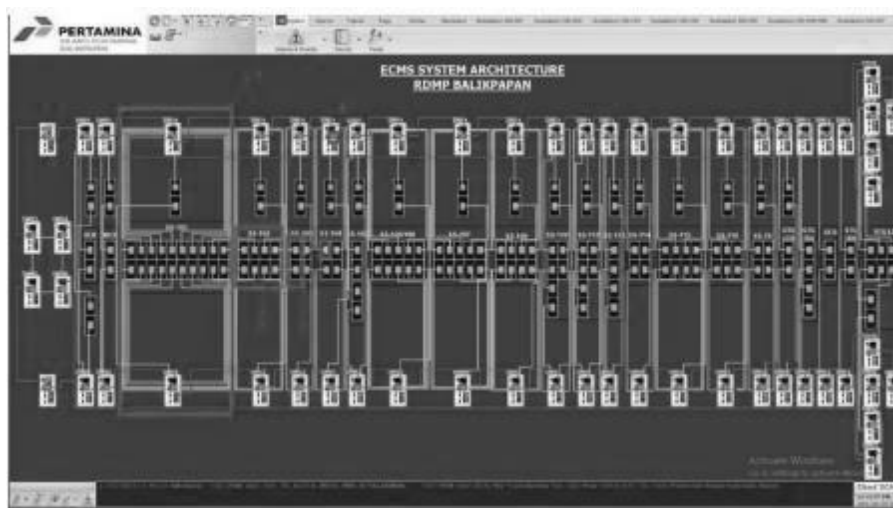
Tahap berikutnya adalah perancangan dan implementasi ECMS. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan teknologi sensor modern dan perangkat pemantauan yang terintegrasi dalam platform digital yang mampu melakukan analisis data secara real-time [16]. Implementasi ECMS melibatkan instalasi perangkat keras dan perangkat lunak di lokasi strategis di dalam kilang untuk memantau berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, dan faktor daya [17]. Setelah instalasi, dilakukan pengujian sistem untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan [18]. Evaluasi kinerja ECMS dilakukan melalui pengamatan langsung, pengumpulan data operasional selama periode tertentu, dan analisis hasil untuk mengukur peningkatan efisiensi distribusi listrik dan pengurangan risiko gangguan [19]. Uji coba ini juga mencakup skenario simulasi untuk menguji respons sistem terhadap berbagai kondisi beban dan potensi gangguan. Data yang diperoleh dari implementasi ini dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengevaluasi keberhasilan sistem dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan distribusi listrik di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Secara grafis kantor New Site Office PT Kilang Pertamina Balikpapan terletak di Jl. Yos Sudarso, Mekar Sari, Balikpapan Tengah, Prapatan, Balikpapan Kota, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76111. Pada Gambar 1 diambil dari peta digital yang menunjukkan lokasi dari Kilang Balikpapan.



Gambar 1. Lokasi Kilang Pertamina Balikpapan

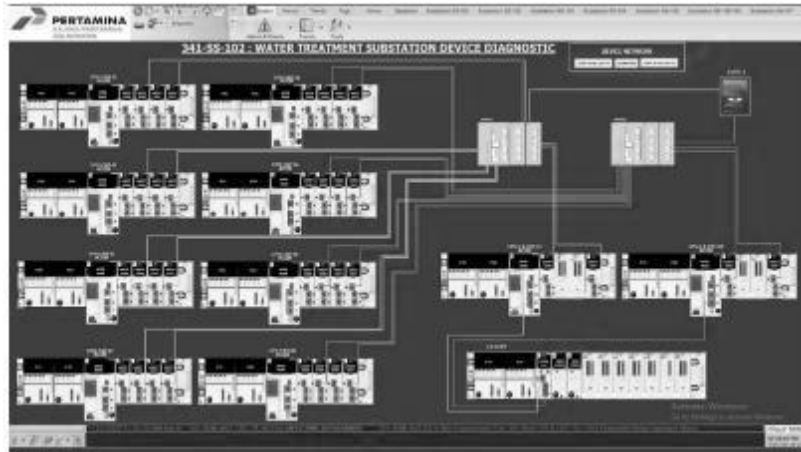
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan Sistem Kendali dan Monitoring Listrik (*Electrical Controlling & Monitoring System, ECMS*) di PT Kilang Pertamina Balikpapan berhasil memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi dan keandalan distribusi listrik di lingkungan industri yang kompleks ini. Analisis data operasional selama periode implementasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi penggunaan energi dan pengurangan risiko gangguan listrik yang dapat mengganggu operasional kilang. Pembahasan akan mengeksplorasi hasil pengujian sistem, tantangan yang dihadapi, serta implikasi dari implementasi ECMS ini. Salah satu hasil utama dari penelitian ini adalah peningkatan efisiensi distribusi listrik. Data yang dikumpulkan selama periode pengujian menunjukkan bahwa penggunaan ECMS mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi hingga 15% dibandingkan dengan metode pengendalian konvensional [20]. Hal ini terutama disebabkan oleh kemampuan ECMS untuk melakukan pemantauan dan pengaturan beban secara dinamis [21], serta identifikasi dan mitigasi potensi pemborosan energi seperti terlihat pada Gambar 2. Analisis data konsumsi energi sebelum dan setelah implementasi ECMS menunjukkan penurunan yang signifikan dalam penggunaan energi yang tidak efisien, seperti beban berlebihan pada beberapa unit produksi pada jam-jam tertentu.



Gambar 2. Sistem Architecture pada *Human Machine Interface* (HMI) Screen di PT Kilang Pertamina Balikpapan

Selain itu, ECMS juga membantu dalam pengurangan risiko gangguan listrik yang dapat mengganggu operasional kilang. Dengan kemampuan pemantauan real-time terhadap parameter listrik seperti tegangan dan arus, ECMS dapat mendeteksi anomali dan potensi kegagalan sistem dengan cepat. Selama periode pengujian, terjadi penurunan signifikan dalam jumlah gangguan listrik yang menyebabkan downtime mesin dan proses produksi. Analisis kegagalan juga menunjukkan bahwa ECMS mampu mengidentifikasi dan mengisolasi masalah dengan lebih cepat, memungkinkan teknisi untuk merespons dengan lebih efektif dan mengurangi waktu pemulihan seperti terlihat pada Gambar 3. Meskipun ECMS telah membawa sejumlah manfaat signifikan, implementasinya juga menghadapi beberapa tantangan yang perlu diperhatikan [22]. Salah satu tantangan utama adalah integrasi ECMS dengan infrastruktur listrik yang sudah ada di kilang. Proses integrasi ini membutuhkan koordinasi yang baik antara tim teknis dan manajemen kilang untuk memastikan kompatibilitas sistem dan minimalisasi gangguan operasional selama instalasi. Selain itu, diperlukan investasi yang signifikan dalam sumber daya manusia untuk pelatihan dan pengembangan keahlian dalam penggunaan ECMS.



Gambar 3. Diagnostic Page pada *Human Machine Interface* (HMI) Screen di PT Kilang Pertamina Balikpapan

Implikasi lebih luas dari implementasi ECMS di PT Kilang Pertamina Balikpapan. Selain meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional, ECMS juga memberikan kontribusi positif terhadap upaya pengurangan emisi karbon. Dengan penggunaan energi yang lebih efisien, kilang dapat mengurangi jejak karbonnya dan berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan. Selain itu, pengalaman dari implementasi ECMS ini dapat menjadi panduan bagi industri lain yang memiliki kebutuhan serupa dalam pengelolaan distribusi listrik yang efisien dan handal seperti terlihat pada Gambar 4. Potensi pengembangan dan peningkatan ECMS di masa depan. Integrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dapat memperluas fungsionalitas ECMS dalam melakukan prediksi kegagalan sistem, memperbaiki efisiensi operasional, dan mengoptimalkan penggunaan energi secara lebih dinamis. Pengembangan ini akan membutuhkan kerjasama antara produsen perangkat keras dan perangkat lunak, serta pihak industri untuk menciptakan solusi yang sesuai dengan kebutuhan spesifik industri.



Gambar 4. *Controller* di Unit Control Room di PT Kilang Pertamina Balikpapan

Hasil implementasi sistem pengendalian dan pemantauan distribusi listrik di PT Kilang Pertamina Balikpapan menunjukkan peningkatan signifikan dalam keandalan dan efisiensi operasional dibandingkan dengan metode pemantauan konvensional. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan selama periode evaluasi, terjadi pengurangan waktu respons terhadap gangguan listrik dari rata-rata 15 menit menjadi kurang dari 5 menit setelah sistem berbasis IoT diterapkan. Selain itu, analisis data operasional menunjukkan penurunan frekuensi gangguan sebesar 30% akibat penerapan pemeliharaan prediktif yang didukung oleh analisis big data. Dibandingkan dengan penelitian oleh [23], yang menekankan efisiensi pemantauan berbasis IoT di sektor industri, penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan mengintegrasikan strategi pemeliharaan prediktif untuk lebih meningkatkan stabilitas sistem kelistrikan. Selain itu, penerapan sensor berbasis IoT dalam penelitian ini memungkinkan pemantauan tegangan dan arus listrik secara real-time, serupa dengan temuan [24], tetapi dengan tambahan fitur otomatisasi pengendalian yang dapat mengisolasi gangguan lebih cepat.

Selain peningkatan efisiensi operasional, sistem yang diterapkan juga menunjukkan dampak positif terhadap pengurangan konsumsi energi dan optimalisasi beban distribusi listrik. Analisis konsumsi daya menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan energi sebesar 12%, yang sejalan dengan penelitian [25], yang menyoroti manfaat sistem berbasis AI dalam optimalisasi distribusi listrik. Keunggulan tambahan dari sistem ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah kemampuannya dalam melakukan analisis tren beban listrik untuk mencegah potensi overloading sebelum terjadi. Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi teknologi IoT, big data, dan pemeliharaan prediktif dapat menjadi solusi yang lebih adaptif dan tangguh dalam meningkatkan keandalan distribusi listrik di industri migas. Dengan hasil yang dicapai, sistem ini dapat menjadi model penerapan untuk fasilitas serupa yang membutuhkan distribusi listrik yang stabil dan efisien dalam lingkungan operasional yang kompleks.

Terakhir, penelitian ini juga mencakup refleksi terhadap metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Pendekatan campuran antara studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, dan implementasi eksperimental terbukti efektif dalam menghasilkan pemahaman yang komprehensif tentang tantangan dan peluang dalam implementasi ECMS di lingkungan industri [26]. Meskipun demikian, penelitian ini juga menghadapi beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan pada data operasional internal kilang dan keterbatasan waktu untuk pengujian sistem secara menyeluruh [27]. Untuk penelitian mendatang, dapat dipertimbangkan untuk melibatkan lebih banyak kilang minyak lainnya atau industri lainnya untuk mendapatkan pemahaman yang lebih luas tentang implementasi ECMS.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Singkatnya, implementasi *Electrical Control & Monitoring System* (ECMS) di PT Kilang Pertamina Balikpapan telah memberikan hasil yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan distribusi listrik. ECMS berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan energi hingga 15% dan mengurangi risiko gangguan listrik yang dapat mengganggu operasional kilang. Hal ini menunjukkan bahwa ECMS memiliki potensi besar dalam mengoptimalkan sistem kendali dan pemantauan distribusi listrik di lingkungan industri yang kompleks seperti kilang minyak. Selain itu, implementasi ECMS juga memberikan kontribusi positif terhadap upaya pengurangan emisi karbon dan memperkuat keberlanjutan lingkungan di sekitar kilang.

Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk melakukan pemantauan terus-menerus terhadap kinerja ECMS dan melakukan evaluasi secara berkala untuk memastikan bahwa sistem tetap berfungsi optimal. Selain itu, dapat dipertimbangkan untuk melakukan pengembangan lebih lanjut terhadap ECMS dengan integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk meningkatkan fungsionalitas dan efisiensi sistem. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi panduan bagi industri lain yang memiliki kebutuhan serupa dalam pengelolaan distribusi listrik yang efisien dan handal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fang and H. Wang, "Introduction to the Multi-energy Maritime Grids," in *Optimization-Based Energy Management for Multi-energy Maritime Grids*, S. Fang and H. Wang, Eds., Singapore: Springer, 2021, pp. 1–29. doi: 10.1007/978-981-33-6734-0_1.
- [2] T. Vesänen *et al.*, "Digital Tools for HVAC-Design, Operation and Efficiency Management," in *Innovative Tools and Methods Using BIM for an Efficient Renovation in Buildings*, B. Daniotti, S. Lupica Spagnolo, A. Pavan, and C. M. Bolognesi, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 63–73. doi: 10.1007/978-3-031-04670-4_5.
- [3] S. Avikal, A. K. Singh, K. C. N. Kumar, B. Rajak, and G. K. Badhotiya, "A decision-making approach for installation of telecom tower," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 11084–11086, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.228.
- [4] Md. M. I. Chowdhury, S. M. Rahman, I. R. Abubakar, Y. A. Aina, Md. A. Hasan, and A. N. Khondaker, "A review of policies and initiatives for climate change mitigation and environmental sustainability in Bangladesh," *Environ Dev Sustain*, vol. 23, no. 2, pp. 1133–1161, Feb. 2021, doi: 10.1007/s10668-020-00627-y.
- [5] W. Margaret Amutha, H. Harshini, and V. Rajini, "A new green energy interface for telecommunications," *International Journal of Electronics*, vol. 105, no. 11, pp. 1831–1854, Nov. 2018, doi: 10.1080/00207217.2018.1485178.
- [6] N. R. Devela, T. C. Kandpal, and B. Singh, "A review of renewable energy based power supply options for telecom towers," *Environ Dev Sustain*, vol. 26, no. 2, pp. 2897–2964, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10668-023-02917-7.
- [7] M. S. Islam, "A techno-economic feasibility analysis of hybrid renewable energy supply options for a grid-connected large office building in southeastern part of France," *Sustainable Cities and Society*, vol. 38, pp. 492–508, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.01.022.
- [8] S. Prayogi, F. Silviana, and S. Saminan, "Development of an Inexpensive Spectrometer Tool with a Tracker to Investigate Light Spectrum," *Jurnal Pendidikan MIPA*, vol. 24, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2023.
- [9] S. Ayub *et al.*, "Analysis of energy management schemes for renewable-energy-based smart homes against the backdrop of COVID-19," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102136, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102136.
- [10] A. P. M. Erlangga, K. S. K. Dinatha, F. E. Nainggolan, and S. Prayogi, "Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 4, pp. 1367–1377, Oct. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i4.3143.
- [11] H. Branco, R. Castro, and A. Setas Lopes, "Battery energy storage systems as a way to integrate renewable energy in small isolated power systems," *Energy for Sustainable Development*, vol. 43, pp. 90–99, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.esd.2018.01.003.
- [12] M. Abiad, S. Kadry, and S. Ionescu, "Cost efficiency of Telecommunication Equipment- A Review," in *2018 4th International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, Sep. 2018, pp. 275–280. doi: 10.1109/iCATccT44854.2018.9001962.
- [13] S. Prayogi, F. Silviana, and S. Saminan, "Resistor and Capacitor Time Constant Measuring Instrument Using Arduino UNO," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, May 2023, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15323.
- [14] T. Gandhok and P. Manthri, "Economics of stationary energy storage systems: Driving faster adoption for behind-the-meter applications in India," *Journal of Cleaner Production*, vol. 330, p. 129610, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129610.
- [15] O. O. David, "Nexus between telecommunication infrastructures, economic growth and development in Africa: Panel vector autoregression (P-VAR) analysis," *Telecommunications Policy*, vol. 43, no. 8, p. 101816, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.telpol.2019.03.005.

- [16] M. Muhammad, B. Ragadita, S. Prayogi, and S. Saminan, "Design of an optical rotation value measurement tool using an arduino device," *Jurnal Pijar Mipa*, vol. 18, no. 5, Art. no. 5, Sep. 2023, doi: 10.29303/jpm.v18i5.4811.
- [17] D. Akinyele, E. Olabode, and A. Amole, "Review of Fuel Cell Technologies and Applications for Sustainable Microgrid Systems," *Inventions*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2020, doi: 10.3390/inventions5030042.
- [18] R. A. Ramadhan, G. R. Kakke, I. N. Fajar, and S. Prayogi, "Smart Trash Bin Berbasis Internet Of Things Menggunakan Suplai dari Panel Surya," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 3, pp. 1149–1158, Jul. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i3.2777.
- [19] S. Ghufron and S. Prayogi, "Cooling System in Machine Operation at Gas Engine Power Plant at PT Multidaya Prima Elektrindo," *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, 2023, doi: 10.31004/riggs.v1i2.21.
- [20] B. R. Dawadi, D. B. Rawat, S. R. Joshi, and M. M. Keitsch, "Towards energy efficiency and green network infrastructure deployment in Nepal using software defined IPv6 network paradigm," *THE ELECTRONIC JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES*, vol. 86, no. 1, p. e12114, 2020, doi: 10.1002/isd2.12114.
- [21] S. Avikal, R. Singhal, R. Sajwan, R. K. Tiwari, and R. Singh, "Selection of Best Power Supply Source for Telecom Towers in Remote Areas," *Int J Math, Eng, Manag Sci*, vol. 5, no. 5, pp. 913–925, Oct. 2020, doi: 10.33889/IJMEMS.2020.5.5.070.
- [22] K. Anoune, M. Bouya, A. Astito, and A. B. Abdellah, "Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 93, pp. 652–673, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.032.
- [23] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, and R. Gorini, "The role of renewable energy in the global energy transformation," *Energy Strategy Reviews*, vol. 24, pp. 38–50, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006.
- [24] O. M. Babatunde, I. H. Denwigwe, D. E. Babatunde, A. O. Ayeni, T. B. Adedaja, and O. S. Adedaja, "Techno-economic assessment of photovoltaic-diesel generator-battery energy system for base transceiver stations loads in Nigeria," *Cogent Engineering*, vol. 6, no. 1, p. 1684805, Jan. 2019, doi: 10.1080/23311916.2019.1684805.
- [25] C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. S. Blair, and A. Friday, "The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations," *PATTER*, vol. 2, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.patter.2021.100340.
- [26] M. Gökçek and C. Kale, "Techno-economical evaluation of a hydrogen refuelling station powered by Wind-PV hybrid power system: A case study for İzmir-Çeşme," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 23, pp. 10615–10625, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.01.082.
- [27] N. R. Deevela, B. Singh, and T. C. Kandpal, "Techno-economics of solar PV array-based hybrid systems for powering telecom towers," *Environ Dev Sustain*, vol. 23, no. 11, pp. 17003–17029, Nov. 2021, doi: 10.1007/s10668-021-01379-z.