

SISTEM OTOMATISASI PERPINDAHAN SUMBER DAYA LISTRIK PLN- GENSET BERBASIS IOT DENGAN MIKROKONTROLER ESP32-ARDUINO

Imam Musi Khotza'u¹⁾, Budi Widarto²⁾, Muhammad Fathur Rahman³⁾

^{1,2,3)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Kota Malang 65144, Jawa Timur, Indonesia
E-mail : ¹⁾imammusi10@gmail.com, ²⁾budiarket16@gmail.com,
³⁾muhammadfathurrahman987@gmail.com

ABSTRAK

Pemadaman listrik yang tidak terduga mengganggu aktivitas operasional berbagai sektor yang mengandalkan kontinuitas daya listrik. Sistem perpindahan manual dari PLN ke genset memiliki keterbatasan waktu respons dan efisiensi operasional. Penelitian ini mengembangkan sistem otomatisasi perpindahan sumber daya listrik yang melakukan switching otomatis antara PLN dan genset menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk komunikasi IoT dan Arduino sebagai kontroler utama, dilengkapi teknologi Automatic Transfer Switch (ATS) dan Automatic Main Failure (AMF). Implementasi menggunakan Solid State Relay untuk switching daya, sensor tegangan untuk deteksi status PLN, dan UPS sebagai backup power. Sistem dilengkapi fitur monitoring jarak jauh melalui aplikasi Android dan mekanisme retry starter genset. Hasil pengujian menunjukkan sistem berhasil melakukan perpindahan otomatis dengan waktu respons cepat, mampu beroperasi dalam mode otomatis dan manual, serta dapat dikontrol secara real-time. Sistem ini memberikan solusi praktis untuk meningkatkan kontinuitas daya listrik dan mengurangi ketergantungan operator manual.

Kata kunci : perpindahan sumber daya listrik, otomatisasi, IoT, ESP32, Arduino, ATS/AMF

ABSTRACT

Unexpected power outages disrupt operational activities in sectors that rely on electrical power continuity. Manual switching systems from PLN to generators have limitations in response time and operational efficiency. This research develops an automated power source switching system that performs automatic switching between PLN and generators using Internet of Things (IoT) technology. The system uses ESP32 microcontroller for IoT communication and Arduino as the main controller, equipped with Automatic Transfer Switch (ATS) and Automatic Main Failure (AMF) technology. Implementation uses Solid State Relay for power switching, voltage sensor for PLN status detection, and UPS as backup power. The system features remote monitoring through Android applications and generator starter retry mechanism. Test results show the system successfully performs automatic switching with fast response time, operates in both automatic and manual modes, and can be controlled in real-time. This system provides a practical solution to improve electrical power continuity and reduce dependence on manual operators..

Keywords: power source switching, automation, IoT, ESP32, Arduino, ATS/AMF

1. PENDAHULUAN

Pemadaman listrik merupakan tantangan serius di berbagai sektor, terutama yang mengandalkan kelistrikan secara terus-menerus[1], [2], [3] seperti industri perikanan, rumah tangga, dan fasilitas publik. Ketika aliran listrik terputus, aktivitas operasional terganggu, bahkan bisa mengakibatkan kerugian signifikan[4],[5]. Banyak pengguna mengandalkan genset sebagai sumber daya cadangan[6], namun proses peralihan dari PLN ke genset sering kali masih dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan keterlambatan pemulihan daya dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan[7], [8].

Seiring berkembangnya teknologi, sistem otomatisasi berbasis Internet of Things (IoT) menjadi solusi modern yang mampu meningkatkan responsivitas dan fleksibilitas sistem kelistrikan[9], [10], [11]. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, sistem peralihan daya dapat dikendalikan secara otomatis dan dipantau dari jarak jauh melalui perangkat mobile[12]. Hal ini memungkinkan pengguna untuk tetap mengelola sistem listrik dengan efisien meskipun tidak berada di lokasi, sekaligus meminimalkan ketergantungan terhadap operator manual[9], [13], [14].

Dalam proyek tugas akhir ini, dikembangkanlah alat berbasis ATS (Automatic Transfer Switch) dan AMF (Automatic Main Failure) yang terintegrasi dengan teknologi IoT. Sistem dirancang untuk mampu memindahkan jalur kelistrikan secara otomatis dari PLN ke genset dan sebaliknya, dengan waktu respons yang cepat[15], [16]. Kontrol alat dilakukan melalui dua metode, yaitu secara otomatis oleh sistem, serta manual melalui tombol fisik atau aplikasi Android yang terhubung ke internet menggunakan modul ESP32 dan Arduino sebagai pengendali utama. Arduino terbukti efektif digunakan pada controller dalam berbagai bidang[17], [18], [19], [20] sehingga dapat memberikan efektifitas pada alat. ESP32 memberikan keunggulan dalam hal konektivitas IoT dan kemampuan pemrosesan yang tinggi[21],

[22], [23]. Integrasi kedua platform ini memungkinkan sistem memiliki kombinasi kontrol yang meningkatkan keandalan operasional, dimana ESP32 menangani komunikasi nirkabel dan antarmuka pengguna, sementara Arduino berfungsi sebagai pengendali utama untuk operasi kritikal[24], [25].

Dokumentasi pengembangan alat ini mencakup tahapan mulai dari perencanaan konsep, desain sistem hingga implementasi perangkat keras dan lunak. Melalui proses tersebut, sistem diimplementasikan dalam berbagai skenario kegagalan daya untuk memastikan fungsionalitas dan keandalannya. Penggunaan solid-state relay (SSR), UPS sebagai sumber backup, serta fitur retry saat starter genset. Solid-State Relays (SSR) dipilih karena daya tahan dan umur operasional yang lebih panjang dibandingkan relay elektromekanis[26]. UPS (Uninterruptible Power Supply) menyediakan sumber daya cadangan yang dapat diandalkan untuk relay protektif ketika sumber daya primer hilang[27], [28], [29]. fitur retry starter genset memberikan kelebihan pada operasional yang penting ketika terjadi kegagalan starter pada percobaan pertama, sehingga meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Tujuan utama dari penelitian ini untuk merancang dan mengimplementasikan sistem ATS/AMF berbasis IoT yang dapat melakukan perpindahan daya secara otomatis dengan tingkat keandalan tinggi. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengatasi keterbatasan sistem manual konvensional melalui integrasi teknologi ESP32 dan Arduino[10], [25], serta dilengkapi dengan fitur monitoring jarak jauh. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan cadangan, khususnya bagi sektor-sektor yang memerlukan kontinuitas daya minim gangguan. Selain itu, dokumentasi lengkap dari proses pengembangan sistem ini dapat menjadi referensi untuk penelitian sejenis di masa mendatang serta memberikan landasan bagi pengembangan sistem otomatisasi kelistrikan yang lebih canggih dan terintegrasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

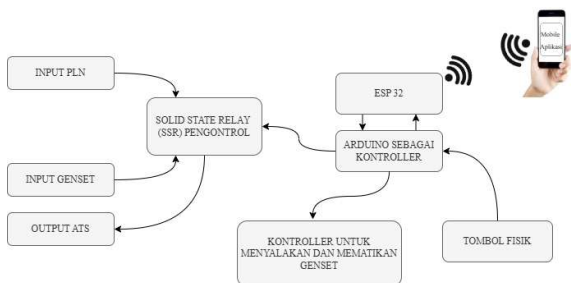
Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) dengan pendekatan eksperimental untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem ATS/AMF berbasis IoT[30]. Metode R&D dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk teknologi baru yang dapat dimanfaatkan dalam praktik[31], sesuai dengan karakteristik penelitian pengembangan yang fokus pada inovasi teknologi aplikatif.

Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji efektivitas sistem yang dikembangkan melalui serangkaian pengujian terkontrol dalam kondisi laboratorium maupun simulasi lapangan[32]. Penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, hingga pengujian fungsionalitas sistem. Tahapan penelitian ini mengacu pada model pengembangan sistem yang telah divalidasi dalam penelitian sebelumnya, dengan modifikasi sesuai karakteristik khusus sistem ATS/AMF berbasis IoT[33].

2.2 Tahapan Penelitian

2.2.1 Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dimulai dengan pembuatan blok diagram sistem keseluruhan yang menggambarkan interaksi antara komponen utama yaitu kontroler, sensor, dan interface komunikasi, seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 desain sistem keseluruhan

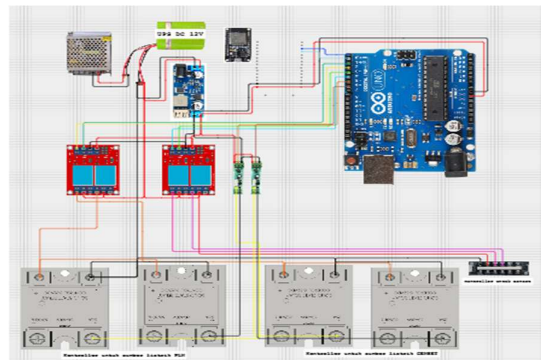
Skema interkoneksi antar komponen dirancang dengan mempertimbangkan aspek

isolasi sinyal untuk meningkatkan keandalan sistem.

2.2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras mengikuti metodologi hardware design yang mempertimbangkan aspek functionality dan reliability. Rangkaian kontroler utama menggunakan platform Arduino yang dipilih berdasarkan ketersediaan library, kemudahan pemrograman, dan proven reliability dalam aplikasi industri[34]. Sistem deteksi tegangan PLN dirancang menggunakan rangkaian voltage divider dengan isolasi optocoupler untuk memberikan proteksi terhadap kontroler dari gangguan tegangan tinggi.

Perancangan sistem starter otomatis genset mengimplementasikan algoritma retry mechanism yang dapat melakukan percobaan startup hingga 3 kali dengan interval waktu yang dapat dikonfigurasi untuk mengatasi kegagalan starter pada percobaan pertama. Rangkaian switching menggunakan Solid State Relay (SSR) yang dipilih karena keunggulannya dalam hal switching speed, electrical isolation, dan operational lifetime dibandingkan dengan relay elektromekanis konvensional[26]. Sistem backup power menggunakan UPS yang dirancang khusus untuk menyuplai daya ke rangkaian kontrol dan komunikasi selama periode transisi perpindahan sumber daya utama[35]. Panel kontrol dilengkapi dengan indikator LED status dan push button untuk operasi manual. Perancangan hardware seperti pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Perancangan hardware kontrol sistem ATS AMF

2.2.3 Implementasi Sistem

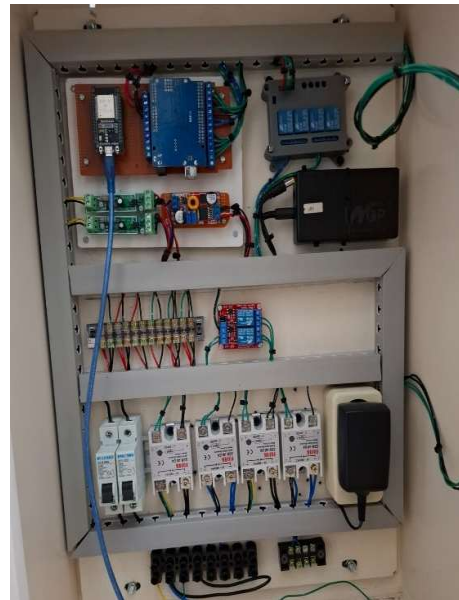
Tahap implementasi dimulai dari implementasi dan pengujian individual setiap subsistem kemudian dilanjutkan dengan integrasi bertahap hingga membentuk sistem yang lengkap. Implementasi ini menghasilkan sistem ATS/AMF yang terintegrasi dalam panel kontrol seperti yang ditunjukkan pada hardware realisasi.

sistem ATS/AMF berbasis IoT ini memiliki spesifikasi teknis seperti pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Spesifikasi teknis pada hardware

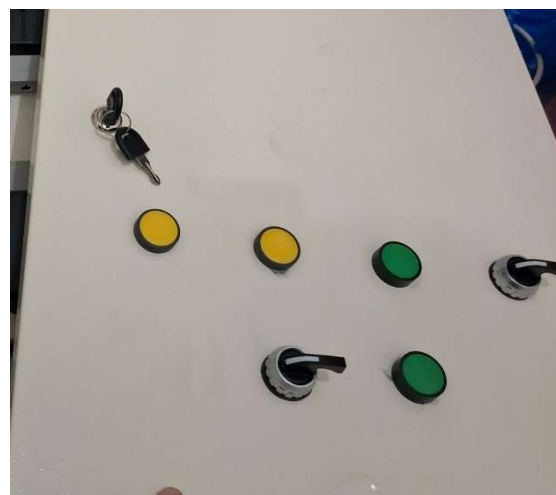
Komponen	Spesifikasi	Fungsi
ESP32	32-bit dual core, WiFi	Komunikasi IoT dan monitoring
Arduino UNO	Digital I/O 14 pin, Analog 6 pin	Kontroller utama sistem
Relay modul 4CH	5V trigger, 250V/10A contact	Kontroller genset dan solid state relay
Voltage Sensor	220VAC input, 5V cadu daya	Mendeteksi tegangan AC
Step Down DC	4~38v to 1.25-36v 5A	Menurunkan Tegangan DC sebagai catu daya kontroller
Solid State Relay	Rating 40DA	Main switching PLN-Genset
UPS DC Rectifier	12V 2A / 12V 2A	Backup power DC / Konversi tegangan AC DC untuk UPS

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merakit seluruh komponen elektronik dalam panel kontrol berukuran 40x60 cm yang dirancang khusus untuk aplikasi hardware ATS AMF. Pada bagian atas panel terpasang kontroller, sensor dan backup catu daya, di bagian bawah panel terdapat kontroller utama pemindah arus antara sumber tegangan primer dan sumber tegangan cadangan dari genset. Implementasi dalam hardware yang sudah terintegrasi dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 3 Realisasi Hardware yang sudah terintegrasi

Dan terdapat push button pada hardware yang telah dirangkai, push button berupa PB1 sebagai daya untuk sumber listrik utama, PB2 untuk sumber listrik backup(genset), PB3 untuk starter genset, TOOGLE untuk kunci kontak genset, ada juga PB untuk reboot sistem dan reset sistem dalam 1 PB dengan memanfaatkan lama waktu pemencetan tombol, terdapat juga TOOGLE pada hardware untuk mode manual dan mode otomatis, sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Tombol dan toggle pada hardware

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Implementasi Pengujian Dasar

Hasil Implementasi pengujian dasar yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Dasar

Pengujian	Hasil
Startup sistem	Semua relay OFF, Mode MANUAL, Hardware ACTIVE
Cek status awal	Tampil status lengkap sistem
Aktivasi PLN manual	Relay PLN ON, App control ACTIVE
Aktivasi Genset manual	Relay Genset ON, App control ACTIVE
Starter manual	Starter nyala jika ditekan, jika kuncikontak on(toogle)
Kontak genset ON	Relay kontak genset ON
Kontak genset OFF	Relay kontak genset OFF
Mode auto	Sistem pindah ke mode AUTO
Mode manual	Sistem pindah ke mode MANUAL
Reset reboot command	Reset operasional, app control tetap
Reset sistem command	Reset lengkap, hardware control aktif
Reset hardware pendek	RESET_REBOOT_HW, operasional reset
Reset hardware panjang	RESET_SYSTEM_HW, hardware control aktif
Startup sistem	Semua relay OFF, Mode MANUAL, Hardware ACTIVE
Cek status awal	Tampil status lengkap sistem
Aktivasi PLN manual	Relay PLN ON, App control ACTIVE
Aktivasi Genset manual	Relay Genset ON, App control ACTIVE
Starter manual	Starter nyala jika ditekan, jika kuncikontak on(toogle)

Terdapat juga pengujian mode auto dan hardware yang telah dilakukan, hasil pengujian pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian pada mode auto dan pengujian hardware

Pengujian	Aksi	Hasil
Auto mode PLN ada	Sensor PLN LOW	= PLN aktif otomatis
Auto mode PLN hilang	Sensor PLN HIGH	= Mulai proses genset
Auto starter 1	Tunggu delay	Starter attempt 1
Auto starter maksimal	3x starter gagal	System locked "AUTO_LOCKED"
Reset auto locked	RESET_REBOOT	Reset starter attempts
Hardware PB1	Tekan PB1	PLN aktif, muncul "PB1_HW"
Hardware PB2	Tekan PB2	Genset aktif, muncul "PB2_HW"
Hardware starter	Tahan PB3	Starter ON saat ditekan, OFF saat lepas
Hardware mode switch	Toggle mode AUTO	Mode berubah, muncul "AUTO_HW"
Hardware kontak	Toggle kontak ON	Kontak genset aktif

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ATS/AMF berbasis IoT yang dikembangkan telah memenuhi seluruh spesifikasi teknis yang dirancang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem otomatisasi perpindahan sumber daya listrik PLN-genset berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan Arduino. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan switching otomatis dengan waktu respons cepat, beroperasi dalam mode otomatis maupun manual, serta dapat dikontrol secara real-time melalui aplikasi Android. Implementasi menggunakan Solid State Relay, sensor tegangan, dan UPS backup power. Sistem ini memberikan solusi praktis untuk meningkatkan kontinuitas daya listrik dan mengurangi ketergantungan terhadap operator manual, khususnya bagi sektor-sektor yang memerlukan pasokan listrik minim gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Murshed *et al.*, “Renewable Energy Integration for Power Outage Mitigation: A Data-Driven Approach in Advancing Grid Resilience Strategies,” 2023, doi: 10.20944/preprints202308.2119.v1.
- [2] Z. Gong and J. C.-H. Peng, “Surviving the Blackout: A Review of Household Electricity-Dependent Patients under Power Failures,” in *2024 IEEE 34th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/AUPEC62273.2024.10807538.
- [3] W. Sun, X. Zhang, L. Li, and Y. Zhang, “Economic Consequences Analysis of Large-Scale Power Outages Based on the Computable General Equilibrium Mode,” in *2024 IEEE 7th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 2024, pp. 1523–1528. doi: 10.1109/ITNEC60942.2024.10733199.
- [4] K. Klishi, “Power Outage Perils: Assessing the Impact of Load-Shedding on SMEs in Enoch Mgijima Local Municipality, South Africa,” *Proc. Eur. Conf. Innov. Entrep. ECIE*, vol. 19, no. 1, pp. 339–346, 2024, doi: 10.34190/ecie.19.1.2476.
- [5] Z. Łukasik and Z. Olczykowski, “Quality and reliability of electricity supply,” in *2020 ELEKTRO*, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ELEKTRO49696.2020.9130127.
- [6] N. Agustus, J. D. Yussarianto, and G. D. Prenata, “Kajian Teknis Kebutuhan Genset sebagai Sumber Energi Cadangan di UNTAG Surabaya Generator atau Generator Listrik ialah alat yang mentransformasi energi mekanik dijadikan energi listrik memakai prosedur induksi elektromagnetik . Prosedur ini lazimnya a . Ge,” vol. 2, no. 4, 2024.
- [7] V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko, A. G. Rusina, and G. V. Glazyrin, “Application of Automatic Device for Generator Connection to the Network by Method of Accelerated Synchronization,” in *2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*, 2022, pp. 461–466. doi: 10.1109/EDM55285.2022.9855129.
- [8] Hairul, F. Arifin, R. Wilza, Z. Zakaria, Kurniawan, and Y. D. Herlambang, “Automation of Load Electricity Operating System Using PLC (Programmable Logic Controller),” *Int. J. Res. Vocat. Stud.*, vol. 3, no. 1, pp. 76–81, 2023, doi: 10.53893/ijrvocas.v3i1.200.
- [9] M. Prasant, M. Rambabu, M. Vinay, M. E. Rao, and M. S. Kunar, “Enhancing Efficiency and Sustainability : The Role of IoT in Modern Electrical Power Systems,” 2024, doi: 10.55041/IJSREM39200.
- [10] E. Systems, “Leveraging IoT for Smart Grids and Energy Management in Electrical Systems : Applications , Benefits , and Challenges,” vol. 2, pp. 2802–2809, 2024.
- [11] Z. Bayasgalan, B.-E. Byambasuren, and U. Tudevdayva, “Advanced Energy and Industrial IoT,” *Embed. Selforganising Syst.*, vol. 10, no. 6, pp. 2–3, 2023, doi: 10.14464/ess.v10i6.594.
- [12] W. M. O. Narvios, S. M. Unabia, F. F. Batayola, K. J. Remo, E. M. Villarín, and Y. Q. Nguyen, “IoT based automatic transfer switch with monitoring and control system,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2502, no. 1, p. 20003, Oct. 2022, doi: 10.1063/5.0108724.
- [13] M. Xiao, “Remote Monitoring and Management of Smart Electrical Equipment Based on IoT,” *J. Educ. Cult. Stud.*, vol. 8, no. 2, p. p143, 2024, doi: 10.22158/jecs.v8n2p143.

- [14] S. T. Zahra *et al.*, “IoT Based Smart Power and Load Management System,” *Int. J. Emerg. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 69–74, 2023, doi: 10.57041/ijeet.v2i1.950.
- [15] S. Pambudi, V. Prasetya, and S. Rahmat, “Penerapan Sistem ATS (Automatic Transfer Switch) sebagai Pengendalian, Pemantauan, dan Perawatan Berbasis IoT (Internet of Things),” *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 221–230, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1853.
- [16] M. Irfani M., A. Herlina, and S. Safrudin, “Prototype Automatic Transfer Switch (ATS) on the Generator to Anticipate Blackouts,” *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 50, 2021, doi: 10.12928/biste.v3i1.2829.
- [17] I. Saukani, “Inovasi Sistem Kontrol Elektronik Berbasis Arduino untuk Proses Penekanan Adonan Kue Tradisional,” vol. 11, no. 3, 2024.
- [18] S. Reddy, S. M. Shridhar, and M. Vijaya Krishna, “Design and Implementation of MPPT Solar Charge Controller Using Hill Climbing Algorithm,” *3rd IEEE Int. Conf. Distrib. Comput. Electr. Circuits Electron. ICDCECE 2024*, vol. 9, no. 4, pp. 51–60, 2024, doi: 10.1109/ICDCECE60827.2024.10548211.
- [19] A. Kshirsagar, A. C. Mulla, S. G. Argade, A. Band, A. More, and H. S. Anantwar, “Development of Microcontroller-Based BLDC Motor Speed Controller for EV,” in *2024 2nd World Conference on Communication & Computing (WCONF)*, 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/WCONF61366.2024.10692025.
- [20] B. S. Panulisan *et al.*, “Pengendali Robot dengan Mikrokontroler Arduino Berbasis Smartphone Android,” *J. Kridatama Sains Dan Teknol.*, vol. 5, no. 02, pp. 421–432, 2023, doi: 10.53863/kst.v5i02.937.
- [21] M. K. Anusha, “Internet of Things (IoT) Based Home Automation Using ESP-32,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 5, pp. 1672–1676, 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.61912.
- [22] H. V and M. L, “IOT-based solution for detection of air quality using ESP32,” *Artif. Intell.*, vol. 28, no. AI.2023.28(3), pp. 86–93, 2023, doi: 10.15407/jai2023.03.086.
- [23] S. Dey and T. Bera, “Design and Development of a Smart and Multipurpose IoT Embedded System Device Using ESP32 Microcontroller,” in *2023 International Conference on Electrical, Electronics, Communication and Computers (ELEXCOM)*, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/ELEXCOM58812.2023.10370327.
- [24] U. A., Y. Rajasekaran, and B. J. J, “Wristband for Elderly Individuals: Esp-32 and Arduino Nano Enabled Solution for Health Monitoring and Tracking,” in *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 2023, pp. 26–33, doi: 10.1109/AGERS61027.2023.10491010.
- [25] D. S, P. J, R. B. BR, R. Gowda, and M. K. M, “Dc Motor Speed and Direction Control,” *Ijireeice*, vol. 12, no. 7, pp. 133–138, 2024, doi: 10.17148/ijireeice.2024.12720.
- [26] T. Mark, “Solid State Power Interrupter,” 2020.
- [27] K. Shi and D. Xu, “Chapter 15 - Operation and control of uninterruptible power supply system,” vol. 4, F. B. T.-C. of P. E. C. and S. Blaabjerg, Ed., Academic Press, 2024, pp. 457–509, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85622-5.00019-5>.

- [28] Y. Chen, W. Xu, and Y. Chen, “Backup power supply system, control method thereof and storage medium,” 2020.
- [29] M. Ramachandran, V. Saravanan, and C. Raja, “An overview of Uninterruptible Power Supply Systems,” *J. Appl. Chem. Phys.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.46632/jacp/1/1/2.
- [30] A. R. Putera, M. Nizam, and F. Adriyanto, “Design and Build Automatic Transfer Switch (ATS) Based Internet of Things on Microgrid System,” *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 4, no. 2, p. 34, 2022, doi: 10.20961/jeeict.4.2.64700.
- [31] F. Hemilia, A. Wedi, and H. Praherdhiono, “Pengembangan Modul Digital Menggunakan Pendekatan Collaborative Learning Pada Mata Kuliah Pengembangan Bahan Belajar,” *JKTP J. Kaji. Teknol. Pendidik.*, vol. 05, no. 03, pp. 223–231, 2022, doi: 10.17977/um038v5i32022p223.
- [32] S. Javed, I. R. Ørnes, T. H. Dokka, M. Myrup, and S. B. Holøs, “Evaluating the use of displacement ventilation for providing space heating in unoccupied periods using laboratory experiments, field tests and numerical simulations,” *Energies*, vol. 14, no. 4, 2021, doi: 10.3390/en14040952.
- [33] M. Dikhyak Falakhul Akmal, R. Alfita, M. Ulum, H. Haryanto, M. Pramudia, and R. Vivin Nahari, “Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) - Automatic Main Failure (AMF) Untuk Otomatisasi Genset Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Fault Tolerance,” *J. FORTECH*, vol. 2, no. 2, pp. 63–68, 2023, doi: 10.56795/fortech.v2i2.205.
- [34] P. Karuppusamy, “Microcontroller-Based Switching for Cost- Effective Load Management and Industrial Automation,” vol. 6, no. 3, pp. 270–279.
- [35] Z. Yao and Q. Shaoqiang, “UPS (Uninterruptible Power Supply) circuit, power circuit and electronic equipment,” 2019.