

Purwarupa Smart Home menggunakan MQTT Broker untuk Memonitor Kondisi Abnormal Perangkat Listrik

Made Liandana¹, Bagus Made Sabda Nirmala², Ni Putu Nanik Hendayanti³, Made Satria Wibawa⁴,
Dewa Gede Bayu Krisna Putra⁵

Institut Teknologi dan Bisnis (ITB) STIKOM Bali^{1,2,3,4,5}

liandana@stikom-bali.ac.id¹, sabda@stikom-bali.ac.id², nanik@stiom-bali.ac.id³,
satria.wibawa@stikom-bali.ac.id⁴, bayukluger@gmail.com⁴

Abstrak – *Smart home* telah berkembang pesat, salah satu fitur yang banyak dimiliki oleh sistem smart home adalah untuk melakukan pengontrolan dan monitoring perangkat listrik yang ada di rumah. Pengontrolan bertujuan untuk menyalakan atau mematikan perangkat listrik, sedangkan monitoring bertujuan untuk mengetahui kondisi dari perangkat listrik apakah sudah menyala atau belum. Selain untuk memonitoring perangkat listrik, fokus dari penelitian ini adalah untuk memonitoring perangkat listrik yang gagal menyala karena mengalami kerusakan atau perangkat terputus dengan sumber tegangannya, dalam penelitian ini disebut dengan istilah abnormal atau anomali. Purwarupa dari *smart home* yang telah dikembangkan menggunakan protokol MQTT, sensor arus ACS712, NodeMcu, dan aplikasi web. Purwarupa smarthome telah dapat melakukan monitoring dan pengontrolan perangkat listrik dan memberikan informasi jika perangkat gagal menyala. Waktu yang diperlukan untuk menyalakan atau mematikan perangkat listrik berkisar dari 1.4 detik hingga 1.5 detik.

Kata kunci: *smart home; MQTT; NodeMcu; monitoring; perangkat listrik;*

Abstract - The smart home has grown rapidly; one of the features that many smart home systems have is controlling and monitoring electrical devices at home. Control aims to turn on or turn off the electrical device, while monitoring aims to determine the condition of the electrical device whether it is on or not. In addition to controlling electrical devices, this research focuses on monitoring devices that fail to turn on because they are damaged or disconnected from their voltage source. In this study, electrical devices that fail to turn on because they are damaged or disconnected are abnormal or anomalies. This smart home prototype uses the MQTT protocol, ACS712 current sensor, NodeMcu, and a web application. The smart home prototype has monitored and controlled electrical devices and provided information if the device fails to turn on. It takes to turn on or off an electrical device ranges from 1.4 seconds to 1.5 seconds.

Keyword : *smart home, MQTT, NodeMcu, monitoring, electrical devices.;*

1. Latar Belakang

Cara hidup tradisional telah berubah ke gaya hidup yang penuh dengan sentuhan teknologi, hal ini tidak terlepas dari perkembangan Internet of Things(IoT) [1]. Kota pintar (smart city), rumah pintar (smart home), pengendalian polusi, penghematan energi, transportasi pintar (smart transportation), industri pintar (smart industry) adalah contoh transformasi yang tidak lepas dari peranan Internet of Things [1], [2]. Penggunaan internet dan perkembangan Internet of Things (IoT) yang begitu pesat mendorong semakin banyaknya peminat smart home saat ini [2]. Disamping itu, layanan yang disediakan oleh sistem smart home menjadi fitur utama, layanan yang tersedia tentunya tidak terlepas dari data yang dikumpulkan dari sensor dan ketersediaan fungsi untuk pengontrolan [3].

Dalam *smart home* monitoring dilakukan berdasarkan data sensor yang tersedia yang

dilah menjadi informasi yang diperlukan oleh penghuni rumah. Pemantauan atau monitoring dapat dilakukan untuk penggunaan listrik, penggunaan air, mendeteksi gerakan, memantau suhu, kelembapan, hingga memantau peralatan di rumah [4]. Sedangkan fungsi pengontrolan dapat berupa kontrol peralatan rumah, kontrol pencahayaan, kontrol dalam ruangan dan luar ruangan, kontrol suhu, dan kontrol kelembapan [4][5]. *Smart home* tentunya tidak hanya memiliki fungsi sebagai pemantauan dan pengontrolan saja, namun yang terpenting adalah memiliki karakteristik smart dan otomatis [6]. Dengan smart dan otomatis tentunya intervensi dari manusia dapat diminimalkan.

Beberapa tahun terakhir energi listrik menjadi kebutuhan yang paling penting [7], sehingga dalam kehidupan sehari-hari penggunaan listrik secara tepat sangat penting untuk diperhatikan [8]. Secara manual, cara yang

paling mudah dilakukan dalam upaya untuk menggunakan listrik secara tepat adalah dengan mematikan perangkat listrik ketika sedang tidak digunakan. Sistem smart home yang ada saat ini selain menyediakan fitur untuk monitoring perangkat listrik, fitur untuk menyalakan dan mematikan perangkat listrik secara otomatis maupun dikontrol dari jarak jauh telah banyak dikembangkan [2][4][9].

Komponen untuk mematikan dan menyalakan perangkat adalah saklar elektromagnetik seperti relay [2][4][9], terminal dari relay dihubungkan dengan perangkat listrik dan sumber daya dari perangkat listrik tersebut. Agar dapat dikontrol secara otomatis maupun dari jarak jauh, relay dihubungkan ke mikrokontroler yang telah terhubung dengan sub sistem dari smart home. Peran utama dari mikrokontroler adalah untuk mematikan dan menyalakan relay yang telah terhubung ke perangkat listrik, sehingga secara langsung akan memutus arus ke perangkat listrik. Meskipun kontrol untuk menyalakan telah dikirimkan ke mikrokontroler, namun jika perangkat listrik mengalami kerusakan atau putus sistem smart home tidak dapat mendeteksi kondisi seperti ini. Dengan demikian, kondisi seperti ini perlu mendapat perhatian dalam sistem smart home sehingga akan diketahui apakah perangkat listrik sudah benar-benar menyalanya atau hanya kontrol untuk menyalakan saja telah dikirimkan ke perangkat listrik, namun kondisi sebenarnya masih padam karena perangkat listrik mengalami kerusakan.

2. Kajian Pustaka

Smart home yang telah berkembang dengan pesat tentunya bertujuan memberikan kenyamanan bagi pemilik rumah [10]. Fitur utama yang dimiliki oleh sistem *smart home* adalah untuk melakukan monitoring dan pengontrolan[2][4][9]. Ada banyak kondisi yang dapat dikontrol dan dimonitor, seperti suhu, kelembapan, hingga kebocoran gas [4][5]. Secara khusus, *smart home* dapat digunakan untuk melakukan monitoring dan pengontrolan perangkat listrik guna membantu pemilik rumah untuk menggunakan energi listrik secara tepat [8]. Pada studi ini komponen yang diperlukan untuk mengembangkan sistem *smart home* adalah sebagai berikut.

a. NodeMcu

NodeMcu adalah kit mikrokontroler yang sudah dikemas sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk mengembangkan sistem Internet of Things (IoT). Selain sudah menyematkan mikrokontroler sebagai unit

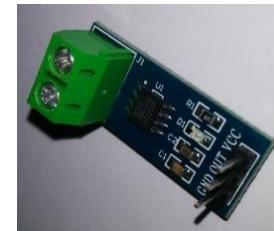
pemrosesannya yang paling penting adalah sudah tersedianya modul WiFi yang tentunya memudahkan untuk mengoneksikan ke jaringan komputer. Kelebihan lain dari modul ini adalah tegangan kerja 3.3 volt dan arus sebesar $10 \mu\text{A} \sim 170 \text{ mA}$, kecepatan prosesornya berkisar antara $80 \sim 160 \text{ MHz}$, dan flash memory dengan kapasitas 16 MB [11]. Gambar 1 adalah bentuk fisik dari NodeMcu.



Gambar 1. Bentuk fisik NodeMcu

b. Sensor ACS712 30A

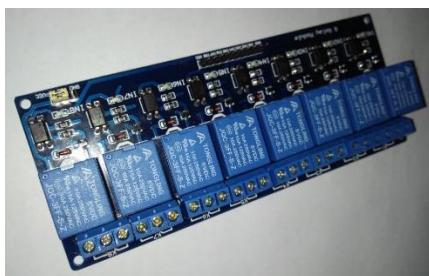
Sensor arus ACS712 bekerja dengan menggunakan prinsip hall effect [12], sensor ini berfungsi untuk membaca arus yang mengalir pada kabel penghubung beban listrik. Hall effect bekerja berdasarkan medan magnet yang disebabkan oleh arus listrik yang mengalir di dekat sensor [13]. Kelebihan dari sensor ini yaitu: akurasi yang baik, daya yang hilang kecil, jalur sinyal analog dengan noise rendah, tegangan offset keluaran stabil, dan histeresis magnetik mendekati nol [12]. Secara fisik sensor ini memiliki bentuk seperti Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Sensor ACS712

c. Modul Relay

Tegangan yang dihasilkan oleh kit mikrokontroler relative kecil 3.3 volt-5 volt DC, sedangkan perangkat listrik yang akan dikontrol memiliki tegangan kerja yang cukup besar yaitu 220 volt AC. Oleh karena itu diperlukan relay sebagai sakelar yang tidak terhubung langsung antara tegangan yang dihasilkan oleh mikrokontroler dengan perangkat listrik yang akan dikontrol. Saat ini sudah banyak tersedia modul relay yang sudah dilengkapi dengan rangkaian proteksi dengan berbagai channel, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Modul Relay 8 Channel

d. MQTT Broker

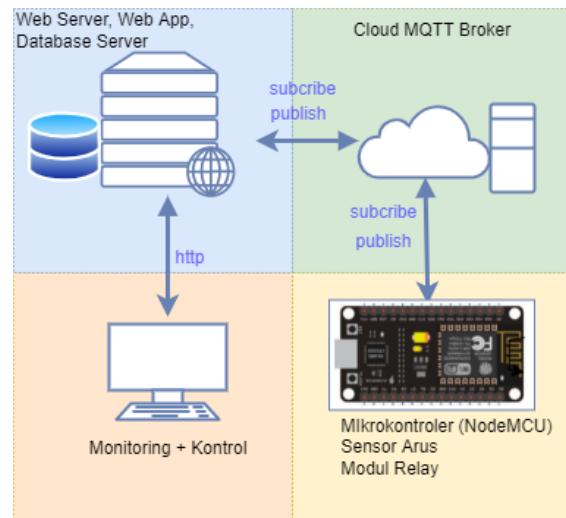
Message Queuing Telemetry Transport atau disingkat dengan MQTT adalah salah satu protokol yang sangat cocok untuk Internet of Things (IoT). MQTT dibuat oleh IBM sekitar tahun 1990an, kelebihan dari protokol ini adalah dapat bekerja pada jaringan yang memiliki keandalan yang rendah [14]. Berbeda dengan protokol http, protokol ini bekerja dengan konsep *publish* dan *subscribe*. Data yang teks yang dapat dikirimkan memiliki ukuran yang cukup kecil dan pembungkus dari data tersebut disebut dengan topic. Agar pengirim maupun penerima dapat saling bertukar data, keduanya harus mengetahui topic yang akan digunakan. Untuk menghubungkan pengirim dan penerima diperlukan penghubung yang disebut dengan MQTT Broker.

3. Desain Sistem

a. Arsitektur Sistem

Gambar 4 menunjukkan desain arsitektur sistem smart home. Terdiri dari empat bagian utama, yaitu: Cloud MQTT Broker, Mikrokontroler dan Sensor, Aplikasi Web dan Database Server, dan bagian Monitoring dan Pengontrolan.

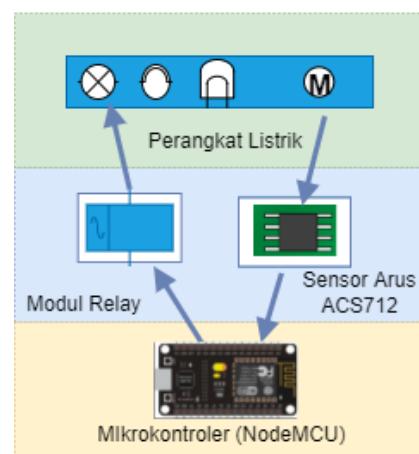
Sistem dikembangkan menggunakan aplikasi web, aplikasi ini akan menyajikan informasi mengenai kondisi perangkat apakah menyala atau padam, apakah terjadi kondisi abnormal, dan sebagai antarmuka untuk mengontrol perangkat listrik. Perintah untuk mematikan atau menyalakan perangkat dikirim melalui aplikasi web ke bagian mikrokontroler melalui Cloud MQTT Broker yang selanjutnya akan diteruskan oleh mikrokontroler ke modul relay. Hasil pembacaan arus oleh sensor arus ACS712 diteruskan oleh mikrokontroler melalui Cloud MQTT Broker ke bagian aplikasi web, selanjutnya data hasil pembacaan tersebut disimpan ke dalam database server.



Gambar 4. Desain Sistem

b. Sub Sistem Deteksi Arus dan Pemutus Arus

Sub sistem dari sistem *smart home* ditunjukkan pada Gambar 5, bagian ini merupakan sub bagian yang sudah dijelaskan pada Gambar 4 yaitu bagian Mikrokontroler dan Sensor. Komponen yang digunakan terdiri dari mikrokontroler yang sudah dikemas dalam bentuk platform NodeMcu. Platform NodeMcu ini dihubungkan ke modul relay dan sensor arus ACS712. Modul relay terhubung ke perangkat listrik yang akan dinyalakan dan dimatikan, sedangkan sensor arus berfungsi untuk mendeteksi apakah ada arus di setiap perangkat listrik. Diasumsikan bahwa ketika sensor arus tidak mendeteksi terjadinya arus di sekitar perangkat, namun perintah untuk menyalakan perangkat (“ON”) sudah diberikan melalui aplikasi web maka kondisi ini dikatakan sebagai kondisi yang tidak normal atau anomali.



Gambar 5. Sub Sistem Deteksi Arus dan Pemutus Arus

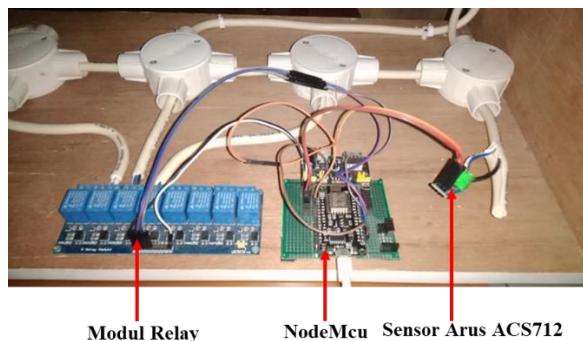
4. Implementasi Sistem dan Hasil

a. Purwarupa Alat Smart Home

Purwarupa dari alat *smart home* ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7 sesuai dengan desain sistem pada Gambar 4. Cloud MQTT Broker bertindak sebagai jembatan penghubung antara mikrokontroler dengan aplikasi web. Mikrokontroler yang dikemas dalam bentuk platform NodeMCu wajib terhubung dengan jaringan internet melalui perangkat Wifi. Saat NodeMCu telah terhubung dengan Cloud MQTT, perangkat ini akan melakukan publish topic “alat/status” untuk mengirimkan pesan “connected” ke Cloud MQTT Broker. Pengiriman pesan “connected” ini bertujuan untuk memberikan informasi ke bagian aplikasi web bahwa alat sudah siap digunakan, pesan “connected” ini akan diterima oleh aplikasi web dengan melakukan subscribe topic “alat/status”.



Gambar 6. Purwarupa Alat

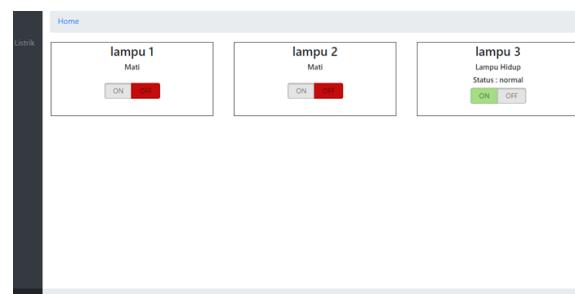


Gambar 7. Penempatan Modul

Gambar 8 adalah aplikasi web yang berfungsi sebagai antaramuka pengguna untuk melakukan pengontrolan perangkat listrik. Melalui antarmuka ini, pengguna mengirimkan perintah untuk mematikan atau menyalaikan perangkat listrik. Saat tombol ON atau OFF

ditekan, aplikasi ini melakukan publish topic “lamp/state” ke Cloud MQTT Broker. Pesan yang terkandung dalam topic tersebut adalah “nyala” untuk menyalaikan perangkat listrik atau “mati” untuk mematikan atau memadamkan perangkat listrik.

Selanjutnya, modul NodeMCu melakukan subscribe topic “lamp/state”. Jika pesan yang dibaca dari hasil subscribe topic tersebut adalah “nyala” NodeMCu akan memberikan logika HIGH ke modul relay sehingga menyebabkan sumber tegangan dari perangkat listrik akan terhubung dengan perangkat listrik. Namun, jika pesan yang diterima oleh NodeMCu adalah “mati”, modul relay akan diberikan logika LOW, sehingga sumber tegangan perangkat listrik akan terputus.



Gambar 8. Antarmuka Pengontrol dan Monitor Perangkat

b. Pengujian Sistem Smart Home

Pengujian dilakukan untuk memeriksa fungsionalitas dari sistem *smart home*. Aspek yang diujikan adalah fungsi untuk melakukan monitoring dan pengontrolan perangkat listrik. Pada pengujian ini, terdapat 3 buah perangkat listrik yang terdiri dari: 2 buah lampu jenis pijar dan sebuah lampu jenis CFL (Compact Fluorescent Lamp). Pengujian ini berfungsi untuk memastikan fungsi pengontrolan perangkat listrik, yaitu untuk mematikan dan menyalaikan dapat berfungsi dengan baik. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Fungsi Monitoring

No.	Pengujian		
	Skenario Pengujian	Hasil Yang diharapkan	Hasil Uji
1	Tombol yang mewakili lampu 1 pada aplikasi web diubah posisinya dari “OFF” ke “ON”	Pole relay untuk lampu 1 berubah posisi ke “NC”, lampu 1 terhubung dengan sumber tegangan sehingga menyala.	Berfungsi baik
2	Tombol yang mewakili lampu 1 pada	Pole relay untuk lampu 1 berubah posisi	Berfungsi baik

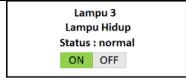
Purwarupa Smart Home menggunakan MQTT Broker untuk Memonitor Kondisi Abnormal Perangkat Listrik

	aplikasi web diubah posisinya dari "ON" ke "OFF"	ke "NO", lampu 1 terputus dengan sumber tegangan sehingga padam.	
3	Tombol yang mewakili lampu 2 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON"	Pole relay untuk lampu 2 berubah posisi ke "NC", lampu 2 terhubung dengan sumber tegangan sehingga menyala.	Berfungsi baik
4	Tombol yang mewakili lampu 3 pada aplikasi web diubah posisinya dari "ON" ke "OFF"	Pole relay untuk lampu 2 berubah posisi ke "NO", lampu 3 terputus dengan sumber tegangan sehingga padam.	Berfungsi baik
5	Tombol yang mewakili lampu 3 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON"	Pole relay untuk lampu 2 berubah posisi ke "NC", lampu 3 terhubung dengan sumber tegangan sehingga menyala.	Berfungsi baik
6	Tombol yang mewakili lampu 2 pada aplikasi web diubah posisinya dari "ON" ke "OFF"	Pole relay untuk lampu 3 berubah posisi ke "NO", lampu 3 terputus dengan sumber tegangan sehingga padam.	Berfungsi baik

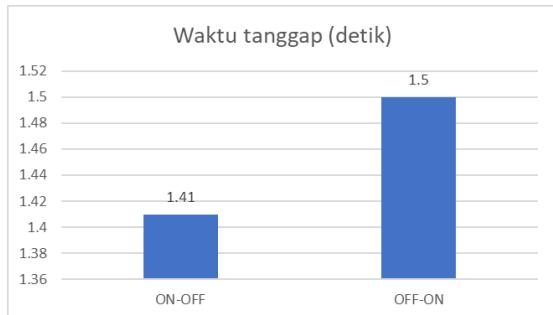
Saat tombol ON pada aplikasi web ditekan, kondisi yang diinginkan adalah perangkat listrik menyala dan informasi bahwa perangkat listrik sudah menyala juga tersaji pada aplikasi web. Begitu juga ketika tombol dalam posisi ON namun perangkat listrik tidak menyala karena perangkat listrik tersebut rusak atau terputus, informasi yang diharapkan ditampilkan dalam aplikasi web adalah bahwa perangkat listrik mengalami kondisi yang tidak normal atau anomali. Pada pengujian tersebut, kerusakan diasumsikan terjadi karena perangkat listrik terputus dengan sumber tegangan. Tabel 2 adalah pengujian fungsionalitas yang telah dilakukan.

Tabel 2. Pengujian Deteksi Abnormal

No.	Pengujian		
	Skenario Pengujian	Hasil Yang diharapkan	Hasil Uji
1	Tombol yang mewakili lampu 1 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 1 dilepaskan dari fittingnya.	Pole relay untuk lampu 1 berubah posisi ke "NC", muncul teks "anomali" pada aplikasi web	Berfungsi baik
2	Tombol yang mewakili lampu 1 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 1 dilepaskan dari dipasang kembali pada fittingnya.	Pole relay untuk lampu 1 berubah posisi ke "NC", muncul teks "normal" pada aplikasi web.	Berfungsi baik
3	Tombol yang mewakili lampu 2 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 2 dilepaskan dari fittingnya.	Pole relay untuk lampu 2 berubah posisi ke "NC", muncul teks "anomali" pada aplikasi web	Berfungsi baik
4	Tombol yang mewakili lampu 2 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 2 dilepaskan dari dipasang kembali pada fittingnya.	Pole relay untuk lampu 2 berubah posisi ke "NC", muncul teks "normal" pada aplikasi web.	Berfungsi baik
5	Tombol yang mewakili lampu 3 pada aplikasi web diubah posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 3 dilepaskan dari fittingnya.	Pole relay untuk lampu 3 berubah posisi ke "NC", muncul teks "anomali" pada aplikasi web.	Berfungsi baik
6	Tombol yang mewakili lampu 3 pada aplikasi web diubah posisinya dari "ON" ke "OFF"	Pole relay untuk lampu 3 berubah posisi ke "NC", muncul teks "normal" pada aplikasi web.	Berfungsi baik

posisinya dari "OFF" ke "ON" dan lampu 3 dilepaskan dari dipasang kembali pada fitting-nya.		
---	---	--

Pengujian waktu tanggap dilakukan dengan menghitung waktu transisi dari posisi ON ke OFF dan sebaliknya. Waktu tanggap dihitung dimulai dari pengguna menekan tombol ON-OFF atau OFF-ON pada aplikasi web sampai dengan perangkat listrik memberikan respons meyala atau padam. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk masing-masing transisi. Dari hasil pengujian menunjukkan waktu tanggap untuk dua transisi tersebut memiliki nilai kurang dari dua detik seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Waktu Tanggap

Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas pada tabel 1, fungsi untuk mengontrol perangkat listrik terutama untuk mematikan dan menyalakan sudah dapat berfungsi dengan baik. Sedangkan fungsi untuk memonitor keadaan perangkat yang tidak normal atau anomali juga sudah dapat berfungsi dengan baik, seperti ditunjukkan hasil pengujian pada Tabel 2. Seperti ditunjukkan pada Tabel 3, waktu yang diperlukan untuk mengirimkan perintah menyalakan atau mematikan perangkat listrik dapat dikatakan masih wajar yaitu kurang dari 2 detik. Hal ini disebabkan karena pengiriman perintah harus melalui jaringan internet.

5. Kesimpulan

Menilik hasil pembahasan terkait dengan sistem *smart home* yang sudah dikembangkan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Purwarupa dari sistem *smart home* dikembangkan dengan menggunakan protokol MQTT, sensor arus ACS712,

platform NodeMcu, dan aplikasi web telah dapat menjalankan fungsi pengontrolan dan monitoring perangkat listrik.

2. Sistem telah dapat mendeteksi terjadinya kondisi tidak normal, yaitu ketika kondisi perangkat listrik gagal menyala karena perangkat rusak atau putus. Kondisi tersebut disajikan dalam aplikasi web.
3. Waktu yang diperlukan untuk menyalakan atau mematikan perangkat listrik berkisar antara 1.4 detik hingga 1.5 detik. Waktu tersebut masih dapat dikatakan masih wajar karena pengiriman perintah harus melalui jaringan internet.

6. Pustaka

- [1] S. Kumar, P. Tiwari, and M. Zymbler, "Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review," *J. Big Data*, vol. 6, no. 1, pp. 1–21, Dec. 2019.
- [2] F. García-Vázquez, H. A. Guerrero-Osuna, G. Ornelas-Vargas, R. Carrasco-Navarro, L. F. Luque-Vega, and E. Lopez-Neri, "Design and Implementation of the E-Switch for a Smart Home," *Sensors 2021*, Vol. 21, Page 3811, vol. 21, no. 11, p. 3811, May 2021.
- [3] N. A. Eltresy *et al.*, "Smart home IoT system by using RF energy harvesting," *J. Sensors*, vol. 2020, 2020.
- [4] O. Taiwo and A. E. Ezugwu, "Internet of Things-Based Intelligent Smart Home Control System," *Secur. Commun. Networks*, vol. 2021, 2021.
- [5] C. Yang, "Design of Smart Home Control System Based on Wireless Voice Sensor," 2021.
- [6] M. M. A. Zahra, M. J. Mohsin, and L. A. Abdul-Rahaim, "Artificial intelligent smart home automation with secured camera management-based GSM, cloud computing, and arduino," *Period. Eng. Nat. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 2160–2168, Nov. 2020.
- [7] Tumiran *et al.*, "Potential of Biomass as RE Source for Sustainable Electricity Supply in Eastern Indonesia," 2021 3rd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2021, pp. 022–027, 2021.
- [8] M. K. Hasan, M. M. Ahmed, B. Pandey, H. Gohel, S. Islam, and I. F. Khalid, "Internet of Things-Based Smart

- Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data," 2021.
- [9] R. Majeed, N. A. Abdullah, I. Ashraf, Y. Bin Zikria, M. F. Mushtaq, and M. Umer, "An Intelligent, Secure, and Smart Home Automation System," *Sci. Program.*, vol. 2020, 2020.
- [10] T. A. Khoa *et al.*, "Designing Efficient Smart Home Management with IoT Smart Lighting: A Case Study," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, 2020.
- [11] A. I. Siam *et al.*, "Secure Health Monitoring Communication Systems Based on IoT and Cloud Computing for Medical Emergency Applications," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2021, 2021.
- [12] A. Patel *et al.*, "A Practical Approach for Predicting Power in a Small-Scale Off-Grid Photovoltaic System using Machine Learning Algorithms," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2022, pp. 1–21, Feb. 2022.
- [13] J. C. Attachie, G. Owusu, and S. O. Adu, "Enhancement of Wireless Lighting Control System," *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2021, 2021.
- [14] Z. N. Aghdam, A. M. Rahmani, and M. Hosseinzadeh, "The Role of the Internet of Things in Healthcare: Future Trends and Challenges," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 199, p. 105903, Feb. 2021.