

Perancangan Aplikasi Web untuk Pemantauan dan Pengendalian Sistem Panel Surya Berbasis Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)

Msy Yustenti Nabila P dan Muhammad Arrofiq

Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Yacarana, Sekip Unit IV, Yogyakarta. 55281
e-mail: yustenti.nabila@gmail.com

Abstrak—Cahaya atau sinar matahari dapat dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan teknologi panel surya. Untuk menentukan apakah panel surya sudah bekerja dengan baik atau belum, diperlukan pengukuran pada parameternya seperti arus dan tegangan. Penerapan *Internet of Things* (IoT) merupakan suatu metode yang tepat untuk melakukan monitoring pengukuran efisiensi pada kinerja panel surya secara *real-time* dengan menggabungkan beberapa komponen komputasi, protokol, serta sensor agar seluruh perangkat mampu berinteraksi lebih cepat dan membantu segala aktivitas menjadi lebih efisien. Salah satu teknologi IoT yang dapat bekerja dengan efisien adalah *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN). Dimana LoRa berkomunikasi menggunakan frekuensi radio dengan jarak cakupan luas, serta memiliki tingkat konsumsi daya yang rendah. Pada penelitian ini melakukan pengimplementasian teknologi LoRaWAN sebagai protokol komunikasi antara tiga rangkaian *node* dan satu *gateway* dalam membangun sebuah sistem panel surya yang kemudian divisualisasikan pada sebuah *web* yang dapat melakukan pemantauan arus dan tegangan dalam bentuk grafik dan angka. Menampilkan notifikasi ketika terdapat perubahan kondisi besar tegangan dari panel surya, mampu melakukan pengendalian berupa menyalakan atau mematikan lampu dan mematikan *node* secara keseluruhan, serta menampilkan riwayat pembacaan arus serta tegangan. Fungsionalitas sistem nantinya akan diuji menggunakan *black-box testing*. Kuisioner disebarakan kepada 35 responden untuk mengukur pendapat responden tentang kualitas dari sistem yang dirancang telah berjalan baik.

Kata kunci: *internet of things (iot), panel surya, lorawan, web*

Abstract—Light or sunlight can be converted into electricity using solar panel technology. The measurement process is needed on current and voltage parameters to determine whether a solar panel is working correctly or not. The application of the Internet of Things (IoT) is a suitable method for monitoring efficiency measurements on solar panel performance in real-time by combining several computational components, protocols, and sensors to interact more quickly and help all activities become more efficient. One IoT technology that can work efficiently is the Long Range Wide Area Network (LoRaWAN). LoRa communicates using radio frequencies with a wide coverage range and has a low power consumption level. In this study, the implementation of LoRaWAN technology as a communication protocol between three series of nodes and one gateway in building a solar panel system is then visualized on a web that can monitor currents and voltages in the form of graphs and numbers. Displays notifications when there is a change in the condition of the large voltage from the solar panel can control the state of turning on or off the lights and turning off the whole node, and displaying a history of current and voltage readings. The functionality of the system will later be tested using black-box testing. There was also a distribution of questionnaires to 35 respondents to measure the level of agreement that the system designed was running well.

Keywords: *internet of things (iot), solar panel, lorawan, web*

I. PENDAHULUAN

Kinerja sebuah panel surya dapat ditentukan dengan cara pengukuran pada parameternya seperti arus dan tegangan. Metode pengukuran daya hasil pada modul panel surya dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan multimeter oleh operator atau petugas lapangan, namun pengambilan data seperti ini tidak dapat dilakukan secara terus menerus atau *realtime*. Penerapan *Internet of*

Things (IoT) merupakan suatu metode yang tepat untuk melakukan pemantauan pengukuran efisiensi pada kinerja panel surya secara *realtime* dengan menggabungkan beberapa komponen komputasi, protokol, dan sensor yang akan menjadi suatu sistem tertanam (*embedded system*) agar seluruh perangkat mampu berinteraksi lebih cepat dan membantu segala aktivitas menjadi lebih efisien [1].

Implementasi perangkat IoT guna melakukan pemantauan kinerja panel surya sudah pernah dilakukan

sebelumnya oleh Rizal Fachri, dkk menerapkan penggunaan mikrokontroler Arduino Mega 328P, sensor arus, sensor tegangan, dan dihubungkan ke komputer melalui *port serial*, kemudian diintegrasikan ke *spreadsheet* Excel menggunakan program aplikasi PLX-DAQ secara *real-time*. [2]

Riki Ruli A. Siregar, dkk (2017) juga telah berhasil membangun sistem pemantauan panel surya berbasis Arduino Uno dengan modul ESP8266. Pada sistem tersebut dapat dipantau besar arus dan tegangan dari panel surya menuju baterai. Bentuk *monitoring* tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik pada sebuah web. Sehingga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk membaca kondisi panel surya karena disajikan dalam bentuk grafik yang lebih interaktif. [3]

Pada pengimplementasiannya, letak panel surya seringkali berada di tempat yang tinggi seperti pada atap atau di tempat terpencil sehingga terdapat beberapa kekangan untuk membangun sebuah sistem *monitoring* panel surya secara *real-time*. Untuk mendukung itu semua diperlukan teknologi yang mampu berkomunikasi jarak jauh, konsumsi daya rendah, dan juga biaya yang terjangkau. Teknologi radio jarak pendek seperti Bluetooth atau Zigbee tidak sesuai untuk kebutuhan transmisi data jarak jauh. Penggunaan teknologi nirkabel dapat memberikan cakupan yang luas, tetapi konsumsi daya tinggi. *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) hadir sebagai solusi yang tepat karena konsumsi dayanya yang rendah, mampu melakukan transmisi data jarak jauh, dan biaya yang terjangkau [4].

Salah satu teknologi LPWAN adalah *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN). Komunikasi LoRaWAN dibangun menggunakan topologi *star to star*. Pada arsitektur LoRaWAN, *device* tidak terisolasi dengan *gateway* tertentu. Data dari *device* akan diterima oleh beberapa *gateway* dalam jangkauan *network* LoRa[5]. Tiap *gateway* meneruskan paket yang diterima dari *device* ke *network server*. Studi terkait dengan teknologi LoRaWAN telah dilakukan oleh Dina, dkk (2019) dimana mengimplementasikan LoRa sebagai objek utama penelitian. Dalam studi tersebut membahas bagaimana membangun jaringan LoRa sangat berpotensi untuk berbagai aplikasi *IoT*. Membahas karakteristik LoRaWAN seperti *Quality of Services*, fleksibilitas, konsumsi daya, *network coverage*, *cost policy*, *deployment*, *scalability*, *throughput*, dan *security*. [6].

Untuk menunjang sebuah aplikasi *IoT* berbasis LoRaWAN yang *real-time* diperlukan satu penerapan protokol pengiriman data yang mendukung komunikasi *real-time*, yakni *Message Queuing Telemetry Transport Protocol* (MQTT), sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ennio Gambi, dkk (2018) mengintegrasikan LoRa dengan protokol MQTT pada sistem *Smart Home*. Terdapat sensor dan aktuator yang terhubung dengan LoRa *end node*, pengujian performa sistem dengan menghubungkan LoRa *end node* dengan lampu yang dapat dinyalakan atau dimatikan secara *remote* menggunakan *smartphone* melalui MQTT Protokol yang diintegrasikan dengan LoRa

gateway [7].

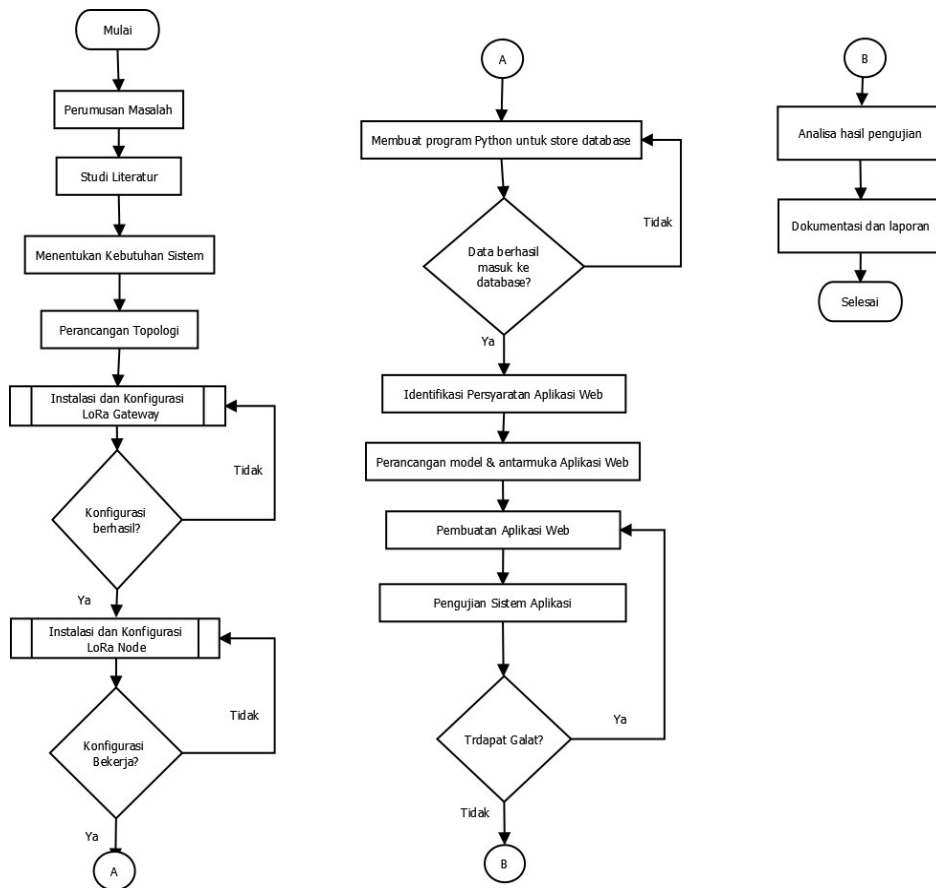
Penelitian sebelumnya berhasil mengembangkan sistem aplikasi berbasis Android, dengan menggabungkan LoRaWAN dan protokol MQTT. Penggabungan LoRaWAN dan MQTT juga dapat mengembangkan sebuah sistem aplikasi yang lebih fleksibel yakni aplikasi berbasis web. Pada pengembangannya, untuk membangun sebuah aplikasi *monitoring* yang lebih *realtime*, MQTT juga dapat diintegrasikan dengan protokol *websocket*. Penggabungan kedua protokol ini dilakukan oleh *broker Mosquitto* dimana web *browser* akan berperan sebagai klien. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Ahsy, dkk (2019) mengimplementasikan protokol *websocket* dan MQTT sebagai protokol komunikasi data pada *monitoring* dan sistem kontrol *smart home* melalui aplikasi web. Untuk menentukan apakah fungsional pada sistem telah sesuai yang diharapkan dilakukan pengujian dengan menggunakan *testcase* yang berisi skenario pengujian pada sistem. [8].

Salah satu metode pengujian suatu sistem adalah *black-box testing*. *Black-box testing* adalah sebuah teknik untuk melakukan validasi pada kebutuhan fungsional suatu sistem. Dalam *black-box testing*, pengujian didasarkan pada informasi dari spesifikasi. Pengujian tidak mempertimbangkan *source-code* internal yang diimplementasikan pada sistem. *Black-box testing* terdiri dari dua tipe, yakni *functional testing* dan *User Acceptance Testing* (UAT). *Functional testing* bertujuan untuk menguji apakah fungsi pada setiap sistem telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Sedangkan *User Acceptance Testing* bertujuan untuk menghasilkan dokumen yang dijadikan bukti bahwa sistem yang dikembangkan dapat diterima atau tidaknya oleh pengguna [9].

Pada penelitian ini akan mengimplementasikan teknologi LoRaWAN sebagai protokol komunikasi antara tiga rangkaian *node* dan satu *gateway* dalam membangun sebuah sistem panel surya yang kemudian akan divisualisasikan pada sebuah aplikasi web. Aplikasi web dapat melakukan pemantauan besar arus dan tegangan pada sistem panel surya dalam bentuk grafik dan angka. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan di tiga titik yakni dari panel surya menuju *charge controller*, dari baterai menuju *charge controller*, dan dari *charge controller* menuju beban. Terdapat fungsi pengendalian dari web menuju *node* berupa menyalakan atau mematikan lampu dan mematikan rangkaian *node*. Fitur lain yang terdapat di dalam aplikasi web adalah notifikasi serta menampilkan dan mengunduh riwayat pembacaan arus serta tegangan. Untuk mendukung aplikasi web yang *real-time* menerapkan protokol MQTT dan *websocket*. Pengujian sistem akan menggunakan metode *blackbox Testing*.

II. METODE/DESAIN

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang pertama yakni studi literatur dari beberapa jurnal dan juga buku, serta analisis kebutuhan sistem. Selanjutnya, melakukan perancangan perangkat dan topologi, kemudian



Gambar 1. Diagram alir

melakukan persiapan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan dibutuhkan.

Tahap selanjutnya adalah melakukan konfigurasi pada LoRa *gateway* dan LoRa *node*. Dilanjutkan dengan melakukan pengujian apakah rangkaian dapat bekerja dengan akurat. Langkah berikutnya adalah pembuatan program Python untuk melakukan proses *store* data dan memasukkan data ke *database* menggunakan protokol MQTT serta publish data menuju *web* menggunakan protokol *websocket*.

Setelah data berhasil masuk ke MySQL maka langkah selanjutnya adalah identifikasi persyaratan aplikasi bertujuan untuk mendapatkan informasi kebutuhan yang diperlukan dalam pengembangan aplikasi. Identifikasi persyaratan aplikasi merupakan tahap awal yang dilakukan sebagai dasar dalam pengembangan sistem aplikasi.

Selanjutnya melakukan perancangan aplikasi web berdasarkan pada hasil identifikasi persyaratan aplikasi. Perancangan aplikasi web terdiri dari perancangan model dan perancangan antarmuka aplikasi web. Kemudian melakukan pembuatan aplikasi, proses pembuatan aplikasi berdasarkan dari hasil persyaratan aplikasi dan rancangan yang telah dibuat. Tahap pembuatan aplikasi ini dilakukan proses pengembangan fitur yang telah ditentukan dari hasil identifikasi menjadi sebuah kode program.

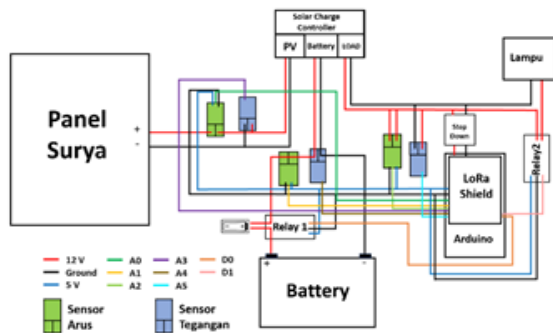
Langkah selanjutnya adalah pengujian sistem aplikasi web menggunakan metode *blackbox testing*, pertama melakukan *functional testing* untuk memastikan bahwa

fungsionalitas sistem aplikasi berjalan sesuai yang diharapkan. Selanjutnya melakukan penyebaran kuesioner kepada responden bertujuan untuk memastikan dan mendapatkan persetujuan bahwa sistem aplikasi sudah berjalan baik sesuai yang diharapkan.

Langkah terakhir pada penelitian ini merupakan dokumentasi. Peneliti menunjukkan diagram alir metode penelitian pada Gambar 1. Peneliti menunjukkan diagram alir metode penelitian pada Gambar 1.

A. Alat dan Bahan

Dalam melaksanakan penelitian ini, terdapat beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan guna menunjang penelitian yang dilakukan. Adapun beberapa perangkat keras tersebut diantaranya: (1). Tiga Arduino Mega, (2). Tiga Dragino LoRa *shield*, (3). Satu Dragino LoRa GPS HAT, (4). Satu Raspberry Pi 3 model B+, (5). Dua panel surya 50WP *monocrystalline*, (6). Satu panel surya 50 WP *polycrystalline*, (7). Tiga *charge controller*, (8). Tiga akumulator, (9). Tiga *stepdown*, (10). Sembilan Sensor arus ACS712, (11). Sembilan sensor voltase, (12). Empat relay, (13). Tiga lampu, (14). Tiga rangka panel surya, (15). Tiga kotak panel, dan (16). Sebuah laptop untuk konfigurasi. Untuk perangkat lunak yang dibutuhkan diantaranya (1). Arduino IDE, (2). Chirpstack *gateway* bridge, (3). Chirpstack *network server*, (4). Chirpstack *application server*, (5). *Dual channel packet forwarder*,



Gambar 2. Perancangan perangkat

(6). Mosquitto (MQTT broker), (7). Redis, (8). Postgresql, (9). MySQL, (10). Python, dan (11). Laravel.

B. Perancangan Perangkat

Pada penelitian ini rangkaian alat terbagi menjadi dua yakni *node* dan *gateway*, untuk *node* terdiri dari panel surya, baterai (akumulator), *charge controller*, Arduino Mega dengan LoRa Shield, dan sensor arus serta tegangan. Panel surya, akumulator dan mikrokontroler terhubung dengan *charge controller* yang mana berfungsi untuk mengatur aliran arus yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai menuju beban. Sensor arus dan tegangan masing-masing dipasang diantara *charge controller* dengan tiap perangkat yakni panel surya, akumulator dan mikrokontroler. Terdapat pula *relay* yang berada di sisi positif akumulator dan juga pada bagian beban yakni lampu. Saat menuju mikrokontroler, tegangan diturunkan menggunakan *stepdown* menjadi 7v. Pada pengimplementasiannya rangkaian seperti Gambar 2.

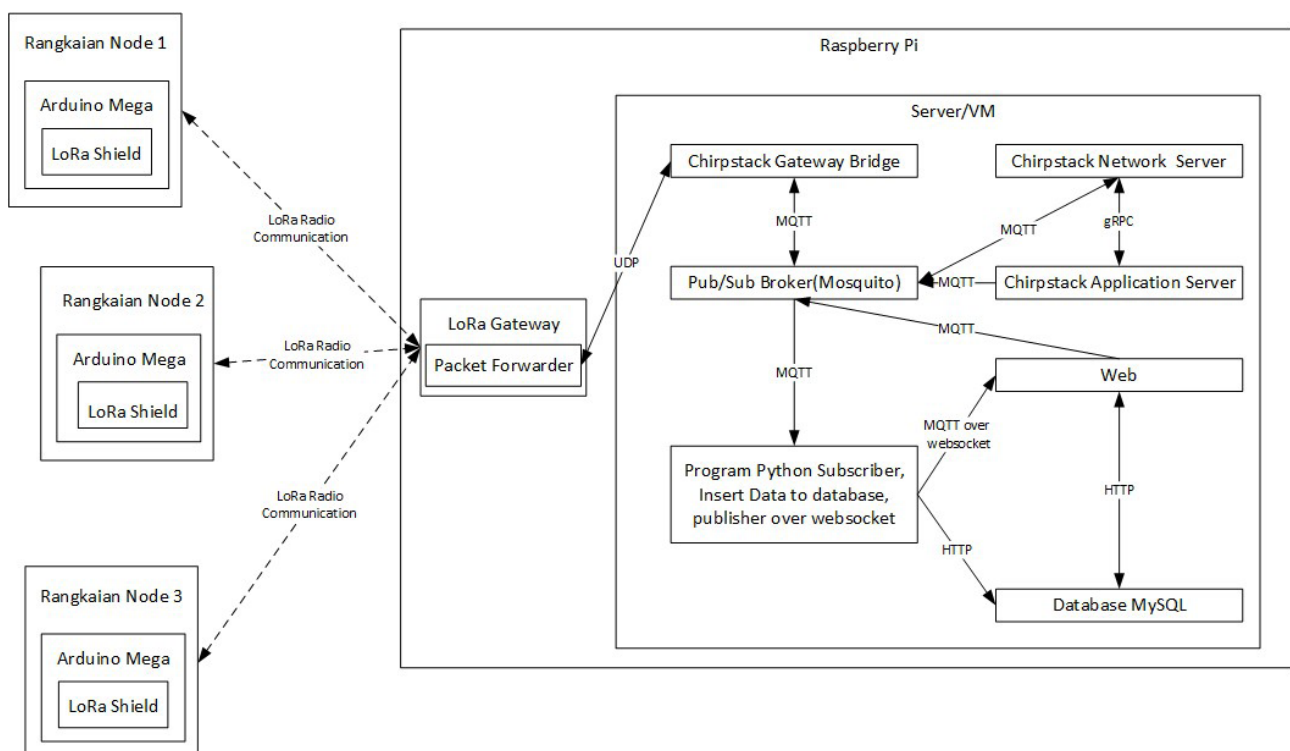
C. Perancangan Arsitektur Sistem

Hasil dari pembacaan sensor arus dan tegangan yang dilakukan oleh *node* dikirimkan ke satu *gateway* melalui jaringan nirkabel LoRa. Data yang masuk ke *gateway* akan diteruskan oleh *packet forwarder* menuju Chirpstack Gateway Bridge yang akan mengubah data dari *packet forwarder* menjadi format data JSON dan mengirimkannya ke Chirpstack Network Server melalui MQTT. Chirpstack Network server melakukan deduplikasi dan juga menangani *frame uplink*. Pada Chirpstack App Server terdapat *web-interface* dimana user, organisasi, *application*, dan *device* dapat diatur. Chirpstack App Server bertanggung jawab atas *join-requests*, enkripsi *payload*, dan untuk integrasi eksternal. Chirpstack App Server juga dapat mengirimkan pesan *downlink* menuju *broker* yang nantinya akan diteruskan ke *packet forwarder* lalu dikirimkan ke *node*. Terdapat pula program Python yang bertugas *subscribe* data lalu memecah data dan mengirimkan data ke *database* dan juga mempublikasi data menuju web dengan protokol MQTT over *websocket*. Web dapat melakukan perintah *downlink* dengan cara mempublikasi pesan langsung menuju *broker*, seperti yang divisualisasikan pada Gambar 3.

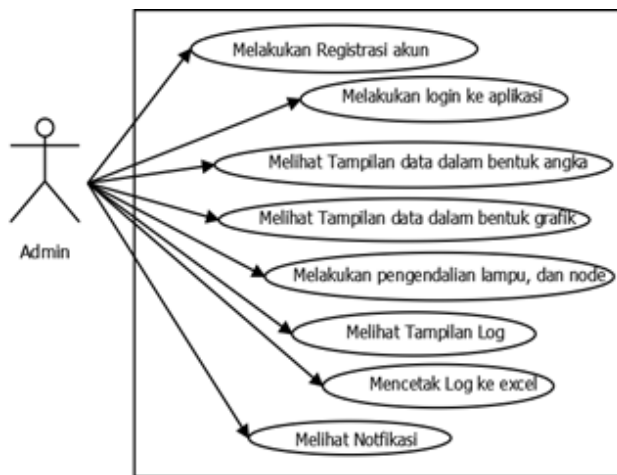
D. Use Case Diagram

Use case digunakan untuk memperjelas tugas atau fungsi dari pengguna terhadap perancangan sistem yang dibuat. *Use case diagram* divisualisasikan pada Gambar 4.

Dari *use case* di atas dapat dijelaskan bahwa terdapat satu peran yakni admin yang mana dapat melakukan *login* ke aplikasi, melakukan *register* akun baru, melihat



Gambar 3. Perancangan arsitektur sistem



Gambar 4. Use case diagram

tampilan pada *dashboard*, melakukan pengendalian berupa menyalakan dan mematikan lampu, melakukan pengendalian berupa menonaktifkan perangkat *node* serta melihat tampilan *log* pembacaan arus serta tegangan.

E. Activity Diagram

Activity diagram digunakan untuk menggambarkan aliran kerja, dan aktivitas yang dapat dilakukan oleh

lingkup sistem. Aktivitas yang dirancang pada sistem aplikasi ini terdapat empat komponen utama sistem yakni pengguna, sistem web, *gateway* dan *node*. *Activity diagram* diilustrasikan pada Gambar 5.

F. Pengujian Sistem Aplikasi

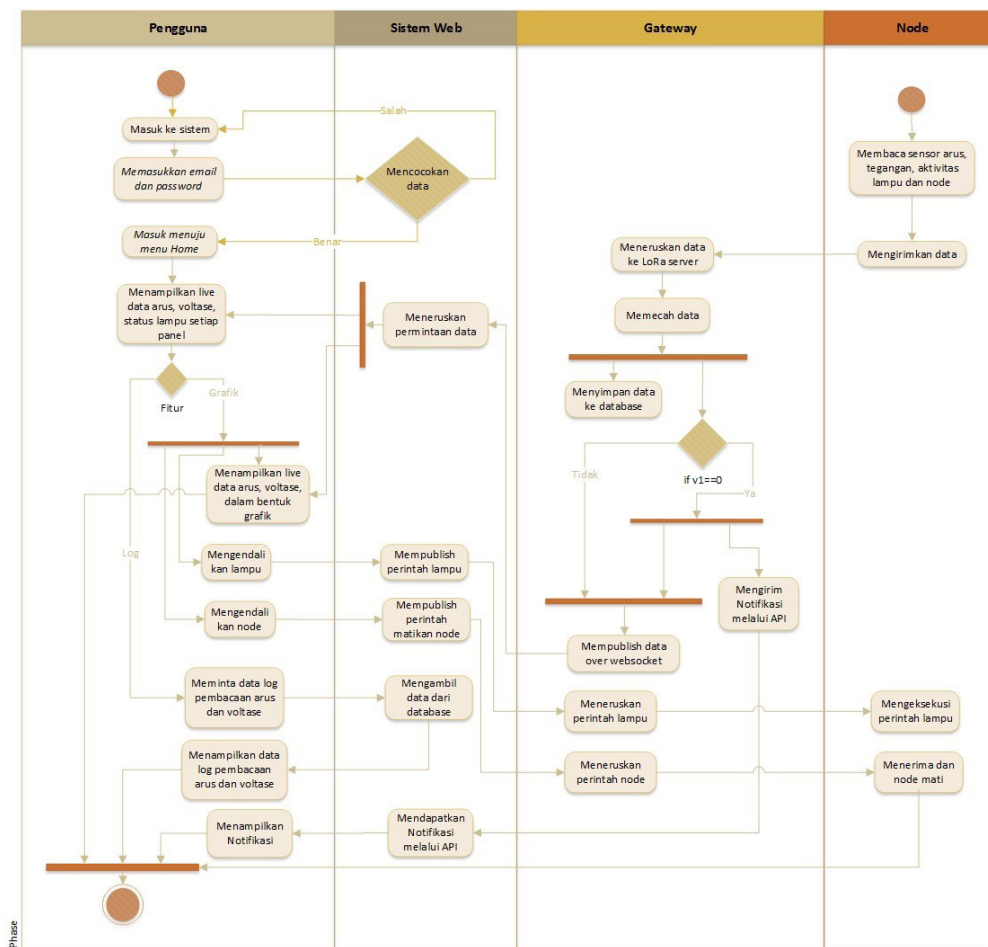
Metode untuk menguji sistem pemantauan kinerja panel surya menggunakan metode *black-box testing* dan pengisian kuesioner.

1. Black-Box Testing

Pengujian fungsional sistem pada penelitian ini menggunakan metode *black-box testing* untuk menentukan apakah sistem berjalan dengan sesuai yang dirancang atau tidak, baik dari perangkat lunak maupun kemampuan perangkat keras. Pengujian tidak memperhatikan kode program dan logika secara detail. Pengujian *black-box testing* sesuai dengan kebutuhan fungsionalitas berupa pengujian pada fitur web sesuai dengan *use case* diagram yang sudah dibuat sebelumnya, terdapat rancangan pengujian untuk menjadi acuan saat pengujian berupa tabel skenario. Tabel skenario berisi komponen pengujian dan juga skenario yang diuji, terdapat pada Tabel 1.

2. Kuesioner Sistem Aplikasi

Pada penelitian ini dilakukan kuesioner terhadap sistem



Gambar 5. Activity diagram

Tabel 1. Skenario pengujian

No	Komponen pengujian	Skenario yang diuji
1	Lora shield	Lora Shield node 1, node 2, dan node 3 dapat terkoneksi dengan gateway
2	Sensor ACS712 (panel surya)	Sensor ACS 712 dari panel surya pada node 1, node 2, dan node 3.
3	Sensor ACS712 (akumulator)	Sensor ACS 712 dari akumulator pada node 1, node 2 dan node 3.
4	Sensor ACS712(appliance)	Sensor ACS 712 menuju appliance pada node 1, node 2, dan node 3.
5	Sensor tegangan (panel surya)	Sensor tegangan dari panel surya pada node 1, node 2, dan node 3.
6	Sensor tegangan (akumulator)	Sensor tegangan dari akumulator pada node 1, node 2, dan node 3.
7	Sensor tegangan (appliance)	Sensor tegangan menuju appliance pada node 1, node 2, dan node 3.
8	Relay pada akumulator	Relay pada sisi positif akumulator di node 1, node 2, dan node 3.
9	Relay pada lampu	Relay pada lampu di node 1, node 2, dan 3
10	Login Page	Melakukan login masuk ke website
11	Menu Home	Menampilkan data angka pembacaan sensor ACS712 dan tegangan dari node 1, node 2, dan node 3.
12	Menu Home	Menampilkan status lampu dari node 1, node 2, dan node 3.
13	Sub-menu Grafik	Menampilkan data grafik pembacaan sensor ACS712 dan tegangan dari node 1, node 2, dan node 3.
14	Sub-menu Log	Menampilkan dan mengunduh riwayat aktivitas pemantauan arus dan tegangan pada node 1, node 2, dan node 3.
15	Button Pengendalian Lampu	Mengirim perintah nyala dan mati lampu pada node 1, node 2, dan node 3.
16	Button Pengendalian Node	Mengirim perintah nyala dan mati lampu pada node 1, node 2, dan node 3.
17	Button Cetak Log	Mencetak Log dalam format .xlsx pembacaan arus dan tegangan dari node 1, node 2 dan node 3.
18	Notifikasi	Pemberitahuan ketika tegangan dari panel sebesar 0 pada node 1, node 2, dan node 3.

aplikasi yang bertujuan untuk menguji kualitas sistem aplikasi yang telah dibangun. Kuesioner diberikan kepada calon pengguna sistem pemantauan kinerja panel surya dalam bentuk skala *likert* yang mana didalam kuesioner terdapat pertanyaan berdasarkan fungsi-fungsi yang ada pada sistem dan responden akan menjawab dengan menunjukkan tingkat persetujuannya. Dalam rentang 1 sampai 5 dengan format sebagai berikut

SS = Sangat setuju
S = Setuju
C = Cukup

TS = Tidak setuju

STS = Sangat tidak setuju

Adapun pertanyaan yang diberikan diuraikan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Setelah memperoleh jawaban dari kuesioner, melakukan perhitungan dengan skala *likert* dimana setiap jawaban memiliki skor sesuai pada Tabel 3 [10]. Kemudian melakukan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan (1) sebagai berikut.

$$\text{Intepretasi skor} = \frac{\text{Total Skor}}{\text{Skor Maksimum}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2. Pertanyaan kuesioner

No	Pertanyaan
1	Apakah anda setuju bahwa diperlukan suatu sistem yang mempermudah untuk melakukan pemantauan dan pengendalian pada sistem pembangkit listrik tenaga surya?
2	Apakah sistem ini dapat memudahkan untuk mengetahui kinerja panel surya dan juga akumulator?
3	Apakah anda setuju dengan adanya sistem aplikasi ini memudahkan dalam mengetahui besar arus dan tegangan yang dihasilkan?
4	Apakah sistem ini dapat memudahkan untuk mengetahui riwayat aktivitas arus dan tegangan pada rangkaian panel?
5	Apakah sistem ini dapat memudahkan untuk mendeteksi adanya berupa perubahan kondisi pembacaan tegangan dari panel surya?
6	Apakah sistem ini mampu memudahkan untuk mematikan node dan menghidupkan/mematikan lampu?
7	Apakah semua fitur pada sistem ini dapat berjalan sesuai dengan fungsinya?
8	Apakah sistem ini mudah untuk dimengerti dan digunakan?

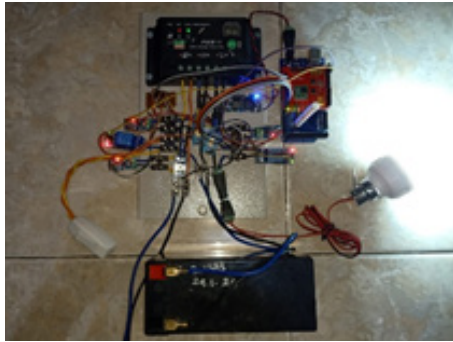
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pengujian Perangkat Keras

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem panel surya yang terdiri dari tiga buah rangkaian *node* dan satu buah *gateway*, dimana rangkaian *node* terdiri dari Arduino Mega dikombinasikan dengan LoRa *shield* yang bertugas melakukan pembacaan sensor dan melakukan pengiriman data ke *gateway*, sesuai dengan perancangan

Tabel 3. Tabel skor

Rentang Kriteria	Kesimpulan
0 – 20 %	Tidak Setuju
21 – 40 %	Kurang Setuju
41 – 60 %	Cukup
61 – 80 %	Setuju
81– 100 %	Sangat Setuju



Gambar 6. Rangkaian node

perangkat pada bab sebelumnya terdapat tiga sensor arus dan tiga sensor tegangan yang diletakkan pada tiap jalur *charge controller* dari tiap perangkat yakni panel surya, akumulator, dan jalur menuju beban. *Charge controller* berfungsi untuk menyearahkan arus listrik pada rangkaian dan mengatur keluaran tegangan agar tidak melampaui batas toleransi. Untuk menjalankan fungsi pengendalian terdapat dua buah relay. Relay pertama diletakkan pada sisi positif akumulator yang mana berfungsi untuk mematikan rangkaian secara keseluruhan. Relay kedua diletakkan pada lampu, berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan lampu. Saklar yang berfungsi untuk menghidupkan seluruh rangkaian secara keseluruhan dari keadaan mati total. Akumulator pada rangkaian ini berfungsi sebagai catu daya yang mana menyimpan daya yang dihasilkan dari panel surya sehingga dapat digunakan oleh beban, pada penelitian ini mikrokontroler dan lampu. Untuk lebih jelasnya, rangkaian ditunjukkan pada Gambar 6.

Rangkaian *node* diletakkan di dalam kotak panel yang dikaitkan pada tripod. Tripod dimodifikasi sehingga dapat disatukan dengan rangka yang menopang panel surya seperti pada Gambar 7.

Sedangkan pada sisi *gateway* terdiri dari mini PC Raspberry Pi yang dikombinasikan dengan LoRa GPS HAT. Selain sebagai *gateway*, perangkat ini juga berfungsi sebagai *server* yang akan mengolah data yang diterima dari *node* dan ditampilkan dalam *website* secara *realtime*. Tampilan *gateway* seperti pada Gambar 8.

Sesuai dengan metode penelitian terdapat pengujian pada perangkat keras terkhusus sensor ACS712, sensor tegangan dan LoRa *shield* bertujuan untuk mengetahui apakah komponen tersebut sudah memenuhi kriteria



Gambar 7. Tampilan keseluruhan prototipe



Gambar 8. Gateway

fungsional yang diharapkan. Hasil dari skenario pengujian tertampil pada Tabel 4.

B. Uji Validitas Sensor

Sampel data yang diperoleh jika dibandingkan dengan data dari multimeter dapat dilihat seperti pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7. Multimeter yang digunakan untuk membandingkan adalah Zotek ZT102. Dari data tersebut penulis menilai bahwa prototipe bekerja dengan baik karena sebagian besar data memiliki selisih yang kecil.

C. Hasil dan Pengujian Aplikasi Web

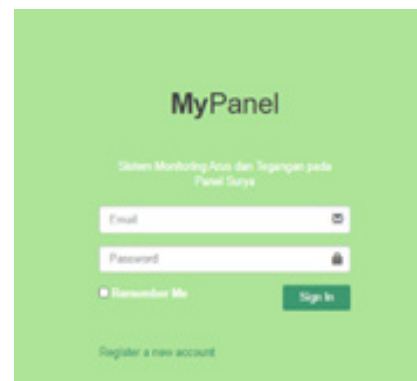
Tahap pengujian pada sistem aplikasi ini juga menerapkan metode *blackbox testing*, difokuskan pada nilai masukan dan keluaran dari sistem dengan pemberian nilai salah maupun benar.

1. Halaman Login

Pada halaman *login* terdapat *form* untuk memasukkan *email* serta *password* yang telah terdaftar dan tombol *Register a new account* untuk melakukan registrasi akun baru. Tampilan halaman *Login* dapat dilihat pada Gambar 9.

2. Halaman Register

Pada halaman *register* terdapat *form* untuk memasukkan *full name*, *email* serta *password* dan terdapat verifikasi *password* dengan mengetikkan ulang *password*. Tampilan halaman *register* dapat dilihat



Gambar 9. Halaman login

Tabel 4. Skenario pengujian perangkat keras

No	Komponen Pengujian	Skenario yang diuji	Hasil sebenarnya	Kesimpulan
1	Lora shield	Lora shield node 1, node 2, dan node 3 dapat terkoneksi dengan gateway	LoRa shield terkoneksi dengan gateway sehingga data pembacaan sensor dapat diterima oleh gateway	Berhasil
2	Sensor ACS712 (panel surya)	Sensor ACS 712 dari panel surya pada node 1, node 2, dan node 3.	Sensor acs712 berhasil membaca besar arus dari panel menuju charge controller	Berhasil
3	Sensor ACS712 (akumulator)	Sensor ACS 712 dari akumulator pada node 1, node 2 dan node 3.	Sensor acs712 berhasil membaca besar arus dari akumulator	Berhasil
4	Sensor ACS712(appliance)	Sensor ACS 712 menuju appliance pada node 1, node 2, dan node 3.	Sensor acs712 berhasil membaca besar arus menuju beban	Berhasil
5	Sensor Tegangan (panel surya)	Sensor tegangan dari panel surya pada node 1, node 2, dan node 3.	Sensor tegangan berhasil membaca besar tegangan dari panel menuju charge controller	Berhasil
6	Sensor Tegangan (akumulator)	Sensor tegangan dari akumulator pada node 1, node 2, dan node 3.	Sensor tegangan berhasil membaca besar tegangan dari akumulator	Berhasil
7	Sensor Tegangan (appliance)	Sensor tegangan menuju appliance pada node 1, node 2, dan node 3.	Sensor tegangan berhasil membaca besar tegangan menuju beban	Berhasil
8	Relay pada akumulator	Relay pada sisi positif akumulator di node 1, node 2, dan node 3.	Relay menyala, rangkaian menyala	Berhasil
9	Relay pada lampu	Relay pada lampu di node 1, node 2, dan node 3	Relay mati, lampu mati	Berhasil

pada Gambar 10.

3. Halaman Home

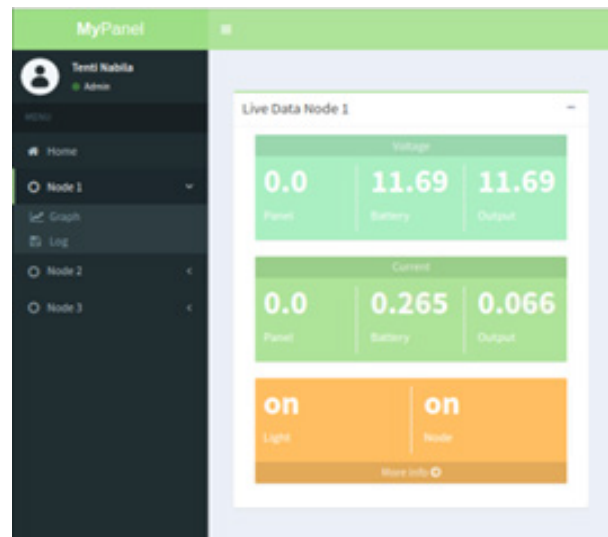
Halaman *home* memuat seluruh informasi besar arus dan tegangan yang tertampil dalam bentuk angka, serta status *on/off* lampu dan juga *node* dari rangkaian *node 1*, *node 2* dan *node 3* secara *realtime*. Pada *sidebar* terdapat *list menu* yakni Panel 1, Panel 2, dan Panel 3. Untuk lebih jelasnya tampilan dapat dilihat pada Gambar 11.

4. Sub-Menu Grafik

Sub-menu grafik berada pada menu *node 1*, *node 2* dan *node 3*. Selain menampilkan besar data tegangan dan arus dalam bentuk grafik, terdapat pula tombol pengendalian untuk menyalakan atau mematikan lampu serta tombol mematikan *node* secara keseluruhan. Tampilan halaman submenu grafik dapat dilihat pada Gambar 12 .

5. Sub-Menu Log

Sub-menu *Log* juga berada dalam menu *node 1*, *node*



Gambar 11. Halaman home

Gambar 10. Halaman register



Gambar 12. Sub menu grafik

Tabel 5. Uji Validitas Sensor pada node 1

No	Jenis Data	Sensor	Multimeter	Selisih
1	Voltase Panel Surya (V)	12.18	12.3	0.12
		12.16	12.66	0.5
		12.08	12.32	0.24
		12.16	12.4	0.24
		12.18	12.54	0.36
2	Arus Panel Surya (A)	0.757	0.308	0.449
		0.724	0.308	0.416
		0.729	0.309	0.42
		0.73	0.306	0.424
		0.706	0.307	0.399
3	Voltase Akumulator (V)	12.13	12.2	0.07
		12.08	12.18	0.1
		11.91	12.18	0.27
		12.08	12.18	0.1
		12.13	12.18	0.05
4	Arus Akumulator (A)	0.872	0.297	0.575
		0.826	0.294	0.532
		0.875	0.298	0.577
		0.869	0.297	0.572
		0.836	0.297	0.539
5	Voltase Output (V)	12.16	12.2	0.04
		12.11	12.2	0.09
		12.3	12.31	0.01
		12.11	12.17	0.06
		12.18	12.2	0.02
6	Arus Output (A)	0.849	0.297	0.552
		0.813	0.297	0.516
		0.807	0.297	0.51
		0.805	0.296	0.509
		0.793	0.296	0.497

Tabel 6. Uji validitas sensor pada node 2

No	Jenis Data	Sensor	Multimeter	Selisih
1	Voltase Panel Surya (V)	12.18	12.51	0.33
		12.18	12.27	0.09
		11.96	12.22	0.26
		12.18	12.4	0.22
		12.16	12.47	0.31
2	Arus Panel Surya (A)	0.109	0.304	0.195
		0.11	0.302	0.192
		0.115	0.301	0.186
		0.112	0.301	0.189
		0.11	0.302	0.192
3	Voltase Akumulator (V)	11.91	12.06	0.15
		11.87	12.05	0.18
		12.01	12.04	0.03
		11.89	12.04	0.15
		11.87	12.05	0.18
4	Arus Akumulator (A)	0.194	0.294	0.1
		0.203	0.294	0.091
		0.196	0.294	0.098
		0.196	0.294	0.098
		0.191	0.292	0.101
5	Voltase Output (V)	12.13	12.05	0.08
		12.16	12.05	0.11
		12.06	12.03	0.03
		12.13	12.03	0.1
		12.16	12.04	0.12
6	Arus Output (A)	0.224	0.294	0.07
		0.227	0.294	0.067
		0.234	0.293	0.059
		0.234	0.293	0.059
		0.22	0.293	0.073

2, dan *node* 3. Dalam sub-menu *log* terdapat riwayat pembacaan arus serta tegangan yang dilengkapi dengan kolom tanggal yang tertampil dalam bentuk tabel, terdapat pula *button* untuk mengunduh data *log* dalam format .xlsx seperti pada Gambar 13.

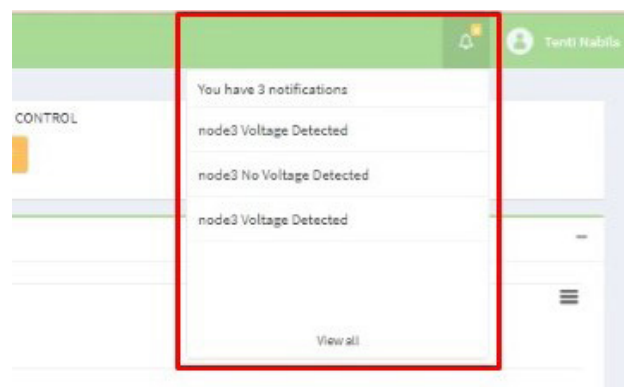
6. Fitur Notifikasi

Notifikasi pada web berada di pojok kanan atas, notifikasi akan muncul ketika terdapat perubahan

No	time	v1	c1	v2	c2	v3	c3
1	2020-08-16 15:47:48	0	0.203	11.52	0.778	11.79	0.807
2	2020-08-16 15:47:42	11.52	0.209	11.53	0.78	11.77	0.777
3	2020-08-16 15:47:28	11.57	0.207	11.57	0.833	11.55	1.952
4	2020-08-16 15:47:22	0	0.209	11.69	0.798	11.65	1.59
5	2020-08-16 15:47:16	11.74	0.185	11.79	0.807	11.74	1.525
6	2020-08-16 15:47:10	11.72	0.206	11.77	0.784	11.72	1.923
7	2020-08-16 15:47:04	11.69	0.189	11.79	0.778	11.77	2.224
8	2020-08-16 15:46:58	11.6	0.185	11.6	0.755	11.57	2.349
9	2020-08-16 15:46:52	11.53	0.209	11.6	1.285	11.6	1.752
10	2020-08-16 15:46:46	0	0.203	11.57	1.276	11.52	1.852

Gambar 13. Sub menu log

kondisi tegangan dari panel surya di masing masing rangkaian *node* yang semula mendeteksi adanya tegangan menjadi tidak mendeteksi (bernilai nol) atau sebaliknya. Tampilan *fitur* notifikasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Fitur notifikasi

Tabel 7. Uji validitas sensor pada node 3

No	Jenis Data	Sensor	Multimeter	Selisih
1	Voltase Panel Surya (V)	12.8	12.62	0.18
		12.13	12.33	0.2
		12.16	12.24	0.08
		12.28	12.30	0.2
		12.28	12.33	0.05
2	Arus Panel Surya (A)	0.2	0.305	0.105
		0.193	0.308	0.115
		0.203	0.306	0.103
		0.194	0.303	0.109
		0.22	0.302	0.082
3	Voltase Akumulator (V)	12.11	12.2	0.09
		12.16	12.18	0.02
		12.16	12.14	0.02
		12.35	12.24	0.11
		12.26	12.27	0.01
4	Arus Akumulator (A)	0.269	0.277	0.008
		0.267	0.262	0.005
		0.267	0.288	0.021
		0.258	0.261	0.003
		0.289	0.289	0
5	Voltase Output (V)	12..38	12.2	0.18
		12.13	12.31	0.18
		12.16	12.25	0.09
		12.16	12.13	0.03
		12.35	12.33	0.02
6	Arus Output (A)	0.175	0.297	0.122
		0.179	0.297	0.118
		0.176	0.297	0.121
		0.168	0.296	0.128
		0.165	0.296	0.131

Tabel 8 merupakan hasil dari *blackbox testing* masing-masing fungsi dari sistem aplikasi.

D. Hasil Kuesioner

Pada tahap ini dilakukan perhitungan hasil kuesioner yang telah diisi oleh 35 responden yang merupakan mahasiswa Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. Responden sebelumnya sudah diberikan penjelasan mengenai cara kerja sistem dan aplikasi serta tujuan dilakukannya penelitian ini, pengisian kuesioner melalui *form online*. Hasil dari pengujian ini akan dihitung persentase dari masing-masing pertanyaan.

Hasil keseluruhan kuesioner dari 35 responden didapatkan kesimpulan bahwa tingkat persetujuan sangat setuju untuk semua pertanyaan, dengan interpretasi skor tertinggi sebesar 98.8% pada pertanyaan pertama mengenai pentingnya diperlukan suatu sistem pemantauan panel surya, sedangkan untuk interpretasi skor terendah sebesar

94,8% pada pertanyaan kelima mengenai kemampuan sistem dalam memberikan peringatan mengenai perubahan kondisi tegangan dari panel surya. Hasil kuesioner secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 9.

IV. KESIMPULAN

Telah dikembangkan aplikasi web pemantauan dan pengendalian sistem panel surya dengan teknologi LoRaWAN. Sistem aplikasi yang dirancang dapat melakukan fungsi pemantauan berupa menampilkan pembacaan arus dan tegangan dalam bentuk angka dan grafik, status lampu dan *node*, penyimpanan riwayat pembacaan arus dan tegangan, serta notifikasi ketika terjadi perubahan kondisi tegangan dari panel surya secara *real-time*. Sistem aplikasi juga mampu mengirimkan perintah berupa mematikan atau menyalakan lampu dan mematikan rangkaian *node* secara keseluruhan. Metode *black-box testing* sebagai pengujian sistem aplikasi menunjukkan bahwa semua fungsi berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan. Penilaian sistem aplikasi melalui kuesioner yang ditujukan ke 35 responden didapatkan tingkat persetujuan sangat setuju untuk semua pertanyaan.

REFERENSI

- [1] J. Kwan, Y. Gangat, P. Denis and R. Courdier, "An Agentified use of the Internet of Things," *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings2016)*, 2016, pp. 311-316.
- [2] M. R. Fachri, I. D. Sara and Y. Away, "Pemantauan panel surya berbasis Arduino secara real time," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 11, pp. 123-128, 2015.
- [3] R. R. A. Siregar, N. Wardana and L. Luqman, "Sistem monitoring kinerja panel listrik," *JETri*, vol.14, pp. 81-100, 2017.
- [4] A. Lavric and P. Valentin, "Performance evaluation of LoRaWAN communication scalability in large-scale wireless sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, no. 6730719, pp. 1-9, 2018.
- [5] U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low power wide area networks: an overview," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, 2017.
- [6] D. M and I. Ibrahim, "Internet of things technology based on LoRaWAN revolution," *International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, pp. 234-237, 2019.
- [7] E. Gambi, L. Montanini, D. Pigni, G. Ciattaglia and S. Spinsante, "A home automation architecture based on LoRa technology and message queue telemetry transfer protocol," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 10, pp. 1-12, 2018.
- [8] N. R. Ahsy, A. Bhawiyuga and D. P. Kartikasari, "Implementasi sistem kontrol dan monitoring smart home menggunakan integrasi protokol websocket dan MQTT," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 4, pp. 3709-3718, 2019.
- [9] N. Balahagu, "Validation: Black Box testing,," 2011. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/testipscenter/validation/Black-box-testing>.
- [10] Z. Mustafa, *Mengurai Variabel Hingga Instrumentasi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

Tabel 8. Skenario pengujian fitur web

No	Komponen Pengujian	Skenario Pengujian	Hasil Sebenarnya	Kesimpulan
1	Login Page	Melakukan login masuk ke website menggunakan email dan password	Berhasil masuk ke halaman home	Berhasil
2	Menu Home	Menampilkan data angka pembacaan sensor ACS712 dan tegangan dari node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil menampilkan data arus dan tegangan dari ketiga node	Berhasil
3	Menu Home	Menampilkan status lampu dari node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil menampilkan status nyala atau mati lampu	Berhasil
		Menampilkan status perangkat dari node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil menampilkan status nyala atau mati perangkat	Berhasil
4	Sub-menu Grafik	Menampilkan data grafik pembacaan sensor ACS712 dan tegangan dari node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil menampilkan data grafik pembacaan sensor ACS712 dan tegangan dari node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil
5	Sub-menu Log	Menampilkan riwayat aktivitas pemantauan arus dan tegangan pada node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil mengunduh riwayat aktivitas pemantauan arus dan tegangan pada node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil
6	Button Pengendalian Lampu	Mengirim perintah nyala dan mati lampu pada node 1, node 2, dan node 3.	Lampu pada node berhasil menyala/mati.	Berhasil
7	Button Pengendalian Node	Mengirim perintah nyala dan mati lampu pada node 1, node 2, dan node 3.	Rangkaian node berhasil mati.	Berhasil
8	Button Cetak Log	Mencetak Log dalam format .xlsx pembacaan arus dan tegangan dari node 1, node 2 dan node 3.	Berhasil mengunduh log data pembacaan arus dan tegangan dalam format xlsx	Berhasil
9	Notifikasi	Pemberitahuan ketika tegangan dari panel sebesar 0 pada node 1, node 2, dan node 3.	Berhasil menampilkan notifikasi ketika arus yang semula terdeteksi menjadi 0, begitu sebaliknya.	Berhasil

Tabel 9. Hasil kuesioner

Pertanyaan	Respon					Total	Skor
	SS	S	KS	TS	STS		
P1	33	2	0	0	0	173	98,8%
P2	29	6	0	0	0	169	96,5%
P3	29	6	0	0	0	169	96,5%
P4	31	3	1	0	0	170	97,1%
P5	26	9	0	0	0	166	94,8%
P6	31	3	1	0	0	170	97,1%
P7	27	8	0	0	0	167	95,4%
P8	29	6	0	0	0	169	96,5%