

# Rancang Bangun *Multi Output Energy Limiter* Berbasis Mikrokontroler Untuk PLTS Komunal

Alexsandro Sosang Kadang<sup>1</sup>, Prihadi Murdiyati<sup>2</sup>, La Bima<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda  
pmurdiyati@polnes.ac.id

**Abstrak-** PLTS Komunal merupakan sistem tenaga surya *off-grid* yang sepenuhnya bergantung pada energi matahari. Ketersediaan energi dipengaruhi oleh durasi penyinaran dan kapasitas baterai, sehingga pasokan energi terbatas. Meskipun demikian, masyarakat sering kali menggunakan peralatan elektronik secara berlebihan, yang menyebabkan konsumsi energi melebihi batas daya dan kuota yang telah ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pembatas energi *multi-output* agar penggunaan beban lebih terfokus dan terkontrol. Artinya, daya listrik yang tersedia dibagi ke beberapa jalur atau output berbeda, sehingga beban dapat diatur secara selektif sesuai prioritas kebutuhan pengguna. Sistem ini juga memungkinkan pemantauan dari jarak jauh. Sistem terdiri dari panel *energy limiter* yang menggunakan sensor *PZEM* dan *SSR*. Data dari panel dikirim ke *gateway* melalui komunikasi *LoRa*, kemudian diteruskan ke *ThingsBoard* untuk pemantauan secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan sistem berjalan baik sesuai harapan. Pengujian parameter sensor menunjukkan deviasi cukup besar pada parameter energi, yaitu sebesar 13,3%. *LoRa* secara umum dapat berfungsi dengan baik pada beberapa titik pengujian, namun pada beberapa lokasi tertentu data tidak berhasil diterima meskipun jaraknya relatif dekat dengan *receiver*. Antarmuka menu pada *LCD* berhasil menampilkan informasi sesuai program. Selain itu, *ThingsBoard* mampu menampilkan data sesuai *timestamp* dan menyajikan informasi secara historis dalam rentang waktu tertentu.

**Kata kunci:** PLTS komunal, *energy limiter*, *multi output*, *LoRa*, *ThingsBoard*.

## I. PENDAHULUAN

PLTS Komunal merupakan sistem tenaga surya yang menggunakan sistem *off-grid* di mana sepenuhnya mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama, dengan baterai sebagai penyimpan cadangan energi. Sistem ini menjadi solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan energi berbasis fosil, terutama di daerah terpencil yang sulit mendapatkan pasokan listrik dari PLN. Sistem ini tidak hanya hadir sebagai solusi teknis. Meskipun dapat mengatasi permasalahan keterbatasan energi, daya yang dihasilkan PLTS Komunal tetap bergantung pada intensitas cahaya matahari, sementara ketersediaan energi ditentukan oleh durasi paparan sinar matahari serta kapasitas baterai dalam menyimpannya. Namun, adanya sumber energi listrik yang baru dapat membuat masyarakat antusias dan membeli berbagai alat rumah tangga bertenaga listrik, sehingga energi yang digunakan dapat melebihi batas daya (W) dan kuota energi (kWh) yang ditentukan.

Dalam sistem PLTS Komunal, terdapat perangkat yang digunakan untuk mengatur dan membatasi pemakaian energi listrik pelanggan, disebut *energy limiter*. Di setiap rumah pelanggan PLTS Komunal dipasang sebuah *energy limiter* yang berfungsi untuk membatasi konsumsi energi listrik berdasarkan kuota tertentu (kWh). Selain itu, juga diperlukan alat pembatas daya untuk memastikan penggunaan daya listrik tidak melebihi kemampuan jaringan instalasinya. Ketika pemakaian listrik oleh pelanggan telah mencapai batas kuota, maka pasokan listrik diputus. Listrik akan dihubungkan dan kuota akan diberikan kembali pada awal periode berikutnya. Selama ini, *energy limiter* yang digunakan hanya mempunyai sebuah *output/keluaran*, sehingga ketika terjadi pemutusan karena kuota habis, seluruh perangkat yang terhubung ke sistem ikut mati, baik sistem penerangan maupun perangkat lainnya. Pemutusan ini mengakibatkan pelanggan merasa kurang nyaman, karena walaupun energi listrik untuk perangkat melalui stop kontak harus diputus, tetapi mereka masih membutuhkan penerangan di malam hari.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah *energy limiter* tiga *output*, dengan satu *output* untuk penerangan dan dua lainnya untuk beban tambahan. Sistem *multi output* ini memberikan fleksibilitas dalam pembagian kuota dan pemutusan energi secara selektif, sehingga penerangan tetap menyala meskipun kuota beban lain habis. Setiap *output* memiliki kuota terpisah yang dikelola mandiri. Untuk mengontrol seluruh komponen *energy limiter* menggunakan mikrokontroler dengan jumlah pin *input/output* yang cukup banyak, sehingga mendukung fitur *multi output*. Sensor yang digunakan memiliki parameter yang dibutuhkan untuk sistem ini seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, faktor daya dan terutama energi. *Solid State Relay* (SSR) digunakan sebagai aktuator pemutus sambungan beban secara otomatis ketika kuota pada *output* tersebut telah habis. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan *Real-Time Clock* (RTC) yang berfungsi sebagai penanda waktu untuk melakukan *reset* kuota energi harian. Untuk pemantauan penggunaan energi jarak jauh, sistem ini menggunakan teknologi *LoRa* sebagai media komunikasi nirkabel. Data konsumsi energi dari setiap rumah dikirimkan melalui *LoRa* ke *LoRa gateway* yang terhubung dengan komputer pengelola. Selanjutnya, data tersebut dikirim ke *ThingsBoard* sebagai platform untuk pencatatan, pemantauan, dan visualisasi data penggunaan energi pelanggan. Diharapkan dengan adanya penelitian ini masyarakat dan juga pengembang dapat terbantu dan menjadi solusi terhadap permasalahan yang ada di masyarakat yang menggunakan energi dari PLTS.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Dengan meningkatnya kebutuhan energi terbarukan dan keterbatasan energi fosil di daerah terpencil, PLTS Komunal menjadi solusi potensial, namun dengan pasokan yang terbatas sehingga diperlukan pembatas penggunaan energi agar distribusinya merata dan berkelanjutan.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Amelia Dwi Lestari, Vicky Prasetya dan, Muhammad Yusuf [1], merancang pembatas alat *monitoring* dan pembatas konsumsi energi dimana menggunakan Arduino Mega sebagai mikrokontroler dan modul sensor *PZEM* untuk mengukur nilai tegangan, arus, daya, dan energi. Dalam penelitian tersebut Arduino Mega berperan penting dalam menyediakan *pin* dalam jumlah yang banyak sehingga komponen *input* yang digunakan seperti tombol, *RTC*, *LCD*, dan *buzzer* dapat terfasilitasi dengan baik. Selain itu, sensor yang digunakan memiliki deviasi yang kecil pada setiap pengujian parameternya.

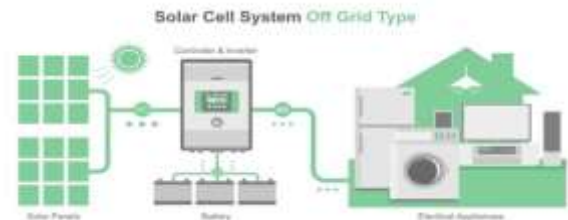
Penelitian lain yang serupa juga dilakukan oleh Yosafat Indra Inasa, Boni Pahlanop Lapanporo, dan Ikhlas Sanubary [2], merancang sebuah alat untuk mengontrol pemakaian energi pada rumah indekos menggunakan Atmega 328p. Dalam pengelolaan konsumsi energi konsumsi listrik menggunakan *password* administrator serta kendali jarak jauh melalui SMS. Alat tersebut dilengkapi dengan *keypad* dan modul GSM SIM900. Konsumsi energi pada setiap rumah dibatasi dengan menggunakan sistem pembelian pulsa yang dimasukkan oleh *admin* menggunakan *keypad* maupun melalui perintah SMS.

Dalam mengatasi permasalahan dalam pencatatan energi dan juga kuota penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Isman Suga dan Heru Nurwarsito [3], merupakan penelitian menggunakan *LoRa* sebagai alat komunikasi untuk mengurangi terjadinya kesalahan dalam pencatatan meteran listrik dan juga sebagai solusi dalam mengatasi jarak untuk melakukan pemantauan. Dalam alat tersebut hasil data yang tercatat oleh sensor akan dikirimkan menggunakan komunikasi *LoRa* di mana data tersebut dikirim menuju *gateway* kemudian, data tersebut diteruskan menuju broker menggunakan protokol *MQTT* dan data tersebut akan di *subscribe* oleh *client* sehingga data dapat dipantau secara berkala.

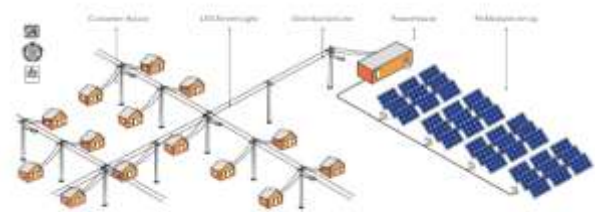
### B. PLTS Komunal

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Komunal adalah pembangkit listrik tenaga surya yang dimiliki dan dikelola secara bersama oleh masyarakat atau kelompok masyarakat di suatu wilayah. PLTS Komunal bertujuan untuk memberikan akses listrik yang lebih merata dan terjangkau terutama masyarakat di daerah terpencil dan belum terjangkau oleh jaringan listrik utama. PLTS komunal menerapkan teknologi *off-grid solar system*, yaitu sistem pembangkit listrik yang memproduksi daya listrik dan berdiri sendiri serta tidak dihubungkan dengan jaringan listrik yang sudah ada [4]. Ciri khas dari PLTS dengan sistem *off-grid* adalah sepenuhnya menggunakan energi matahari sebagai sumber, penggunaan baterai sebagai penyimpan daya, penempatan di daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik, serta kemampuan beroperasi secara mandiri dan otomatis [5]. *Off-*

*grid solar system* terdiri dari panel surya, *solar charge controller*, *battery* dan kabel penghubung. Gambar 1 merupakan diagram blok *off-grid solar system*, Sedangkan Gambar 2 menunjukkan Diagram PLTS Komunal.



Gambar 1. Diagram blok *off-grid solar system* [4].

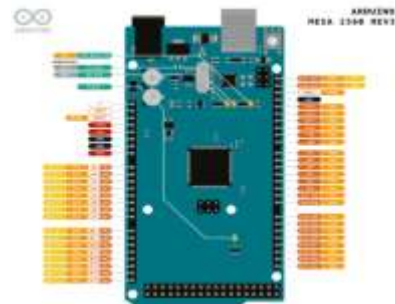


Gambar 2. Diagram blok PLTS komunal [6].

Berdasarkan Gambar 2, diagram blok PLTS Komunal terdiri dari panel surya yang mengubah energi matahari menjadi listrik melalui efek *photoelectric* [6]. Energi dari panel disalurkan ke *powerhouse* yang berisi *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, dan inverter. *SCC* menstabilkan tegangan *DC* agar sesuai dengan baterai, yang menyimpan energi sebagai cadangan saat panel tidak menghasilkan listrik. Energi dari baterai kemudian diubah oleh *inverter* menjadi *AC* dengan tegangan dan frekuensi terkontrol [7], lalu disalurkan melalui *distribution line* ke beban seperti rumah, lampu jalan, dan fasilitas publik, dengan pembatasan sesuai kuota (kWh) yang ditetapkan.

### C. Arduino Mega 2560 Rev3

Arduino Mega 2560 Rev3 pada Gambar 3 merupakan *board* yang dikembangkan untuk membantu dalam membangun aplikasi atau alat yang lebih luas dibandingkan dengan Arduino Uno. *Board* ini menggunakan mikrokontroler ATmega2560, beroperasi pada frekuensi 16 MHz, memiliki 54 *pin input/output digital*, 16 *input analog*, 4 UART, koneksi *USB*, *jack* daya, *header ICSP*, dan tombol *reset* [8].



Gambar 3. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 Rev3 [8]

Adapun spesifikasi Arduino Mega yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada TABEL 1.

TABEL 1  
SPESIFIKASI ARDUINO MEGA 2560 REV3 [8]

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	Atmega2560
Tegangan operasional	5 Volt
Tegangan rekomendasi	7-12 Volt
Batas tegangan	6-20 Volt
Pin <i>input/output</i> digital	54
Pin PWM	15
Pin <i>input</i> analog	16
Arus untuk pin digital	40 mA
Arus untuk pin 3,3 V	50 mA
RAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

D. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dilengkapi dengan modul *Wi-Fi* serta *Bluetooth dual-mode* dalam satu *chip* atau dikenal sebagai *System on Chip* (SoC). Mikrokontroler ini memiliki tumpukan protokol TCP/IP yang terintegrasi, sehingga dapat dengan mudah terhubung ke jaringan *Wi-Fi* melalui antarmuka SPI/SDIO atau I2C/UART [9]. ESP32 memiliki 2 versi yaitu, 30 GPIO dan 36 GPIO keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi 30 GPIO dipilih karena terdapat 2 pin untuk GND. Bentuk fisik ESP32 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. ESP32 [9]



Gambar 5. Bentuk fisik PZEM 004T [10]

E. PZEM 004T

PZEM-004T adalah modul sensor yang digunakan untuk mengukur nilai tegangan, arus, dan daya aktif, serta dapat diintegrasikan dengan NodeMCU atau *platform open-source* lainnya. PZEM 004T memiliki dimensi fisik 3,1 x 7,4 cm dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3 mm, yang

mampu mengukur arus hingga 100 A (menggunakan CT). Agar dapat beroperasi, PZEM-004T harus dihubungkan ke sumber tegangan AC, sehingga modul ini dapat menghitung daya dan energi listrik [10]. Dalam *energy limiter PZEM* digunakan sebanyak 3 buah berfungsi untuk mengukur energi pada tiap-tiap grup dengan beban yang berbeda. Bentuk fisik PZEM 004T dapat dilihat pada Gambar 5. Adapun spesifikasi dari modul sensor PZEM 004T ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2  
SPESIFIKASI MODUL SENSOR PZEM 004T [10]

Pengukuran	Parameter	Spesifikasi
Voltage	Rentang pengukuran	80 – 260 V
	Resolusi	0,1 V
	Akurasi pengukuran	0,5%
Current	Rentang pengukuran	0-10 A (PZEM-004T-10 A); 100 A (PZEM-004T-100 A)
	Pengukuran arus awal	0.01 A (PZEM-004T-10 A); 0.02 A (PZEM-004T-100 A)
	Resolusi	0.001 A
	Akurasi pengukuran	0.5%
Active Power	Rentang pengukuran	0-2.3 Kw (PZEM-004T-10 A); 0-23 Kw (PZEM-004T-100 A)
	Pengukuran daya awal	0.4 W
	Resolusi	0.1 W
Power Factor	Rentang pengukuran	0.00-1.00
	Resolusi	0.01
	Akurasi pengukuran	1%
Frekuensi	Rentang pengukuran	45Hz-65 Hz
	Resolusi	0.1 Hz
	Akurasi pengukuran	0.5%
Energi	Rentang pengukuran	0-9999,99 kWh
	Resolusi	1 Wh
	Akurasi pengukuran	0,5%

F. SSR (Solid State Relay)

Solid State Relay (SSR) merupakan perangkat elektronik yang menggunakan komponen semikonduktor sebagai pengganti *relay* mekanik untuk mengalirkan arus listrik ke beban dalam berbagai aplikasi. Dengan kata lain, SSR bekerja sebagai saklar elektronik tanpa bagian yang bergerak, sehingga tidak mengalami keausan akibat kontak atau gesekan seperti pada saklar konvensional [11]. SSR terdiri dari dua bagian utama, yaitu sisi kontrol bertegangan rendah (*low current*

control side) yang berfungsi seperti kumparan pada relay elektromekanik, dan sisi arus tinggi (high-current load side) yang berperan seperti kontak pada relay biasa. Bentuk fisik SSR dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Solid State Relay (SSR) [11]

G. LoRa

LoRa (Long Range) merupakan komunikasi nirkabel yang memungkinkan koneksi jarak jauh. Komunikasi LoRa menggunakan modulasi chirp spread spectrum, yang mempertahankan efisiensi daya seperti FSK (Frequency Shift Keying) tetapi dengan jangkauan komunikasi yang lebih luas. [12]. SX1278 yaitu seri LoRa yang menyediakan fitur Long Range untuk komunikasi jarak jauh hingga 15 km menggunakan daya yang kecil dan tahan akan gangguan serta meminimalkan konsumsi arus [13]. Dalam penerapan teknologi LoRa pada sistem energy limiter, LoRa dapat digunakan untuk mengirim data jarak jauh dari perangkat pembatas energi berbasis Arduino Mega ke sebuah gateway. Berikut adalah gambar LoRa SX1278 pada Gambar 7 dan spesifikasi dari LoRa SX1278 tercantum pada TABEL 3.



Gambar 7. LoRa SX1278 [12]

TABEL 3  
SPESIFIKASI LORA SX1278 [13]

Spesifikasi	Keterangan
Model	SX 1278
Rentang Frekuensi	433-525 MHz
Catu Daya	1.8-3.7 V
Sensitivitas	Down to -148 dBm; max link sensitivity: -168 dBm
Output Power Maksimum	+20 dBm - 100 mW (constant RF output)
Kecepatan Transfer Data	Programmable bit rates: up to 300 Kbps
Modulasi	LoRaTM, FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK
Proteksi	Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
Range RSSI	127 dB Dynamic Range RSSI
Suhu Operasi	-40°C to +80°C
Model	SX 1278
Rentang Frekuensi	433-525 MHz

H. RTC DS3231

RTC DS3231 adalah modul real-time clock berbasis I2C yang memiliki tingkat akurasi tinggi serta efisiensi biaya,

dengan oscillator kristal dan kompensasi suhu (TCXO) yang telah terintegrasi. Modul ini dilengkapi dengan baterai cadangan sehingga mampu mencatat waktu secara konsisten meskipun catu daya utama terputus. Modul ini mampu menyimpan informasi waktu secara lengkap, meliputi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, hingga tahun [14]. Bentuk RTC DS3231 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bentuk fisik RTC DS3231 [14]

I. MCB (Mini Circuit Breaker)

MCB (Mini Circuit Breaker) adalah merupakan perangkat yang digunakan sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus berlebih yang disebabkan oleh beban lebih (overload) atau hubungan pendek (short circuit). MCB digunakan secara luas dalam instalasi listrik rumah tangga, komersial, maupun industri untuk melindungi rangkaian dan perangkat listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebih. [15]. Bentuk fisik MCB dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Mini Circuit Breaker (MCB) [15]



Gambar 10. Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 [16]

J. Liquid Crystal Display (LCD) 20x4

LCD merupakan perangkat tampilan yang berfungsi untuk menyajikan data dengan memanfaatkan kristal cair sebagai elemen visual utama. LCD banyak digunakan dalam berbagai perangkat elektronik seperti televisi, kalkulator, dan layar

komputer. Dalam penelitian ini digunakan *LCD* dengan ukuran 20x4 karakter yang dilengkapi modul *I2C* untuk mempermudah proses komunikasi dengan mikrokontroler. Penggunaan modul *I2C* membantu menghemat jumlah pin pada Arduino Mega karena hanya memerlukan pin *SCL*, *SDA*, *VCC*, dan *GND* [16]. Bentuk *LCD 20x4 I2C* dapat dilihat pada Gambar 10.

**K. Keypad 4x4**

*Keypad* merupakan perangkat input yang digunakan dalam berbagai sistem berbasis mikrokontroler atau mikroprosesor. Perangkat ini terdiri atas tombol-tombol berisi karakter huruf dan angka. Fungsi utama dari *keypad* adalah sebagai antarmuka (*interface*) antara pengguna dan sistem elektronik, yang dikenal juga dengan istilah *HMI (Human Machine Interface)*. Salah satu jenis *keypad* yang umum digunakan adalah *keypad matriks 4x4*, yang memungkinkan terjadinya komunikasi antara manusia dan mikrokontroler [17]. Bentuk *keypad* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Keypad 4x4 [17]

**L. ThingsBoard**

*ThingsBoard* adalah platform IoT berbasis open-source untuk pengumpulan data, melakukan pemrosesan, dan visualisasi, hingga manajemen perangkat. Terdapat protokol yang sering digunakan dalam industri yang disediakan oleh *ThingsBoard* seperti *MQTT*, *CoAP* dan *HTTP* dan mendukung penyebaran cloud dan lokal [18]. Tampilan *ThingsBoard* dapat dilihat pada Gambar 12.

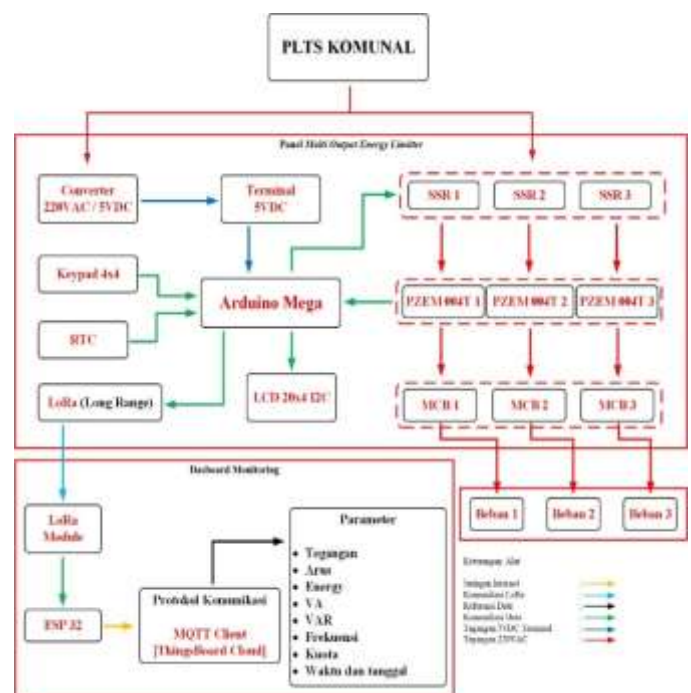


Gambar 12. Tampilan ThingsBoard [18]

**III. METODE PENELITIAN**

**A. Gambaran Umum Sistem**

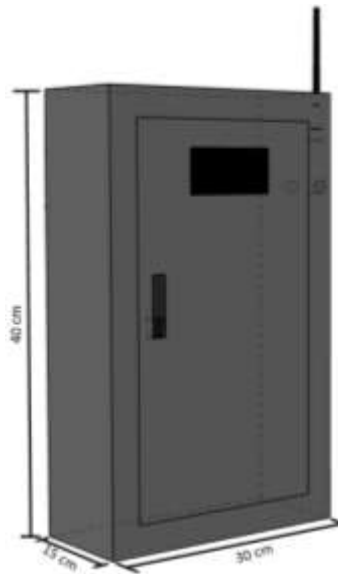
Sistem pada Gambar 13 merupakan representasi dari sistem yang dirancang dalam penelitian ini. Alat ini merupakan sebuah pembatas energi (*energy limiter*) dengan tiga output yang masing-masing terhubung ke beban berbeda. Sistem ini dirancang untuk mengatur penyaluran energi dari PLTS Komunal secara adil berdasarkan kuota energi yang telah ditentukan. Dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega sebagai pusat kendali, sistem ini memonitor parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya melalui tiga modul *PZEM-004T*. Setiap beban dikontrol menggunakan *Solid State Relay (SSR)* dan dilindungi oleh *MCB*. Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul *RTC*, *keypad*, dan *LCD* untuk pengaturan lokal, serta komunikasi *LoRa* yang mengirimkan data ke gateway *ESP32* dan diteruskan ke *ThingsBoard* untuk monitoring jarak jauh secara *real-time*.



Gambar 13. Diagram blok dari sistem energy limiter

**B. Desain Alat**

Pada perancangan alat *energy limiter*, desain dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu panel *energy limiter* dan box *LoRa*. Panel *energy limiter* dibuat dari bahan logam yang kokoh dan memiliki ketebalan yang memadai untuk memberikan perlindungan maksimal terhadap seluruh komponen di dalamnya. Sementara, *Box LoRa* dirancang dengan konstruksi yang kuat dan tahan lama. Material yang digunakan adalah plastik tebal dengan bobot ringan, sehingga memudahkan dalam proses instalasi tanpa mengurangi fungsinya sebagai pelindung komponen di dalamnya. Gambar desain dari kedua alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



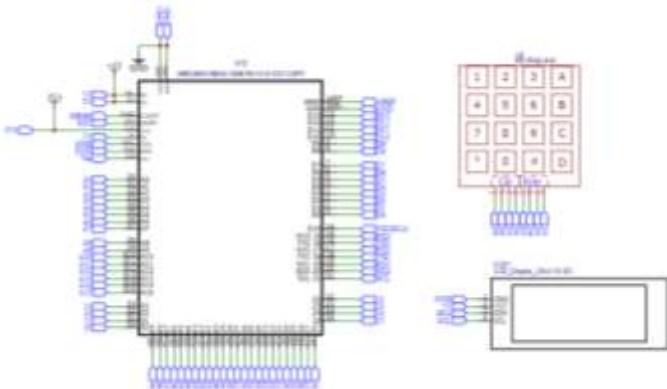
Gambar 14. Desain panel *multi output energy limiter*



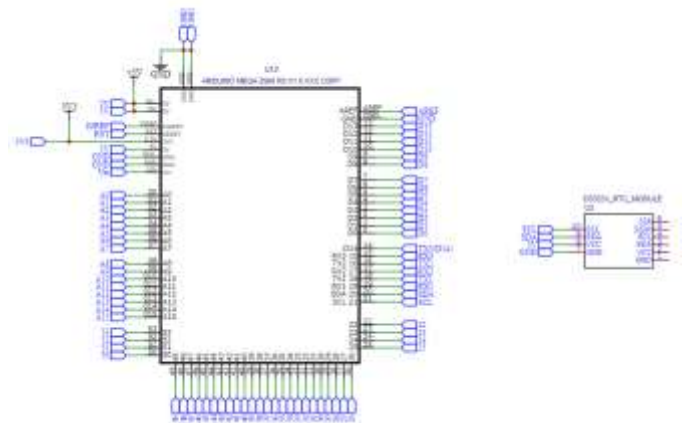
Gambar 15. Desain box LoRa

### C. Perancangan Rangkaian Energy Limiter

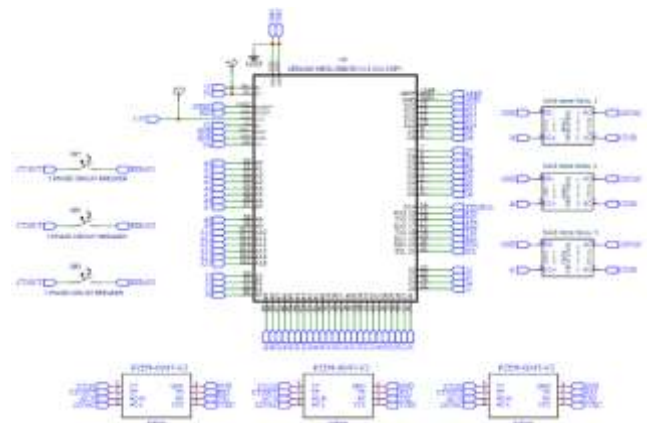
Perancangan ini dilakukan untuk mempermudah dalam perancangan *hardware* dan *wiring* nantinya. Dalam proses ini *software EasyEDA* digunakan untuk membantu dalam melakukan pembuatan skematik rangkaian sistem seperti rangkaian *LCD keypad* untuk menu, *RTC* dan modul sensor beserta *SSR*. Rangkaian skematik dari setiap sistem dapat dilihat pada Gambar 16 hingga Gambar 18.



Gambar 16. Rangkaian skematik LCD dan keypad



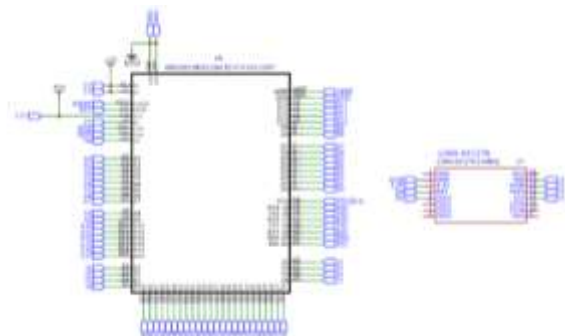
Gambar 17. Rangkaian skematik RTC



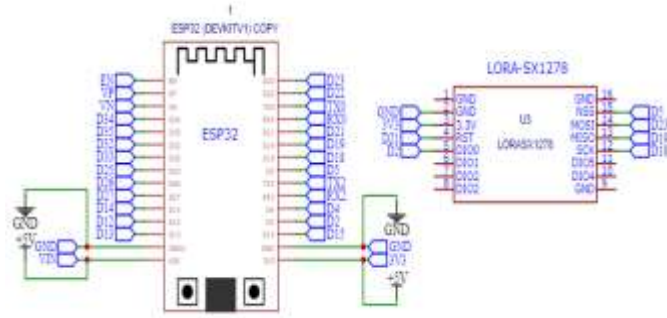
Gambar 18. Rangkaian skematik modul sensor PZEM SSR dan MCB

### D. Perancangan Komunikasi LoRa

Perancangan *LoRa* pada *energy limiter* menggunakan dua modul *LoRa* yang berfungsi sebagai pengirim (*sender*) dan penerima (*receiver*). *LoRa sender* bertindak sebagai pengirim data hasil dari pembacaan sensor yang terpasang pada panel *energy limiter*. Kemudian, data dikirim secara nirkabel menuju *LoRa gateway*. Perancangan tersebut dibuat dalam bentuk rangkaian skematik yang dapat dilihat pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Rangkaian skematik LoRa sender



Gambar 20. Rangkaian skematik LoRa gateway

Dalam perancangan komunikasi *LoRa*, struktur data yang tepat sangat penting untuk memastikan keberhasilan pengiriman dan penerimaan data. *Header* berperan sebagai identifikasi, memuat informasi seperti alamat tujuan, alamat pengirim, dan ID pesan yang berfungsi mencegah data tertukar saat proses komunikasi antar *node*. ID atau alamat dapat dilihat pada TABEL 4.

TABEL 4  
ALAMAT PENGIRIM DAN PENERIMA DATA

Alamat	Nilai	Ukuran Data
Node Master / Gateway	0xFF	255 Desimal
Panel 1 / Node 1	0xAF	175 Desimal

**E. Perancangan ThingsBoard**

Pada perancangan *ThingsBoard* dibuat beberapa tampilan antarmuka (*dashboard*) yang berfungsi untuk menampilkan dan mengelola data secara *real-time* maupun historis. Tampilan ini digunakan oleh admin untuk mengetahui jumlah data yang masuk dengan waktu interval tertentu, mulai dari 1 detik hingga 30 hari. Dalam memudahkan dalam pengelolaan data, data yang masuk ke *thingsboard* dikelompokkan berdasarkan parameter yang dikirim seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya, kuota, total kuota, daya semu, dan daya reaktif. Tampilan *dashboard* dan data dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22.



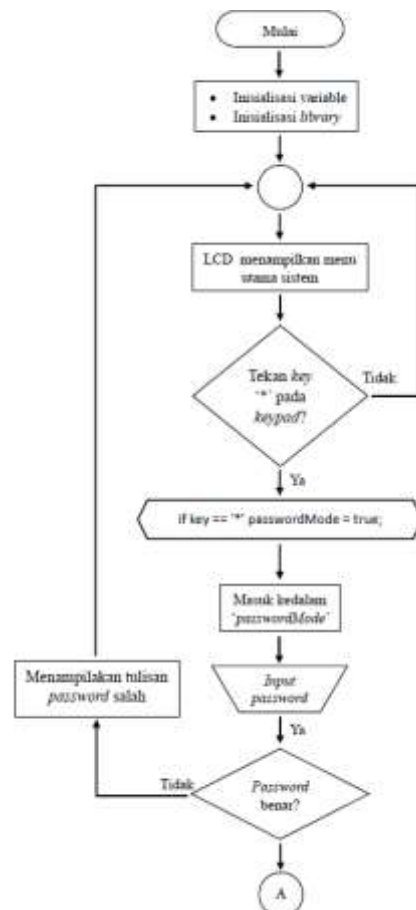
Gambar 21. Tampilan dashboard



Gambar 22. Tampilan data setiap parameter

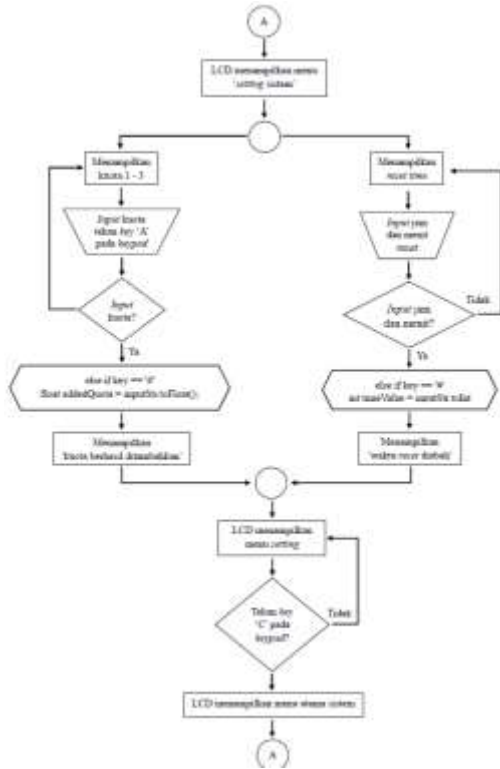
**E. Diagram Alir Energy Limiter**

Perancangan diagram alir program dibuat untuk mempermudah dalam menjelaskan alur kerja program dari alat yang dibuat. Selanjutnya, merupakan diagram alir utama pada panel multi *output energy limiter*. Diagram tersebut memuat keseluruhan proses terjadinya penambahan kuota dan *reset time* hingga pengiriman data oleh *LoRa* menuju *gateway* kemudian, data tersebut di proses untuk dikirim menuju *ThingsBoard*. Diagram alir tersebut ditujukan pada Gambar 23 hingga Gambar 26.

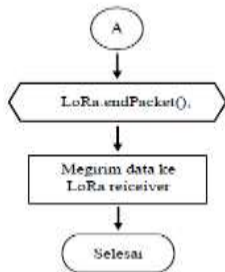


Gambar 23. Diagram alir panel multi output energy limiter

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 24. Lanjutan diagram alir panel multi output energy limiter



Gambar 25. Lanjutan diagram alir panel multi output energy limiter



Gambar 26. Diagram alir LoRa gateway

A. Pengujian Sensor

Pengujian sensor merupakan pengujian sensor yang digunakan dibandingkan dengan alat ukur yang ada. Pada pengujian ini sensor yang digunakan adalah modul sensor PZEM 004T dimana merupakan sensor yang dapat mengukur parameter seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), frekuensi (Hz), energi (kWh), dan faktor daya (cos phi). Pada pengujian sensor digunakan PQA sebagai alat pembanding dengan menggunakan beban-beban seperti lampu pijar, transformator tegangan, dan beban induktif. Beban untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 27, sedang hasil pengujian dari setiap parameter ditunjukkan pada TABEL 5 hingga TABEL 12.



Gambar 27. Beban yang digunakan

TABEL 5  
PRESENTASE ERROR PARAMETER TEGANGAN (V) SENSOR DENGAN PQA

No	Tegangan (V)	Pengukuran Tegangan (V)						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	80	81	81,7	81,6	82,16	81,5	82,12	0,9	0,7	0,8
2	100	100,2	100,11	100,7	100,49	100,6	100,45	0,1	0,2	0,1
3	120	119,4	120,16	119,8	120,53	119,7	120,46	0,6	0,6	0,6
4	140	139	139,83	139,5	140,18	139,4	140,16	0,6	0,5	0,5
5	160	159,3	159,94	159,6	160,13	159,5	160,09	0,4	0,3	0,4
6	180	179,3	180,02	179,6	180,14	179,5	180,1	0,4	0,3	0,3
7	200	200,7	199,88	201,1	199,93	201	199,93	0,4	0,6	0,5
8	230	230,5	230,72	230,7	230,74	230,5	230,77	0,1	0,0	0,1
9	240	238,4	240,01	238,7	239,98	238,5	240	0,7	0,5	0,6
Error rata rata setiap output %								0,5	0,4	0,5

TABEL 6  
PRESENTASE ERROR PARAMETER ARUS (A) SENSOR DENGAN PQA

NO	Daya Lampu (W)	Pengukuran Arus (A)						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	100	0,43	0,382	0,43	0,427	0,43	0,454	12,6	0,7	5,6
2	200	0,86	0,798	0,86	0,825	0,86	0,865	7,8	4,2	0,6
3	300	1,28	1,254	1,29	1,273	1,3	1,303	2,1	1,3	0,2
4	400	1,71	1,672	1,72	1,704	1,73	1,735	2,3	0,9	0,3
5	500	-	-	2,15	2,133	2,14	2,144	-	0,8	0,2
Error rata rata setiap output %								6,2	1,6	1,4

TABEL 7  
PRESENTASE ERROR PARAMETER DAYA AKTIF (W) SENSOR DENGAN PQA

NO	Daya Lampu (W)	Pengukuran Daya Aktif (W)						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	100	100	83	100	99	101	102	20,5	1,0	1,0
2	200	196	183	200	191	201	200	7,1	4,7	0,5
3	300	295	288	300	294	304	304	2,4	2,0	0,0
4	400	389	381	395	391	404	405	2,1	1,0	0,2
5	500	-	-	494	490	495	495	-	0,8	0,0
Error rata rata setiap output %								8,0	1,9	0,3

TABEL 8  
PRESENTASE ERROR PARAMETER DAYA SEMU (VA) SENSOR DENGAN PQA

NO	Daya Lampu (W)	Pengukuran Daya Semu (VA)						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	100	100	88	99	99	101	106	13,6	0,0	5,0
2	200	196	183	200	192	200	201	7,1	4,2	0,5
3	300	295	288	300	295	305	305	2,4	1,7	0,0
4	400	389	382	395	391	404	405	1,8	1,0	0,2
5	500			494	490	495	495	-	0,8	0,0
Error rata rata setiap output %								6,3	1,5	1,1

TABEL 9  
PRESENTASE ERROR PARAMETER DAYA REAKTIF (VAR) SENSOR DENGAN PQA

No	Beban	Pengukuran Daya Reaktif (VAR)						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	100W+500mH	27	29	27	29	27	33	7,4	7,4	22,2
2	100W+980mH	45	47	45	48	45	48	4,4	6,7	6,7
3	100W+1250mH	51	53	53	55	52	55	3,9	3,8	5,8
4	100W+1600H	56	58	56	59	56	57	3,6	5,4	1,8
5	100W+2000H	58	61	58	60	57	61	5,2	3,4	7,0
Error rata rata setiap output %								4,9	5,3	8,7

TABEL 10  
PRESENTASE ERROR PARAMETER FAKTOR DAYA (Cos φ) SENSOR DENGAN PQA

No	Beban	Pengukuran Faktor Daya ( Cos φ )						Error %		
		Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3
		Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA			
1	100W+500mH	0,96	0,94	0,96	0,92	0,96	0,93	2,1	4,3	3,2
2	100W+980mH	0,87	0,84	0,87	0,83	0,87	0,84	3,6	4,8	3,6
3	100W+1250mH	0,8	0,76	0,79	0,75	0,79	0,75	5,3	5,3	5,3
4	100W+1600H	0,7	0,65	0,7	0,65	0,7	0,67	7,7	7,7	4,5
5	100W+2000H	0,59	0,52	0,58	0,52	0,59	0,52	13,5	11,5	13,5
Error rata rata setiap output %								4,9	5,3	8,7

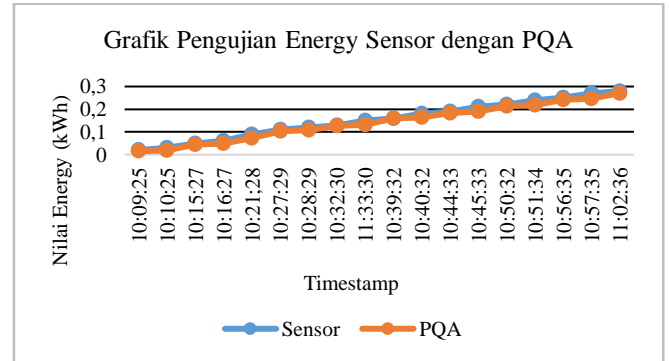
TABEL 11  
PRESENTASE ERROR PARAMETER FREKUENSI (Hz) SENSOR DENGAN PQA

Pengukuran Frekuensi (Hz)										Error %
Output 1		Output 2		Output 3		Out 1	Out 2	Out 3		
Sensor 1	PQA	Sensor 2	PQA	Sensor 3	PQA					
50	50,044	50	50,044	50	50,044	0,1	0,1	0,1	0,03	
Error rata rata %									0,03	

TABEL 12  
PRESENTASE ERROR PARAMETER ENERGI (kWh) SENSOR DENGAN PQA

No	Timestamp	Pengukuran Energi (Kwh)		Presentase Error (%)
		Sensor	PQA	
1	10:09:25	0,02	0,015	37,9
2	10:10:25	0,03	0,019	54,6
3	10:15:27	0,05	0,044	14,4
4	10:16:27	0,06	0,049	23,7
5	10:21:28	0,09	0,073	23,5
6	10:27:29	0,11	0,102	7,8
7	10:28:29	0,12	0,107	12,4
8	10:32:30	0,13	0,126	3,0
9	11:33:30	0,15	0,131	14,5
10	10:39:32	0,16	0,160	0,0
11	10:40:32	0,18	0,165	9,2
12	10:44:33	0,19	0,184	3,2
13	10:45:33	0,21	0,189	11,2
14	10:50:32	0,22	0,213	3,2
15	10:51:34	0,24	0,218	10,1
16	10:56:35	0,25	0,242	3,3
17	10:57:35	0,27	0,247	9,4
18	11:02:36	0,28	0,271	3,3
19	10:03:37	0,3	0,276	8,7
Error Rata – rata %				13,3

Khusus untuk pengujian sensor dalam mengukur energi dibanding dengan PQA pada Tabel 12, dapat dilihat bahwa terdapat presentase *error* yang sangat tinggi pada waktu 10:10:25 dengan presentase *error* mencapai 54,6%. Namun jika ditampilkan dalam bentuk grafik dalam Gambar 28, selisih antara energi yang diukur sensor dan PQA tampak kecil.



Gambar 28. Grafik pengujian energi (kWh) sensor dengan PQA

Setelah melakukan serangkaian pengujian pada parameter yang terdapat pada sensor dan PQA didapatkan nilai rata-rata presentase *error* dari setiap parameter tersebut yang ditunjukkan pada TABEL 13.

TABEL 13  
RATA-RATA PRESENTASE ERROR SETIAP PARAMETER

No	Parameter	Nilai Error Rata – rata %
1	Tegangan (V)	0,4
2	Arus (A)	3
3	Daya Aktif (W)	2,7
4	Daya Semu (VA)	2,9
5	Daya Reaktif (VAR)	6,3
6	Faktor Daya (Cos φ)	6,3
7	Frekuensi (Hz)	0,03
8	Energi (kWh)	13,3

Dari hasil tersebut bisa dilihat bahwa sensor yang digunakan memiliki kemampuan yang baik dalam mengukur parameter umum seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi dengan akurasi yang baik. Namun, untuk parameter yang terkhusus seperti faktor daya, energi, daya semu dan reaktif diperlukan kalibrasi lebih dalam mulai dari program hingga rumus.

### B. Pengujian LoRa

Pengujian *LoRa* dilakukan di lokasi yang mirip dengan lokasi penempatan *energy limiter* nantinya. Lokasinya berada di kampung Selambai, Kecamatan Loktuan, Bontang Utara, Kota Bontang. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan satu unit *LoRa sender* sebagai pemancar dan satu unit *LoRa receiver* sebagai penerima.

Pengujian ini dilakukan di area penduduk di sebuah kampung di atas laut. *LoRa receiver* dipasang di satu titik, selanjutnya *LoRa sender* ditempatkan secara bergantian pada 7 titik pengujian yang jaraknya dari *LoRa receiver* sebagai berikut:

- Titik A dengan jarak 30 meter dari *LoRa receiver*

HASIL PENGUJIAN LORA

No	Lokasi	Jarak (M)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Rata – rata	
					RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	A	30	-82	12,8	-83	12,88
			-82	13,3		
			-84	13,3		
			-83	12,5		
			-84	12,5		
2	B	65	-101	7,2	-102,6	2,92
			-103	4,7		
			-103	4,2		
			-102	1,5		
			-104	-3		
3	C	95	-105	-11	-104,8	-9,68
			-105	-8,3		
			-105	-11,3		
			-107	-6,5		
			-102	-11,3		
4	D	70	-	-	-	-
			-	-		
			-	-		
			-	-		
			-	-		
5	E	130	-	-	-	-
			-	-		
			-	-		
			-	-		
			-	-		
6	F	110	-	-	-	-
			-	-		
			-	-		
			-	-		
			-	-		
7	G	65	-109	-11,8	-110	-10,68
			-112	-10,3		
			-110	-10,8		
			-112	-10		
			-107	-10,5		

- Titik B dengan jarak 65 meter dari *LoRa receiver*
- Titik C dengan jarak 95 meter dari *LoRa receiver*
- Titik D dengan jarak 70 meter dari *LoRa receiver*
- Titik E dengan jarak 130 meter dari *LoRa receiver*
- Titik F dengan jarak 110 meter dari *LoRa receiver*
- Titik G dengan jarak 65 meter dari *LoRa receiver*

Gambar situasi letak titik pengukuran A hingga G dan letak *LoRa receiver* ditunjukkan pada Gambar 29 dan hasil pengujian setiap titik dapat dilihat pada

TABEL 14.



Gambar 29. Tata letak pengujian LoRa

TABEL 14

Berdasarkan Tabel 14, pengujian pada berbagai lokasi menunjukkan bahwa kualitas sinyal *LoRa* sangat dipengaruhi oleh jarak dan kondisi lingkungan sekitar. Pada lokasi A (30 m) tanpa hambatan, diperoleh RSSI -83 dBm dan SNR 12,88 dB, menunjukkan penerimaan sinyal sangat baik. Lokasi B (65 m) masih dapat menerima data dengan RSSI -102,6 dBm dan SNR 2,92 dB, sedangkan lokasi C (95 m) menunjukkan penurunan kualitas dengan RSSI -104,8 dBm dan SNR -9,68 dB, namun data tetap diterima. Pada lokasi D hingga F, tidak ada data yang masuk, diduga akibat penghalang berupa bangunan yang padat atau tidak sesuai antena yang digunakan. Lokasi G (65 m) meskipun jaraknya sama dengan B, memiliki kualitas sinyal lebih buruk (RSSI -110 dBm dan SNR -10,68 dB) karena kepadatan bangunan di sekitarnya, sehingga faktor lingkungan dan posisi fisik sangat penting dalam perencanaan penempatan node *LoRa*.

C. Pengujian Konsumsi Pembatas dan Reset Energi

Pengujian alat ini terbagi menjadi 3 *output* dimana *output* 1 dikhususkan untuk beban penerangan, kemudian *output* 2 dan 3 untuk beban dengan arus yang besar. Beban yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 30, daya beserta kuota pada setiap beban ditunjukkan pada TABEL 15 dan estimasi pemakaian dari setiap beban ditunjukkan pada TABEL 16.



Gambar 30. Beban yang digunakan

TABEL 15  
PEMBAGIAN BEBAN KUOTA DAN DAYA PADA OUTPUT

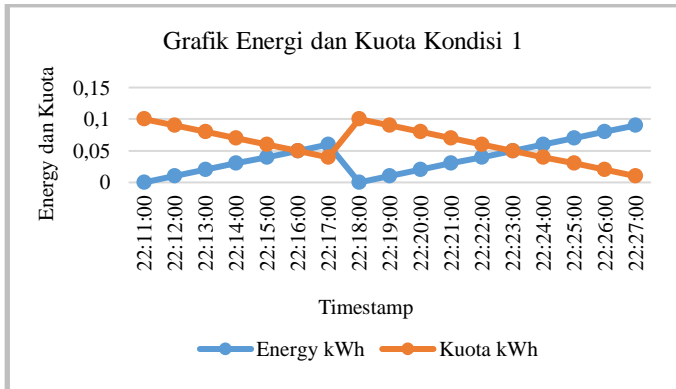
Output	Beban	Daya (W)	Kuota (Wh)
1	Lampu pijar	100 W	100 Wh
2	Charger handphone + setrika + solder	480 W	200 Wh
3	Charger laptop + setrika + kipas angin	525 W	200 Wh

TABEL 16  
ESTIMASI WAKTU PEMAKAIAN BEBAN

Output	Beban	Waktu (Jam)
1	Lampu pijar	1 jam
2	Charger handphone + setrika + solder	0,42 jam
3	Charger laptop + setrika + kipas angin	0,38 jam

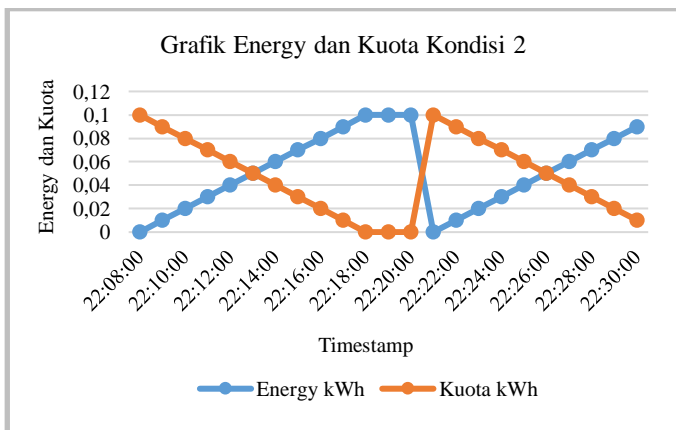
Setiap *output* diberikan kuota untuk membatasi penggunaan dari beban pada **TABEL 15**. Setiap *output* memiliki besar daya beban yang berbeda, oleh karena itu waktu maksimum penggunaan beban pada setiap output akan berbeda tergantung dari besar daya dan kuota yang ditetapkan.

Setelah melakukan pengelompokan dan menetapkan kuota masing-masing setiap *output*. Terdapat 2 kondisi yang muncul dimana kondisi tersebut tergantung dari penggunaan atau pemakaian kuota energi dari pengguna. Kondisi tersebut seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada **Gambar 31** dan **Gambar 32**.



Gambar 31. Grafik kuota dan energi ketika kondisi 1

Pada kondisi pertama (**Gambar 31**), grafik menunjukkan bahwa ketika kuota masih tersisa sebelum waktu *reset*, nilai energi terus meningkat seiring pemakaian. Namun, setelah waktu *reset* tercapai, sistem secara otomatis mengatur ulang nilai energi menjadi 0 kWh dan kuota kembali ke nilai awal sebesar 0,1 kWh. Pola ini menunjukkan bahwa sistem dapat mempertahankan pembatasan energi harian dan melakukan *reset* sesuai jadwal waktu yang ditentukan.



Gambar 32. Grafik kuota dan energi ketika kondisi 2

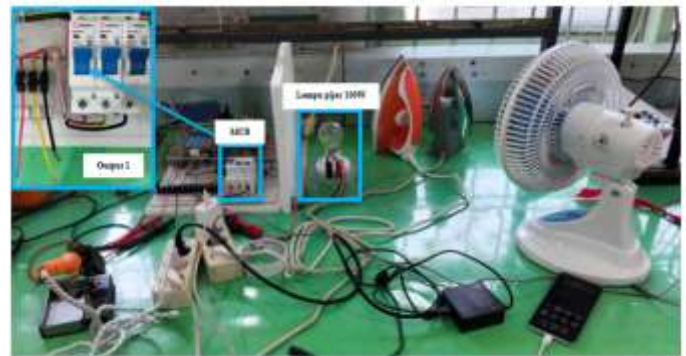
Sementara itu, pada kondisi kedua (**Gambar 32**) ketika kuota habis sebelum waktu *reset*, grafik memperlihatkan energi terus bertambah hingga kuota mencapai 0 kWh. Meskipun kuota habis, energi tetap tercatat hingga menyamai nilai kuota awal. Setelah mencapai titik tersebut, sistem melakukan reset

otomatis, yang ditandai dengan kembalinya grafik energi ke nol dan pengisian ulang kuota. Hasil ini membuktikan bahwa sistem dapat menangani dua skenario utama: saat kuota tersisa dan saat kuota habis, dengan mekanisme *reset* yang berjalan sesuai fungsi.

Setelah mengetahui kondisi tersebut maka dilakukan pengujian konsumsi energi dari setiap output dan *reset time*. Bertempat di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda.

1) Pengujian Output 1 Kondisi 1

Pada pengujian ini beban yang digunakan adalah lampu pijar dengan daya 100 W. Berdasarkan **Tabel 11** kuota yang diberikan adalah 100 Wh. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan lampu ke output, memantau nilai sisa kuota dari **LCD**. Pengujian dilakukan dari waktu 17:39 hingga 19:12 WITA. Berikut adalah pengujian energi pada *output 1* yang dapat dilihat pada **Gambar 33**.



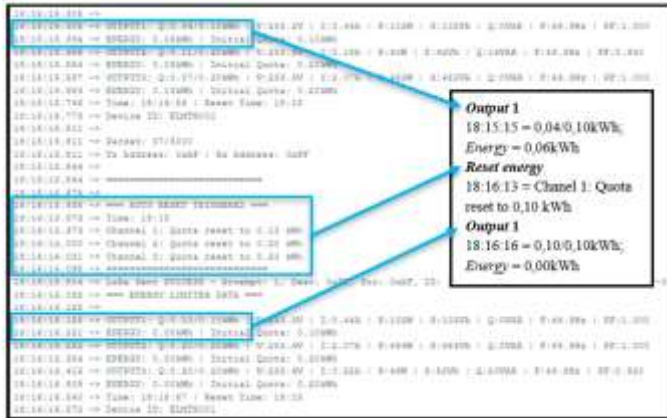
Gambar 33. Pengujian *output 1* kondisi 1

Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada **Tabel 16** dengan daya 100 W dan kuota 100 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 1 jam. Energi dengan *reset time* yang sudah ditentukan pada jam 18.15. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian *reset* energi dengan *reset time* yang sudah ditentukan pada jam 18.15. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada **TABEL 17**.

**TABEL 17**  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI DAN RESET TIME OUTPUT 1 KONDISI 1

No	Timestamp	Output 1	
		Energi kWh	Sisa Kuota kWh
1	17:39:06	0,00	0,10
2	17:42:07	0,01	0,09
3	17:47:08	0,02	0,08
4	17:53:10	0,03	0,07
5	18:00:12	0,04	0,06
6	18:05:13	0,05	0,05
7	18:11:14	0,06	0,04
8	18:16:16	0,00	0,10
9	18:20:16	0,01	0,09
10	18:26:17	0,02	0,08
11	18:31:19	0,03	0,07
12	18:38:20	0,04	0,06
13	18:43:21	0,05	0,05
14	18:49:22	0,06	0,04
15	18:55:23	0,07	0,03
16	19:00:24	0,08	0,02
17	19:07:26	0,09	0,01
18	19:12:27	0,10	0,00

Pada pengujian *output 1* kondisi 1 TABEL 17 konsumsi energi meningkat bertahap sebesar 0,01 kWh dari 0,00 kWh hingga 0,06 kWh, sementara kuota berkurang dari 0,10 kWh menjadi 0,04 kWh dalam 37 menit. Pada pukul 18:16:16 terjadi *reset* energi oleh PZEM, sehingga energi kembali ke 0,00 kWh dan kuota kembali ke 0,10 kWh. Terdapat gambar *serial print* untuk melihat kondisi pada saat terjadi *reset* energi yang dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Tampilan *serial print* pada saat reset energi pada *output 1* kondisi 1

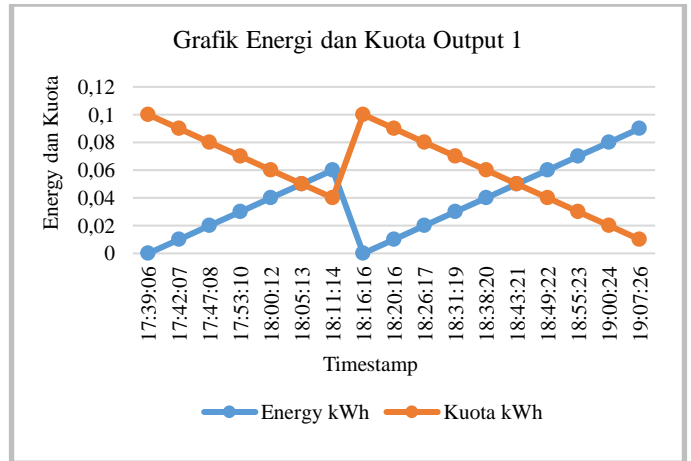
Setelah *reset*, kuota kembali berkurang dari 0,10 kWh hingga 0,00 kWh dalam 56 menit. Pada kondisi ini beban tidak dapat digunakan karena *relay 1* berada pada posisi *OFF* yang dapat dilihat pada Gambar 35. Tampilan *LCD*, dan grafik pengujian pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 36 dan Gambar 37.



Gambar 35. Kondisi *relay 1* pada saat OFF atau LOW kondisi 1



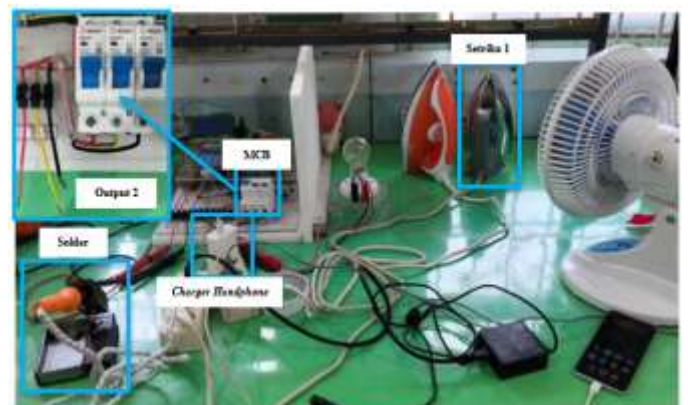
Gambar 36. Tampilan LCD *output 1* kondisi 1



Gambar 37. Grafik energi dan kuota *output 1* kondisi 1

2) *Pengujian Output 2 Kondisi 1*

Pada pengujian ini beban yang digunakan adalah *charger handphone*, setrika, dan solder Berdasarkan Tabel 15 kuota yang diberikan adalah 200 Wh. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan beban tersebut ke *output*, memantau nilai sisa kuota dari *LCD*. Pengujian dilakukan dari waktu 17:39 hingga 19:50 WITA Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 38.



Gambar 38. Pengujian *output 2* kondisi 1

Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada Tabel 16 dengan daya 480 W dengan kuota 200 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 0,42 jam. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian *reset*

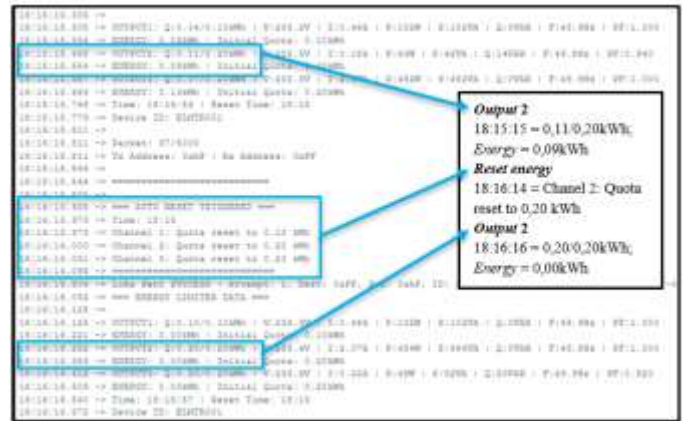
energi dengan *reset time* yang sudah ditentukan pada jam 18.15. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada

TABEL 18.

Pada pengujian *output 2* kondisi 1 pada Tabel 18 konsumsi energi meningkat bertahap sebesar 0,01 kWh dari 0,00 kWh hingga 0,09 kWh, sementara nilai kuota berkurang dari 0,20 kWh hingga 0,11 kWh dalam waktu 37 menit. Namun, pada pukul 18:16:16 energi yang terukur menjadi 0,00 kWh dengan nilai kuota yang menjadi 0,20 kWh hal ini terjadi karena pada waktu tersebut terjadi *reset* energi oleh *PZEM* sehingga nilai kuota menjadi seperti semula dan energi pada *PZEM* kembali ke 0,00 kWh. Terdapat gambar *serial print* untuk melihat kondisi pada saat terjadi *reset* energi yang dapat dilihat pada Gambar 39.

TABEL 18  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI DAN RESET TIME OUTPUT 2 KONDISI 1

No	Timestamp	Output 1	
		Energi kWh	Kuota kWh
1	17:39:06	0,00	0,20
2	17:40:08	0,01	0,19
3	17:44:09	0,02	0,18
4	17:48:10	0,03	0,17
5	17:52:10	0,04	0,16
6	17:56:10	0,05	0,15
7	18:01:12	0,06	0,14
8	18:05:13	0,07	0,13
9	18:09:14	0,08	0,12
10	18:13:15	0,09	0,11
11	18:16:16	0,00	0,20
12	18:19:16	0,01	0,19
13	18:23:17	0,02	0,18
14	18:27:17	0,03	0,17
15	18:32:19	0,04	0,16
16	18:36:19	0,05	0,15
17	18:40:20	0,06	0,14
18	18:44:21	0,07	0,13
19	18:49:22	0,08	0,12
20	18:53:23	0,09	0,11
21	18:58:24	0,10	0,10
22	19:02:25	0,11	0,09
23	19:07:26	0,12	0,08
24	19:11:27	0,13	0,07
25	19:16:26	0,14	0,06
26	19:20:28	0,15	0,05
27	19:24:29	0,16	0,04
28	19:30:31	0,17	0,03
29	19:36:32	0,18	0,02
30	19:43:33	0,19	0,01
31	19:50:34	0,20	0,00



Gambar 39. Tampilan *serial print* pada saat reset energi pada *output 2* kondisi 1

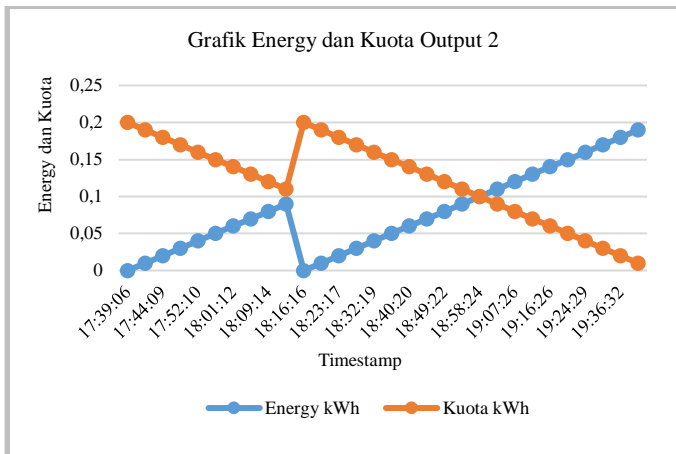
Setelah terjadi *reset* energi kuota kembali berkurang dengan dari nilai 0,20 kWh menjadi 0,00 kWh dengan selang waktu 1 jam 34 menit dari jam 18:16:16 hingga 19:50:34 pada baris ke 31 sehingga pada waktu tersebut beban tidak dapat digunakan dan *relay* menjadi *LOW* atau *OFF*. Berdasarkan tabel tersebut juga jelas terdapat perbedaan waktu yang cukup besar dari waktu estimasi pada saat perhitungan hal ini terjadi karena beban yang digunakan memiliki daya yang kecil terutama pada *charger handphone* dan juga solder. Kemudian, setrika yang digunakan juga mempengaruhi karena setrika terdapat pengatur suhu (*termostat*) dan tentunya setiap setrika memiliki spesifikasi yang berbeda-beda dan penggunaan beban juga telah dilakukan pada saat awal sebelum *reset* energi dimana *chager*, setrika, dan solder baru pertama kali digunakan sehingga membutuhkan daya yang besar. kondisi *relay 2* pada saat *OFF*, tampilan *LCD* pada saat kuota *output 2* habis, dan grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 40 hingga Gambar 42.



Gambar 40. Kondisi *relay 2* pada saat *OFF* atau *LOW* kondisi 1



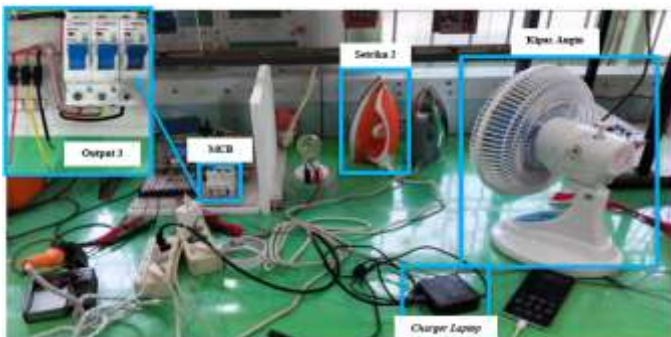
Gambar 41. Tampilan *LCD output 2* kondisi 1



Gambar 42. Grafik energi dan kuota output 2 kondisi 1

3) Pengujian Output 3 Kondisi 1

Pada pengujian ini beban yang digunakan adalah charger laptop, setrika, dan kipas angin Berdasarkan Tabel 15 kuota yang diberikan adalah 200 Wh. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan beban tersebut ke output, memantau nilai sisa kuota dari LCD. Pengujian dilakukan dari waktu 17:39 hingga 19:21 WITA Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 43.



Gambar 43. Pengujian output 3 kondisi 1

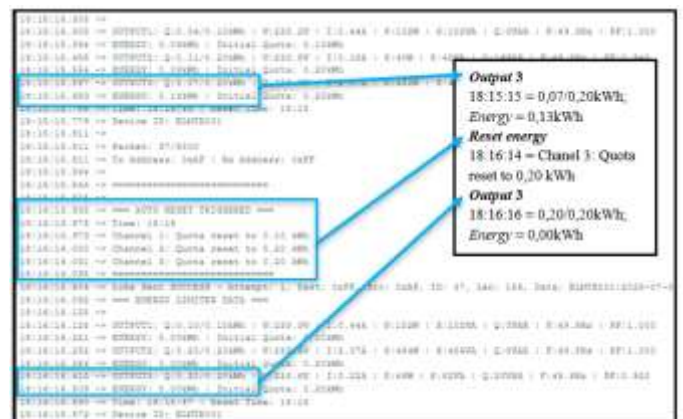
Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada Tabel 16 dengan daya 525 W dengan kuota 200 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 0,38 jam. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian reset energi dengan reset time yang sudah ditentukan pada jam 18.15. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada TABEL 19.

TABEL 19  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI DAN RESET TIME OUTPUT 3 KONDISI 1

No	Timestamp	Output 1	
		Energi kWh	Kuota kWh
1	17:39:06	0,00	0,20
2	17:40:08	0,01	0,19
3	17:42:07	0,02	0,18
4	17:44:09	0,03	0,17
5	17:47:08	0,04	0,16
6	17:50:10	0,05	0,15
7	17:53:10	0,06	0,14
8	17:56:10	0,07	0,13

9	17:59:12	0,08	0,12
10	18:02:12	0,09	0,11
11	18:05:13	0,10	0,10
12	18:08:13	0,11	0,09
13	18:11:14	0,12	0,08
14	18:14:15	0,13	0,07
15	18:16:16	0,00	0,20
16	18:19:16	0,01	0,19
17	18:21:16	0,02	0,18
18	18:25:17	0,03	0,17
19	18:28:18	0,04	0,16
20	18:31:19	0,05	0,15
21	18:34:19	0,06	0,14
22	18:37:19	0,07	0,13
23	18:41:21	0,08	0,12
24	18:44:21	0,09	0,11
25	18:48:22	0,10	0,10
26	18:52:23	0,11	0,09
27	18:55:23	0,12	0,08
28	18:59:24	0,13	0,07
29	19:02:25	0,14	0,06
30	19:05:25	0,15	0,05
31	19:07:26	0,16	0,04
32	19:11:27	0,17	0,03
33	19:14:27	0,18	0,02
34	19:18:27	0,19	0,01
35	19:21:29	0,20	0,00

Pada pengujian output 3 Tabel 19 menunjukkan hasil pengujian konsumsi energi sebelum dan sesudah dilakukan reset energi, Dapat terlihat ada Tabel 19 bahwa nilai energi semakin meningkat sebesar 0,01kWh secara bertahap dari 0,00 Wh hingga 0,13 Wh sementara nilai kuota berkurang dari 0,20 kWh hingga 0,07 kWh dalam waktu 37 menit. Namun, pada pukul 18:16:16 energi yang terukur menjadi 0,00 kWh dengan nilai kuota yang menjadi 0,20 kWh hal ini terjadi karena pada waktu tersebut terjadi reset energi oleh PZEM sehingga nilai kuota menjadi seperti semula dan energi pada PZEM kembali ke 0,00 kWh. Terdapat gambar serial print untuk melihat kondisi pada saat terjadi reset energi yang dapat dilihat pada Gambar 44.



Gambar 44. Tampilan serial print pada saat reset energi pada output 3 kondisi 1

Setelah terjadi reset energi kuota kembali berkurang dengan dari nilai 0,20kWh menjadi 0,00kWh dengan selang waktu 1 jam 5 menit dari jam 18:16:16 hingga 19:21:29 pada baris ke 35 sehingga pada waktu tersebut beban tidak dapat digunakan dan relay menjadi LOW atau OFF. Berdasarkan

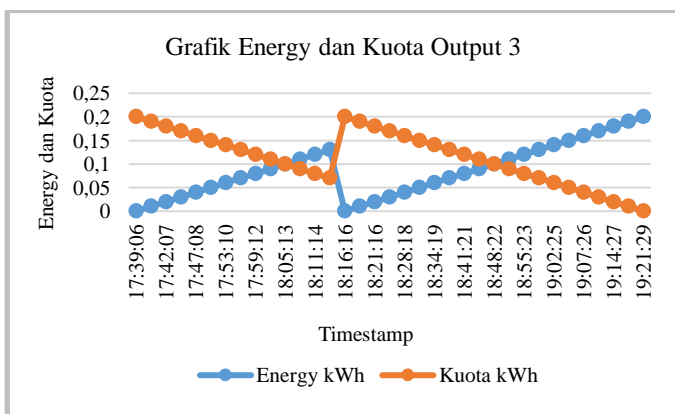
tabel tersebut juga jelas terdapat perbedaan waktu yang cukup besar dari waktu estimasi pada saat perhitungan hal ini terjadi karena beban yang digunakan memiliki daya yang kecil terutama pada *charger* laptop dan juga kipas angin. Kemudian, setrika yang digunakan juga mempengaruhi karena setrika terdapat pengatur suhu (*termostat*) dan tentunya setiap setrika memiliki spesifikasi yang berbeda-beda dan penggunaan beban juga telah dilakukan pada saat awal sebelum *reset energy* dimana *charger* laptop dan setrika baru pertama kali digunakan sehingga membutuhkan daya yang besar. Untuk kondisi *relay 3* pada saat *OFF*, tampilan LCD pada saat kuota *output 3* habis, dan grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 45 hingga Gambar 47.



Gambar 45. Kondisi *relay 3* pada saat OFF atau LOW kondisi 1

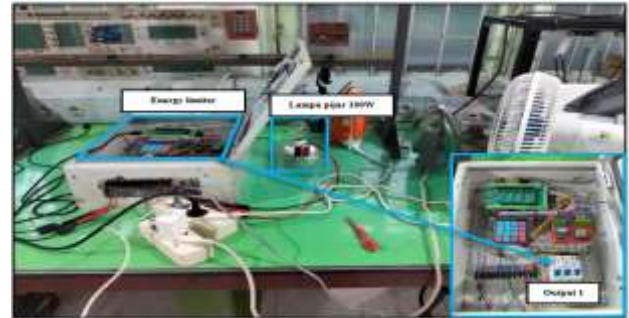


Gambar 46. Tampilan LCD *output 3* kondisi 1



Gambar 47. Grafik energi dan kuota *output 3* kondisi 1

menghubungkan beban tersebut ke *output*, memantau nilai sisa kuota dari LCD. Pengujian dilakukan dari waktu 19:16 hingga 21:56 WITA Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 48.



Gambar 48. Pengujian *output 1* kondisi 1

Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada Tabel 16 dengan daya 100 W dengan kuota 100 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 1 jam. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian *reset energy* dengan *reset time* yang sudah ditentukan pada jam 21.00. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada TABEL 20. Pengujian *output 1* kondisi 2 Tabel 20 menunjukkan konsumsi energi saat kuota habis, sebelum dan sesudah *reset*. Energi meningkat bertahap 0,01 kWh dari 0,00 kWh hingga 0,10 kWh, sementara kuota berkurang dari 0,10 kWh menjadi 0,00 kWh dalam 54 menit (19:16:46–20:11:01). Pada pukul 20:11 *relay OFF* menandakan kuota habis sehingga lampu mati. Kuota habis lebih cepat 6 menit dari estimasi karena konsumsi daya lampu pijar tidak sesuai label. Kuota tetap 0,00 kWh dan energi 0,10 kWh hingga *reset* pukul 21:01, di mana energi kembali 0,00 kWh dan kuota menjadi 0,10 kWh. Kondisi *reset* ini juga terlihat pada hasil *serial print* Gambar 48 menunjukkan sistem bekerja sesuai rancangan. Untuk kondisi *relay 1* pada saat *OFF*, tampilan LCD pada saat kuota *output 1* habis, grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 49 hingga Gambar 52.

TABEL 20  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI DAN RESET TIME OUTPUT 1 KONDISI 2

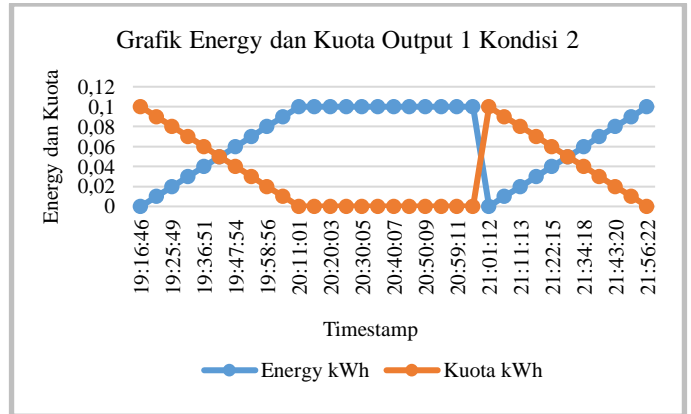
#### 4) Pengujian Output 1 Kondisi 2

Pada pengujian ini menggunakan beban yang sama pada kondisi 1 diatas. Berdasarkan TABEL 15 kuota yang diberikan adalah 100 Wh. Pengujian ini dilakukan dengan

No	Timestamp	Output 1	
		Energi kWh	Kuota kWh
1	19:16:46	0,00	0,10
2	19:19:48	0,01	0,09
3	19:25:49	0,02	0,08
4	19:30:50	0,03	0,07
5	19:36:51	0,04	0,06
6	19:41:53	0,05	0,05
7	19:47:54	0,06	0,04
8	19:52:55	0,07	0,03
9	19:58:56	0,08	0,02
10	20:04:57	0,09	0,01
11	20:11:01	0,10	0,00
12	20:15:01	0,10	0,00
13	20:20:03	0,10	0,00
14	20:25:03	0,10	0,00
15	20:30:05	0,10	0,00
16	20:35:06	0,10	0,00
17	20:40:07	0,10	0,00
18	20:45:09	0,10	0,00
19	20:50:09	0,10	0,00
20	20:55:10	0,10	0,00
21	20:59:11	0,10	0,00
22	21:01:12	0,10	0,00
23	21:01:12	0,00	0,10
24	21:05:12	0,01	0,09
25	21:11:13	0,02	0,08
26	21:16:14	0,03	0,07
27	21:22:15	0,04	0,06
28	21:27:16	0,05	0,05
29	21:34:18	0,06	0,04
30	21:39:19	0,07	0,03
31	21:43:20	0,08	0,02
32	21:50:21	0,09	0,01
33	21:56:22	0,10	0,00



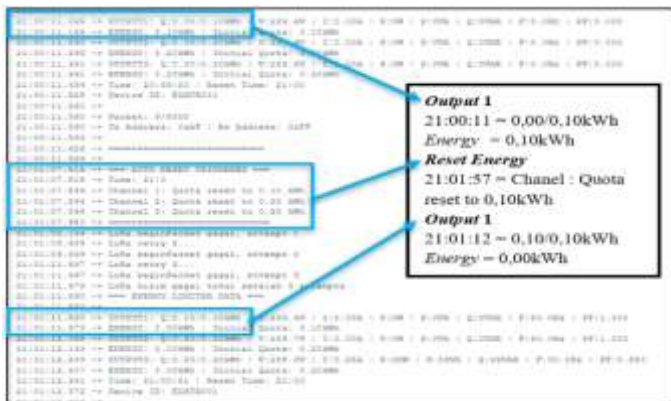
Gambar 51. Tampilan LCD output 1 kondisi 2



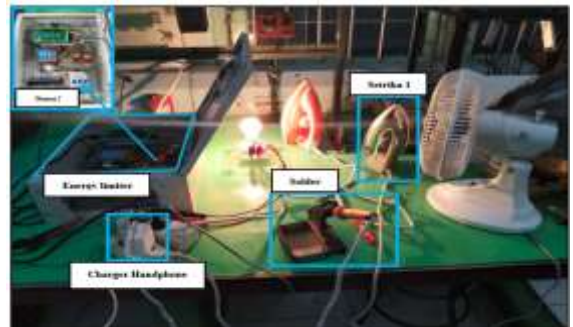
Gambar 52. Grafik energi dan kuota output 1 kondisi 2

5) Pengujian Output 2 Kondisi 2

Pada pengujian ini menggunakan beban yang sama pada kondisi 1 diatas. Berdasarkan TABEL 15 kuota yang diberikan adalah 200Wh. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan beban tersebut ke output, memantau nilai sisa kuota dari LCD. Pengujian dilakukan dari waktu 19:16 hingga 21:37 WITA Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 53.



Gambar 49. Tampilan serial print pada saat reset energi pada output 1 kondisi 2



Gambar 53. Pengujian output 2 kondisi 2



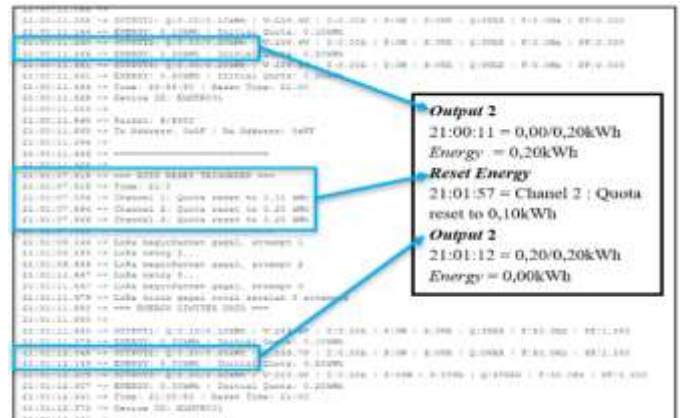
Gambar 50. Kondisi relay 1 pada saat OFF atau LOW kondisi 2

Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada Tabel 16 dengan daya 480 W dengan kuota 200 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 0,42 jam. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian reset energi dengan reset time yang sudah ditentukan pada jam 21.00. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada TABEL 21.

TABEL 21  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGY DAN RESET TIME OUTPUT 2 KONDISI 2

No	Timestamp	Output 1	
		Energy kWh	Kuota kWh
1	19:16:46	0,00	0,20
2	19:17:46	0,01	0,19
3	19:19:48	0,02	0,18
4	19:23:49	0,03	0,17
5	19:27:50	0,04	0,16
6	19:30:50	0,05	0,15
7	19:33:51	0,06	0,14
8	19:38:51	0,07	0,13
9	19:41:53	0,08	0,12
10	19:46:53	0,09	0,11
11	19:49:54	0,10	0,10
12	19:53:55	0,11	0,09
13	19:57:56	0,12	0,08
14	20:00:55	0,13	0,07
15	20:04:57	0,14	0,06
16	20:10:01	0,15	0,05
17	20:15:02	0,16	0,04
18	20:21:00	0,17	0,03
19	20:27:03	0,18	0,02
20	20:34:04	0,19	0,01
21	20:40:07	0,20	0,00
22	20:45:08	0,20	0,00
23	20:50:09	0,20	0,00
24	20:55:10	0,20	0,00
25	20:59:10	0,20	0,00
26	21:01:12	0,00	0,20
27	21:02:11	0,01	0,19
28	21:06:12	0,02	0,18
29	21:09:13	0,03	0,17
30	21:14:14	0,04	0,16
31	21:17:14	0,05	0,15
32	21:22:15	0,06	0,14
33	21:25:16	0,07	0,13
34	21:29:17	0,08	0,12
35	21:33:18	0,09	0,11
36	21:37:19	0,10	0,10

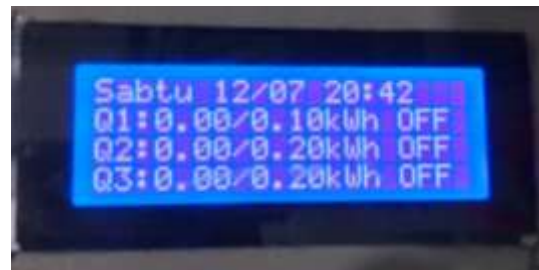
Pengujian *output 2* kondisi 2 TABEL 21 menunjukkan energi meningkat bertahap 0,01 kWh dari 0,00 kWh hingga 0,20 kWh, sementara kuota berkurang dari 0,20 kWh menjadi 0,00 kWh dalam 1 jam 23 menit (19:16:46–20:40:07). Pada pukul 20:40 relay *OFF*, menandakan kuota habis sehingga beban tidak dapat digunakan. Waktu habis lebih lama dari estimasi karena setrika memiliki spesifikasi termostat berbeda, serta beban seperti solder dan *charger* memiliki daya kecil sehingga konsumsi energi lambat. Kuota tetap 0,00 kWh dan energi 0,20 kWh hingga *reset* pukul 21:01, di mana energi kembali 0,00 kWh dan kuota menjadi 0,20 kWh. Proses *reset* terlihat pada *serial print* Gambar 54, sedangkan kondisi *relay OFF*, tampilan *LCD* saat kuota habis, grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 55 hingga Gambar 57, membuktikan sistem berfungsi sesuai rancangan.



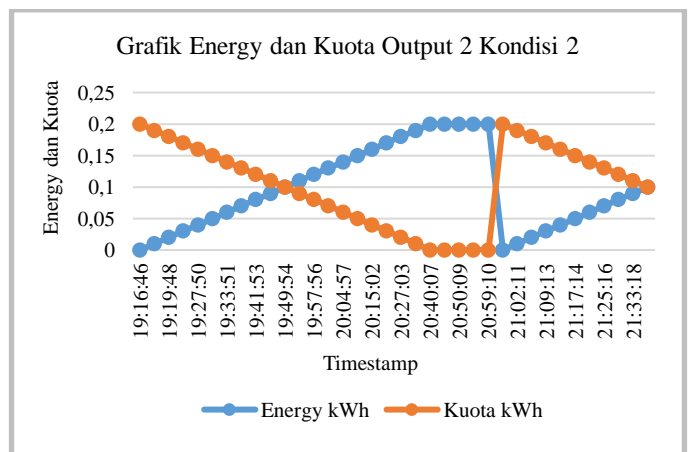
Gambar 54. Tampilan *serial print* pada saat reset energi pada *output 2* kondisi 2



Gambar 55. Kondisi *relay 2* pada saat OFF atau LOW kondisi 2



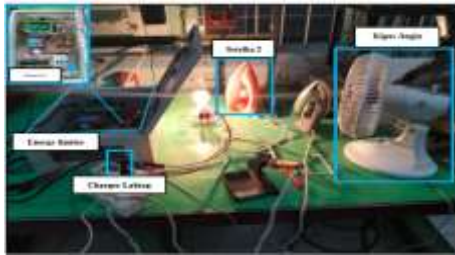
Gambar 56. Tampilan *LCD output 2* kondisi 2



Gambar 57. Grafik energi dan kuota *output 2* kondisi 2

6) Pengujian Output 3 Kondisi 2

Pada pengujian ini menggunakan beban yang sama pada kondisi 1 diatas. Berdasarkan Tabel 15 kuota yang diberikan adalah 200 Wh. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan beban tersebut ke output, memantau nilai sisa kuota dari LCD. Pengujian dilakukan dari waktu 19:16 hingga 21:25 WITA Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 58.



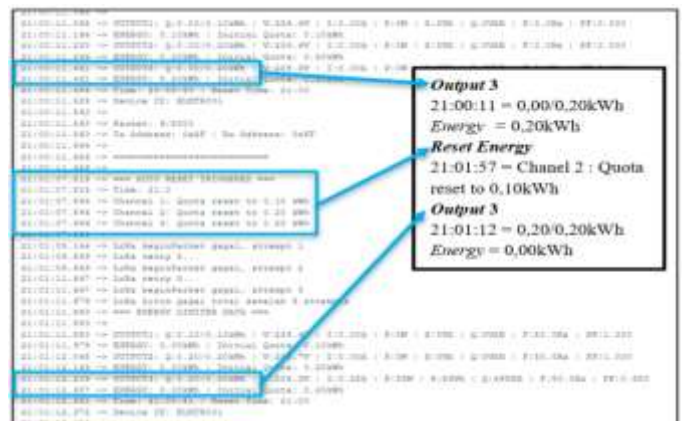
Gambar 58. Pengujian output 3 kondisi 2

Berdasarkan perhitungan estimasi waktu pemakaian pada Tabel 16 dengan daya 525 W dengan kuota 200 Wh maka waktu maksimum untuk pemakaian tersebut adalah 0,38 jam. Kemudian, pada pengujian ini juga dilakukan pengujian reset energi dengan reset time yang sudah ditentukan pada jam 21.00. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada TABEL 22.

TABEL 22  
HASIL PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI DAN RESET TIME OUTPUT 3 KONDISI 2

No	Timestamp	Output 1	
		Energi kWh	Kuota kWh
1	19:16:46	0,00	0,20
2	19:17:46	0,01	0,19
3	19:18:47	0,02	0,18
4	19:20:48	0,03	0,17
5	19:22:48	0,04	0,16
6	19:25:49	0,05	0,15
7	19:27:50	0,06	0,14
8	19:30:50	0,07	0,13
9	19:32:51	0,08	0,12
10	19:35:51	0,09	0,11
11	19:37:51	0,10	0,10
12	19:40:52	0,11	0,09
13	19:43:52	0,12	0,08
14	19:46:52	0,13	0,07
15	19:48:53	0,14	0,06
16	19:51:54	0,15	0,05
17	19:54:55	0,16	0,04
18	19:57:56	0,17	0,03
19	20:00:55	0,18	0,02
20	20:03:57	0,19	0,01
21	20:07:00	0,20	0,00
22	20:10:01	0,20	0,00
23	20:20:03	0,20	0,00
24	20:30:05	0,20	0,00
25	20:40:07	0,20	0,00
26	21:01:12	0,00	0,20
27	21:02:11	0,01	0,19
28	21:03:12	0,02	0,18
29	21:05:12	0,03	0,17
30	21:08:12	0,04	0,16
31	21:10:13	0,05	0,15
32	21:13:14	0,06	0,14
33	21:16:14	0,07	0,13
34	21:18:15	0,08	0,12
35	21:21:15	0,09	0,11
36	21:25:16	0,10	0,10

Pengujian output 3 kondisi 2 TABEL 22 menunjukkan energi meningkat bertahap 0,01 kWh dari 0,00 kWh hingga 0,20 kWh, sementara kuota berkurang dari 0,20 kWh menjadi 0,00 kWh dalam 50 menit 19:16:46–20:07:00. Pada pukul 20:07 relay OFF, menandakan kuota habis sehingga beban tidak dapat digunakan. Waktu habis lebih lama dari estimasi karena setrika memiliki spesifikasi termostat berbeda, serta beban seperti kipas angin dan charger memiliki daya kecil sehingga konsumsi energi lebih lambat. Kuota tetap 0,00 kWh dan energi 0,20 kWh hingga reset pukul 21:01, di mana energi kembali 0,00 kWh dan kuota menjadi 0,20 kWh. Proses reset terlihat pada serial print Gambar 59, sedangkan kondisi relay OFF, tampilan LCD saat kuota habis, grafik pengujian ditunjukkan pada Gambar 60 hingga Gambar 62, membuktikan sistem berfungsi sesuai rancangan.



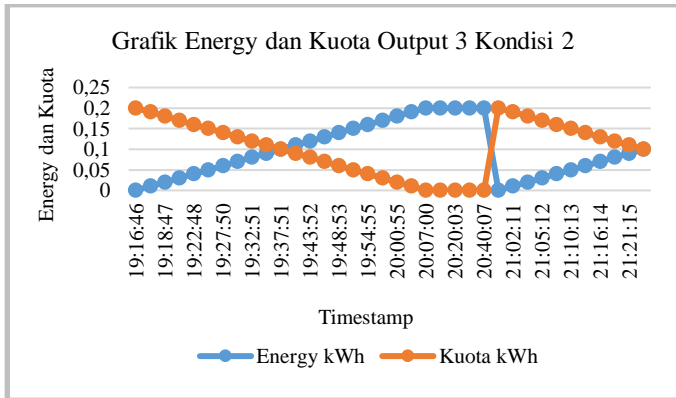
Gambar 59. Tampilan serial print pada saat reset energi pada output 3 kondisi 2



Gambar 60. Kondisi relay 3 pada saat OFF atau LOW kondisi 2



Gambar 61. Tampilan LCD output 3 kondisi 2



Gambar 62. Grafik energi dan kuota output 3 kondisi 2

Pengujian pada 3 output dengan 2 kondisi menunjukkan masih terdapat delay saat reset energi. Delay terjadi karena interval pemeriksaan RTC cukup besar, yaitu 1 menit “const unsigned long RTC\_CHECK\_INTERVAL = 60000;”. Misalnya, jika waktu reset seharusnya 18:16:19 namun pemeriksaan terakhir 18:15:30, sistem baru akan memeriksa kembali pada 18:16:30 sehingga reset tertunda. Pengaturan ini dipilih karena reset energi dilakukan sekali sehari dan interval 1 menit dianggap cukup. Berdasarkan Gambar 61, sistem hanya memeriksa jam dan menit, sehingga reset dapat terjadi kapan saja dalam rentang 18:16:00–18:16:59, memudahkan admin dalam mengatur waktu reset.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan dalam perancangan multi output energi limiter untuk PLTS komunal. Berikut adalah kesimpulan dari perancangan dan pembahasan yang telah dilakukan:

1. Sistem multi output energi limiter berfungsi dengan baik, mampu mengurangi energi sesuai kuota pada tiap output serta melakukan reset energi pada waktu yang ditetapkan.
2. Mikrokontroler berhasil mengontrol seluruh komponen pada penelitian sehingga sistem berjalan sesuai harapan.
3. Pengujian LoRa menunjukkan bahwa di lokasi A, B, C, dan G data masih dapat diterima meskipun RSSI dan SNR menurun, sedangkan di lokasi D, E, dan F data tidak diterima karena jarak antar rumah rapat dan posisi gateway/repeater kurang ideal.
4. ThingsBoard bekerja dengan baik, mampu menerima data dari gateway sesuai jadwal, mengelompokkan data, dan memvisualisasikan setiap parameter yang diterima.

### B. Saran

Dalam pengembangan multi output energi limiter dapat direkomendasikan penambahan fitur seperti pembagian nilai kuota secara otomatis berdasarkan output yang tersedia. Hal ini nantinya memudahkan admin dalam memasukkan nilai kuota hanya sekali memasukkan kuota saja. Kemudian, penggunaan antenna yang harus sesuai dengan LoRa yang digunakan dan juga

penempatan lokasi LoRa sender nantinya juga perlu diperhatikan.

## REFERENSI

- [1] A. D. Lestari, V. Prasetya, dan M. Yusuf, "Rancang bangun alat monitoring dan pembatas konsumsi energi listrik," *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2023, Politeknik Negeri Cilacap. ISSN: 2745-9292.
- [2] Y. I. Inasa, B. P. Lapanoro, dan I. Sanubary, "Rancang bangun alat kontrol pemakaian energi listrik berbasis Mikrokontroler Atmega 328P pada rumah indeks," *Prisma Fisika*, vol. 6, no. 3, pp. 220–227, 2018.
- [3] M. I. Suga dan H. Nurwarsito, "Sistem monitoring kWh meter berbasis modul komunikasi LoRa," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 1257–1266, Apr. 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- [4] J. M. Kadang dan J. Windarta, "Optimasi sosial-ekonomi pada pemanfaatan PLTS PV untuk energi berkelanjutan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 2, no. 2, pp. 74–83, Jul. 2021.
- [5] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), No. 1525, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018.
- [6] U. Muhammad, "Identifikasi permasalahan pengoperasian PLTS offgrid," *Journal of Electrical Engineering (Joule)*, vol. 4, no. 2, 33–42. –, Feb. 2023.
- [7] G. P. C. Handani, B. S. Gumilang, dan A. Zuroida, "Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk suplai daya sistem pemberian pakan ikan otomatis," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, Polinema, 2022.
- [8] Arduino, "Arduino® Mega 2560 Rev3," A000067 datasheet, Nov. 2024 [Revised Nov. 2024].
- [9] Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, Version 3.0, 2019.
- [10] S. Anwar, T. Artono, Nasrul, Dasrul, dan A. Fadli, "Pengukuran energi listrik berbasis PZEM-004T," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. –, Oct. 2019.
- [11] Suryono, Supriyati, Dadi, S. Kusumastuti, dan Sasongko, "Rancang bangun sensor gesture sebagai pengganti saklar pengontrol lampu tanpa sentuhan," *Orbith*, vol. 18, no. 1, pp. 53–63, Mar. 2022.
- [12] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, dan M. Pettissalo, "On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," in *14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, Copenhagen, Denmark, Dec. 02 - 04, 2015.
- [13] A. N. "Prinsip Kerja dari LoRa SX1278." Arduino Indonesia, Aug. 2022. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/08/prinsip-kerja-dari-lora-sx1278.html>. [Accessed: Oct. 2, 2024].
- [14] Maxim Intergrated, "Extremely accurate I2C-intergrated RTC/TCXO/ Crystal," DS3231 datasheet, [Revised Mar. 2015].
- [15] "MCB Miniature Circuit Breaker Chint NB1-3H1P," Chint Indonesia, [Online]. Available: <https://www.chint.id/product/mcb-miniature-circuit-breaker-chint-nb1-3h1p-p891329.aspx>. [Accessed: 26-Oct-2024].
- [16] A. Kamolan dan L. Sampebatu, "Rancang bangun prototipe pengaman ruangan dengan input kode PIN dan multi sensor berbasis mikrokontroler," *Jurnal Ampere*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, June 2021. DOI: 10.31851/ampere.
- [17] S. Nirwan dan M. S. Hafidz, "Rancang bangun aplikasi untuk prototipe sistem monitoring konsumsi energi listrik pada peralatan elektronik berbasis PZEM-004T," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 12, no. 2, Apr. 2020.
- [18] G. H. Prathama, D. Andaresta, dan K. Darmaastawan, "Instalasi framework IoT berbasis platform Thingsboard di Ubuntu Server," *TIERS Information Technology Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, Dec. 2021.