

Implementasi Visual Studio pada Sistem Monitoring Daya dan Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan Automatic Transfer Switch/Automatic Main Failure (ATS/AMF) Disuplai oleh Kombinasi Grid dan Photovoltaic (PV)

Andrian Eko Riftianto¹, Amirullah^{1*}

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. Ahmad Yani Frontage Road No. 114 Gayungan, Surabaya, 60231, Jawa Timur

*amirullah@ubhara.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i1.22151>

Submitted August, 26th 2023; Accepted March, 10th 2024; Published April 15th, 2024

Abstrak

Pemantauan konsumsi daya dan proteksi penggunaan peralatan listrik rumah tangga dengan sumber energi terpisah berbasis Internet of Things (IoT) dan jarak jauh, menjadi kebutuhan penting dimasa modern. Makalah mengusulkan implementasi sistem memonitoring tegangan dan arus yang dihasilkan dari output automatic transfer switch/automatic main failure (ATS/AMF) disuplai oleh sumber PLN (grid) dan pembangkit photovoltaic (PV). Perangkat elektronika daya ini digunakan untuk mengendalikan kombinasi dua sumber energi terpisah secara otomatis. Sensor PZEM-004t berfungsi untuk membaca nilai tegangan dan arus beban keluaran dari ATS/AMF. Arduino-Uno digunakan untuk mengendalikan rele proteksi supaya mampu memutuskan atau menyambung arus beban dimana parameter arus, tegangan, dan daya serta kinerja rele proteksi dimonitor semuanya oleh Visual-Studio. Hasil pengujian pada delapan beban yaitu: lampu LED 30 W, lampu LED 15 W, solder pemanas, charger ponsel, charger laptop, lampu hemat energi (LHE) spiral 5 watt, lampu pijar 5 watt, dan kipas portable dengan menggunakan sensor PZEM-004t dimonitor Visual Studio dan divalidasi multimeter memberikan nilai error pengukuran tegangan dan arus rata-rata masing-masing sebesar 0,448% dan 42,341%. Hasil pengujian proteksi rele menunjukkan bahwa jika sumber terhubung ke beban yang menyerap arus beban dibawah 0,6 A, maka indikator trip pada rele proteksi arus rebih belum menyala sehingga tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam keadaan OFF. Namun sebaliknya jika arus total beban sudah melebihi 0,6 A, maka indikator trip pada rele proteksi akan menyala sehingga saklar akan memutuskan arus beban. Pada kondisi ini tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam status ON.

Kata Kunci : monitoring, proteksi, grid, photovoltaic, visual studio

Abstract

Monitoring power consumption and protecting the use of household electrical equipment with separate and remote Internet of Things (IoT)-based energy sources, is an important requirement in modern times. This paper proposes the implementation of a voltage and current monitoring system resulting from the output of an automatic transfer switch/automatic main failure (ATS/AMF) supplied by a PLN (grid) source and a photovoltaic (PV) generator. This power electronics device is used to control the combination of two separate energy sources automatically. The PZEM-004t sensor functions to read the value of the output voltage and load current from the ATS/AMF. Arduino-Uno is used to control the protection relay so that it is able to disconnect or connect load currents where the parameters of current, voltage and power as well as the performance of the protection relay are all monitored by Visual-Studio. Test results on eight loads, namely: 30 W LED lamp, 15 W LED lamp, solder heater, cellular phone charger, laptop charger, 5 W spiral energy saving lamp (LHE), 5 W bulb lamp, and portable fan using the PZEM-004t sensor monitored by Visual Studio and validated by a multimeter, the average error values for voltage and current measurements were 0.448% and 14.561%, respectively. The results of the relay protection test show that if the source is connected to a load that absorbs the load current below 0.6 A, then the trip indicator on the overcurrent protection relay has not turned on so that the protection menu display in the Visual Studio application is OFF. On the other hand, if the total load current exceeds 0.6 A, the trip indicator on the protective relay will light up so that the switch will cut off the load current. In this condition, the display of the protection menu in the Visual Studio application is in ON status

Key words : monitoring, protection, grid, photovoltaic, visual studio

PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan masyarakat khususnya di dalam rumah tangga. Untuk menghindari pemborosan konsumsi dan menghindari arus gangguan akibat beban lebih, maka dibutuhkan pemantauan konsumsi energi listrik secara akurat. Untuk mengatasi kendala tersebut diperlukan sebuah alat monitoring energi dan proteksi arus beban lebih. Proteksi sistem tenaga adalah perlindungan terhadap beban dan komponen pembangkit dari beberapa gangguan yang disebabkan oleh ketidakstabilan listrik

itu sendiri maupun faktor eksternal lainnya. Contoh perlindungan sistem tenaga listrik yaitu adalah memutuskan arus beban jika arus yang mengalir di beban melebihi setting sakelar atau rele, sehingga komponen beban dan pembangkit tidak sampai mengalami gangguan atau kerusakan. Implementasi sistem proteksi arus dan tegangan pada saluran berbasis mikrokontroler Arduino-Mega sudah dirancang oleh (Widiantoro *et al.*, 2018). Sistem mampu memutuskan arus saluran jika arus beban nilainya melebihi dan tegangan sistem kurang dari nominal yang telah ditentukan. Rancang bangun sistem pemantauan daya listrik berbasis IoT menggunakan server thingspeak pada kamar kos sudah diimplementasikan oleh (Hudan, *et al.*, 2019). Hasil pengujian sensor ZMPT101b terhadap multimeter menunjukkan bahwa alat mampu memonitor nilai arus, tegangan, dan daya dengan error dibawah 5%. Sistem monitoring dan control kinerja panel surya menggunakan internet sudah dilakukan oleh (Alwi *et al.*, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa system mampu memantau kinerja pembangkitan daya oleh panel surya, pengisian, pelepasan tegangan dan kapasitas batere menggunakan server thingspeak dengan dimonitor oleh Labview.

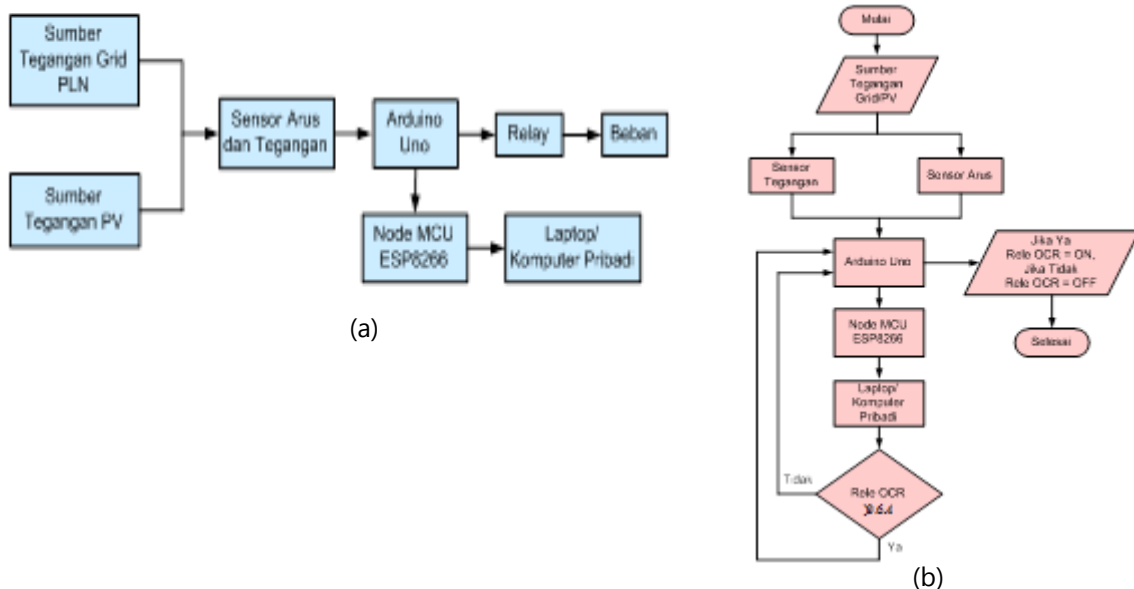
Implementasi konsumsi energi listrik dan pembatasan arus beban lebih menggunakan IoT sudah dikerjakan oleh (Ardiansyah *et al.*, 2020). Hasil pengujian alat selama dua jam pada sembilan beban listrik menggunakan sensor ZMPT101B dan ACS712 menghasilkan error tegangan dan arus masing-masing di bawah 5%. Sistem monitoring nilai tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik pada rumah tangga berbasis IoT sudah diobservasi oleh (Cahyanti *et al.*, 2020). Hasil pengujian menggunakan sensor PZEM-004T divalidasi dengan multimeter mampu memantau nilai arus tegangan, daya, dan energi secara real time dengan error dibawah 5%. Sistem monitoring daya listrik panel photovoltaic (PV) terhubung ke PLN (on-grid) menggunakan aplikasi Telegram yang divalidasi dengan metode logika fuzzy sudah dirancang oleh (Pratama *et al.*, 2021). Alat yang diusulkan mampu memonitor daya keluaran PV on-grid melalui smartphone melalui aplikasi Telegram secara real time. Rancang-bangun kWh-meter digital untuk menghemat konsumsi energi listrik dan memonitor tegangan, arus, dan faktor daya beban sudah dikerjakan oleh (Santoso *et al.*, 2020). kWh-meter digital dengan dibantu sejumlah perangkat berbasis IoT antara-lain: dengan sensor arus ACS712, sensor tegangan ZMPT101B dan Ethernet Shield W5100 sebagai akses internet-mampu memonitor tegangan, arus, dan faktor daya beban dari jauh dengan error dibawah 10% serta mampu menghemat konsumsi energi listrik rumah-tangga. Sistem proteksi daya listrik menggunakan sensor arus dan tegangan berbasis arduino sudah dirancang oleh (Syafuruddin *et al.*, 2021). Hasil perancangan menunjukkan bahwa sensor mampu memantau nilai tegangan dan arus masing-masing dengan error tegangan sebesar 0.5% dan 0.27% serta mampu mengendalikan rele untuk menyambung atau memutuskan arus listrik. Sistem monitoring daya, energi, faktor daya dan estimasi tarif listrik sudah diimplementasikan oleh (Adiwiranto *et al.*, 2022). Hasil pengujian menggunakan sensor PZEM-004T, prototipe alat mampu menghasilkan akurasi tegangan, arus, daya, faktor daya, konsumsi energi listrik masing-masing sebesar rata-rata diatas 97%. Pengujian alat terhubung pada lima peralatan listrik rumah tangga menghasilkan konsumsi energi listrik selama sebulan sebesar 43.56 kWh dengan estimasi biaya sebesar Rp 114.781.52.

Perangkat monitoring arus dan tegangan pembangkit PV yang terhubung dengan PLN (on-grid) berbasis IoT dalam kondisi tanpa beban dan beban menggunakan aplikasi Telegram sudah diterapkan oleh (Wijayanto *et al.*, 2022). Hasil pengujian sensor divalidasi dengan multimeter pada nilai arus dan tegangan menghasilkan error rata-rata masing-masing sebesar 0,14% dan 0,094%. Sistem monitoring dan kendali konsumsi daya peralatan listrik rumah tangga menggunakan IoT sudah dikembangkan oleh (Prayitno *et al.*, 2022). Perangkat utama alat terdiri dari mikrokontroler NodeMCU, sensor PZEM004T, dan rele. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu memonitor nilai arus, tegangan, dan daya listrik yang disimpan dalam bentuk database yang ditampilkan dalam bentuk aplikasi mobile, serta mampu juga dapat mengontrol on/off perangkat. Prototipe alat proteksi motor pada tegangan sumber dan pemantauan energi listrik yang dimonitor oleh Visual Studio sudah dikerjakan oleh (Cahyo *et al.*, 2018). Alat mampu mengukur tegangan sumber PLN, dan mengukur arus beban dengan memanfaatkan sensor arus menggunakan transformator arus. Atmega 16 berfungsi sebagai pengolah semua data dari semua parameter untuk menghasilkan nilai konsumsi energi listrik yang selanjutnya ditampilkan pada LCD 16 x 2. Berbeda dengan penelitian sebelumnya dimana masih menggunakan sumber energi listrik PLN (grid) atau

pembangkit PV secara terpisah, makalah mengusulkan prototipe alat dibantu Arduino-Uno untuk memonitoring tegangan dan arus yang dihasilkan dari output automatic transfer switch/automatic main failure (ATS/AMF) terhubung ke sumber listrik PLN (Grid) ke PV. Perangkat elektronika ATS/AMF digunakan untuk mengendalikan dan memindahkan sumber listrik Grid ke PV atau sebaliknya secara otomatis jika salah satu sumber tidak mampu melayani beban. Sensor PZEM-004t berfungsi membaca nilai tegangan dan arus beban keluaran dari ATS/AMF serta hasilnya divalidasi dengan pengukuran menggunakan multimeter. Arduino-Uno juga digunakan untuk mengendalikan rele proteksi supaya mampu memutuskan atau menyambung arus beban dimana parameter arus, tegangan, dan daya serta kinerja rele proteksi dimonitor semua oleh Visual-Studio.

METODE PENELITIAN

Peralatan elektronika daya digunakan untuk mengendalikan dan memindahkan sumber listrik grid PLN dan pembangkit photovoltaic (PV) secara otomatis dimana nilai tegangan dan arus dapat dimonitor oleh perangkat Visual-Studio serta mampu memutuskan arus beban lebih menggunakan Arduino-Uno. Gambar 1 menunjukkan blok diagram system yang diusulkan. Gambar 2 menunjukkan bagan alir mekanisme kerja alat. Komponen dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain: Modul Surya 20 Wattpeak (Wp), Solar Charged Controller (SCC), Battery VRLA 100 Ampere, Power Inverter DC-AC 1000-Watt, Laptop/Komputer Pribadi, Power Supply, Buck Converter DC-DC LM2596, Arduino Uno, Sensor Tegangan dan Arus PZEM-004T, NodeMCU ESP8266, dan Rele 5 Volt. Berdasarkan Gambar 1.a dan Gambar 1.b pada mode awal sistem bekerja menggunakan sumber tegangan dari PV. Energi matahari diserap oleh modul surya dan dikonversi menjadi energi listrik DC yang disimpan dalam batere. Selain disimpan dalam daya listrik DC selanjutnya dikonversi ke daya listrik AC menggunakan power inverter DC-AC. Tegangan dan arus output dari PLTS selanjutnya dideteksi oleh Sensor PZEM-004T. Dengan bantuan pemrograman Bahasa C++ pada komponen Arduino Uno. Setelah terhubung jaringan Wifi Internet, informasi nilai tegangan dan arus oleh NodeMCU ESP8266 dikirimkan ke laptop/komputer pribadi untuk ditampilkan dalam perangkat lunak Visual Studio. Selanjutnya jika nilai output dari PV lebih dari 0.6 Ampere, maka Arduino-Uno akan memerintahkan rele untuk bekerja (ON) dan memutuskan arus ke beban. Sebaliknya, jika nilai output dari PV kurang dari 0.6 Ampere, maka Arduino-Uno akan memerintahkan rele untuk tidak bekerja (OFF) dan tetap mengalirkan arus ke beban. Jika pembangkit PV tidak mampu memikul beban listrik, maka ATS/AMF akan berfungsi memindahkan sumber tegangan sistem dari pembangkit PV menuju grid PLN.

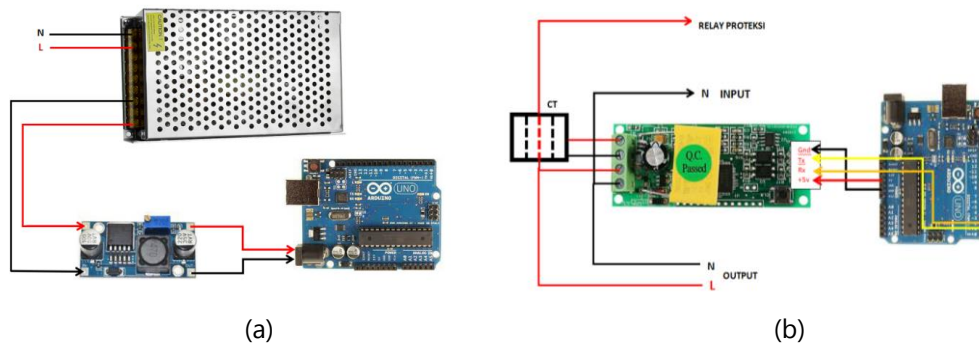


Gambar 1. (a) Blok diagram sistem yang diusulkan dan (b) bagan alir mekanisme kerja alat

Desain Rangkaian Power Supply

Switch Mode Power Supply (SMPS) adalah salah satu jenis power supply unit yang menggunakan metode switching yaitu dengan cara menghidupkan (on) dan mematikan (off) tegangan yang masuk

kedalam transformator menggunakan komponen-komponen elektronik pada frekuensi tertentu. SMPS mempunyai dua fungsi: (1) Power Supply adalah suatu peralatan elektronika yang berfungsi menyuplai daya listrik suatu beban dari sumber listrik yang karakteristik dayanya baik arus atau tegangan tidak sesuai dengan beban tersebut. Dalam sistem SMPS tegangan output yang dihasilkan adalah tegangan DC, dan (2) Switching Regulator adalah suatu rangkaian listrik yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan output terhadap perubahan-perubahan seperti, tegangan masukan, arus beban dan temperature ruangan yang tidak konstan. Gambar 2.a menunjukkan diagram koneksi power supply. Prosedurnya dilakukan dengan tahapan berikut. Langkah 1 menghubungkan sumber tegangan 220 V ke power supply 24 V. Langkah 2 menghubungkan output power supply 24 V ke input Step Down DC-DC 12 V. Langkah 3 menghubungkan output Step Down DC-DC 12 V ke input sumber tegangan mikrokontroler untuk menyalakan Arduino-Uno.



Gambar 2. (a) Diagram koneksi power supply dan (b) koneksi sensor PZEM-004t

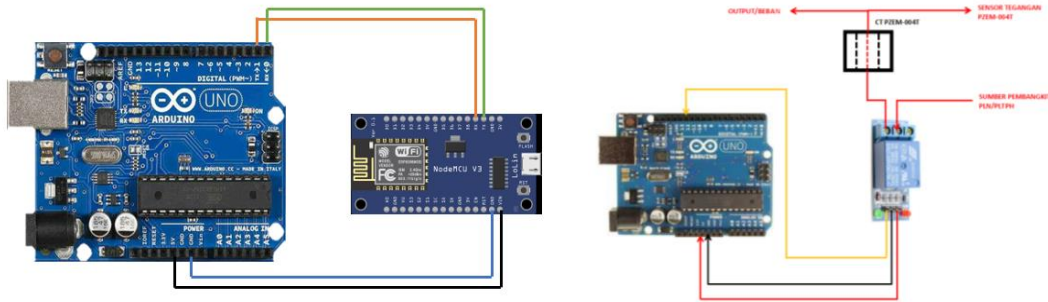
Desain Rangkaian Sensor Tegangan dan Arus PZEM-004T

Sensor PZEM 004T PZEM-004T adalah hardware yang berfungsi untuk mengukur parameter dari tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi daya. Modul ini juga melayani semua persyaratan dasar pengukuran PZEM-004T ini sebagai papan terpisah. Dimensi fisik papan PZEM-004T adalah $3,1 \times 7,4$ cm. Modul PZEM-004T dibundel dengan kumparan transformator arus berdiameter 33mm. Pengkabelan dari modul ini memiliki 2 bagian, yaitu pengkabelan terminal (Pemrograman Dasar Arduino, 2019).

Diagram koneksi sensor PZEM-004t ditunjukkan pada Gambar 2.b. Ada delapan tahap koneksi rangkaian ke sensor ini antara-lain: (1) Pin Vcc 5v dari PZEM-004T dihubungkan ke pin 5 V pada arduino uno, (2) Pin ground dari PZEM-004T dihubungkan ke pin ground pada arduino uno, (3) Pin Tx dari PZEM-004T dihubungkan ke pin Tx/2 digital pada arduino uno, (4) Pin Rx dari PZEM-004T dihubungkan ke pin 3 digital pada Arduino Uno. (5) Kabel +CT dihubungkan ke +input CT pada PZEM-004T, (6) Kabel -CT dihubungkan ke -input CT pada PZEM-004T, (7) Kabel phase(L) dari relay proteksi menuju ke pin phase (L) output dan pin input phase(L) PZEM-004T melewati lingkaran CT terlebih dahulu, dan (8) Kabel N input dihubungkan ke input (N) PZEM-004T dan ke output(N) (Pemrograman Dasar Arduino, 2019).

Desain Rangkaian NodeMCU ESP8266

Pada umumnya NodeMCU merupakan platform IoT dari pengembangan ESP8266 dengan firmware yang berbasis e-Lua. NodeMCU sendiri dilengkapi dengan micro USB port yang berfungsi untuk melakukan pemrograman. Pada modul NodeMCU juga dilengkapi dengan tombol push button, yaitu tombol reset dan flash. Bahasa pemrograman yang digunakan pada modul NodeMCU adalah bahasa Lua yang juga merupakan package dari ESP8266. Bahasa Lua memiliki sistematis logika dan susunan pemrograman yang sama dengan bahasa C. NodeMCU dapat dioperasikan jika terhubung Wifi sehingga dapat mengirim informasi menuju server. Gambar 5 menunjukkan diagram empat koneksi rangkaian NodeMCU ESP8266 ke Arduino Uno. (1) Pin Vin dari Nodemcu ESP 8266 dihubungkan ke pin 5v pada arduino uno, (2) Pin ground dari nodemcu esp 8266 dihubungkan ke pin ground pada arduino uno, (3) Pin Rx dari nodemcu esp 8266 dihubungkan ke pin Tx pada arduino uno, dan (4) Pin Tx dari nodemcu esp 8266 dihubungkan ke pin Rx pada arduino uno.



Gambar 3. (a) Diagram koneksi NodeMCU ESP8266, dan (b) koneksi relay 5 V ke Arduino Uno

Desain Rangkaian Diagram Relay 5 V ke Arduino Uno

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (coil) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan Relay yang menggunakan Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan armature relay (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A. Diagram tiga koneksi relay 5 V ke Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 6. Koneksi tersebut adalah: (1) Pin vcc dari relay 5 V dihubungkan ke pin 5 V pada arduino uno, (2) Pin ground dari relay 5 V dihubungkan ke pin ground pada arduino uno, dan (Pin input dari relay 5 V dihubungkan ke pin 9 digital pada arduino uno (Pemrograman Dasar Arduino, 2019).

Desain Perangkat Lunak

<pre> CODING ARDUINO /***** Includes ***** */ #include <SoftwareSerial.h> #include <PZEM004Tv30.h> // Install library PZEM004Tv30 version 1.1.2 #include <OneWire.h> // Install library OneWire version 2.3.5 #include <DallasTemperature.h> // Install library DallasTemperature version 3.9.0 /***** Defines *****/ #define SERIAL_SPEED 9600 #define SERIAL_LEN 400 #define PZEM_INPUT_TX_PIN 3 #define PZEM_INPUT_RX_PIN 2 #define PZEM_OUTPUT_TX_PIN 7 #define PZEM_OUTPUT_RX_PIN 6 #define SUHU_DATA_PIN 5 #define FAN_DATA_PIN A4 #define SOURCE_DATA_PIN A5 #define MODE_DATA_PIN A0 #define RELAY_1_PIN 9 #define RELAY_2_PIN 12 #define RELAY_3_PIN 11 #define RELAY_4_PIN 10 #define RELAY_SUMBER RELAY_4_PIN #define RELAY_PROTEKSI RELAY_1_PIN #define RELAY_SUHU RELAY_2_PIN #define RELAY_FAN RELAY_3_PIN </pre> <p>(a)</p>	<pre> CODING ESP8266 #include <ESP8266WiFi.h> // Install esp8266 by ESP8266 Community version 2.6.3 #include <PubSubClient.h> // Install Library by Nick O'Leary version 2.7.0 #include "mqtt_secrets.h" WiFiClient espClient; PubSubClient client(espClient); uint32_t current_time; uint32_t previous_time; uint32_t chart_time; uint32_t led_time; bool led_state = false; #define PAYLOAD_LEN 100 char payload_get[PAYLOAD_LEN]; bool mqtt = false; #define SERIAL_LEN 1000 char text[SERIAL_LEN]; char ssid[] = "Redmi10"; char pass[] = "isiensembarang"; typedef struct { float voltage = 0.0; float current = 0.0; float power = 0.0; float energy = 0.0; float frequency = 0.0; float pf = 0.0; </pre> <p>(b)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Gambar 4. Bagian koding (a) Arduino Uno dan (b) perangkat lunak NodeMCU ESP8266

Tahap selanjutnya adalah desain perangkat lunak. Proses ini dibagi menjadi dua bagian yaitu: Desain perangkat lunak Arduino Uno dan desain perangkat lunak NodeMCU. Pada bagian pertama dilakukan perancangan pembuatan software atau program di mikrokontroler atau Arduino Uno terhadap komponen sensor tegangan, sensor arus, dan relay 5v pada Arduino IDE yang terdiri dari Editor Program, Compiler

dan Uploader. Gambar 6.a menunjukkan bagian koding perangkat lunak Arduino Uno (Pemrograman Dasar Arduino, 2019). Pada tahap ini dilakukan desain software monitoring sebagai program untuk menjalankan alat yang sudah didesain sebelumnya dimana kinerjanya dimonitoring oleh PC/Laptop dengan memanfaatkan koneksi internet. Gambar 6.b menunjukkan bagian koding perangkat lunak NodeMCU ESP8266.

Visual Studio Code

Visual Studio Code adalah source code editor yang dikembangkan Microsoft yang bisa digunakan pada berbagai platform (Linux, Mac OS dan Microsoft). Visual Studio Code adalah Software yang sangat ringan, namun kuat editor kode sumbernya yang berjalan dari desktop. Muncul dengan built-in dukungan untuk JavaScript, naskah dan Node.js dan memiliki array beragam ekstensi yang tersedia untuk bahasa lain, termasuk C ++, C #, Python, dan PHP. Hal ini didasarkan sekitar Github ini Elektron, yang merupakan versi cross-platform dari Atom komponen kode-editing, berdasarkan JavaScript dan HTML5.

Visual Studio Code telah dirancang untuk bekerja dengan alat-alat yang ada, dan Microsoft menyediakan dokumentasi untuk membantu pengembang bersama, dengan bantuan untuk bekerja dengan ASP.NET 5, Node.js, dan Microsoft naskah, serta alat-alat yang dapat digunakan untuk membantu membangun dan mengelola aplikasi Node.js. Visual Studio Code benar-benar sedang ditargetkan pada pengembang JavaScript yang ingin alat pengembangannya lengkap untuk scripting server-side mereka dan yang mungkin ingin usaha dari Node.js untuk kerangka berbasis NET. Visual Studio Code, adalah belum solid, lintas platform kode Editor ringan, yang dapat digunakan oleh siapa saja untuk membangun aplikasi untuk Web.

Komponen pada Visual Studio Code berjumlah delapan. Komponen tersebut meliputi: Customize, Command Palette, Integrated Terminal, Extension: Extension, Search, Grid Editor Layout, Color Themes, dan Cloud Environment. Ada sembilan extension pada Visual studio Code meliputi: Live server, GitLens, Prettier (Code Formatter), Auto Rename Tag, Beautify, Open In Browser, CSS Peek, Indent Rainow, dan SQL Server. Dengan keberadaan sejumlah komponen tersebut, maka Visual Studio Code mempunyai sejumlah kelebihan antara-lain: mudah untuk mengelola extension, memiliki extension yang banyak, kontribusi tampilan, dukungan bahasa, text editor gratis, dan dapat membuat Snippet sendiri.

Analisis Error Pengukuran

Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan menggunakan perangkat keras sensor PZEM-004t yang dimonitoring oleh perangkat lunak Visual Studio dan divalidasi oleh multimeter. Hasil pengukuran keduanya selanjutnya dibandingkan hasilnya, sehingga didapat nilai selisih atau error pengukuran yang dinyatakan dalam Persamaan 1.

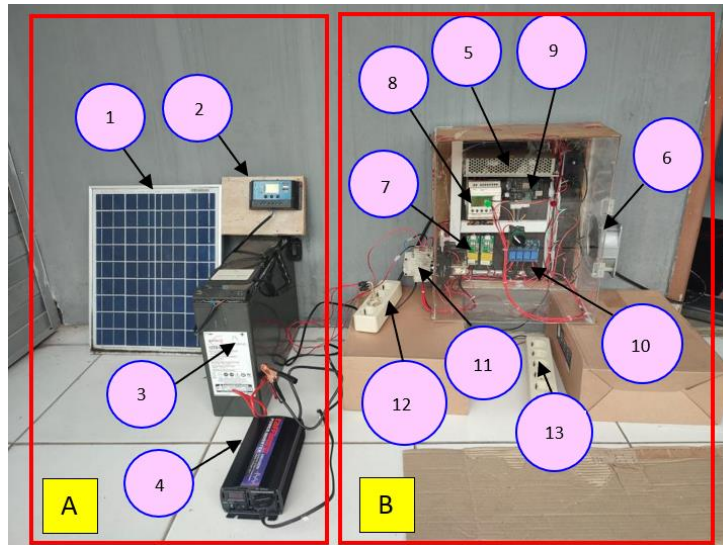
$$\text{Kesalahan Pengukuran (\%)} = \frac{V_{out\ Sensor} - V_{out\ Multimeter}}{V_{out\ Sensor}} \dots \dots \dots (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Desain Perangkat Keras

Gambar 5 menunjukkan implementasi desain perangkat keras. Ada dua bagian utama alat yaitu (A) bagian perangkat keras pembangkit PV dan (B) bagian perangkat keras sistem monitoring energi listrik dan proteksi arus lebih. Bagian perangkat keras pembangkit PV antara-lain: (1) Panel Surya 20 Wp sebagai penyerap sinar matahari yang berfungsi mengubah energi cahaya ke energi listrik melalui proses photoelektrik, (2) Solar Charge Controller (SCC) sebagai pengontrol pengisian daya listrik dari modul surya ke baterai, dan mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan, (3) Baterai VRLA (12 V-100 A) sebagai penyimpanan energi listrik yang ditangkap dari sel surya, dan (4) Inverter sebagai konverter daya listrik dari arus searah (DC) menjadi bolak-balik (AC). Sedangkan bagian dari perangkat keras sistem monitoring energi listrik dan proteksi arus lebih adalah: (5) Power Supply 24 V sebagai penghasil sumber vcc input tegangan rendah 24 V, (6) Kipas DC sebagai pendingin suhu alat, (7) Sensor arus dan tegangan PZEM-004t sebagai pembaca arus dan tegangan yang dihasilkan sebelum menuju beban, (8) Mini PLC smart rele sebagai transfer switch otomatis sumber tegangan masuk PLN-PLTS, (9) Arduino Uno berfungsi sebagai pengolah data sensor tegangan dan arus, melakukan eksekusi pada modul rele, serta NodeMCU ESP8266

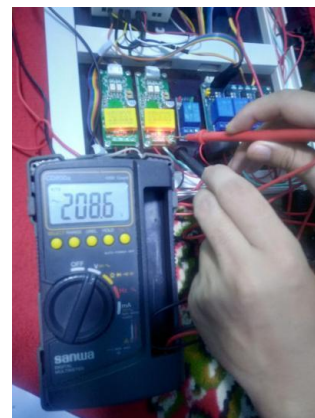
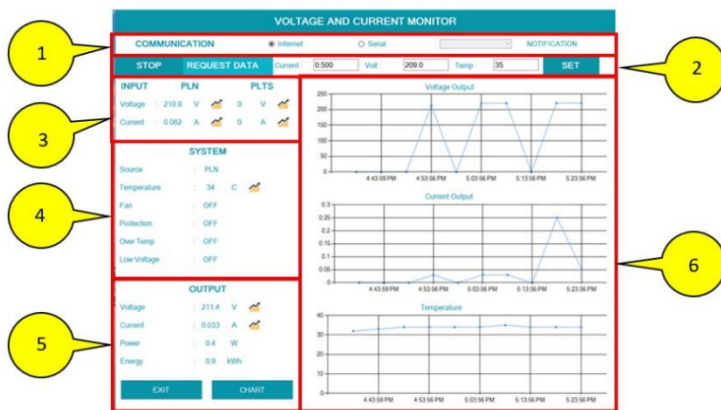
sebagai modul wifi untuk mengirim data dari sensor ke PC/Laptop, (10) Modul rele dengan nominal nilai maksimal 30 VDC, 250 VAC, 10 A sebagai switching energi listrik dari sumber ke beban, (11) MCB sebagai pembatas arus masukan PLN/PLTS, serta (12) dan (13) sebagai beban listrik.



Gambar 5. Implementasi desain perangkat keras

Implementasi Desain Perangkat Lunak

Gambar 6a menunjukkan tampilan kontrol dan monitoring pada Laptop/PC. Tampilan layar perancangan perangkat lunak sistem monitoring energi listrik dan proteksi arus lebih terdiri dari enam bagian yaitu: (1) Communication, (2) Start/stop dan setting, (3) Display input energi listrik, (4) Display system, (5) Display output, dan (6) Display grafik. Communication digunakan sebagai pilihan komunikasi antara perangkat keras ke laptop, terdapat dua pilihan komunikasi: (a) Internet sambungan komunikasi yang mengandalkan koneksi internet dengan menggunakan esp8266, (b) Serial sambungan komunikasi yang mengandalkan kabel koneksi yang terhubung langsung ke arduino. Menu start/stop digunakan untuk memulai dan menghentikan perangkat lunak. Pada bagian ini terdapat menu request data sebagai request penampil data ketika ada delay, menu setting sebagai setting pembatas tegangan dan arus listrik serta menu setting temperatur suhu perangkat keras. Display input digunakan untuk menampilkan data tegangan dan arus yang masuk dari Grid maupun PV.



(a)

(b)

Gambar 6. (a) Tampilan Kontrol Dan Monitoring Pada Laptop/PC dan (b) pengujian tegangan menggunakan Sensor Tegangan PZEM-004t

Display system terdiri dari: (a) Source yang digunakan untuk mengetahui jenis sumber energi listrik yang sedang dipakai/sedang berjalan, (b) Temperature digunakan untuk mengetahui suhu dalam panel perangkat keras alat, (c) Fan digunakan untuk mendinginkan suhu dalam panel perangkat keras ketika

melebihi settingan yang telah ditentukan, (d) Protection digunakan untuk mengetahui kondisi perangkat ketika proteksi arus melebihi settingan yang telah ditentukan, juga bisa sebagai perintah untuk menghidupkan kembali, (e) Over temperature digunakan untuk mengetahui suhu panel ketika melebihi suhu yang telah ditentukan, (f) Low voltage digunakan untuk mengetahui bahwa tegangan sumber berada dibawah settingan yang telah ditentukan. Display grafik digunakan untuk menampilkan grafik output yang berisi output tegangan dan arus serta temperatur suhu panel perangkat keras.

Pengujian sistem

Pengujian program bertujuan untuk menentukan apakah program yang telah di buat sesuai dengan penggunaan sistem yang diinginkan tanpa menyebabkan error pada program Arduino-Uno pada mikrokontroler. Sebelum melakukan pengujian dan analisis dari alat ini perlu diketahui cara pengoperasiannya agar pada saat melakukan pengujian tidak terjadi kesalahan. Untuk kehandalan suatu alat diperlukan pengujian dan pembahasan terhadap alat itu sendiri. Sehingga dalam penggunaan alat ini, dapat menghasilkan sebuah rangkaian yang dapat bekerja dengan baik dan dapat dioperasikan dengan baik juga. Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter komponen yang terdapat pada sistem yang telah dirancang. Sehingga menghasilkan pengujian yang sesuai dengan yang rancangan sebelumnya dan dapat melakukan pengukuran pada beban. Pengujian dilakukan pada delapan beban, yaitu: Lampu LED 30 W, LED 15 W, solder pemanas, charger telepon seluler (ponsel), charger laptop, lampu LHE spiral 5 W, lampu pijar 5 W, dan kipas angin portable.

Pengujian Sensor Tegangan PZEM-004t

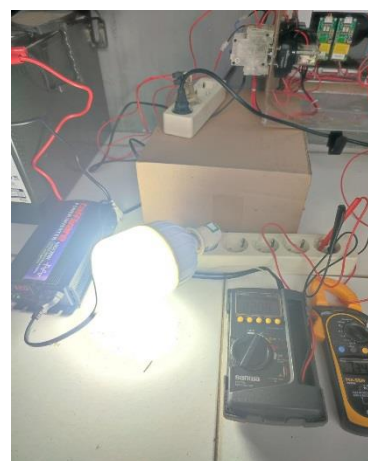
Sensor PZEM-004t ini merupakan sensor tegangan yang menggunakan transformer step down sebagai media untuk mengkonversikan parameter tegangan sebenarnya ke parameter tegangan yang akan dibaca oleh Arduino yang nantinya diproses lebih lanjut. Sampai mendapatkan perbandingan nilai yang pas terhadap alat ukur yang sekiranya lebih presisi. Hasil pengujian menggunakan sensor PZEM-004t selanjutnya dibandingkan hasilnya dengan pengujian menggunakan multimeter. Pengujian menggunakan Sensor Tegangan PZEM-004t ditunjukkan pada Gambar 8b.

Hasil Pengujian Prototipe Alat Terhubung Beban

Pengujian dilakukan pada delapan beban, yaitu: Lampu LED 30 W, LED 15 W, solder pemanas, charger ponsel, charger laptop, lampu LHE spiral 5 W, lampu pijar 5 W, dan kipas portable. Gambar 9 menunjukkan pengujian monitoring menggunakan beban Lampu LED 30 W, dimana nilai tegangan dan arus dimonitoring oleh Sensor PZEM-004t-Visual Studio dan Multimeter.



(a) Sensor PZEM-004t Visual Studio



(b) Multimeter

Gambar 7. Pengujian monitoring menggunakan beban Lampu LED 30 watt

Gambar 7 menunjukkan bahwa pengujian monitoring menggunakan sensor PZEM-004t visual studio dengan beban Lampu LED 30 watt menghasilkan nilai tegangan, arus, dan daya masing-masing 221 V, 0.233 A, dan 23.8 W. Pengujian dengan beban sama menggunakan multimeter menghasilkan nilai tegangan dan arus masing-masing 220,9 V dan 0.134 A. Dengan prosedur yang sama, selanjutnya pengukuran monitoring menggunakan beban lampu LED 15 watt, solder pemanas, charger ponsel, charger laptop 45 watt, lampu LHE spiral 5 watt, lampu pijar 5 watt, dan kipas portable disajikan serta hasilnya disajikan seluruhnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian monitoring menggunakan sensor PZEM-004t dan multimeter

No	Beban	Sensor PZEM-004t			Multimeter		Error Tegangan (%)	Error Arus (%)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)		
1	Lampu LED 30 W	220.0	0.233	28.3	220.9	0.134	0.409	42.489
2	Lampu LED 15 W	219.6	0.115	14.6	220.3	0.066	0.319	42.609
3	Solder Pemanas	221.0	0.141	30.1	219.6	0.124	0.633	12.057
4	Charger Ponsel	219.8	0.100	10.4	220.9	0.18	0.500	80.000
5	Charger Laptop 45 W	220.9	0.254	49.2	220.4	0.214	0.226	15.748
6	Lampu Spiral 5 W	220.3	0.057	5.4	220.7	0.020	0.182	64.912
7	Lampu pijar 5W	221.0	0.275	60.1	219.7	0.256	0.588	6.9091
8	Kipas angin portable	221.2	0.050	4	219.6	0.013	0.723	74.000
Error Rata-Rata							0.448	42.341

Dengan menggunakan Persamaan 1, selanjutnya error pengukuran tegangan dan arus antara pengujian monitoring menggunakan sensor PZEM-004t dan multimeter, pada masing-masing delapan beban ditentukan nilainya, sebagai dasar untuk menentukan nilai rata-rata error keseluruhan. Berdasarkan analisis perhitungan pada Tabel 1 diperoleh bahwa menggunakan sensor PZEM-004t dan multimeter memberikan nilai error pengukuran tegangan dan arus rata-rata masing-masing sebesar 0.448% dan 42.341%.

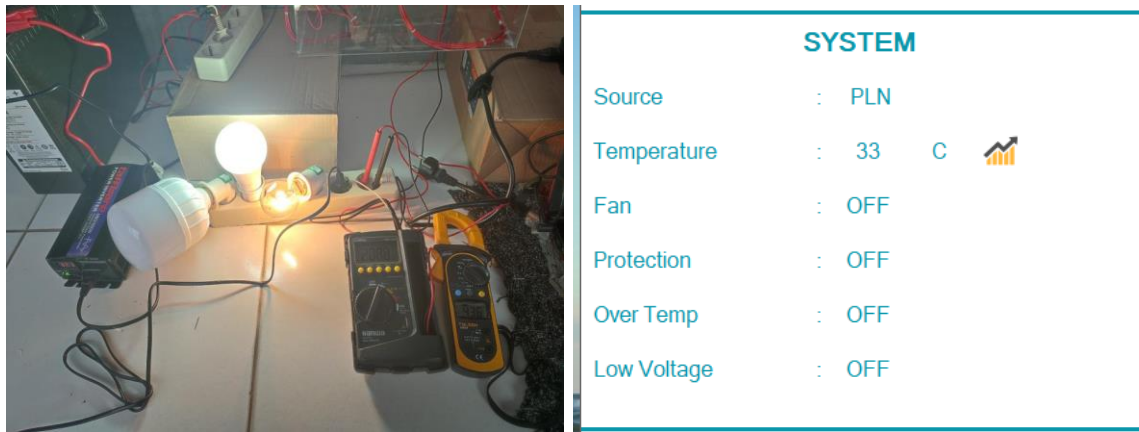
Pengujian Rele Proteksi Arus Beban Lebih

Percobaan protekai dilakukan dengan menggunakan rele arus lebih untuk melindungi alat dengan cara membatasi arus beban sebesar maksimal 0,6 A. Jika nilai arus beban melebihi nilai 0,6 A, maka rele proteksi akan trip sehingga beban keseluruhan akan padam. Sebaliknya jika nilai arus beban berada dibawah 0,6 A, maka rele proteksi tidak bekerja sehingga sistem mampu bekerja normal dan melayani beban. Ada dua skenario yang dipilih, pada pengujian proteksi arus beban lebih yaitu: (1) pengujian ketika posisi rele proteksi kondisi OFF dan (2) pengujian ketika posisi rele proteksi kondisi ON. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian arus beban ketika rele proteksi kondisi OFF.

Tabel 2. Hasil pengujian arus beban ketika rele proteksi kondisi OFF

No	Beban	Arus (A)
1	Lampu Led 15 W	0.115
2	Lampu Pijar 5 W	0.275
3	Solder Pemanas	0.141
Total Arus		0.531

Tabel 2 menunjukkan nilai pengujian alat terhubung ke tiga beban yaitu lampu LED 15 W, lampu pijar 5 W, dan solder pemanas yang menghasilkan nilai arus beban masing-masing 0.115 A, 0.275 A, dan 0.141 A. Total pengujian tiga alat menghasilkan arus beban total sebesar 0.531 A. Nilai total arus beban masih berada dibawah 0.6 A sehingga rele proteksi tidak boleh bekerja atau OFF. Gambar 10 menunjukkan rancangan pengukuran alat dan tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio dalam kondisi OFF.



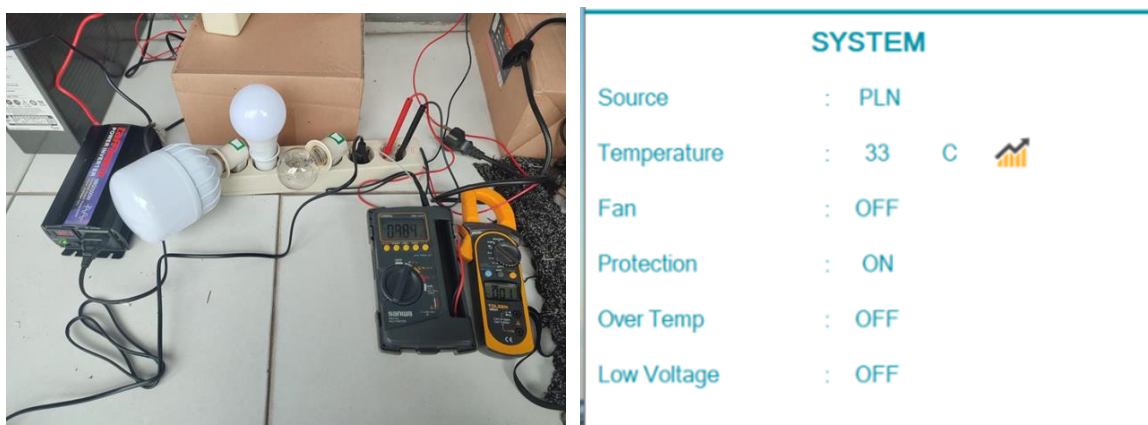
Gambar 8. Rancangan pengukuran alat dan menu *protection* aplikasi Visual Studio kondisi rele OFF

Gambar 8 menunjukkan alat terhubung pada beban lampu LED 15 W, lampu pijar 5 W, solder pemanas. Namun karena total arus belum melebihi 0.6 A, maka indikator trip pada rele proteksi arus rebih belum menyala sehingga tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam keadaan OFF. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian arus beban ketika rele proteksi kondisi ON.

Tabel 3. Hasil pengujian arus beban ketika rele proteksi kondisi ON

No	Beban	Arus (A)
1	Lampu Led 15 W	0.115
2	Lampu Pijar 5 W	0.275
3	Solder Pemanas	0.141
4	Lampu LED 30 W	0.233
Total Arus		0.764

Tabel 3 menunjukkan nilai pengujian sumber terhubung ke empat beban yaitu lampu LED 15 W, lampu pijar 5 W, solder pemanas, dan Lampu LED 30 W yang menghasilkan nilai arus beban masing-masing 0.115 A, 0.275 A, 0.141 A, dan 0.233A. Total pengujian tiga alat menghasilkan arus beban total sebesar 0.764 A. Nilai total arus beban sudah melampaui 0.6 ampere sehingga rele proteksi harus bekerja dan dalam kondisi ON. Rele selanjutnya akan memerintahkan saklar untuk memutus arus listrik (trip) dari PLN atau pembangkit ke beban. Gambar 11 menunjukkan rancangan pengukuran alat dan menu *protection* pada tampilan aplikasi Visual Studio dalam kondisi ON.



Gambar 9. Rancangan pengukuran alat dan menu *protection* Visual Studio kondisi rele ON

Gambar 9 menunjukkan sumber terhubung terhubung pada beban lampu LED 15 W, lampu pijar 5 W, solder pemanas, dan lampu LED 30 W. Karena arus total beban sudah melebihi 0.6 A, maka indikator trip pada rele proteksi arus rebih akan menyala sehingga saklar akan memutus arus dari sumber menuju beban. Pada kondisi demikian tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam status ON. Untuk menyalakan beban kembali, maka peneliti harus dilakukan pengurangan beban dibawah 0,6 A,

hingga tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio kembali menjadi OFF dan lampu indikator rele proteksi menjadi OFF atau padam.

KESIMPULAN

Sistem monitoring tegangan dan arus beban dari dari ATS/AMF untuk mengendalikan dan memindahkan sumber listrik grid dan PV, secara otomatis melalui perangkat Visual-Studio serta mampu memutuskan arus beban lebih menggunakan Arduino-Uno sudah berhasil diimplementasikan. Arduino-Uno mampu memerintahkan rele terhubung pada ATS/AMF memindahkan sumber listrik dari Grid ke PV maupun sebaliknya. Jika nilai output dari PV lebih dari 0,6 A, maka Arduino-Uno akan memerintahkan rele untuk bekerja (ON) dan memutus arus ke beban. Sebaliknya, jika nilai output dari PV kurang dari 0,6 A, maka Arduino-Uno akan memerintahkan rele untuk tidak bekerja (OFF) dan tetap mengalirkan arus ke beban. Jika PV tidak mampu memikul beban listrik, maka ATS/AMF akan berfungsi memindahkan sumber tegangan sistem dari PV ke PLN.

Pengujian pada delapan beban yaitu: Lampu LED 30 W, LED 15 W, solder pemanas, charger ponsel, charger laptop, lampu LHE spiral 5 watt, lampu pijar 5 watt, dan kipas portable dengan menggunakan sensor PZEM-004t dimonitor Visual Studio dan multimeter memberikan nilai error pengukuran tegangan dan arus rata-rata masing-masing sebesar 0.448% dan 42.341%. Hasil pengujian proteksi rele menunjukkan bahwa jika sumber terhubung ke beban yang menyerap arus beban dibawah 0.6 A, maka indikator trip pada rele proteksi arus rebih belum menyala sehingga tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam keadaan OFF. Namun sebaliknya jika arus total beban sudah melebihi 0.6 A, maka indikator trip pada rele proteksi akan menyala sehingga saklar akan memutus arus beban. Pada kondisi ini tampilan menu *protection* pada aplikasi Visual Studio berada dalam status ON. Untuk menyalakan beban kembali, maka pengurangan beban hingga dibawah 0.6 A harus dilakukan, hingga tampilan menu *Protection* pada aplikasi Visual Studio kembali menjadi OFF dan lampu indikator trip pada rele proteksi menjadi OFF atau padam. Alat yang diusulkan masih terbatas didesain pada kapasitas beban kecil sebesar 0.6 A sehingga kemampuan dan kinerjanya relatif masih terbatas. Peningkatan kapasitas daya ATS/AMF, pemutusan (tripping) rele proteksi, dan beban terhubung ke sumber Grid PLN/PV dapat diusulkan supaya alat mampu dimanfaatkan secara lebih masif pada pelanggan listrik PLN skala rumah-tangga kelas 450 VA dengan kapasitas pemutus 2 A atau kelas 900 VA dengan kapasitas pemutus 4A.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwiranto, M. N., Waluyo, C.B., & Sudibya, B. (2021) Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya Pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things, *Jurnal Edukasi Elektro*, Volume 6, No. 1, May 2022, page 32-41. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i1.44272>.
- Alwi, D. R., Saleh, A., & Cahyadi, W. (2019), Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Kinerja Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT), *Skripsi Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*, pp. 1~64.
- Ardiansyah, A. & Mubarok, H. (2020), Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (Internet of Things), pp. 1~32., *Skripsi Jurusan S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia*.
- Cahyanti, D., Ubaya, H., & Exaudi, K. (2020), Monitoring Penggunaan Energi Listrik di Ruang Berbasis IoT, pp. 1~41., *Project Akhir, Program Studi Diploma Teknik Komputer Universitas Sriwijaya*.
- Cahyo, M.D., Ubaidillah, A., & Ibadillah A. F., (2018), Rancang-Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Energi Listrik Berbasis Mikrokontroller Menggunakan Visual Studio Uji Coba Diakses di PT Pancawana Indonesia, *Proseding Seminar Nasional Sinar Fortei 7-1, Vol. 1 No. 1 (2018): Sinarfe7-1A 2018*, pp. 1~6.
- Hudan, I. S. & Rijianto, T. (2019) Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Kamar Kos Berbasis Internet of Things, *Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Vol 8, No, 1, Januari 2019*, pp. 91~99.
- Pratama, M. F., Haddin, M., & Marwanto, A. (2021), Sistem Monitoring dan Kontrol Daya PLTS Menggunakan IoT Berbasis Fuzzy Logic, *Thesis, Program Magister Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang*, pp. 1~62.

- Prayitno, B., Muhammad A., Putra, R.I., Putra, E., & Palupiningsih, P. (2022), Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Controlling Penggunaan Daya Peralatan Listrik Rumah Tangga Menggunakan IoT, *PETIR: Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika*, Vol. 15, No. 1, Maret 2022, DOI: <https://doi.org/10.33322/petir.v15i1.1383>.
- Santoso, K. A., Dedi, & Prasetya, A. (2020), Rancang Bangun kWh Meter Digital Berbasis IoT, *Simposium Nasional RAPI XIX Tahun 2020, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 39~46.
- Syafruddin, R., Ramady G.D., Hermawaty, & Hudaya R. R., (2021), Rancang Bangun Sistem Proteksi Daya Listrik menggunakan Sensor Arus dan Tegangan berbasis Arduino, *Jurnal ISU Teknologi* Vol. 16, No. 1, Juli 2021, pp. 39~46.
- Widiantoro, A., Songgo D.P., & Hidayat, A. N. (2018), Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus Listrik dan Tegangan pada Kabel Line Listrik Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega, *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, Vol. 5 No. 1, pp. 1~7. <https://doi.org/10.21107/triac.v5i1>.
- Wijayanto, D., Haryudo, S.I., Wrahatnolo, T., & Nurhayati, (2022), Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram, *Jurnal Teknik Elektro (JTE)*, Universitas Negeri Surabaya, Vol. 11, No. 3, September 2022, pp. 447~453, DOI: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n3.p447-453>.