

**PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IoT) MENGGUNAKAN METODE
EXPONENTIAL SMOOTHING UNTUK PREDIKSI KEBUTUHAN
ENERGI**

Tesis S-2

**Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Magister Teknik
Program Magister Teknik Elektro**



**Diajukan oleh:
Dwi Riyadi Hartono
206001900016**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN METODE
EXPONENTIAL SMOOTHING UNTUK PREDIKSI KEBUTUHAN
ENERGI

yang dipersiapkan dan disusun oleh

Dwi Riyadi Hartono
20601900016

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 10 Maret 2023

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



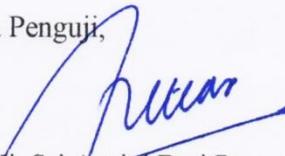
(Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.)
NIK. 210693007

Pembimbing Pendamping,



(Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D.)
NIK. 210600018

Ketua Penguji,



(Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si.)
NIK. 210695009

Penguji 1,



(Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.)
NIK. 210699013

Penguji 2,

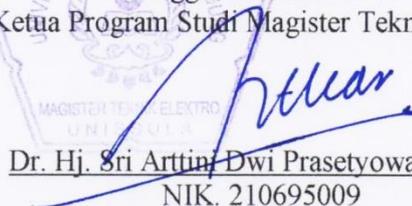


(Dr. Ir. Agus Adh Nugroho, M.T.)
NIK. 210693003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik

Tanggal 15 Maret 2023

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro



Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si.
NIK. 210695009

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Riyadi Hartono
NIM : 20601900016
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan Judul:

“Prototipe Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Metode *Exponential Smoothing* untuk Prediksi Kebutuhan Energi”

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu, disitasi, dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 11 Maret 2023

Penulis,



Dwi Riyadi Hartono

NIM. 20601900016

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul **“Prototipe Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Metode *Exponential Smoothing* untuk Prediksi Kebutuhan Energi”**. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, Rasulullah SAW yang menjadi suri teladan bagi kita semua.

Atas selesainya penulisan Tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T., selaku Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu dan memberikan banyak nasihat dan motivasi, saran dan masukan, juga kemudahan kepada penulis.
4. Bapak Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Pembimbing Pendamping yang telah meluangkan waktu dan memberikan banyak saran, masukan, serta kemudahan kepada penulis.
5. Para Dosen dan civitas akademika Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Kedua orang tuaku, Bapak Setu Atmojo (Alm.) dan Ibu yang telah mencurahkan kasih sayang dan pendidikannya untuk penulis, juga semua saudara-saudari kandungku yang kusayangi.
7. Istriku tercinta, Mistri Handayani, S.E., dan anak-anakku: Muhammad Anwar Abdurrahman, Aghnia Fatimatuzzahra Abdillah, Muhammad Arsyad Habibullah yang banyak memberi inspirasi, motivasi, dan semangat.
8. Pimpinan dan teman-teman staf LPPM Unissula yang telah memberi dukungan dan doa kepada penulis untuk segera menyelesaikan studi S2.

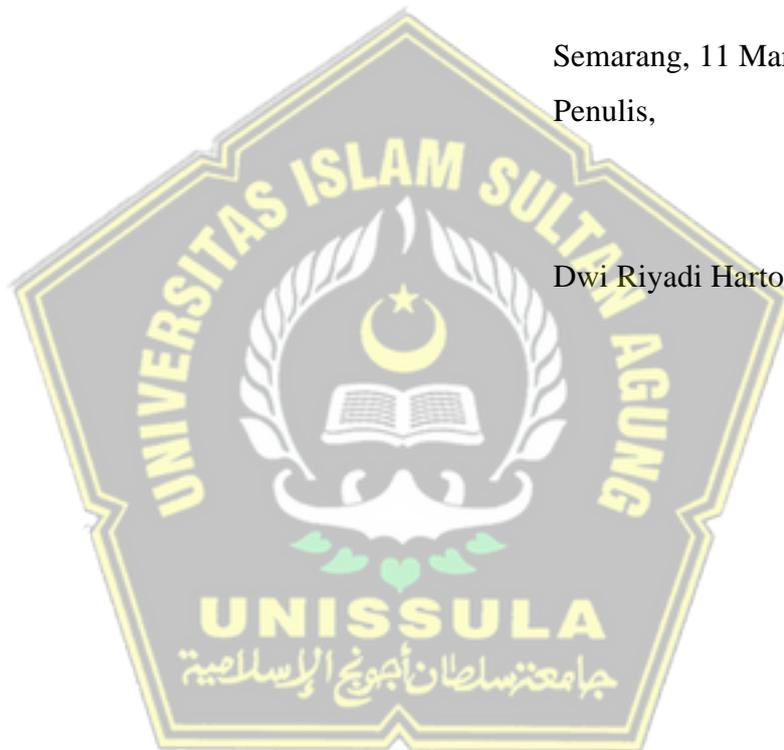
9. Rekan-rekan mahasiswa Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung semuanya seperjuangan.
10. Para pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas dukungan, doa, dan bantuan material yang telah diberikan kepada penulis.

Akhir kata, semoga Tesis ini dapat memberi manfaat untuk ilmu pengetahuan, khususnya bagi Program Studi Magister Teknik Elektro dan masyarakat pada umumnya. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin.

Semarang, 11 Maret 2023

Penulis,

Dwi Riyadi Hartono



DAFTAR ISI

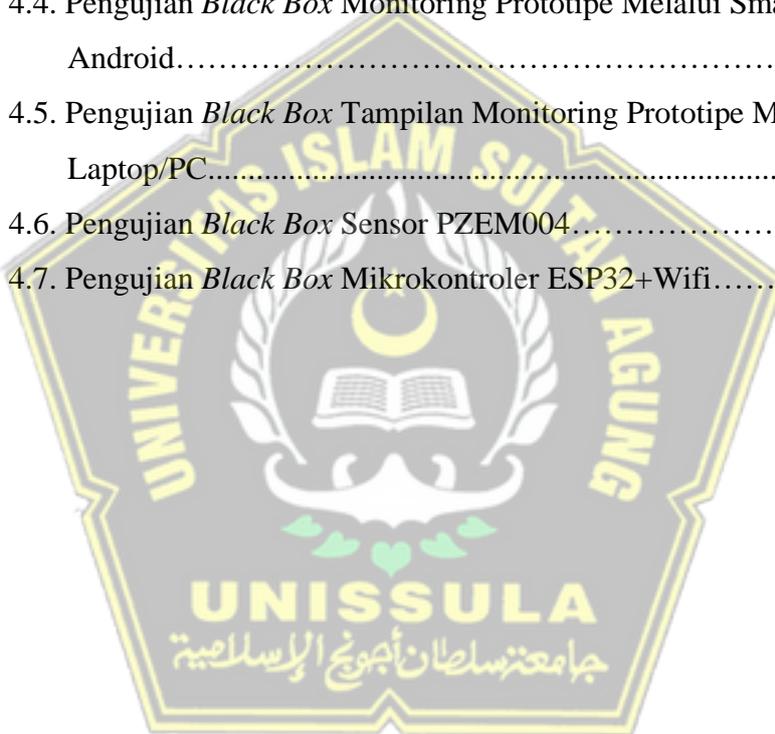
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
INTISARI.....	1
ABSTRACT.....	2
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Keaslian Penelitian dan Kontribusi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
2.1. Tinjauan Pustaka.....	8
2.2. Landasan Teori.....	12
2.2.1 Daya Listrik	13
2.2.2 Beban Listrik dan Segitiga Daya	15
2.2.3. Sensor PZEM-004T	19
2.2.4. Mikrokontroler ESP32.....	19
2.2.5. Arduino IDE	21
2.2.6. OLED 128x64.....	23
2.2.7. Blynk	24
2.2.8. <i>Exponential Smoothing</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1. Model Penelitian	30

3.2. Gambar Rangkaian.....	31
3.3. Alat dan Bahan.....	33
3.4. <i>Internet of Things</i>	34
3.5. Metode Pengujian <i>Black Box</i> [32]	35
3.5. Flowchart Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Hasil.....	38
4.1.1 Data Hasil Pengujian Beban Resistif.....	39
4.1.2. Data Hasil Pengujian Beban Kapasitif.....	39
4.1.3. Data Hasil Pengujian Beban Induktif	41
4.2. Pembahasan.....	42
4.2.1. Pengujian <i>Black Box</i>	42
4.2.2. Analisis Data Penelitian.....	50
4.2.6. Kesesuaian Hasil Prediksi.....	53
BAB IV KESIMPULAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN 1: LISTING PROGRAM ARDUINO IDE	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32.....	21
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Resistif Lampu Pijar 5 Watt.....	40
Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Kapasitif Lampu TL 10 Watt.....	41
Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Induktif Pumpa Aquarium 3 x 6,5 Watt.....	42
Tabel 4.4. Pengujian <i>Black Box</i> Monitoring Prototipe Melalui Smartphone Android.....	44
Tabel 4.5. Pengujian <i>Black Box</i> Tampilan Monitoring Prototipe Melalui Laptop/PC.....	45
Tabel 4.6. Pengujian <i>Black Box</i> Sensor PZEM004.....	50
Tabel 4.7. Pengujian <i>Black Box</i> Mikrokontroler ESP32+Wifi.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Vektor hubungan V dan I pada beban resistif ($Z = R$)	15
Gambar 2.2. Grafik hubungan V, I dan P pada beban resistif ($Z = R$)	16
Gambar 2.3. Vektor hubungan V dan I pada beban kapasitif ($Z = XC$)	16
Gambar 2.4. Grafik hubungan V, I dan P pada beban resistif ($Z = XC$)	16
Gambar 2.5. Vektor hubungan V dan I pada beban induktif ($Z = XL$)	17
Gambar 2.6. Grafik hubungan V, I dan P pada beban induktif ($Z = XL$)	17
Gambar 2.7. Diagram Segitiga Daya	18
Gambar 2.8 Sensor PZEM-004T [25].....	19
Gambar 2.9 Susunan pin DOIT ESP32 Devkit [27].....	21
Gambar 2.10 Interface Arduino IDE [14].....	22
Gambar 2.11. Modul LCD OLED 128x64.....	24
Gambar 2.12 Tampilan Login Blynk.cloud.....	25
Gambar 3.1 Model penelitian.....	30
Gambar 3.2. Diagram skematik model penelitian	31
Gambar 3.3. Skema diagram ESP32	33
Gambar 3.4 Diagram blok fungsional PZM004	32
Gambar 3.5. Skema eletronik PZM004.....	33
Gambar 3.6 Diagram pengkabelan PZM004	33
Gambar 3.7. Tampilan awal Arduino IDE	35
Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.9. Flowchart pemrograman ESP32.....	38
Gambar 4.1. Prototipe sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan metode <i>Exponential Smoothing</i> untuk prediksi kebutuhan listrik.....	39
Gambar 4.2. Pengujian prototipe dengan beban resistif lampu pijar 5 Watt.....	39
Gambar 4.3. Penempatan simulasi beban kapasitif pada prototipe.....	40
Gambar 4.4. Penempatan simulasi beban induktif pada prototipe.....	42
Gambar 4.5. Tampilan Aplikasi Power Meter berbasis Android.....	43

Gambar 4.6. Tampilan Aplikasi KWH Blynk.cloud berbasis Android.....	
Gambar 4.7. Grafik energi listrik terpakai satu jam terakhir.....	47
Gambar 4.8. Grafik energi listrik terpakai enam jam terakhir.....	47
Gambar 4.9. Grafik energi listrik terpakai satu hari terakhir.....	48
Gambar 4.10. Grafik energi listrik terpakai satu minggu terakhir.....	48
Gambar 4.10. Fasilitas melihat data yang lebih lama yang disediakan oleh Blynk.cloud.....	49
Gambar 4.11. Fasilitas unduh laporan untuk melihat data yang lebih lama yang disediakan oleh Blynk.cloud.....	49
Gambar 4.12. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi/Jam berikutnya untuk beban resistif.....	51
Gambar 4.13. Perbandingan antara biaya energi/Jam (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban resistif.....	52
Gambar 4.14. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban kapasitif.....	52
Gambar 4.15. Perbandingan antara biaya energi/hari (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban kapasitif.....	53
Gambar 4.16. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban induktif.....	53
Gambar 4.17. Perbandingan antara biaya energi/hari (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban indukti.....	54

INTISARI

APP (Alat Pengukur dan Pembatas) listrik adalah piranti yang digunakan masyarakat untuk bertransaksi listrik. APP berfungsi sebagai alat pengukur dan pembatas daya, mencatat daya yang terpakai, sebagai saklar pemutus utama, dan pengaman saat terjadi hubung singkat di dalam sistem instalasi listrik. Permasalahannya APP saat ini masih konvensional karena hanya bisa dibaca secara langsung di tempat APP terpasang. Seiring dengan perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), Internet of Things (IoT) kemudian muncul menjadi tren solusi karena mampu menghubungkan antara mesin dengan manusia untuk mengendalikan dan memonitor kinerja mesin dari jarak jauh.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan Alat Monitoring dan Prediksi Daya (AMPD) berbasis IoT. AMPD mengambil parameter tegangan dan arus listrik pada beban menggunakan sensor PZEM004. Data tegangan dan arus beban diolah di dalam mikrokontroler ESP32. Fungsi *Simpel Exponential Smoothing* (SES) ditambahkan ke dalam pemrograman Arduino IDE untuk memprediksi kebutuhan energi dan biaya listrik pada periode berikutnya. Hasil pemrograman dikirim ke modul mini LCD OLED 128x64 untuk ditampilkan layaknya APP dan ke server Blynk melalui modul wifi yang melekat di ESP32. Aktivitas monitoring jarak jauh dilakukan melalui Smartphone Android dan Laptop/PC yang terhubung dengan internet.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa AMPD berhasil mengukur dan menampilkan jumlah energi dan biaya listrik terpakai dan mampu menampilkan informasi prediksi jumlah kebutuhan energi dan biaya listrik pada periode berikutnya secara *real-time* dan akurat. Aktivitas monitoring berhasil dilakukan dari jarak jauh menggunakan Smartphone Android dan Laptop/PC yang terhubung dengan internet. Adapun ketepatan ramalan kebutuhan energi dan biaya dihitung dengan metode *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percent Error* (MAPE). Untuk beban resistif MAD: 0,01010 dan 136,6129, MSE: 23149,1735 dan 23149,1735, MAPE: 2,43% dan 2,42% menunjukkan hasil peramalan sangat baik. Beban Kapasitif MAD: 0,0005 dan 0,6598, MSE: 0,000000370 dan 0,6770, MAPE 0,32% dan 0,32% menunjukkan hasil peramalan cukup baik. Beban Induktif MAD: 0,0005 dan 0,6772, MSE: 0,000000357 dan 0,6523; MAPE: 0,26% dan 0,26% menunjukkan hasil peramalan cukup baik. Adapun nilai MAD dan MSE mendekati nol menunjukkan bahwa hasil prediksi AMPD sesuai dengan data aktual dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.

Kata kunci: monitoring daya listrik, IoT, prediksi, *Simple Exponential Smoothing*.

ABSTRACT

Electricity APP (Metering and Limiting Device) is a device used by the public to transact electricity. The APP functions as a power measuring and limiting device, records the power used, as the main breaker switch, and a safety when a short circuit occurs in the electrical installation system. The problem is that the current APP is still conventional because it can only be read directly where the APP is installed. Along with the development of Information and Communication Technology (ICT), the Internet of Things (IoT) then emerged as a solution trend because it is able to connect machines with humans to control and monitor machine performance remotely.

This research focuses on the development of an IoT-based Power Monitoring and Prediction Device (AMPD). AMPD takes voltage and current parameters at the load using the PZEM004 sensor. The load voltage and current data are processed in the ESP32 microcontroller. The Simple Exponential Smoothing (SES) function is added to the Arduino IDE programming to predict energy demand and electricity costs in the next period. The programming results are sent to the 128x64 OLED mini LCD module to be displayed like an APP and to the Blynk server via the wifi module attached to the ESP32. Remote monitoring activities are carried out via Android Smartphone and Laptop/PC connected to the internet.

The test results show that AMPD succeeds in measuring and displaying the amount of energy and electricity costs used and is able to display prediction information on the amount of energy demand and electricity costs in the next period in real-time and accurately. Monitoring activities were successfully carried out remotely using an Android Smartphone and Laptop/PC connected to the internet. The accuracy of forecasting energy needs and costs is calculated using the Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Percent Error (MAPE) methods. For resistive loads MAD: 0.01010 and 136.6129, MSE: 23149.1735 and 23149.1735, MAPE 2.43% and 2.42% show very good forecasting results. Capacitive Load MAD: 0.0005 and 0.6598, MSE: 0.000000370 and 0.6770, MAPE: 0.32% and 0.32% shows good enough forecasting results. Inductive Load MAD: 0.0005 and 0.6772, MSE: 0.000000357 and 0.6523; MAPE: 0.26% and 0.26% indicate good enough forecasting results. The MAD and MSE values are close to zero indicating that the AMPD prediction results are in accordance with the actual data and can be used for forecasting calculations in the coming period.

Keywords: *electric power monitoring, IoT, prediction, Simple Exponential Smoothing.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Listrik menjadi salah satu kebutuhan primer manusia untuk mengoperasikan berbagai peralatan rumah tangga, peralatan kerja, dan mesin-mesin industri yang menggunakan sumber daya listrik. Oleh karenanya Perusahaan Listrik Negara (PLN) dituntut untuk menjaga ketersediaan pasokan listriknya agar kehidupan manusia dapat berjalan sebagaimana biasa.

APP adalah alat pengukur dan pembatas listrik yang sangat penting bagi masyarakat dalam melakukan transaksi energi listrik. APP berfungsi sebagai alat pembatas dan pengukur daya yang digunakan oleh pelanggan sesuai dengan kontrak pemasangan, mencatat daya yang dipakai oleh pelanggan, sebagai saklar utama pemutus aliran listrik jika terjadi kelebihan pemakaian daya oleh pelanggan, dan sebagai pengaman apabila terjadi hubung singkat dalam instalasi listrik rumah.

Permasalahan pada APP saat ini masih konvensional, karena hanya bisa dilihat langsung di tempat APP terpasang. Ini menjadi kendala bagi sebagian masyarakat modern yang memiliki mobilitas tinggi, atau banyak beraktifitas jauh dari rumah. Keterlambatan dalam pembayaran tagihan listrik PLN atau pengisian token listrik dapat mengakibatkan pemutusan aliran listrik secara sepihak dan mendadak. Hal ini bisa berdampak pada kerusakan peralatan elektronik yang sensitif, atau matinya hewan piaraan kesayangan, semisal ikan hias, yang membutuhkan sirkulasi air dari pompa listrik dan gelembung oksigen dari mesin aerator.

Solusinya adalah diperlukan sebuah APP “Pintar” yang dapat dimonitoring secara *real-time*, dari mana saja, dan kapan saja. Seiring dengan perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), *Internet of Things* (IoT) kemudian muncul menjadi tren solusi bagi permasalahan monitoring, kontrol, dan kendali peralatan elektronik secara *remote* dan otomatis. Ini karena teknologi IoT mampu menghubungkan antara mesin dengan manusia.

Sistem monitoring daya listrik berbasis IoT pun kini banyak diteliti dan dikembangkan untuk menggantikan APP konvensional menjadi APP modern yang bisa dimonitor secara *real-time*, dari mana saja, dan kapan saja.

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas sistem monitoring daya listrik berbasis IoT di antaranya adalah simulasi kendali dan monitoring daya listrik peralatan rumah tangga berbasis ESP32 [1], perancangan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Android [2], sistem monitoring penggunaan daya listrik berbasis *Internet of Things* pada rumah dengan menggunakan aplikasi Blynk [3], sistem monitoring pemakaian energi listrik rumah tangga berbasis Web [4], dan sistem monitoring beban listrik berbasis Arduino Nodemcu Esp8266[5].

Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini berfokus pada pengembangan prototipe sistem monitoring daya listrik berbasis IoT dengan menambahkan fungsi prediksi kebutuhan energi dan biaya listrik untuk periode berikutnya menggunakan metode peramalan *Exponential Smoothing*.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka penelitian ini akan mencoba membuat suatu prototipe sistem monitoring daya listrik berbasis IoT secara *real-time* dengan metode *Exponential Smoothing* untuk memperoleh hasil prediksi penggunaan energi listrik pada periode waktu berikutnya yang lebih akurat.

Beberapa hal yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana membuat sistem monitoring daya listrik secara *real-time* berbasis IoT?
- b) Bagaimana menerapkan metode *Exponential Smoothing* ke dalam sistem monitoring daya listrik untuk memperoleh prediksi kebutuhan energi listrik pada periode waktu berikutnya?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi permasalahan pada:

- a) Perangkat yang digunakan adalah sensor arus dan tegangan PZEM 004T, mikrokontroler ESP32(+Wifi).

- b) Energi listrik yang dimonitor disimulasikan dengan beban listrik berupa lampu pijar 5 Watt dan sumber listrik PLN 900 Watt.
- c) Pengambilan data monitoring daya listrik dengan satuan kWh (*Kilo Watt Hour*) per sepuluh menit selama 14 hari untuk beban kapasitif dan induktif, dan 6 jam untuk beban resistif.
- d) Metode peramalan *Simpel Exponential Smoothing* (SES) digunakan untuk memprediksi konsumsi energi listrik pada periode berikutnya.
- e) Membandingkan data hasil monitoring dengan perhitungan matematika rumus SES..
- f) Monitoring daya listrik berbasis IoT dilakukan dari jarak jauh menggunakan Laptop/PC dan *Smartphone* berbasis website aplikasi blynk.cloud.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini:

- a) Bagaimana membuat sistem monitoring daya listrik secara *real-time* berbasis IoT dengan tambahan informasi prediksi kebutuhan energi listrik periode berikutnya yang akurat?
- b) Bagaimana menerapkan metode SES ke dalam sistem monitoring daya listrik berbasis IoT?

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini:

- a) Dapat membuat sistem monitoring daya listrik secara *real-time* berbasis IoT dengan tambahan informasi prediksi/ramalan kebutuhan daya listrik periode berikutnya yang akurat.
- b) Dapat mengetahui cara menerapkan metode SES ke dalam sistem monitoring daya listrik untuk memprediksi kebutuhan energi listrik pada periode waktu berikutnya.

1.6. Keaslian Penelitian dan Kontribusi

Penelitian terdahulu dan terbaru (tahun 2022) tentang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT di antaranya adalah sebagai berikut:

- a) Simulasi Kendali dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32 [1]. Dalam penelitian ini dibuat sistem monitoring daya listrik peralatan rumah tangga. Rancangan terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai pengontrol Modul Relay5v 8 channel untuk menghidupkan atau mematikan peralatan listrik, NodeMcuESP32 Juga sebagai pengolah data sensor Tegangan dan arus yang dibaca oleh modul PZEEM004T menjadi data Tegangan, arus, daya, energi dan biaya listrik, dan LCD 12x4 sebagai penampil data tegangan, arus, daya, energi dan juga akan dikirim ke aplikasi Blynk sebagai monitoring pengguna saat berada di luar rumah. Dalam penelitian ini data alat akan dibandingkan dengan alat ukur yang standar. Alat tersebut bekerja dengan cukup baik dan dapat digunakan untuk memonitoring penggunaan energi listrik pada rumah tangga.
- b) Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android [2]. Monitoring jarak jauh dilakukan dengan memanfaatkan teknologi IoT sehingga penggunaan daya listrik dapat dilihat kapanpun dan di manapun melalui jaringan internet. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet. Aplikasi Blynk diakses dengan menggunakan Smartphone Android. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata error yang dihasilkan untuk pembacaan tegangan 0,043 % sedangkan rata-rata error pembacaan arus listrik adalah 6,25% dan rata-rata error daya listrik 6,71%. Error pembacaan arus listrik disebabkan karena tingkat ketelitian alat ukur yang digunakan sebagai pembanding hanya satu angka di belakang koma sedangkan error daya listrik karena error arus listrik. Alat ini dapat digunakan sebagai monitoring konsumsi daya listrik karena error yang dihasilkan cukup kecil dan dapat dilakukan monitoring dari manapun dan kapanpun.
- c) Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* [6]. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat monitoring untuk memantau konsumsi daya pada setiap ruangan. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsumsi daya pada setiap ruangan sehingga lebih mudah dalam melakukan penghematan energi listrik.

Implementasi IoT menggunakan platform Blynk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat yang dibangun telah berhasil untuk memantau konsumsi daya dari masing-masing ruangan berbasis IoT. Pada beban pengisi daya komputer jinjing menghasilkan efisiensi 99,61%, pada beban dua lampu menghasilkan efisiensi 98,94%, pada beban kipas angin menghasilkan efisiensi 99,08% dan pada beban dua lampu dan pengisi daya komputer jinjing menghasilkan efisiensi 99,07%. Dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibangun memiliki efisiensi yang sangat baik dan dapat memudahkan dalam memonitoring konsumsi daya pada peralatan elektronik rumah tangga.

- d) Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things* [7] Penelitian ini merancang alat sistem monitoring menggunakan sensor PZEM-004T, platform Ubidots serta NodeMCU. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya dan energi yang terdapat pada beban listrik. Serta dibutuhkan NodeMCU sebagai mikrokontroler. Hasilnya dapat ditampilkan pada platform Ubidots dan LCD 16x2 yang digunakan. Dari hasil pengujian yang didapat melalui pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T untuk perancangan prototipe sistem monitoring daya memiliki nilai akurasi tegangan sebesar 98.94%, arus 99.18%, daya 98.87%, faktor daya 98.44%, serta konsumsi energi listrik 97.89%. Alat yang dirancang bekerja dengan cukup baik dan dapat digunakan untuk memonitoring penggunaan energi listrik pada rumah tangga.
- e) Prediksi Daya Listrik Jangka Sangat Pendek Pembangkit Photovoltaic Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Feed Forward Neural Network* [8]. Penelitian prediksi daya listrik dilakukan dengan mengambil data dengan melakukan pengujian pemodelan monitoring daya listrik pembangkit photovoltaic berbasis IoT. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif, dimulai dengan studi literatur, selanjutnya pengambilan data, dilanjutkan dengan analisis data, lalu membuat desain sistem peramalan, serta konfigurasi neural network,

selanjutnya melakukan pembelajaran (*training*) dan pengujian (*testing*) pada software MATLAB. Kesalahan tertinggi prediksi sebesar 4,26% dan terendah pada sebesar 0,34 %. MSE pada *traingdx* sebesar 0.007844, *Traincgb* sebesar 0.043241 dan rata-rata MAPE pada *traingdx* sebesar 2.65% dan pada *traincgb* sebesar 2.6%. Tingkat ketepatan prediksi daya terbaik didapat pada *traingdx* sebesar 97,45% dan terkecil sebesar 97,15% pada *traincgb* pula. Semakin banyak pola dan jenis pembelajaran (*train*) yang dilakukan semakin baik pula hasil error yang dihasilkan.

- f) Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis *Internet of Things* [9]. Penelitian ini mengusulkan sistem monitoring pemakaian energi listrik dari jarak jauh secara *real-time* dengan menggunakan antarmuka Blynk pada smartphone. Sistem monitoring dirancang untuk dua kelompok beban dengan menggunakan ISP32 sebagai pengolah data yang diterima dari sensor PZEM-004T dan dikirim langsung ke server Blynk sehingga data dapat di akses atau dimonitoring pada smartphone melalui aplikasi Blynk. Data yang ditampilkan pada aplikasi Blynk berupa daya (Watt), tegangan (Volt), arus (Ampere), frekuensi (Hz), energi listrik (KWh), dan tarif pemakaian listrik dalam rupiah secara *real-time*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat monitoring pemakaian energi listrik telah bekerja dengan baik, dimana alat ini telah mampu memberikan data-data pemakaian listrik dari jauh secara *real-time*.
- g) Sistem Monitoring Pemakaian Listrik Menggunakan LORA Berbasis Aplikasi [10], membuat sebuah alat yang digunakan untuk memantau pemakaian listrik rumah. Mikrokontrolnya menggunakan Nodemcu dan sebagai komunikasi jarak menggunakan LORA. Metode yang digunakan dimulai dengan *study literature*, perancangan *hardware* dan *software*, pembuatan *hardware* dan *software*, pengujian alat, pengambilan data dan analisa hasil. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sensor PZEM-004t. Hasil dari penelitian ini didapatkan sebuah alat monitoring pemakaian listrik menggunakan Lora dan Firebase yang dapat diakses dengan Android. Dengan keakuratan pengukuran tegangan sebesar 99,72%, Arus 81,3%,

Daya 98,9% dan jarak Lora 18 meter dengan selisih delay waktu *on* dan *off* dari aplikasi 0,64 detik.

Penelitian-penelitian di atas memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT. Namun demikian belum ditemukan penelitian tentang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT yang sekaligus dapat memberikan informasi prediksi kebutuhan energi listrik untuk periode waktu berikutnya dengan menerapkan metode peramalan *Exponential Smoothing*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT dan yang berhubungan dengan metode peramalan *Exponential Smoothing* antara lain:

- a) *An IoT-based Prediction Technique for Efficient Energy Consumption in Buildings* [8], menyatakan bahwa model prediksi konsumsi energi dapat dilakukan dengan berbasis pada data. Namun, karena non-linearitas yang tinggi antara input dan output dari model prediksi konsumsi energi, model-model ini membutuhkan peningkatan dalam hal akurasi dan ketahanan. Penelitian memprediksi penggunaan energi untuk optimalisasi strategi distribusi energi yang luas di gedung menggunakan teknologi IoT menggunakan model hibrida *Auto-Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dan *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA). Parameter dari model ARIMA dioptimalkan dengan mengadaptasi teknik ICA yang meningkatkan akurasi pemasangan sekaligus mencegah *over-fitting* pada data yang diperoleh. Kemudian, *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) diterapkan untuk memantau nilai prediksi. Model hibrida AIK-EWMA yang diusulkan dinilai berdasarkan data konsumsi daya aktual dan divalidasi menggunakan penghitungan secara matematis. Temuan menunjukkan bahwa model hibrida ini dapat secara akurat memprediksi konsumsi daya untuk aplikasi otomasi *green building*.
- b) *The Implementation Internet of Things (IoT) Technology in Real-time Monitoring of Electrical Quantities* [10], menyatakan bahwa besaran-besaran listrik seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, energi, dan frekuensi dalam sistem tenaga listrik cenderung berfluktuasi sebagai akibat dari perubahan beban, gangguan, atau keadaan abnormal lainnya. Perubahan keadaan dalam besaran listrik harus segera diidentifikasi, jika tidak maka dapat menyebabkan masalah serius bagi keseluruhan sistem. Monitoring online sistem distribusi tenaga listrik berbasis teknologi IoT diterapkan, khususnya pada panel

distribusi utama tiga fasa. Sistem pengukuran melibatkan sensor arus dan sensor tegangan, sedangkan pengolahan data dilakukan oleh Arduino. Data pengukuran disimpan ke dalam database server dan ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi berbasis web. Sistem pengukuran memiliki beberapa fitur penting terutama untuk pemantauan waktu nyata, akuisisi dan pencatatan data yang kuat, pelaporan sistem, sehingga akan menghasilkan informasi penting yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan analisis daya di masa mendatang seperti estimasi dan perencanaan.

- c) *Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things pada Rumah Dengan Menggunakan Aplikasi Blynk* [14], mengkaji penerapan sistem monitoring daya listrik yang terpakai pada alat tersebut dari jarak jauh melalui koneksi internet. Sistem diimplementasikan menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, Liquid Crystall I2C, dan aplikasi Blynk sebagai *user interface* sistem pada *Smartphone*. Aplikasi Blynk dan mikrokontroler harus terhubung oleh jaringan internet. Hasil penelitian ini adalah prototipe sistem monitoring daya listrik menggunakan aplikasi BLYNK yang dapat membantu dan mempermudah pemilik rumah dalam memonitoring daya listrik pada saat pengguna tidak berada di rumah.
- d) *Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Web* [18], membuat alat sistem monitoring konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis web yang dapat diakses melalui PC (*Personal Computer*) atau *Smartphone*. Dalam pengukuran energi listrik, sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca tegangan, arus, daya dan energi serta ESP8266 MCU Node sebagai pengolah data yang akan dikirimkan ke database. Hasil yang diperoleh adalah terciptanya alat monitoring konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis web.
- e) *Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266* [19], menyatakan tujuan penelitian adalah memonitoring beban listrik rumah tangga menggunakan Arduino NodeMCU ESP8266 secara *real-time*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 tahapan, yaitu: 1). Pemilihan peralatan *software* dan *hardware*, 2). Perancangan sistem, 3). Pembuatan program, dan 4). Pengujian alat. Hasil dari pengujian alat menggunakan beban

induktif berupa lampu LED 15 Watt sebanyak 2 buah dan beban resistif berupa setrika listrik yang diset pada titik panas maksimum, alat bekerja dengan baik dan mampu membaca besaran arus dan daya yang digunakan pada saat pengkondisian ON terhadap beban induktif dan beban resistif, tingkat akurasi alat dalam membaca berkisar 96% sampai dengan 98%.

- f) *Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things* [20], merancang sistem monitoring menggunakan sensor PZEM-004T, platform Ubidots, dan NodeMCU. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi yang terkandung dalam beban listrik. NodeMCU diperlukan sebagai mikrokontroler. Hasilnya dapat ditampilkan pada platform Ubidots dan LCD 16x2 yang digunakan. Hasil tes yang didapat melalui pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T untuk merancang prototipe sistem pemantauan energi memiliki nilai akurasi tegangan 98,94%, arus 99,18%, daya 98,87%, faktor daya 98,44%, dan konsumsi energi listrik 97,89%.
- g) *Forecasting Using Simple Exponential Smoothing Method* [11], menjelaskan sebuah teknik yang relatif sederhana, namun kuat dan serba guna untuk meramalkan data deret waktu: *Simple Exponential Smoothing*. Pemulusan eksponensial sederhana (SES) adalah metode peramalan jangka pendek yang mengasumsikan rata-rata yang cukup stabil dalam data tanpa tren (pertumbuhan atau penurunan yang konsisten). Ini adalah salah satu metode peramalan paling populer yang menggunakan rata-rata bergerak tertimbang dari data masa lalu sebagai dasar untuk prakiraan. Prosedur ini memberikan bobot terberat pada pengamatan yang lebih baru dan bobot yang lebih kecil pada pengamatan di masa lalu yang lebih jauh. Keakuratan metode SES sangat bergantung pada nilai optimal dari konstanta pemulusan. Untuk menentukan nilai α yang optimal dalam paper ini digunakan metode optimalisasi tradisional berdasarkan *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi prakiraan dengan menggunakan data produksi primer listrik di Slovakia. Oleh karena itu,

penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode peramalan metode SES. Untuk mengestimasi nilai optimal dari konstanta pemulusan, peramalan dihitung dengan $\alpha = 0:1$ hingga $\alpha = 0:9$, dengan kenaikan sebesar 0,01. Tiga teknik akurasi peramalan, seperti MAE, MAPE, dan RMSE digunakan untuk memilih perkiraan yang paling akurat untuk perkiraan satu tahun ke depan. Pemulusan eksponensial memberikan gambaran bahwa pengamatan terbaru biasanya memberikan panduan terbaik untuk masa depan, oleh karena itu kami menginginkan skema pembobotan dengan dengan bobot yang semakin menurun untuk pengamatan yang lebih tua. Pemilihan konstanta pemulusan penting dalam menentukan operasi karakteristik pemulusan eksponensial. Semakin kecil nilai α , semakin lambat responsnya. Model SES hanya baik untuk pola dengan tren sekitar nol dan untuk jangka pendek peramalan karena jika memperpanjang melewati periode berikutnya, maka nilai yang diperkirakan untuk periode itu harus digunakan sebagai pengganti untuk permintaan aktual untuk setiap ramalan yang melewati periode berikutnya.

- h) *Penentuan Nilai Parameter Metode Exponential Smoothing dengan Algoritma Genetik dalam Meningkatkan Akurasi Forecasting* [12]. Penelitian bertujuan untuk mengetahui penentuan nilai parameter pada model *Exponential Smoothing*. Penentuan nilai ini dilakukan dengan menggunakan algoritma genetik. Nilai konstanta parameter sangat menentukan keakurasian *forecasting*. Nilai parameter yang diperoleh dengan menggunakan algoritma genetik selanjutnya dibandingkan dengan nilai parameter yang sering digunakan dalam penelitian, yakni: 0.1, 0.5, dan 0.9. Keakurasian *forecasting* dengan masing-masing dapat dilihat dari error yang digunakan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai yang diperoleh dengan menggunakan algoritma genetik menghasilkan nilai error yang paling kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil *forecasting* model SES dengan nilai yang ditentukan dengan menggunakan algoritma genetik menghasilkan hasil *forecasting* yang lebih akurat dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan secara konvensional. Hal ini merupakan inovasi dalam meningkatkan akurasi dalam *forecasting*. Dapat disimpulkan bahwa penentuan nilai parameter dengan menggunakan algoritma genetik dapat meningkatkan akurasi *forecasting*.

2.2 Landasan Teori

Energi listrik yaitu suatu energi yang tersimpan dalam arus listrik (Ampere) dan tegangan atau beda potensial listrik (Volt) dalam ketentuan kebutuhan untuk konsumsi daya listrik dalam Watt (W). Energi listrik dapat diubah dalam bentuk energi lain, seperti energi kinetik, panas, cahaya, getar, dan sebagainya. Energi listrik dibangkitkan oleh sumber energi primer seperti energi berasal dari fosil (minyak bumi, batu bara) dan energi dapat diperbaharui (*renewable energy*) yang berasal dari tenaga air, angin, panas bumi, matahari/surya, dan sebagainya. Energi listrik digunakan untuk lampu penerangan, menggerakkan motor listrik, beroperasinya peralatan listrik seperti komputer, kompor listrik, mesin cuci, pendingin atau pemanas ruangan, dan sebagainya.

Besar energi listrik yang diberikan oleh sumber tegangan listrik yaitu sama dengan daya dikalikan dengan waktu, yang dimaksud waktu yaitu lamanya sumber tegangan mensuplay daya listrik. Untuk menghitung energi yang diberikan sumber listrik diformulasikan dengan persamaan (2.1).

$$W = P \times t \quad (2.1)$$

dengan : W : Energi yang diberikan sumber listrik (Watt-detik)

P : Daya listrik (Watt)

t : Waktu (Detik)

Karena $P = V \cdot I$ maka diperoleh energi dengan persamaan (2.2) dan (2.3).

$$W = V \times I \times t \quad (2.2)$$

Atau

$$W = I^2 \times R \times t \quad (2.3)$$

Dapat juga dituliskan dengan persamaan (2.4).

$$W = \left(\frac{V^2}{R}\right)t \quad (2.4)$$

dengan W : Energi, dalam satuan Watt (Joule/detik)

I : Arus listrik, dalam satuan Ampere (A)

R : Tahanan (Ohm)

t : Waktu (Detik)

Apabila arus listrik mengalir pada suatu rangkaian yang memiliki hambatan R , sumber listrik akan mengeluarkan energi pada hambatan tersebut yang besarnya tergantung pada besar tegangan atau beda potensial (V) pada ujung-ujung rangkaian; besar kuat arus listrik (I) yang mengalir pada rangkaian tersebut; dan lamanya waktu (t) arus yang mengalir.

2.2.1 Daya Listrik

Daya listrik adalah suatu kapasitas atau kemampuan melakukan energi atau usaha. Besaran dari daya adalah usaha dalam satuan waktu. Adapun daya listrik yaitu bagian dari besarnya beda potensial, kuat arus, hambatan, dan waktu. Daya listrik didefinisikan sebagai laju energi yang dibutuhkan. Daya listrik ini berkaitan dengan energi listrik tiap detik. [13]

Kapasitas dari daya listrik diberi satuan Watt atau Joule/detik (J/s). Satuan energi listrik sering disebut Kilo Watt (KW), bila dinyatakan $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ Watt}$, sedangkan untuk kapasitas lebih besar diberi satuan Mega Watt (MW), apabila dinyatakan $1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ Watt}$. Jika dinyatakan dalam Joule, maka $1 \text{ Watt per detik (Ws)} = 1 \text{ Joule}$, jika daya listrik tersebut dinyatakan dengan Jam atau hours (h) maka $1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ Joule}$. Dengan demikian penggunaan daya listrik dalam waktu tertentu dinyatakan dalam satuan Joule. Karena $W = V \times I \times t$ maka persamaan daya listrik dapat diformulasikan dengan persamaan (2.5).

$$P = \left(\frac{V \cdot I \cdot t}{t} \right) \quad (2.5)$$

dengan P : Daya listrik (Watt)

V : Tegangan listrik (Volt)

I : Arus yang mengalir (Ampere)

Persamaan (2.5) disederhanakan menjadi $P = V \cdot I$

Apabila suatu rangkaian terdapat hambatan R dan diberi sumber tegangan (V) maka arus akan mengalir (I). Pada saat sumber tegangan menyalurkan daya listrik, akan diserap oleh hambatan R . Apabila tahanan tersebut adalah lampu, maka lampu akan menyerap daya. Berdasarkan hukum Ohm, tegangan adalah $V = I \cdot R$, maka daya listrik dapat dihitung dengan persamaan (2.6).

$$P = I \cdot R \times I \quad (2.6)$$

Disederhanakan menjadi persamaan (2.7).

$$P = I^2 R \quad (2.7)$$

Karena $I = \frac{V}{R}$, Selanjutnya I disubstitusi ke dalam persamaan (2.7) maka daya listrik menjadi: $P = V \frac{V}{R}$ disederhanakan menjadi persamaan (2.8).

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.8)$$

Pada beberapa peralatan listrik seringkali tertulis satuan HP (*Horse Power*). Dalam satuan internasional (SI), konversi antara satuan Watt dan HP adalah 1 HP = 746 watt = 0,746 kW. Jika daya dinyatakan dalam Kw dan waktu dalam jam, maka satuan energi yaitu Kilowatt jam atau sering disebut kWh (*Kilowatt-Hour*).

2.2.2 Beban Listrik dan Segitiga Daya

Beban listrik adalah suatu alat atau beban yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang berpotensi (dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik)[14].

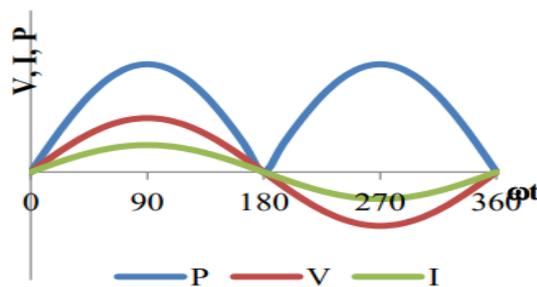
Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak terhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan open circuit. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi tiga yaitu beban resistif, beban induktif, beban kapasitif[15]

- Beban Resistif

Beban resistif [16] ($Z = R$) merupakan beban resistor murni, dimana energi listrik diubah menjadi energi panas atau mekanik dan beban ini menyerap daya semu yang seluruhnya diubah menjadi daya aktif. Yang termasuk beban resistif murni adalah lampu pijar, setrika listrik, heater atau pemanas. Arus dan tegangan sefasa sehingga arus akan berhimpit dengan tegangan atau sudut fasanya sama dengan nol dan faktor daya sama dengan satu ($\theta = 0^\circ$ dan $\cos \theta = 1$), secara vektoris dinyatakan dalam Gambar 2.1. dan Gambar 2.2. menunjukkan grafik hubungan V , I dan P pada beban resistif



Gambar 2.1. Vektor hubungan V dan I pada beban resistif ($Z = R$)

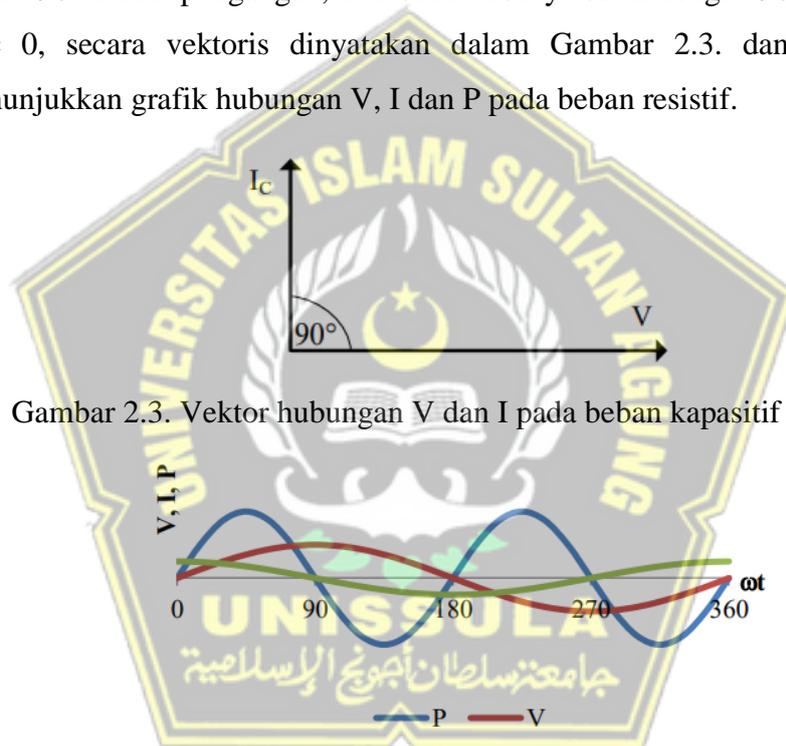


Gambar 2.2. Grafik hubungan V , I dan P pada beban resistif ($Z = R$)

Untuk beban resistif murni, $Z = R$, maka: $v = V_m \sin \omega t$ dan $i = I_m \sin \omega t$.

- Beban Kapasitif

Beban kapasitif [16] ($Z = XC$) adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor, dimana energi listrik yang diserap menghasilkan energi reaktif dan beban ini menyerap daya semu seluruhnya diubah menjadi daya reaktif kapasitif. Yang termasuk beban induktif adalah kapasitor. Arus akan mendahului (*leading*) sejauh 90° terhadap tegangan, atau sudut fasanya sama dengan 90° sehingga $\cos \theta = 0$, secara vektoris dinyatakan dalam Gambar 2.3. dan Gambar 2.4 menunjukkan grafik hubungan V, I dan P pada beban resistif.



Gambar 2.3. Vektor hubungan V dan I pada beban kapasitif ($Z = XC$)

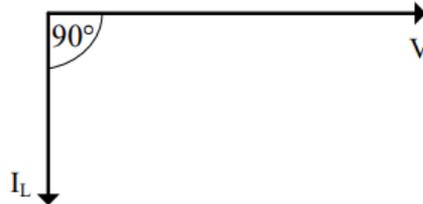
Gambar 2.4. Grafik hubungan V, I dan P pada beban kapasitif ($Z =XC$)

Untuk beban kapasitif murni $Z = XC$ arus akan mendahului tegangan sebesar sudut 90° , maka: $v = V_m \sin \omega t$ dan $i = I_m \sin (\omega t + 90^\circ)$

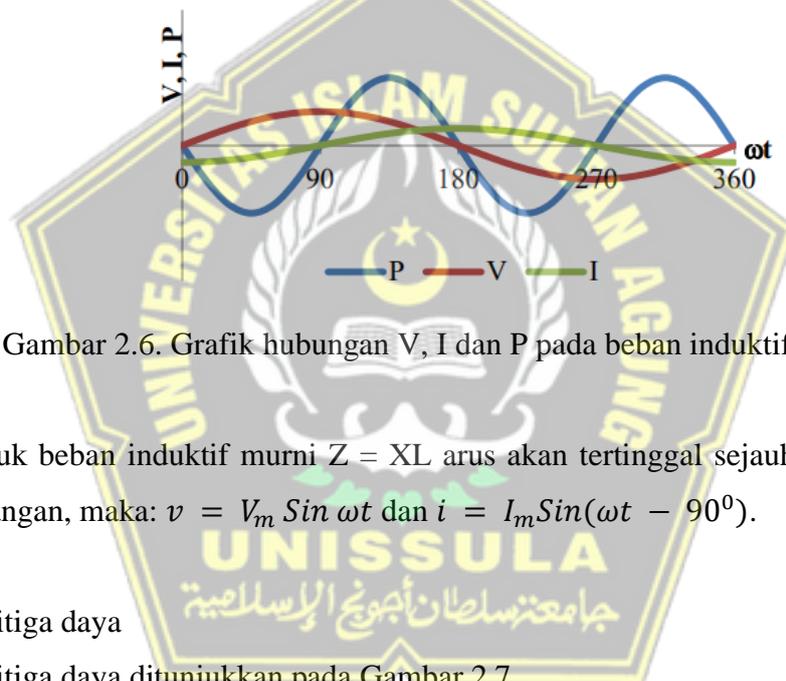
- Beban Induktif

Beban induktif [16] ($Z = XL$) adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti besi, dimana energi listrik yang diserap diubah menjadi medan magnet dan beban ini menyerap daya semu yang seluruhnya diubah menjadi daya reaktif induktif. Yang termasuk beban induktif adalah

peralatan listrik yang menggunakan motor-motor listrik dan ballast atau transformator. Arus akan tertinggal (*lagging*) sebesar 90° terhadap tegangan, atau sudut fasanya sama dengan 90° sehingga $\cos \theta = 0$, secara vektoris dinyatakan sesuai Gambar 2.5. dan Gambar 2.6 menunjukkan grafik hubungan V, I dan P pada beban induktif.



Gambar 2.5. Vektor hubungan V dan I pada beban induktif ($Z = XL$)

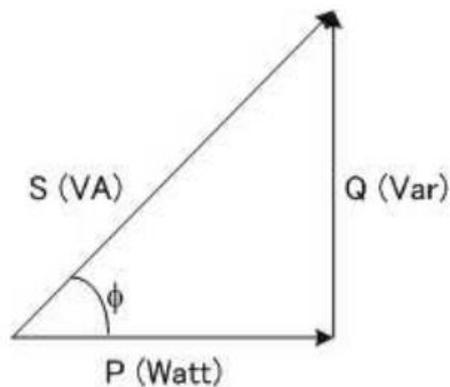


Gambar 2.6. Grafik hubungan V, I dan P pada beban induktif ($Z = XL$)

Untuk beban induktif murni $Z = XL$ arus akan tertinggal sejauh 90° terhadap tegangan, maka: $v = V_m \sin \omega t$ dan $i = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$.

- Segitiga daya

Segitiga daya ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Diagram Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*apparent power, active power, reactive power*) berdasarkan prinsip Trigonometri.

Berlaku hubungan persamaan (2.9) sampai (2.12):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.9)$$

$$S = V \cdot I \quad (2.10)$$

$$P = S \cos \varphi \quad (2.11)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (2.12)$$

Dengan: S = Daya Semu

P = Daya Aktif

Q = Daya Reaktif

Faktor daya ($\cos \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$. Untuk mendapatkan faktor daya ditunjukkan oleh persamaan (2.13).

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} = \frac{W}{V \cdot A} = \frac{V \cdot I \cos \varphi}{V \cdot I} \\ &= \cos \varphi \end{aligned} \quad (2.13)$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu, seperti ditunjukkan pada persamaan (2.14).

$$\tan \varphi = \frac{\text{Daya Reaktif (Q)}}{\text{Daya Aktif (P)}} = \frac{VAR}{W} \quad (2.14)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen VA dan VAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat ditulis seperti persamaan (2.15).

$$\text{Daya Reaktif } (Q) = \frac{\text{Daya Aktif } (P)}{\tan \varphi} \quad (2.15)$$

2.2.3. Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah sensor yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan rms, arus rms dan daya aktif yang dapat dihubungkan melalui arduino ataupun *platform opensource* lainnya [17]. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah 3,1 × 7,4 cm. Modul PZEM-004t dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3 mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A. PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sensor PZEM-004T [17]

Modul ini utamanya digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan energi aktif. Modul tanpa fungsi tampilan, data dibaca melalui interface TTL. Interface TTL dari modul ini adalah interface pasif, membutuhkan catu daya eksternal 5V, yang berarti ketika berkomunikasi, keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND) jika tidak ia tidak dapat berkomunikasi (innovators guru, n.d.). PZEM-004T-10A: Rentang Pengukuran 10A (Built-in Shunt). PZEM-004T-100A: Rentang Pengukuran 100A (*External Transformer*).

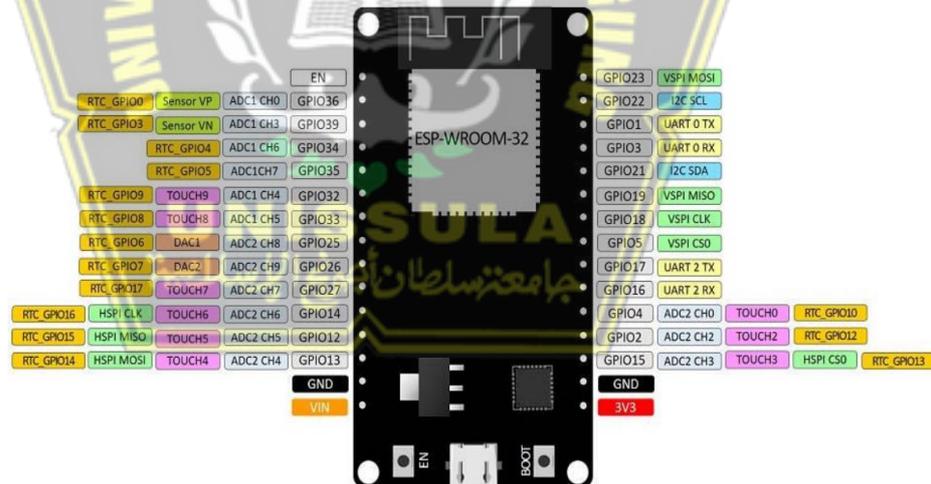
2.2.4. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 dikenalkan oleh Espressif System, merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266 [18]. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem

aplikasi *Internet of Things*. Pin out dari ESP32 dapat dijadikan input atau output untuk menyalakan LCD, lampu, bahkan untuk menggerakkan motor DC.

ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) terpadu dengan WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai periferal. Chip ini menggunakan mikroprosesor 32 bit Xtensa LX6 dual-core. Ruang alamat untuk data dan instruksi adalah 4 GB dan ruang alamat periferal 512 kB. Memori terdiri atas 448 kB ROM, 520 kB SRAM, dua 8kB RTC memory, dan flash memory 4MB. Chip ini mempunyai 18 pinADC (12-bit), empat SPI, dan dua I2C. Kelebihan utama mikrokontroler ini ialah harganya yang relatif murah, mudah diprogram, memiliki jumlah pin I/O yang memadai, serta memiliki adapter WiFi internal untuk mengakses jaringan Internet. Beberapa board yang menggunakan ESP32 di antaranya adalah NodeMCU-32S, Wemos LoLin32, DOIT ESP32, Sparkfun ESP32, dan AdafruitESP32 [19].

Penelitian ini menggunakan board DOIT ESP32 Devkit 30 GPIO yang memiliki susunan pin seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9[19].



Gambar 2.9 Susunan pin DOIT ESP32 Devkit.

Board ini memiliki dua versi, yaitu yang 30 dan 36 GPIO. Keduanya berfungsi dengan cara yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label di bagian atas board sehingga mudah untuk dikenali. Board ini memiliki interface USB-to-UART sehingga mudah diprogram

dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE atau yang lainnya. Sumber daya untuk board bisa diberikan melalui konektor micro-USB [19]. Spesifikasi ESP32 ditunjukkan oleh Tabel 2.1[20].

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32

No	Atribut	Detail
1	Tegangan	3.3 Volt
2	Prosesor	Tensilica L108 32 bit
3	Kecepatan prosesor	Dual 160MHz
4	RAM	520K
5	GPIO	34
6	ADC	7
7	Dukungan 802.11	11b/g/n/e/i
8	Bluetooth	BLE (Bluetooth Low Energy)
9	SPI	3
10	I2C	2
11	UART	3

2.2.5. Arduino IDE

Untuk memprogram board ESP32, dibutuhkan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) bawaan dari Arduino[14].

Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* ESP32 (Sketches, para programmer menyebut *source code* arduino dengan istilah "sketches"). Sketch merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler.

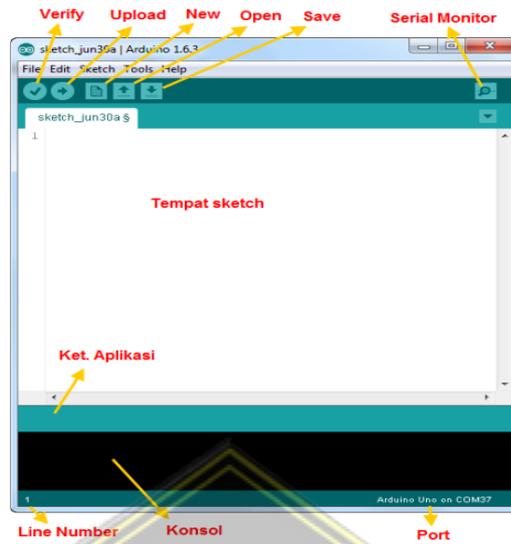
Interface Arduino IDE tampak seperti gambar di atas. Dari kiri ke kanan dan atas ke bawah, bagian-bagian IDE Arduino terdiri dari:

- Verify : Pada versi sebelumnya dikenal dengan istilah *Compile*. Sebelum aplikasi diupload ke *board* Arduino, biasakan untuk memverifikasi terlebih dahulu sketch yang dibuat. Jika ada kesalahan pada sketch, nanti akan muncul *error*.

Proses *Verify / Compile* mengubah sketch ke *binary code* untuk diupload ke mikrokontroller.

- Upload : Tombol ini berfungsi untuk mengupload sketch ke board Arduino. Walaupun kita tidak mengklik tombol *verify*, maka sketch akan di-*compile*, kemudian langsung diupload ke board. Berbeda dengan tombol *verify* yang hanya berfungsi untuk memverifikasi *source code* saja.
- New Sketch : Membuka *window* dan membuat sketch baru 13.
- Open Sketch : Membuka sketch yang sudah pernah dibuat. Sketch yang dibuat dengan IDE Arduino akan disimpan dengan ekstensi file *.ino*
- Save Sketch : Menyimpan sketch, tapi tidak disertai meng-*compile*.
- Serial Monitor : Membuka interface untuk komunikasi serial, nanti akan kita diskusikan lebih lanjut pada bagian selanjutnya.
- Keterangan Aplikasi : Pesan-pesan yang dilakukan aplikasi akan muncul di sini, misal "*Compiling*" dan "*Done Uploading*" ketika kita meng-*compile* dan mengupload sketch ke *board* Arduino.
- Konsol : Pesan-pesan yang dikerjakan aplikasi dan pesan-pesan tentang sketch akan muncul pada bagian ini. Misal, ketika aplikasi meng-*compile* atau ketika ada kesalahan pada sketch yang kita buat, maka informasi error dan baris akan diinformasikan di bagian ini.
- Baris Sketch : Bagian ini akan menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif pada sketch.
- Informasi Port : Bagian ini menginformasikan port yang dipakai oleh board Arduino.

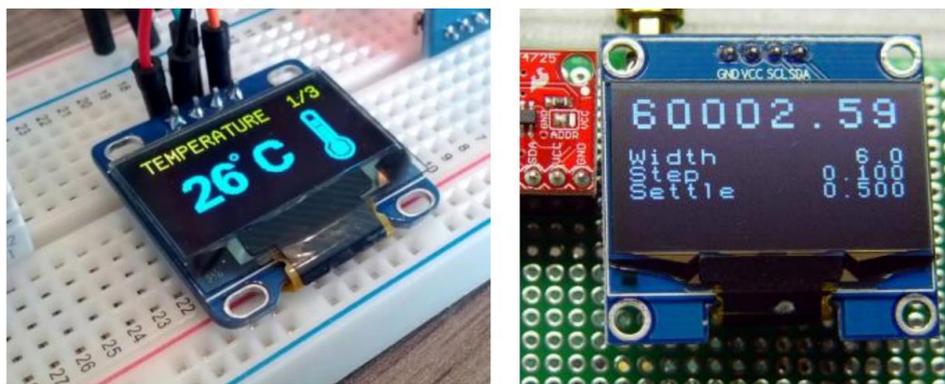
Tampilan interface Arduino IDE diperlihatkan oleh Gambar 2.10[14].



Gambar 2.10 Interface Arduino IDE

2.2.6. OLED 128x64

OLED 128x64 adalah LCD berjenis OLED yang terdiri dari 128 segmen dan 64 common atau 128x64 piksel[20]. Untuk menerima atau mengirim data perintah ke mikrokontroler, LCD ini menggunakan interface perifer, baik I2C maupun SPI. LCD ini menggunakan driver CMOS bertipe SSD1306 yang menyematkan kontrol kontras, RAM display dan osilator yang dapat mengurangi jumlah koneksi eksternal dan konsumsi daya. Driver SSD1306 dirancang untuk panel OLED tipe *Common Cathode*. Modul LCD OLED 128x64 diperlihatkan oleh Gambar 2.11[21].



Gambar 2.11. Modul LCD OLED 128x64

Panel OLED ini juga memiliki fungsi *continuous scrolling*, baik dalam arah vertikal dan horisontal yang memungkinkan untuk menghemat ruang pada layar. LCD ini memiliki 4 buah pin yang dibutuhkan untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan interface I2C.

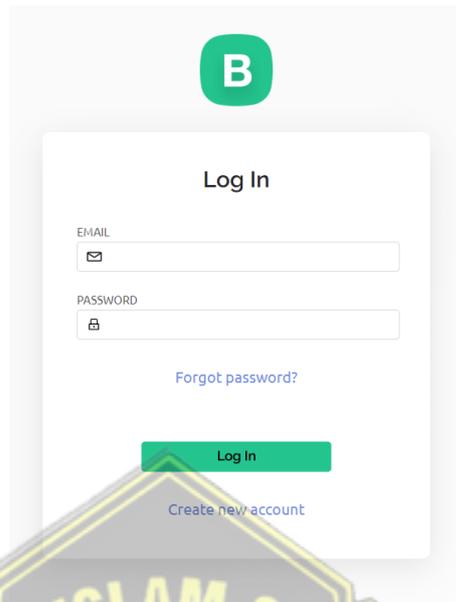
2.2.7. Blynk

Blynk adalah aplikasi website yang dapat menghubungkan perangkat ke internet dan membuat *dasbor* seluler dan web untuk mengontrol perangkat dari mana saja[22]. Platform Blynk terdiri dari empat komponen utama yang bekerja bersama dengan lancar:

- Blynk.Edgent : Perangkat lunak yang berjalan di perangkat dan berkomunikasi dengan Blynk.Cloud.
- Blynk.Console : Aplikasi web tempat Anda dapat mengonfigurasi, menghubungkan, mengawasi perangkat, menganalisis data sensor, memperbarui firmware OTA (*over-the-air*), dan mengelola cara pengguna dalam mengakses perangkat mereka.
- Blynk.Apps : Aplikasi seluler untuk iOS dan Android tempat membangun UI (*User Interface*)

Blynk beroperasi dalam 2 mode, yaitu mode pengembang yang memungkinkan pengguna mengonfigurasi cara kerja perangkat, dan mode pengguna memungkinkan untuk memantau dan mengontrol perangkat, tetapi tidak memungkinkan untuk mengubah konfigurasi apa pun. Mengaktifkan/menonaktifkan mode pengembang dapat dilakukan di bagian profil pengguna di menu utama.

Perangkat yang digunakan biasanya mikrokontroler (MCU), seperti ESP32, Arduino, dan lain-lain. Pengguna dapat memasang sensor dan aktuator ke MCU dan memantau atau mengontrolnya dengan Blynk. Blynk dapat menghubungkan perangkat ke internet menggunakan konektivitas WiFi, seluler, atau Ethernet. Tampilan Login Blynk.cloud diperlihatkan oleh Gambar 2.12[22].



Gambar 2.12 Tampilan Login Blynk.cloud

Konfigurasi perangkat disimpan dalam template perangkat. Setiap perangkat dimulai dari template, yang memudahkan untuk bekerja dengan beberapa perangkat yang menjalankan fungsi serupa. Misalnya, membuat template sensor suhu dan menggunakannya kembali untuk semua sensor serupa di rumah. Setiap template terdiri dari: Datastreams - saluran untuk mentransfer data dari/ke perangkat, UI aplikasi seluler, UI Dasbor Web, Notifikasi.

Saat template diperbarui, perubahan akan diterapkan ke semua perangkat yang dibuat dari template ini. Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan Blynk: menyiapkan notifikasi, menyiapkan otomatisasi, membagikan perangkat dengan pengguna lain, memperbarui *firmware* perangkat *Over-The-Air*, menyiapkan penyediaan Wi-Fi, mengelola peran dan izin, dan mengelola organisasi.

2.2.8. Exponential Smoothing

Metode *Exponential Smoothing* merupakan teknik peramalan yang digunakan secara umum untuk analisis *time series* (deret waktu), karena kesederhanaan dan kemudahan dalam prosedur peramalannya yang otomatis [23].

Metode ini merupakan metode peramalan yang paling banyak digunakan [11] karena akurasiya dibanding dengan metode peramalan lain, misalnya apabila dibandingkan dengan *Decomposition* [24] dan ARIMA (*Autoregressif Integrated Moving Average*) [25].

Exponential Smoothing adalah metode peramalan intuitif yang membobotkan deret waktu yang diamati secara tidak seimbang. Pengamatan terbaru diberi bobot lebih besar daripada pengamatan yang jauh. Pembobotan yang tidak sama dilakukan dengan menggunakan satu atau lebih parameter *smoothing*, yang menentukan berapa banyak bobot yang diberikan untuk setiap pengamatan.

Secara umum, *Exponential Smoothing* dianggap sebagai teknik murah yang memberikan prakiraan yang baik dalam berbagai macam aplikasi. Selain itu, persyaratan penyimpanan data dan komputasi minimal, yang membuat penghalusan eksponensial cocok untuk aplikasi *real-time*.

Teknik yang paling sederhana dari jenis ini, *Simple Exponential Smoothing* (SES), sesuai untuk deret yang bergerak secara acak di atas dan di bawah rata-rata konstan (deret stasioner). Tidak memiliki tren dan tidak ada pola musiman.

Metode SES adalah suatu prosedur yang mengulang perhitungan secara terus-menerus yang menggunakan data terbaru. Setiap data diberi bobot, dimana bobot yang digunakan disimbolkan dengan α . Simbol α bisa ditentukan secara bebas, yang mengurangi *forecast error*. Nilai konstanta pemulusan, α , dapat dipilih di antara nilai 0. dan 1, karena berlaku: $0 < \alpha < 1$.

Secara matematis, persamaan penulisan SES[12] ditunjukkan oleh persamaan (2.16):

$$S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_t \quad (2.16)$$

dengan : S_{t+1} : Nilai ramalan untuk periode berikutnya

α : Konstanta penulisan ($0 < \alpha < 1$)

X_t : Data pada periode t

St : Nilai penulisan yang lama atau rata-rata yang dimuluskan hingga periode t-1.

Penentuan nilai konstanta (α) dengan menggunakan persamaan (2.17):

$$\alpha = 2 / (n + 1) \quad (2.17)$$

dengan : α : Nilai konstanta

n : Jumlah periode waktu t.

Hasil peramalan harus diukur tingkat kesesuaiannya untuk dapat menggunakan metode tersebut. Ketepatan penggunaan metode peramalan dipandang perlu agar hasil peramalan sesuai dengan pola data masa lalu dan ketepatan peramalan dapat digunakan untuk kriteria penolakan sebuah metode [26].

Kesalahan peramalan, secara umum dirumuskan dengan *Permintaan aktual* – *Nilai peramalan* = $A_t - F_t$. Ada tiga perhitungan yang paling banyak di kenal, yaitu: deviasi rata-rata Absolut (*Mean Absolute Deviation* – MAD), kesalahan rata-rata kuadrat (*Mean Squared Error* – MSE), dan kesalahan persen rata-rata absolut (*Mean Absolute Percent Error* – MAPE).

MAD yang ideal adalah nol (=0), artinya tidak ada kesalahan peramalan. Semakin besar hasil nilai MAD, menunjukkan model yang dihasilkan yang kurang tepat. Ini karena MAD merupakan nilai absolut penjumlahan dari kesalahan, baik positif dan negatif, sehingga dapat menambah jumlah dan ukuran rata-rata dari kesalahan yang ditentukan. Deviasi rata-rata absolut ditunjukkan oleh persamaan (2.11)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (2.11)$$

dengan : A_t : Permintaan aktual periode ke-t

F_t : Nilai peramalan periode ke-t

n : Jumlah periode t

t : Periode

MSE merupakan selisih kuadrat antara nilai yang diramalkan dan yang diamati, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (2.12).

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (2.12)$$

dengan : A_t : Permintaan aktual periode ke-t

F_t : Nilai peramalan periode ke-t

n : Jumlah periode t

t : Periode

Masalah yang terjadi dengan MAD dan MSE adalah bahwa nilai kesalahan tergantung pada besarnya unsur yang diramal, jika unsurnya dalam satuan ribuan, maka nilai kesalahan bisa menjadi sangat besar. MAPE kemudian digunakan untuk menghindari masalah tersebut, yang dihitung sebagai rata-rata diferensiasi absolut antara nilai yang diramal dan aktual, yang dinyatakan dalam persentase nilai aktual. Persamaannya sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (2.13).

$$MAPE = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} \quad (2.13)$$

dengan : A_t : Permintaan aktual periode ke-t

F_t : Nilai peramalan periode ke-t

n : Jumlah periode t

t : Periode

Untuk evaluasi hasil peramalan dengan MAPE, terdapat rentang signifikansi tertentu yang mengindikasikan seberapa baik hasil peramalan. Persentase MAPE < 10 % mengindikasikan tingkat signifikansi hasil peramalan sangat baik. Persentase MAPE 10% - 20% mengindikasikan hasil peramalan baik, sedangkan 20% - 50% tingkat signifikansi reasonable atau hasil peramalan cukup. Persentase MAPE > 50% mengindikasikan hasil peramalan buruk [27].

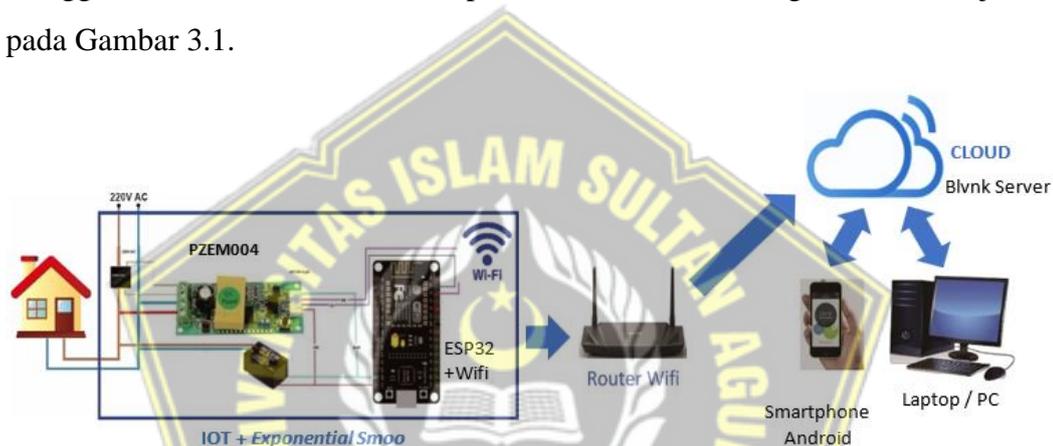


BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan tentang model penelitian, gambar rangkaian, alat dan bahan penelitian, pengaplikasian IoT, penerapan metode SES, dan flowchart penelitian.

3.1. Model Penelitian

Model penelitian prototipe sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan metode SES untuk prediksi kebutuhan energi listrik ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model penelitian.

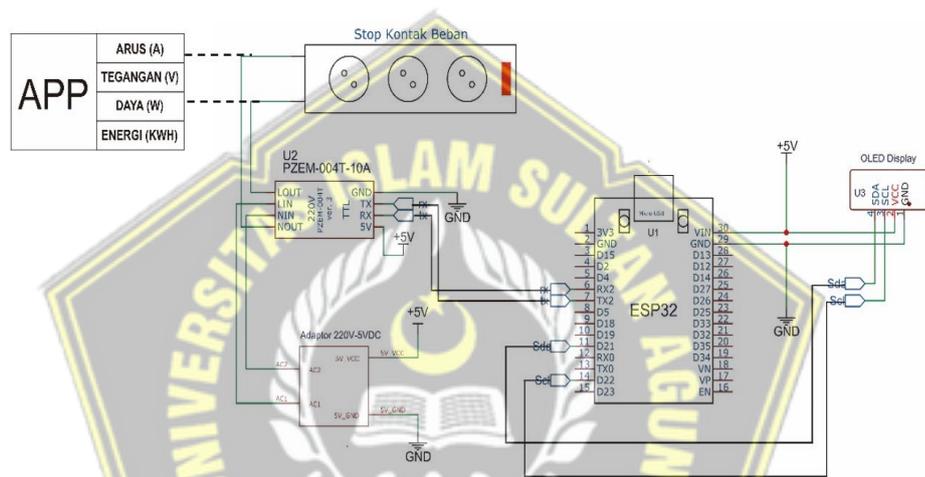
Instalasi listrik rumah tangga dilengkapi dengan APP yang berfungsi sebagai alat pembatas dan pengukur daya yang digunakan oleh pelanggan sesuai dengan kontrak pada saat pemasangan. APP mencatat daya yang dikonsumsi oleh pelanggan, sebagai saklar utama pemutus aliran listrik jika terjadi kelebihan pemakaian daya oleh pelanggan, dan sebagai pengaman apabila terjadi hubungan singkat dalam instalasi rumah. Dalam hal ini APP juga disebut sebagai kWh meter.

Penelitian ini menawarkan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT yang terdiri dari modul sensor arus dan tegangan PZM004 untuk mengukur tegangan dan arus pada beban, dan sebuah modul mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan modul Wifi. Di dalam mikrokontroler ESP32 dilakukan pemrograman menggunakan Arduino IDE. Terdapat tiga program utama yaitu: inisialisasi, perhitungan energi (kWh) dan penerapan rumus SES, dan kirim data ke *cloud*.

Untuk bisa mengirim data ke *cloud* diperlukan *router* Wifi. Modul Wifi pada ESP32 diprogram untuk dapat memperoleh akses internet melalui piranti *router* Wifi. Data output kemudian yang dikirim ke server Blynk yang ada di *cloud*. Data di server Blynk dapat diakses melalui Smartphone melalui aplikasi Blynk yang bisa diinstal dari Playstore dan oleh PC/Laptop dari website Blynk.cloud.

3.2. Gambar Rangkaian

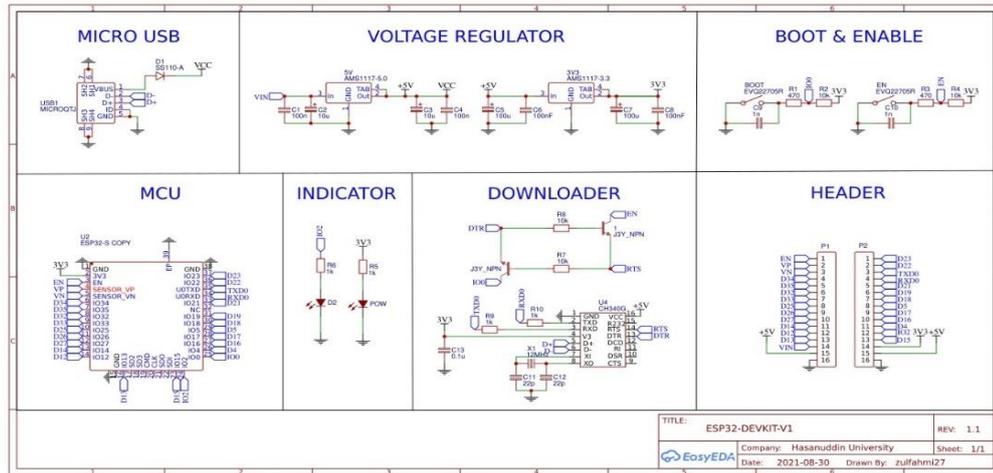
Rangkaian atau diagram skematik dari model penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram skematik model penelitian.

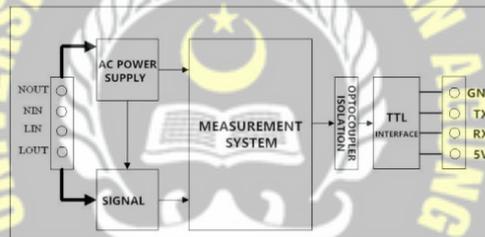
Beban yang akan diukur dipasang di stop-kontak atau terminal listrik. Sensor arus dan tegangan PZEM004 mengambil data tegangan, arus, dan frekuensi listrik pada beban sebagai input, sedangkan outputnya adalah data serial. Data serial ini kemudian menjadi inputan bagi Mikrokontroler ESP32 untuk diolah dengan pemrograman menggunakan Arduino IDE. Output ESP32 berupa sinyal analog tegangan DC yang kemudian dialirkan ke mini LCD display OLED (interface I2C) untuk ditampilkan. Output ESP32 juga dikirim ke *cloud* melalui modul WiFi yang melekat pada ESP32.

Gambar skema diagram elektronik modul mikrokontroler ESP32 secara terperinci ditunjukkan oleh Gambar 3.3.

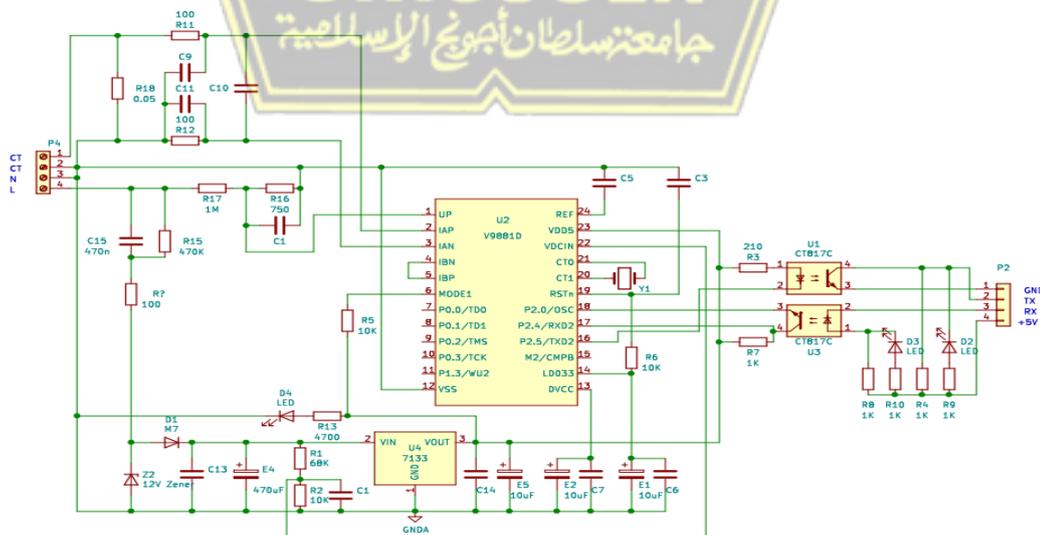


Gambar 3.3 Skema diagram ESP32[28].

Gambar diagram blok fungsional, rangkaian elektronik, dan diagram pengkabelan dari modul sensor PZEM004 ditunjukkan oleh Gambar 3.4. sampai dengan Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Diagram blok fungsional PZM004[29].



Gambar 3.5 Skema eletronik PZM004[30].



Gambar 3.6 Diagram pengkabelan PZM004 [29]

3.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. Laptop untuk membuat program dan monitoring;
2. Smartphone untuk Wifi router dan monitoring
3. Multimeter untuk pengukuran parameter kelistrikan;
4. Solder untuk merakit rangkaian elektronik;
5. Tang untuk memotong kabel;
6. Obeng

Bahan yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. Lampu Pijar sebagai beban yang akan diukur;
2. Fitting lampu;
3. Modul Sensor Arus dan Tegangan PZEM-004T;
4. Mikrokontroler ESP 32 (+Modul Wifi);
5. LCD Display Module Arduino, 0.96 Inch OLED SSD1306 128x64;
6. Terminal listrik 3 lubang;
7. Steker listrik
8. Kabel-kabel;
9. Papan akrilik;
10. Sekrup
11. Timah solder
12. Laman web <https://sgp1.blynk.cloud>

3.4. Internet of Things

Dalam penelitian ini IoT diaplikasikan dengan melakukan pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*) bawaan dari Arduino. Arduino IDE dapat diunduh secara gratis pada alamat URL berikut: <https://www.arduino.cc/> atau <https://wiki-content.arduino.cc/en/software> Software ini dapat digunakan pada OS Windows, Mac OS dan Linux. Aplikasi arduino IDE berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* ESP32. *Sketch* adalah program yang ditulis dengan menggunakan Arduino IDE. Sketch yang disimpan akan memiliki ekstensi file .ino. Dalam penulisan program pada Arduino IDE ini ada beberapa struktur dasar. Tampilan awal versi terbaru Arduino IDE 2.0.3 ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Tampilan awal Arduino IDE [31]

Ada tiga sketch utama dalam mikrokontroler ESP32 dalam penelitian ini, yaitu: inisialisasi, Perhitungan energi (kWh) dan penerapan rumus SES, dan kirim data ke *cloud*. Inisialisasi, berfungsi untuk pemberian nilai awal (data awal) yang dilakukan deklarasi variasi atau objek. Agar sistem pada alat berjalan sesuai dengan yang diinginkan maka dibutuhkan inisialisasi pin pada software Arduino IDE. Perhitungan energi (kWh) adalah pemrograman matematika untuk mendapatkan besaran daya dari tegangan dan arus yang terukur pada beban, sedangkan penerapan

rumus SES adalah pemrograman matematika untuk mendapatkan nilai prediksi energi dan biaya. Kirim data ke *cloud*, serangkaian instruksi yang berfungsi untuk mengirim data ke *cloud* (server Blynk).

3.5. Metode Pengujian *Black Box*

Pengujian prototipe dalam penelitian ini menggunakan metode *Black box testing*[32]. *Black box testing* merupakan teknik pengujian software yang fokus pada spesifikasi fungsi-fungsi yang ada pada perangkat lunak yang dikembangkan. *Black box testing* cenderung dapat menemukan beberapa hal seperti fungsional yang tidak benar atau tidak ada, kesalahan struktur data, kesalahan akses basis data, kesalahan antar muka, kesalahan *performance* serta kesalahan inisialisasi dan terminasi.

Keuntungan menggunakan metode *Black box testing* adalah 1) penguji tidak perlu memiliki pengetahuan tentang bahasa pemrograman tertentu; 2) pengujian dilakukan dari sudut pandang pengguna, hal ini membantu untuk mengungkapkan ambiguitas atau inkonsistensi dalam spesifikasi persyaratan; 3) programmer dan tester keduanya saling bergantung satu sama lain. Adapun kekurangan dari metode testing ini adalah 1) uji kasus sulit disain tanpa spesifikasi yang jelas; 2) kemungkinan memiliki pengulangan tes yang sudah dilakukan oleh programmer; dan 3) beberapa bagian *back end* tidak diuji sama sekali [33].

Boundary Value Analysis (BVA) merupakan salah satu teknik dalam metode pengujian *Black box* yang fokus pada proses masukan dengan menguji nilai batas atas dan nilai batas bawah. Prinsip kerja BVA yaitu 1) kesalahan yang banyak terjadi adalah ketika proses masukan; 2) BVA bekerja pada proses masukan.

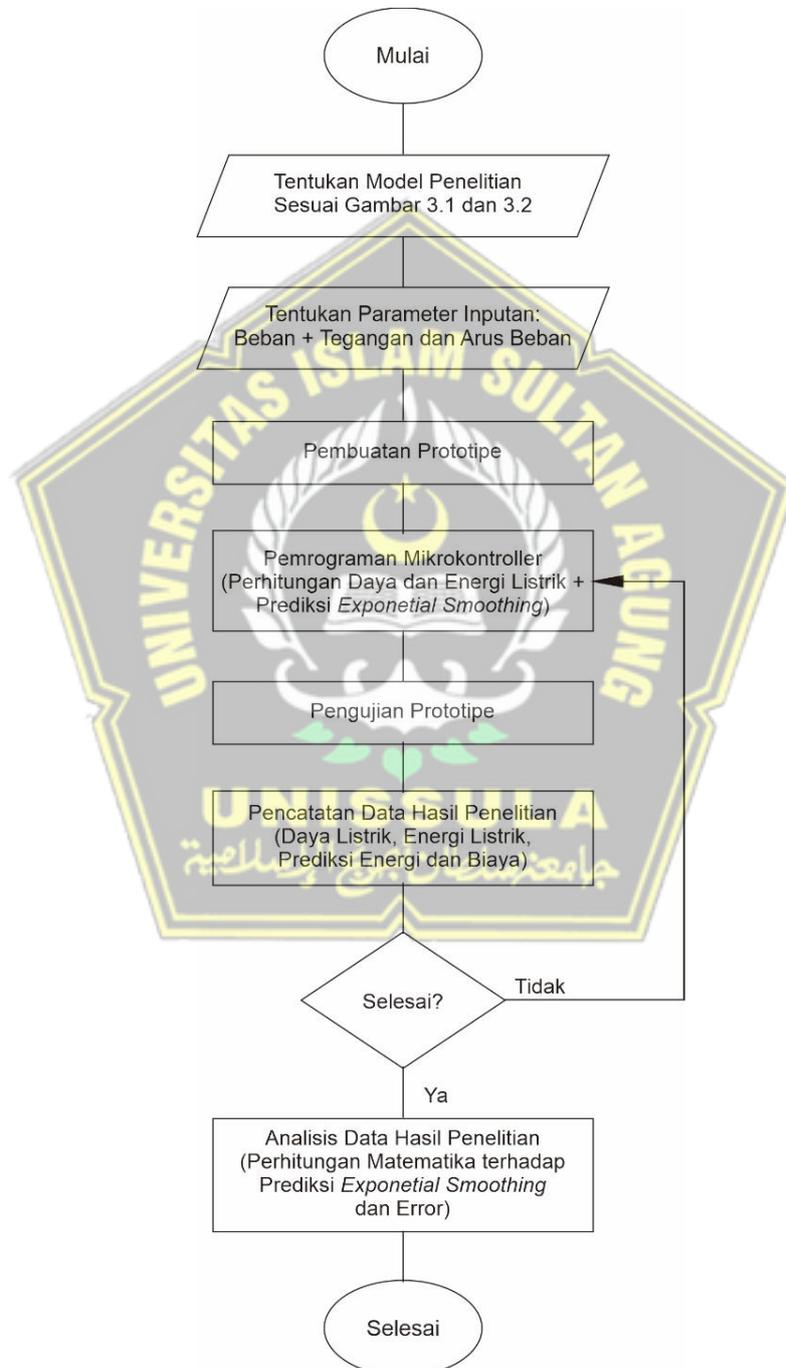
Algoritma *Black box testing* dengan teknik BVA adalah sebagai berikut:

- Jika kondisi masukan berada pada kisaran nilai x dan y , maka kasus uji harus dibuat dengan data sampel $x-1$, x , y , $y+1$.
- Jika kondisi masukan yang menggunakan sejumlah nilai, maka kasus uji harus dibuat data sampel minimum -1 , minimum, maksimum, maksimum $+1$.
- Lakukan langkah 1 dan 2 untuk proses output.

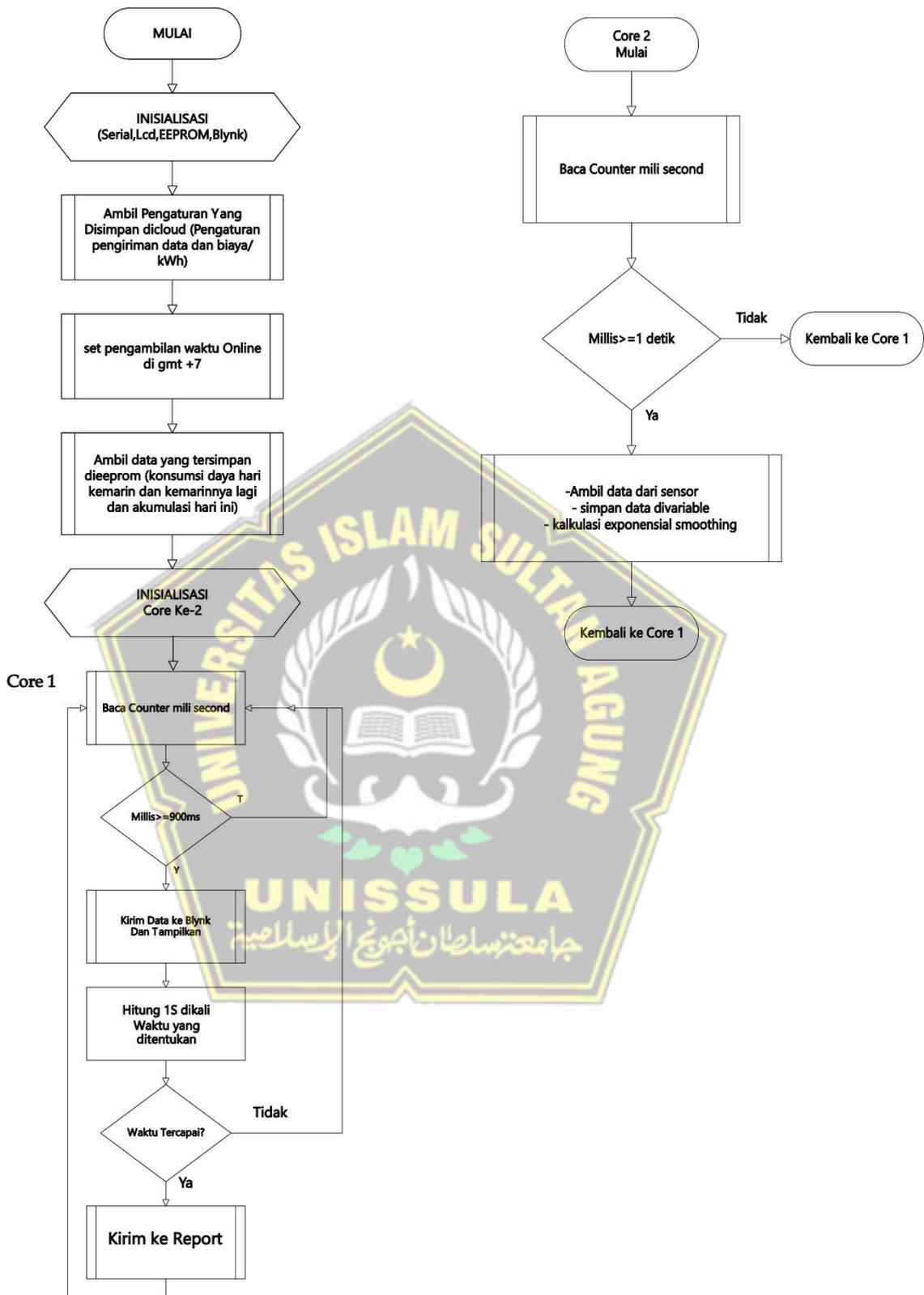
- Jika data telah memiliki batasan masukan (misal: larik ditetapkan maks. 10), maka kasus uji dibuat pada batasan tersebut.

3.5. Flowchart Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.8. dan flowchart pemrograman ESP32 ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.9. Flowchart pemrograman ESP32.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

Dengan merujuk pada model penelitian sesuai Gambar 3.1. dan 3.2. dan parameter input berupa arus, tegangan, dan frekuensi pada beban maka dibuatlah prototipe alat monitoring daya dan prediksi (AMPD) berbasis IoT sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 4.1.a dan 4.1.b.



Gambar 4.1.a Prototipe AMPD dibuka *casing*-nya.



Gambar 4.1.b Prototipe AMPD ditutup *casing*-nya.

- Spesifikasi prototipe:
- Mikrokontroler ESP32 Devkit
 - Sensor PZEM004 10 A
 - Mini LCD OLED 128x64
 - Terminal listrik 3 stop-kontak merk Pioline
 - Casing akrilik 2 mm

4.1.1 Data Hasil Pengujian Beban Resistif

Dua buah lampu Pijar 5 Watt dipasang sebagai simulasi beban resistif sebagaimana terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pengujian prototipe dengan beban resistif lampu pijar 5 Watt.

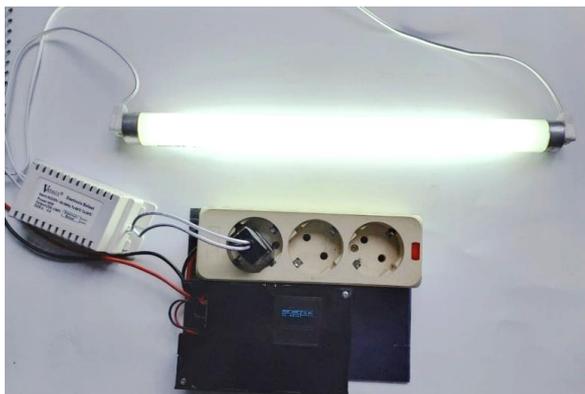
Berdasarkan flowchart alir penelitian pada Gambar 3.8. dan 3.9. diperoleh data penelitian sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Resistif Lampu Pijar 5 Watt

Jam	Daya (kWh)	Biaya Rp	Prototipe	
			Prediksi Daya (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
1	3,429	4636,008		
2	3,3972	4593,0144	3,429	4636,008
3	3,5649	4819,7448	3,4067	4605,9124
4	3,5711	4828,1272	3,5174	4755,5951
5	3,4143	4616,1336	3,5550	4806,3675
6	3,3356	4509,7312	3,4565	4673,2037

4.1.2. Data Hasil Pengujian Beban Kapasitif

Pengujian dilakukan dengan memasang beban berupa sebuah lampu TL 10 Watt sebagai simulasi beban kapasitif sebagaimana terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Penempatan simulasi beban kapasitif pada prototipe.

Berdasarkan flowchart alir penelitian pada Gambar 3.8. dan 3.9. Diperoleh data penelitian sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Kapasitif Lampu TL 10 Watt

Hari	Energi/ Hari (kWh)	Biaya/ Hari (Rp)	Prediksi Energi (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
1	0,1478	199,8256		
2	0,1486	200,9072	0,1478	199,8256
3	0,1493	201,8536	0,1484	200,5827
4	0,1487	201,0424	0,1490	201,4723
5	0,1490	201,4480	0,1488	201,1714
6	0,1500	202,8000	0,1489	201,3650
7	0,1497	202,3944	0,1497	202,3695
8	0,1492	201,7184	0,1497	202,3869
9	0,1499	202,6648	0,1493	201,9190
10	0,1499	202,6648	0,1497	202,4410
11	0,1496	202,2592	0,1499	202,5977
12	0,1485	200,7720	0,1497	202,3607
13	0,1492	201,7184	0,1489	201,2486
14	0,1491	201,5832	0,1491	201,5775
15	0,1496	202,2592	0,1491	201,5815

4.1.3. Data Hasil Pengujian Beban Induktif

Pengujian dilakukan dengan memasang beban listrik berupa tiga buah mesin pompa akuarium masing-masing berukuran 6,5 Watt sebagai simulasi beban induktif sebagaimana terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Penempatan simulasi beban induktif pada prototipe.

Berdasarkan flowchart alir penelitian pada Gambar 3.8. dan 3.9. diperoleh data penelitian sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Prototipe Beban Induktif Pompa Akuarium 3 x 6,5 Watt.

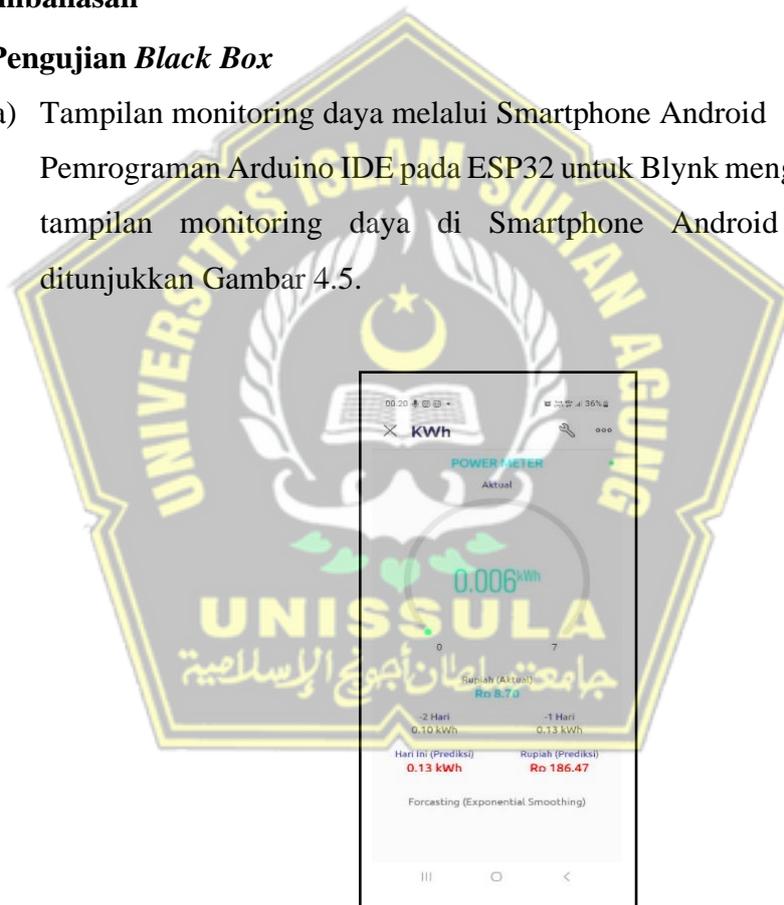
Hari	Energi/ Hari (kWh)	Biaya/ Hari (Rp)	Prediksi Energi (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
1	0,1887	255,1224		
2	0,1898	256,6096	0,1887	255,1224
3	0,1885	254,8520	0,1895	256,1634
4	0,1889	255,3928	0,1888	255,2454
5	0,1882	254,4464	0,1889	255,3486
6	0,1887	255,1224	0,1884	254,7171
7	0,1880	254,1760	0,1886	255,0008
8	0,1881	254,3112	0,1882	254,4234
9	0,1888	255,2576	0,1881	254,3449

Hari	Energi/ Hari (kWh)	Biaya/ Hari (Rp)	Prediksi Energi (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
10	0,1878	253,9056	0,1886	254,9838
11	0,1881	254,3112	0,1880	254,2291
12	0,1879	254,0408	0,1881	254,2866
13	0,1877	253,7704	0,1880	254,1145
14	0,1872	253,0944	0,1878	253,8736
15	0,1880	254,1760	0,1874	253,3282

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengujian *Black Box*

- a) Tampilan monitoring daya melalui Smartphone Android
 Pemrograman Arduino IDE pada ESP32 untuk Blynk menghasilkan hasil tampilan monitoring daya di Smartphone Android sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Tampilan Aplikasi Power Meter berbasis Android.

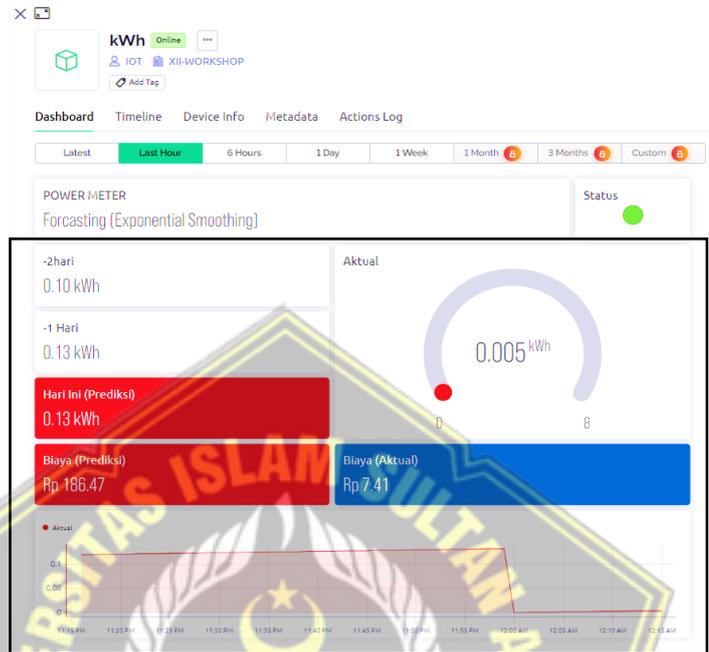
Pengujian *Black Box* terhadap monitoring daya di Smartphone Android dilakukan dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Pengujian *Black Box* Monitoring Prototipe Melalui Smartphone Android

Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Menampilkan nama aplikasi	Sistem mampu menampilkan nama aplikasi	Tampil nama aplikasi POWER METER	Berhasil
Menampilkan energi Aktual	Sistem mampu menampilkan energi Aktual	Tampil energi aktual terukur 0,006 kWh	Berhasil
Menampilkan range kWh energi Aktual	Sistem mampu menampilkan range kWh energi Aktual	Tampil Range energi 0-7 kWh	Berhasil
Menampilkan Biaya Aktual	Sistem mampu menampilkan Biaya Aktual	Tampil biaya aktual Rp 8,70	Berhasil
Menampilkan penggunaan energi 2 hari lalu	Sistem mampu menampilkan penggunaan energi 2 hari lalu	Tampil energi listrik terpakai 2 hari yang lalu 0,10 kWh	Berhasil
Menampilkan penggunaan energi 1 hari lalu	Sistem mampu menampilkan penggunaan energi 1 hari lalu	Tampil energi listrik terpakai 1 hari lalu 0,13 kWh	Berhasil
Menampilkan prediksi energi hari ini (t+1)	Sistem mampu menampilkan prediksi energi hari ini (t+1)	Tampil prediksi daya terpakai hari ini 0,13 KWH	Berhasil
Menampilkan prediksi biaya hari ini (t+1)	Sistem mampu menampilkan prediksi biaya hari ini (t+1)	Tampil prediksi biaya energi hari ini Rp 186,47	Berhasil

b) Tampilan monitoring daya melalui layar laptop/PC

Pemrograman Arduino IDE pada ESP32 untuk Blynk menghasilkan hasil tampilan monitoring daya pada Laptop/PC dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Tampilan Aplikasi KWH Blynk.cloud berbasis Android.

Pengujian *Black Box* terhadap tampilan monitoring daya melalui layar laptop/PC dilakukan dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5. Pengujian *Black Box* Tampilan Monitoring Prototipe Melalui Laptop/PC

Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Menampilkan nama aplikasi	Sistem mampu menampilkan nama aplikasi	Tampil nama aplikasi POWER METER	Berhasil
Menampilkan energi Aktual	Sistem mampu menampilkan energi Aktual	Tampil energi aktual terukur 0,005 kWh	Berhasil

Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Menampilkan range kWh energi Aktual	Sistem mampu menampilkan range kWh energi Aktual	Tampil Range energi 0-8 kWh	Berhasil
Menampilkan Biaya Aktual	Sistem mampu menampilkan Biaya Aktual	Tampil biaya aktual Rp 7,41	Berhasil
Menampilkan penggunaan energi 2 hari lalu	Sistem mampu menampilkan penggunaan energi 2 hari lalu	Tampil energi listrik terpakai 2 hari yang lalu 0,10 kWh	Berhasil
Menampilkan penggunaan energi 1 hari lalu	Sistem mampu menampilkan penggunaan energi 1 hari lalu	Tampil energi listrik terpakai 1 hari lalu 0,13 kWh	Berhasil
Menampilkan prediksi energi hari ini (t+1)	Sistem mampu menampilkan prediksi energi hari ini (t+1)	Tampil prediksi daya terpakai hari ini 0,13 KWH	Berhasil
Menampilkan prediksi biaya hari ini (t+1)	Sistem mampu menampilkan prediksi biaya hari ini (t+1)	Tampil prediksi biaya energi hari ini Rp 186,47	Berhasil
Menampilkan grafik energi aktual	Sistem mampu menampilkan grafik energi aktual	Tampil grafik energi aktual	Berhasil

Dari Gambar 4.5. dapat dilihat bahwa apabila diakses menggunakan PC/Laptop, aplikasi POWER METER berbasis website Blynk.cloud dapat

menampilkan grafik energi terpakai pada satu jam terakhir, Enam jam terakhir, Satu hari terakhir, dan satu bulan terakhir.



Gambar 4.7. Grafik energi listrik terpakai satu jam terakhir.

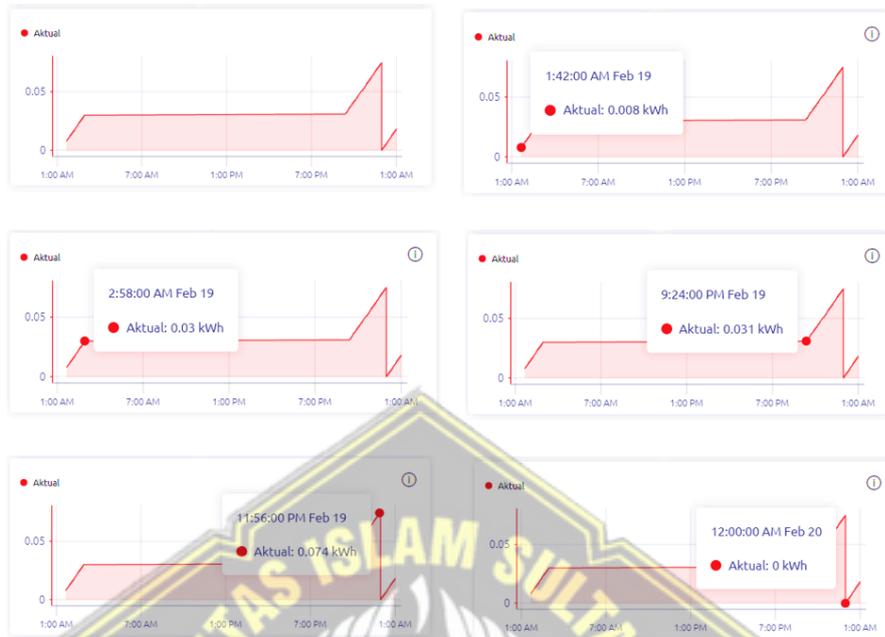
Gambar 4.7. menunjukkan grafik energi listrik terpakai dalam satu jam terakhir. Jika kursor diarahkan ke awal grafik maka dapat diketahui bahwa data energi listrik terpakai diambil pada jam 11:07 PM (23:07 WIB) pada tanggal 19 Februari 2023, dan nilai aktual energi terpakai pada waktu itu adalah 0,05953 kWh. Di akhir grafik (satu jam setelahnya) menunjukkan bahwa pada jam 11:59 PM (23:59 WIB) tanggal 19 Februari 2023 nilai aktual energi terpakai sebesar 0,075 kWh.



Gambar 4.8. Grafik energi listrik terpakai enam jam terakhir.

Gambar 4.8. menunjukkan grafik energi listrik terpakai pada enam jam terakhir. Terlihat bahwa waktu awal menunjukkan jam 9:24 PM (21:24 WIB) dan energi listrik aktual sebesar 0,031 kWh. Waktu awal seharusnya menunjukkan jam 6:00 PM (18:00 WIB). Hal ini disebabkan pada waktu antara jam 18:00 – 21:23 WIB data tidak tercatat oleh sistem karena prototipe tidak dapat mengirim data ke

cloud karena tidak mendapatkan akses Wifi. Adapun waktu akhir menunjukkan jam 11:59 PM (23:59 WIB) dengan energi listrik aktual sebesar 0,075 kWh.



Gambar 4.9. Grafik energi listrik terpakai satu hari terakhir.

Gambar 4.9. menunjukkan bahwa awal waktu pencatatan adalah jam 1:28 AM (01:28 WIB) tanggal 19 februari 2023 dengan energi listrik aktual sebesar 0,008 kWh dan berakhir pada 12:00 PM (00:00 WIB) tanggal 19 februari 2023 dengan energi listrik aktual sebesar 0 kWh.



Gambar 4.10. Grafik energi listrik terpakai satu minggu terakhir.

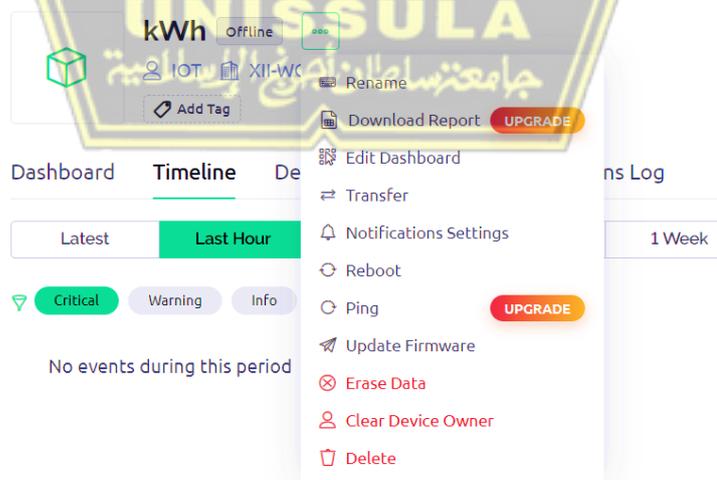
Gambar 4.9. menunjukkan bahwa awal waktu pencatatan adalah pada 2:00 AM (02:00 WIB) tanggal 13 Februari 2023 dengan energi listrik aktual sebesar 0,09139 kWh dan berakhir pada 1:00 AM (01:00 WIB) tanggal 20 Februari 2023 dengan energi listrik aktual sebesar 0,0199 kWh.

Aplikasi Blynk.cloud juga menyediakan fasilitas untuk melihat histori penggunaan energi pada satu bulan terakhir, tiga bulan terakhir, dan bahkan dapat diatur sesuai kebutuhan (*Custom*). Namun fasilitas ini terkunci dan hanya bisa dipakai apabila pengguna meng-*upgrade* statusnya ke pengguna berbayar, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Fasilitas melihat data yang lebih lama yang disediakan oleh Blynk.cloud.

Blynk.cloud juga menyediakan menu untuk mengunduh laporan data yang tersimpan selama proses monitoring. Namun menu ini juga terkunci, kecuali oleh pengguna berbayar, seperti terlihat pada Gambar 4.12. Jadi maksimal data olahan yang bisa dimonitor terbatas hanya selama maksimal tujuh hari terakhir.



Gambar 4.12. Fasilitas unduh laporan untuk melihat data yang lebih lama yang disediakan oleh Blynk.cloud.

c) Sensor PZEM004

Pemrograman Arduino IDE telah dilakukan terhadap sensor PZEM004 sebagaimana terlampir dalam Lampiran Listing Program Arduino IDE. Pengujian *Black Box* terhadap sensor PZEM004 telah dilakukan dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Pengujian *Black Box* Sensor PZEM004

Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Inisiasi Tegangan	Sistem mengukur Tegangan	OLED menampilkan Tegangan terukur	Berhasil
Inisiasi Arus	Sistem mengukur Arus	OLED menampilkan Arus terukur	Berhasil
Inisiasi Frekuensi	Sistem mengukur Frekuensi	OLED menampilkan Frekuensi terukur	Berhasil

d) Mikrokontroler ESP32+Wifi

Pemrograman Arduino IDE telah dilakukan terhadap Mikrokontroler ESP32+Wifi sebagaimana terlampir dalam Lampiran Listing Program Arduino IDE. Pengujian *Black Box* terhadap Mikrokontroler ESP32+Wifi telah dilakukan dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Pengujian *Black Box* Mikrokontroler ESP32+Wifi

Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Rumus menghitung daya	Sistem mampu memproses perhitungan daya	OLED mampu menampilkan nilai Daya	Berhasil
Rumus SES	Sistem mampu memproses perhitungan daya	OLED mampu menampilkan nilai Prediksi	Berhasil

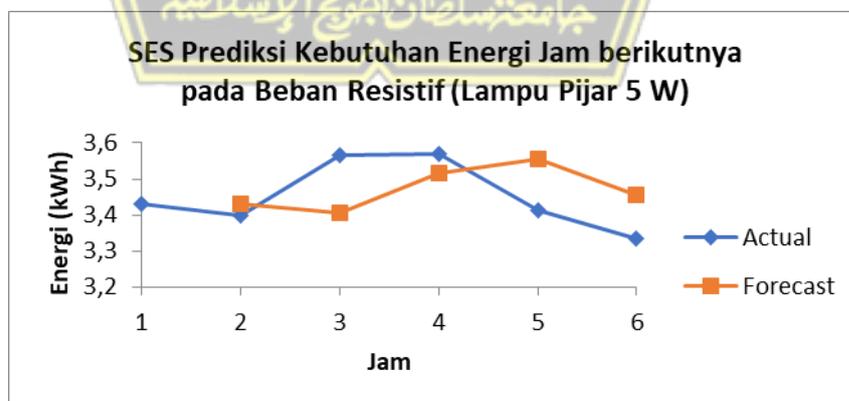
Data Masukan	Harapan Keluaran	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Deteksi Wifi	Sistem mampu mendeteksi Wifi	Perangkat terdeteksi di Router.	Berhasil
Mengirim data ke <i>Cloud</i>	Sistem mampu mengirim data ke <i>Cloud</i>	Smartphone dan laptop/PC dapat mengakses data monitoring via aplikasi /website Blynk	Berhasil

4.2.2. Analisis Data Penelitian

Berikut ini akan diuraikan analisis data hasil penelitian beban resistif, kapasitif, dan induktif menggunakan visualisasi grafik. Adapun kesesuaian hasil prediksi metode peramalan *Exponential Smoothing* dihitung dengan metode:

- MAD (*Mean Absolute Deviation* = Rata-rata Penyimpangan Absolut),
- MSE (*Mean Square Error* = Rata-rata Kuadrat Kesalahan), dan
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error* = Rata-rata Persentase Kesalahan Absolut)

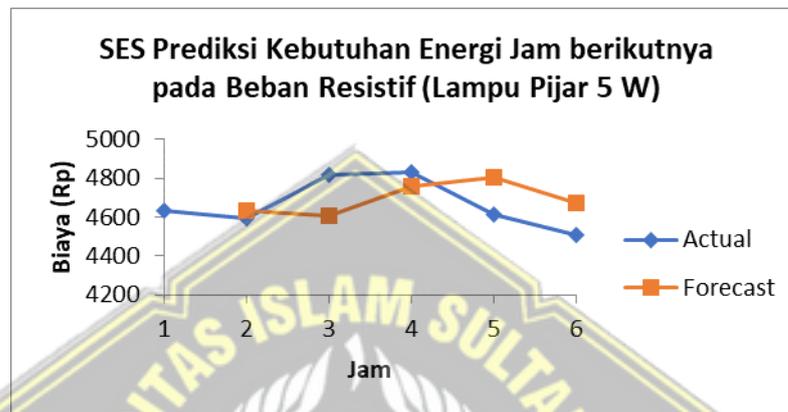
- a) Grafik hasil prediksi kebutuhan energi pada jam berikutnya untuk beban resistif lampu pijar 5 Watt ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi pada Jam berikutnya untuk beban resistif.

Gambar 4.12. menunjukkan bahwa hasil prediksi energi/jam beban resistif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan energi/hari yang dikonsumsi.

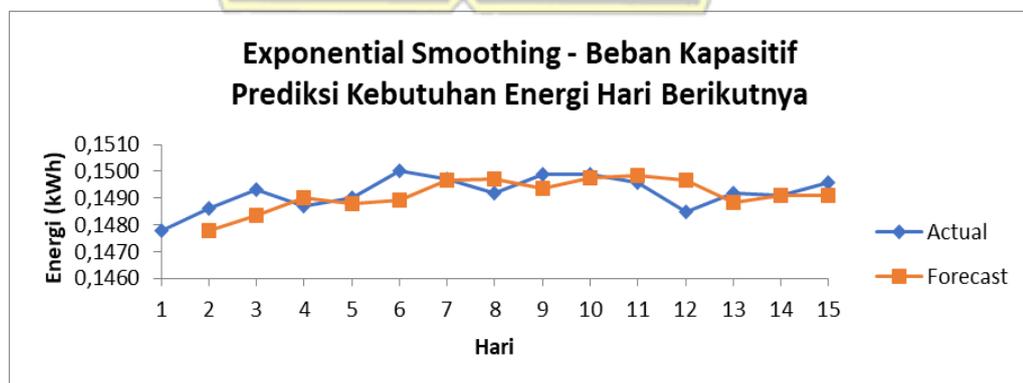
- b) Grafik hasil prediksi biaya energi pada jam berikutnya untuk beban resistif ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Perbandingan antara biaya energi/Jam (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban resistif.

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa hasil prediksi biaya energi/hari beban resistif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan biaya energi/hari yang harus dibayar.

- c) Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban kapasitif ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban kapasitif.

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa hasil prediksi energi/hari beban kapasitif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan energi/hari yang dikonsumsi.

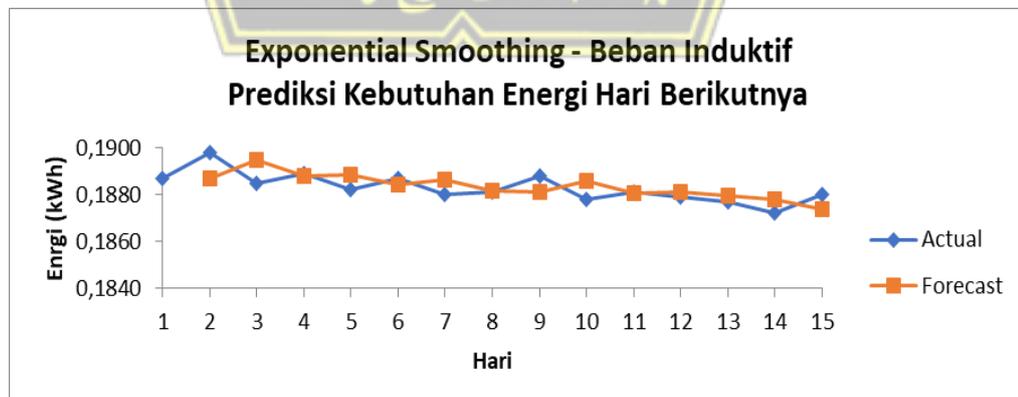
- d) Grafik hasil prediksi kebutuhan biaya energi hari berikutnya untuk beban kapasitif ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Perbandingan antara biaya energi/hari (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban kapasitif.

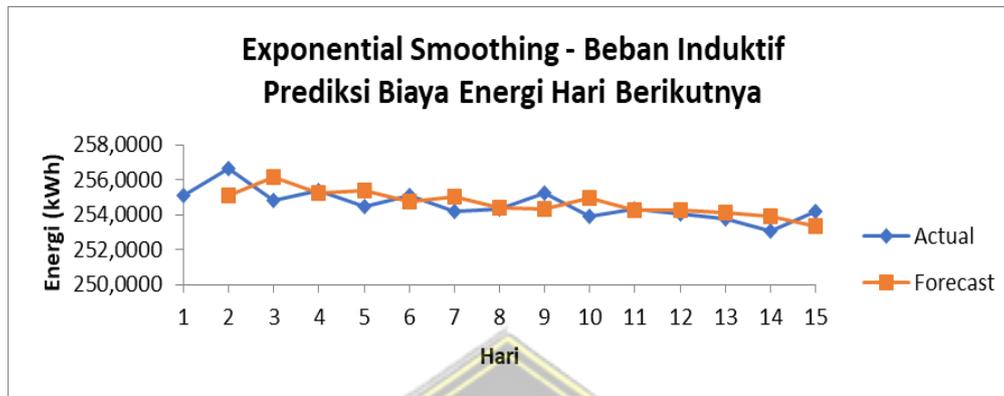
Gambar 4.15 menunjukkan bahwa hasil prediksi biaya energi/hari beban kapasitif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan biaya energi/hari yang harus dibayar.

- e) Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban induktif ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Grafik hasil prediksi kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban induktif.

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa hasil prediksi energi/hari beban induktif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan energi/hari yang dikonsumsi.



Gambar 4.17. Perbandingan antara biaya energi/hari (Rp) dengan prediksi biaya energi (Rp) beban induktif.

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa hasil prediksi biaya energi/hari beban induktif memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi karena gambar grafik mendekati atau hampir sama dengan biaya energi/hari yang harus dibayar.

4.2.6. Kesesuaian Hasil Prediksi

Merujuk pada persamaan (2.11) – (2.13) maka kesesuaian hasil prediksi energi dan biaya dihitung sebagai berikut:

- a. Kesesuaian hasil prediksi pada beban resistif lampu pijar 5 Watt:

$$MAD \text{ Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{0,5052}{5} = 0,1010$$

$$MAD \text{ Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{683,0646}{5} = 136,6129$$

$$MSE \text{ Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{0,0633216}{5} = 0,0126643$$

$$MSE \text{ Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{115745,8676}{5} = 23149,1735$$

$$\begin{aligned} \text{MAPE Prediksi Energi} &= \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{14,6209}{5} \\ &= 2,92418 = 2,92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MAPE Prediksi Biaya} &= \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{14,6209}{5} \\ &= 2,92418 = 2,92\% \end{aligned}$$

b. Kesesuaian hasil prediksi pada beban kapasitif lampu TL 10 Watt:

$$\text{MAD Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{0,0068}{14} = 0,0004857$$

$$\text{MAD Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{9,2375}{14} = 0,66125$$

$$\begin{aligned} \text{MSE Prediksi Energi} &= \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{0,000005185}{14} \\ &= 0,000000370 \end{aligned}$$

$$\text{MSE Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{9,4781}{14} = 0,6770$$

$$\text{MAPE Prediksi Energi} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{4,5783}{14} = 0,3270214$$

$$\text{MAPE Prediksi Biaya} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{4,5783}{14} = 0,3270214$$

c. Kesesuaian hasil prediksi pada beban induktif pompa akuarium @ 6,5 Watt:

$$\text{MAD Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{0,0070}{14} = 0,0005$$

$$\text{MAD Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{9,1316}{14} = 0,6522571$$

$$\begin{aligned} \text{MSE Prediksi Energi} &= \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{0,000004996}{14} \\ &= 0,000000357 \end{aligned}$$

$$MSE \text{ Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{9,1316}{14} = 0,6523$$

$$MAPE \text{ Prediksi Energi} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{3,7222}{14} = 0,26\%$$

$$MAPE \text{ Prediksi Biaya} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{3,7222}{14} = 0,26\%$$



BAB IV KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

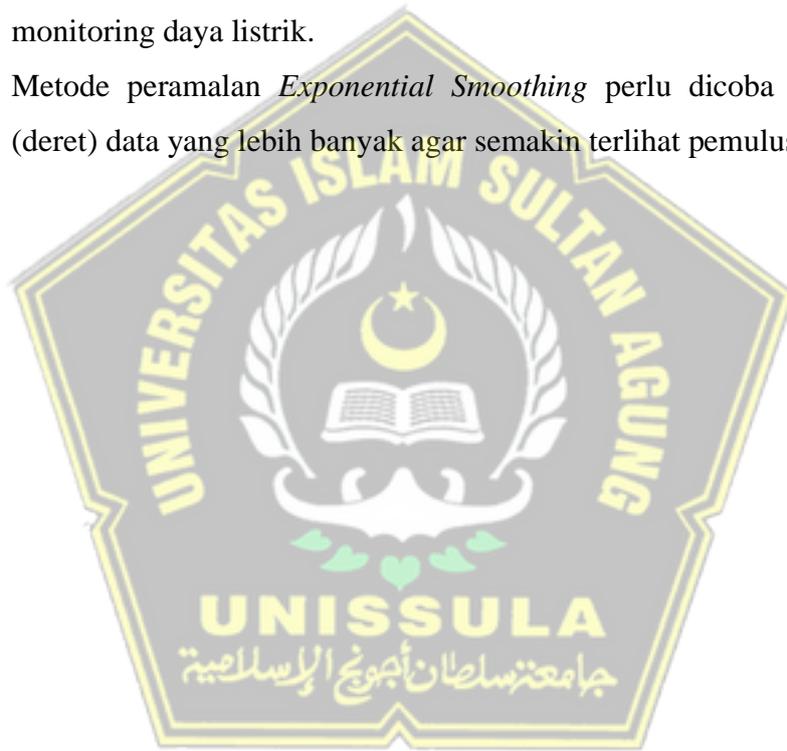
Setelah dilakukan pengujian, pengambilan data, dan analisis dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Prototipe AMPD dapat bekerja dengan baik dan memenuhi tujuan perancangan dan pengembangannya.
- 2) Besaran energi dan biaya yang diukur AMPD berhasil dimonitor secara *real-time* dan dari jarak jauh menggunakan perangkat Smartphone Android dan Laptop/PC yang terhubung dengan internet.
- 3) Metode peramalan SES yang ditambahkan ke prototipe AMPD mampu menghasilkan informasi prediksi kebutuhan energi dan biaya energi pada periode berikutnya secara akurat.
- 4) Ketepatan ramalan kebutuhan energi dan biaya dihitung dengan metode *Mean Absolute Deviation (MAD)*, *Mean Squared Error (MSE)*, *Mean Absolute Percent Error (MAPE)*.
 - Ketepatan ramalan prototipe terhadap kebutuhan energi dan biaya pada beban resistif lampu pijar menunjukkan nilai MAD: 0,01010 dan 136,6129, MSE: 23149,1735 dan 23149,1735, MAPE 2,43% dan 2,42% menunjukkan hasil peramalan sangat baik dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.
 - Ketepatan ramalan prototipe terhadap kebutuhan energi dan biaya pada beban kapasitif lampu TL menunjukkan nilai MAD: 0,0005 dan 0,6598, MSE: 0,000000370 dan 0,6770, MAPE 0,32% dan 0,32% menunjukkan hasil peramalan cukup baik dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.
 - Ketepatan ramalan prototipe terhadap kebutuhan energi dan biaya pada beban induktif 3 pompa akuarium @ 6,5 Watt menunjukkan nilai MAD: 0,0005 dan 0,6772, MSE: 0,000000357 dan 0,6523; MAPE: 26% dan 26% menunjukkan hasil peramalan cukup baik dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

- 1) Penelitian ini masih sangat mungkin untuk dikembangkan dengan menambahkan fungsi-fungsi lain ke dalam prototipe, semisal menambahkan fungsi notifikasi, atau diuji dengan menggunakan beban campuran.
- 2) Untuk membandingkan hasil prediksi maka prototipe dapat dikembangkan dengan menerapkan metode peramalan yang lain ke dalam sistem monitoring daya listrik.
- 3) Metode peramalan *Exponential Smoothing* perlu dicoba untuk jumlah (deret) data yang lebih banyak agar semakin terlihat pemulusannya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. ArjunPratikto, "Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, 2022, doi: 10.36040/aliner.v3i1.4855.
- [2] E. Kurniawan, D. S. Pangaudi, and E. N. Widjatmoko, "Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, pp. 63–68, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.8772.
- [3] M. F. Pela and R. Pramudita, "Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things Pada Rumah Dengan Menggunakan Aplikasi Blynk," *Infotech J. Technol. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 47–54, 2021, doi: 10.37365/jti.v7i1.106.
- [4] S. L. Zaen and A. Rozaq, "Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Web," *J. ELKON*, vol. 01, no. 01, pp. 2809–140, 2021.
- [5] A. D. Pangestu, F. Ardianto, and B. Alfaresi, "Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266," *J. Ampere*, vol. 4, no. 1, p. 187, 2019, doi: 10.31851/ampere.v4i1.2745.
- [6] L. G. R. P. Sirojul Hadi, Andi Sofyan Anas, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things," *J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 54, 2022, doi: 10.22373/crc.v6i1.10862.
- [7] M. Nursamsi Adiwiranto and C. Budi Waluyo, "Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya Pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 32–41, 2022, doi: 10.33019/electron.v2i2.2.
- [8] K. E. Purwanto, U. T. Kartini, and ..., "Prediksi Daya Listrik Jangka Sangat Pendek Pembangkit Photovoltaic Berbasis Internet of Things Menggunakan Feed Forward Neural Network," *J. Tek. ...*, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/48876%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/48876/40726>
- [9] A. F. Ikhfa and M. Yuhendri, "Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 257–266, 2022, [Online]. Available: <http://jtein.pjj.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/233>
- [10] M. D. Sugihardi, Solekhan, "SISTEM MONITORING PEMAKAIAN LISTRIK MENGGUNAKAN LORA BERBASIS APLIKASI," vol. 02, no. 01, pp. 35–41, 2022.
- [11] E. Ostertagová and O. Ostertag, "Forecasting using simple exponential smoothing method," *Acta Electrotech. Inform.*, vol. 12, no. 3, 2013, doi:

10.2478/v10198-012-0034-2.

- [12] I. Falani, "Penentuan Nilai Parameter Metode Exponential Smoothing Dengan Algoritma Genetik Dalam Meningkatkan Akurasi Forecasting," *Comput. Eng. Sci. Syst. J.*, vol. 3, no. 1, p. 14, 2018, doi: 10.24114/cess.v3i1.8268.
- [13] M. Dr. Hantje Ponto, DEA., *DASAR TEKNIK LISTRIK*, vol. 13, no. 1. Sleman: Deepublish, 2018.
- [14] R. Andari, "Sistem Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 29–36, 2021, doi: 10.33369/jamplifier.v11i1.15472.
- [15] E. Ariyanto and yuniarto, "Korektor Faktor Daya Otomatis Pada Instalasi Listrik Rumah Tangga," *Gema Teknol.*, vol. 19, no. 4, pp. 24–30, 2017.
- [16] I. Kartika, "Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif," *J. Surya Energy*, vol. 1, no. 2, pp. 100–111, 2017.
- [17] S. Anwar, T. Artono, N. Nasrul, D. Dasrul, and A. Fadli, "Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T," *Pros. Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 272–276, 2019, [Online]. Available: <http://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/semnaspnl/article/view/1694>
- [18] Muliadi, A. Imran, and M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 2721–9100, 2020.
- [19] A. Wagya, "Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT)," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 8, no. 2, p. 238, 2019, doi: 10.36055/setrum.v8i2.6561.
- [20] H. Kusumah and R. A. Pradana, "Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler Dan Internet of Things Berbasis Esp32 Pada Mata Kuliah Interfacing," *J. CERITA*, vol. 5, no. 2, pp. 120–134, 2019, doi: 10.33050/cerita.v5i2.237.
- [21] O. G. Display *et al.*, "OLED graphic display," 2019.
- [22] BLYNK, "BLYNK." <https://blynk.cloud/dashboard/258321/global/filter/1640591>
- [23] 2019 M Azman Maricar., "Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ," *J. Sist. dan Inform.*, vol. 13, no. 2, pp. 36–45, 2019.
- [24] M. Mursidah, Y. Yunina, N. Nurhasanah, and ..., "Perbandingan Metode Exponential Smoothing dan Metode Decomposition Untuk Meramalkan Persediaan Beras (Studi Kasus Divre Bulog Lhokseumawe)," *Visioner ...*, vol. 10, pp. 37–46, 2021, [Online]. Available:

<https://ojs.unimal.ac.id/visi/article/view/4829>

- [25] D. Nurlaily, M. Silfiani, and N. F. Hayati, “Perbandingan Metode Arima, Dan Triple Exponential Smoothing Pada Studi Kasus Data Ekspor Non Migas Di Kalimantan Timur,” vol. 1, 2022.
- [26] H. Purnomo, *MANAJEMEN OPERASI*. Yogyakarta: CV SIGMA, 2017.
- [27] N. P. Astuti and R. Bakri, “Implementasi forecastHybrid Package menggunakan R Studio Cloud untuk Prediksi Pertumbuhan Dana Pihak Ketiga dan Pembiayaan Pada Bank Muamalat Indonesia,” *J. Sist. Info. Bisnis*, vol. 11, no. 2, pp. 97–104, 2021, doi: 10.21456/vol11iss2pp97-104.
- [28] -, “esp32-devkit-v1.” oshwlab.com/Zulfahmi27/esp32-devkit-v1
- [29] -, “Modul Komunikasi AC PZEM-004T V3.0 Panduan Pengguna.” <https://manuals.plus/id/inovators guru/modul-komunikasi-ac-pzem-004t-v3-0-manual#axzz7tbiEX1GH>
- [30] -, “PZEM004T.” <https://github.com/TheHWcave/Peacefair-PZEM-004T-/blob/main/PZEM004T-option2.pdf>
- [31] -, “Arduino IDE 2.0.3.” <https://www.arduino.cc/en/software>
- [32] N. W. Rahadi and C. Vikasari, “Pengujian Software Aplikasi Perawatan Barang Milik Negara Menggunakan Metode Black Box Testing Equivalence Partitions,” *Infotekmesin*, vol. 11, no. 1, pp. 57–61, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i1.124.
- [33] Tri Snadhika Jaya, “Pengujian Aplikasi dengan Metode Blackbox Testing Boundary Value Analysis (Studi Kasus: Kantor Digital Politeknik Negeri Lampung),” *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 3, no. 2, pp. 45–48, 2018.