

Monitoring Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Metode *Simple Exponential Smoothing* untuk Prediksi Kebutuhan Energi

Dwi Riyadi Hartono¹, Muhamad Haddin², dan Arief Marwanto³

^{1,2,3}Universitas Islam Sultan Agung Semaranga

Jl. Raya Kaligawe KM. 4 Semarang, Semarang, 50112, Indonesia

e-mail: riyadi.dwi@unissula.ac.id

Abstrak— APP (Alat Pengukur dan Pembatas) listrik adalah piranti yang digunakan masyarakat untuk bertransaksi listrik. Permasalahannya APP saat ini masih konvensional karena bisa dibaca secara langsung di tempat APP terpasang. Penelitian ini mengembangkan 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 mikrokontroller ESP32. Fungsi Simpel Exponential Smoothing (SES) ditambahkan ke dalam pemrograman untuk memprediksi kebutuhan energi dan biaya listrik periode berikutnya. Hasil pemrograman dikirim ke modul mini LCD OLED 128x64 untuk ditampilkan layaknya APP dan ke server Blynk melalui modul wifi. 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 memprediksi kebutuhan energi dan biaya listrik pada periode berikutnya secara real-time dan akurat. Kesesuaian hasil peramalan energi dan biaya dihitung dengan metode Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), dan Mean Absolute Percent Error (MAPE). Untuk beban resistif MAD: 0,0091 dan 0,4839, MSE: 0,0006 dan 0,2975, MAPE 17% dan 15% (Hasil peramalan baik). Beban Kapasitif MAD: 0,0005 dan 0,6598, MSE: 0,000000370 dan 0,6770, MAPE 32% dan 32% (Hasil peramalan cukup baik). Beban Induktif MAD: 0,0005 dan 0,6772, MSE: 0,000000357 dan 0,6523; MAPE: 26% dan 26% (Hasil peramalan cukup baik). 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 metering and limiting devices (APPs) are devices used by the public to transact electricity. The problem is that the current APP is still conventional because it can only be read directly where the APP is installed. This research develops 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 is processed in the ESP32 microcontroller. A Simple Exponential Smoothing (SES) function is added to the programming to predict energy demand and electricity costs for the next period. The programming results are sent to a 128x64 OLED mini LCD module to be displayed like an APP and to the Blynk server via a wifi module. Remote monitoring is done through Android Smartphone and Laptop/PC connected to the internet. The test results show that AMPD successfully measures and displays the amount of energy and electricity costs used and predicts the need for energy needs and electricity costs in the next period in real-time and accurately. The suitability of energy and cost forecasting results is calculated by the Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Percent Error (MAPE) methods. For resistive loads MAD: 0.0091 and 0.4839, MSE: 0.0006 and 0.2975, MAPE 17% and 15% (Good forecasting results). Capacitive Load MAD: 0.0005 and 0.6598, MSE: 0.000000370 and 0.6770, MAPE 32% and 32% (Fair forecasting results). Inductive Load MAD: 0.0005 and 0.6772, MSE: 0.000000357 and 0.6523; MAPE: 26% and 26% (Fairly good forecasting results). The MAD and MSE values close to zero indicate that the AMPD prediction results are in accordance with the actual data and can be used for forecasting calculations in the coming period.

Keywords: electrical power monitoring, IoT, prediction, simple exponential smoothing.

I. PENDAHULUAN

APP adalah alat pengukur dan pembatas listrik yang sangat penting bagi masyarakat untuk melakukan transaksi

energi listrik[1]. APP membatasi daya maksimal yang digunakan oleh pelanggan sesuai dengan kontrak pemasangan, mencatat daya yang dikonsumsi pelanggan, sebagai saklar utama pemutus aliran listrik saat terjadi

kelebihan beban, dan sebagai pengaman saat terjadi *short circuit* dalam instalasi listrik rumah.

Permasalahannya APP adalah masih bersifat konvensional karena hanya bisa dilihat langsung di tempat APP terpasang. Hal ini menjadi kendala bagi sebagian masyarakat modern yang memiliki mobilitas tinggi, atau banyak beraktifitas jauh dari rumah. Keterlambatan dalam pembayaran tagihan listrik PLN dapat dikenakan denda[2] hingga sanksi pemutusan listrik[3]. Untuk Listrik Prabayar, keterlambatan dalam pengisian Token dapat mengakibatkan putusnya aliran listrik secara tiba-tiba. 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 buatan mesin aerator.

Solusinya adalah sebuah APP “Pintar” (*Smart APP*) yang dapat memonitor pemakaian energi dan biaya sekaligus memprediksi kebutuhan energi dan biaya listrik secara *real-time*. Seiring perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), *Internet of Things* (IoT) menjadi tren solusi bagi permasalahan monitoring dan kendali peralatan secara otomatis karena IoT mampu menghubungkan antara mesin dengan manusia dari jarak jauh.

Beberapa penelitian terdahulu tentang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT di antaranya: kendali dan monitoring daya listrik peralatan rumah tangga berbasis ESP32[4], perancangan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Android[4], sistem monitoring penggunaan daya listrik berbasis IoT pada rumah dengan menggunakan aplikasi Blynk[5], sistem monitoring pemakaian energi listrik rumah tangga berbasis Web[6], sistem monitoring faktor daya berbasis IoT dan Android[7], dan sistem monitoring beban listrik berbasis Arduino Nodemcu Esp8266[8].

Penelitian-penelitian tersebut berhasil 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 dan biaya listrik untuk periode waktu berikutnya dengan menerapkan metode peramalan *Exponential Smoothing*. Karenanya penelitian ini berfokus pada pengembangan Alat Monitoring dan Prediksi Daya (AMPD) berbasis IoT.

II. STUDI PUSTAKA

A. Daya Listrik dan Segitiga Daya

Daya listrik adalah suatu kapasitas atau kemampuan untuk melakukan energi atau usaha. Daya listrik didefinisikan sebagai laju energi yang dibutuhkan. Daya listrik berkaitan dengan energi listrik tiap detik[9]. Daya listrik dapat diformulasikan dengan persamaan (1):

$$P = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} \quad (1)$$

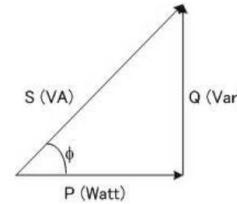
Dengan P : Daya listrik (Watt)

V : Tegangan listrik (Volt)

I : Arus yang mengalir (Ampere)

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

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*apparent power*, *active power*, *reactive power*) berdasarkan prinsip trigonometri[10].



Gambar 1. Diagram Segitiga Daya

Berlaku hubungan persamaan:

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

$$S = V \cdot I \quad (3)$$

$$P = S \cos \varphi \quad (4)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (5)$$

Dengan: S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (Var)

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 (6).

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= \frac{\text{DayaAktif}(P)}{\text{DayaSemu}(S)} = \frac{W}{V \cdot A} \\ &= \frac{V \cdot I \cos \varphi}{V \cdot I} = \cos \varphi \end{aligned} \quad (6)$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1, dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu, seperti ditunjukkan pada persamaan (7)

$$\tan \varphi = \frac{\text{DayaReaktif}(Q)}{\text{DayaAktif}(P)} = \frac{VAR}{W} \quad (7)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen VA dan VAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat dituliskan seperti persamaan (8):

$$\text{DayaReaktif}(Q) = \frac{\text{DayaAktif}(P)}{\tan \varphi} \quad (8)$$

B. Beban listrik

Beban listrik adalah suatu alat atau beban yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang berpotensial (dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik)[10]. Dalam rangkaian listrik AC beban dibedakan menjadi tiga yaitu beban resistif, beban induktif, beban kapasitif[10].

- Beban Resistif

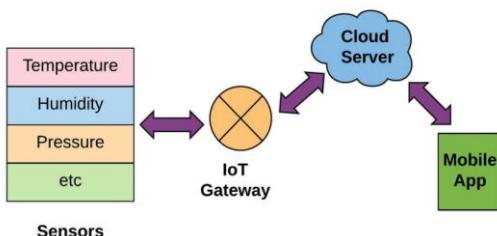
Beban resistif ($Z = R$) merupakan beban resistor murni, dimana energi listrik diubah menjadi energi panas atau mekanik dan beban ini menyerap daya semu yang seluruhnya diubah menjadi daya aktif. Contoh beban resistif murni adalah lampu pijar, setrika listrik, heater atau pemanas. Arus dan tegangan sefasa sehingga arus akan berhimpit dengan tegangan atau sudut fasanya sama dengan nol dan faktor daya sama dengan satu ($\theta = 0^\circ$ dan $\cos \theta = 1$)[10].

- Beban Kapasitif, ($Z = XC$) 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. Termasuk beban induktif adalah kapasitor. Arus akan mendahului (*leading*) sejauh 90° terhadap tegangan, atau sudut fasanya sama dengan 90° sehingga $\cos \theta = 0$ [10].
- Beban Induktif, ($Z = XL$) 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. 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 $\cos \theta = 0$ [10].

C. Internet of Things (IoT)

Konsep IoT bertujuan untuk membuat internet semakin berkembang dan meluas. IoT memungkinkan akses dan interaksi yang mudah dengan beragam perangkat seperti peralatan rumah tangga, kamera cctv, sensor pemantauan, aktuator, display, kendaraan, dan sebagainya[11]. Contoh utama realisasi IoT masa kini adalah *Smart City*, *Smart Industry*, *Smart Transportation*, *Smart Building*, *Smart Energy*, *Smart Manufacturing*, *Smart Environment Monitoring*, *Smart Living*, *Smart Health*, *Smart Food And Water Monitoring*.

Gambar 2 menunjukkan arsitektur jaringan IoT[12].



Gambar 2. Arsitektur Jaringan IoT[12].

Arsitektur ini memiliki banyak sensor IoT untuk tujuan penginderaan seperti suhu, kelembapan, tekanan, dll. Setelah penginderaan, data dikirim ke server *cloud* melalui *gateway* IoT. Selanjutnya, pengguna dapat mengakses data tersebut melalui aplikasi seluler dan sebagainya[12].

D. Modul Sensor PZEM-004

PZEM-004T adalah sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan rms, arus rms, dan daya aktif yang dapat dihubungkan melalui arduino ataupun *platform opensource* lainnya[13][14]. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah $3,1 \times 7,4$ cm. Modul PZEM-004T dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A. Modul ini terutama 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-nya adalah interface pasif yang membutuhkan catu daya eksternal 5V. Jadi ketika berkomunikasi, keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND) jika tidak ia tidak dapat berkomunikasi[13].

PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 3.



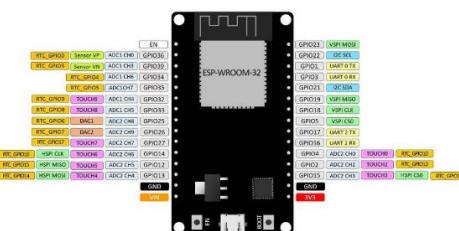
Gambar 3. Sensor PZEM-004 10A

Dalam penelitian ini modul PZEM-004T berfungsi untuk mendapatkan data tegangan dan arus yang akan dikirim ke ESP32[15].

E. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (System on Chip) terpadu dengan WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai periferal[16]. 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[16][17].

Penelitian ini menggunakan board DOIT ESP32 Devkit 30 GPIO yang memiliki susunan pin seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Susunan pin DOIT ESP32 Devkit Board[16]

Keunggulan mikrokontroler ESP32 dibanding dengan mikrokontroler yang lain: pin out nya yang lebih banyak, pin analog lebih banyak, memori lebih besar, terdapat bluetooth 4.0 *low energy*, serta tersedia WiFi yang memungkinkan untuk mengaplikasikan IoT[17].

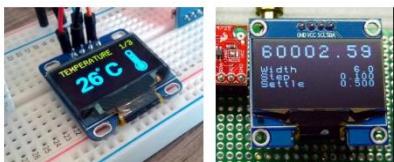
F. Blynk

Aplikasi Blynk merupakan aplikasi yang didesain untuk mengerjakan pekerjaan IoT. Aplikasi ini dapat mengontrol piranti keras melalui jarak jauh. Blynk bisa dipergunakan

untuk menampilkan data sensor, menyimpan data tersebut, dan berbagai pekerjaan menarik lainnya[18]. Blynk memiliki *user interface* yang cukup simpel, memiliki banyak fitur, dan mudah diakses[19]. Ada tiga komponen utama dalam platform Blynk, yaitu Aplikasi Blynk, Blynk Server, Blynk Libraries [20].

G. Modul Display OLED 128X64

OLED merupakan akronim dari *Organic Light-Emitting Diode*. Memiliki lapisan film tipis (*thin film*) electroluminescent yang terbuat dari bahan organik yang dapat memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik. OLED dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah display dengan ketelitian pixel 128x64[21]. Display OLED memiliki ukuran yang sangat kecil, panjangnya sekitar 0,96 inchi, meski demikian karakter yang ditampilkan pada OLED dapat dengan mudah dibaca (*readable*) karena OLED memiliki tingkat kontras yang tajam. OLED dapat diakses atau dihubungkan dengan mikrokontroller melalui komunikasi *Serial Peripheral Interface* (SPI) atau komunikasi *Inter Integrated Circuit* (I2C)[22].



Gambar 5. Monochrome 0.96" 128x64 OLED graphic display.

Kelebihan OLED dibanding penampil lain di antaranya waktu tanggap jauh lebih cepat, pemakaian energi lebih efisien, sudut pandang lebih lebar, lentur, awet, lebih tipis, harga lebih murah, dan nyaman di mata karena memiliki kontras, kecerahan, dan aspek warna lebih baik. Adapun kekurangan OLED di antaranya umur-pakai singkat, terpengaruh paparan sinar matahari, sangat rentan terhadap air, terpengaruh kelembaban, dan konsumsi daya 60-80% dari konsumsi daya LCD[16].

H. Simple 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][24]. Metode ini merupakan metode peramalan yang paling banyak digunakan karena akurasinya dibanding dengan metode peramalan lain, semisal Decomposition[25] dan ARIMA (*Autoregressif Integrated Moving Average*)[26]. Secara umum, pemulusan eksponensial dianggap sebagai teknik murah yang memberikan prakiraan yang baik dalam berbagai macam aplikasi[24].

Teknik yang paling sederhana dari jenis ini, *Simple Exponential Smoothing* (SES)[27], 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[27] ditunjukkan oleh persamaan (9):

$$S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_t \quad (9)$$

Dengan :
 S_{t+1} =Nilai ramalan untuk periode berikutnya
 α =Konstanta penulisan ($0 < \alpha < 1$)
 X_t =Data pada periode t
 S_t =Nilai penulisan lama atau rata-rata dimuluskkan hingga periode t- 1

Penentuan nilai konstanta (α) dengan menggunakan persamaan (10):

$$\alpha = 2 / (n + 1) \quad (10)$$

Dengan :
 α : Nilai konstanta
n : Jumlah periode waktu t.

I. Kesesuaian Peramalan

Hasil ramalan dari sebuah metode peramalan harus diukur tingkat kesesuaianya (keakurasiannya). Ketepatan penggunaan metode peramalan dipandang perlu agar hasil peramalan sesuai dengan pola data masa lalu. Keakurasi peramalan juga dapat digunakan untuk kriteria penolakan sebuah metode[28]. Statistik dasar yang digunakan untuk menentukan tingkat kesesuaian metode peramalan dalam penelitian ini ditunjukkan pada persamaan (11) sampai dengan (13)[29]:

$$MeanAbsoluteDeviation(MAD) = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (11)$$

$$MeanSquaredError(MSE) = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (12)$$

$$MeanAbsolutePercentError(MAPE) = 100 \times \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{A_t} \quad (13)$$

Dengan : At = Permintaan aktual periode ke-t
Ft = Nilai peramalan periode ke-t
n = Jumlah periode t
t = Periode

MAD yang ideal adalah nol (=0), artinya tidak ada kesalahan peramalan. Hasil peramalan di antara beberapa metode selalu dipilih yang memiliki nilai MAD dan MSE terkecil[23]. Semakin kecil MAD dan MSE menunjukkan hasil peramalan yang semakin baik (akurat)[30]. 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.

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[31].

III. METODE

A. Model Penelitian

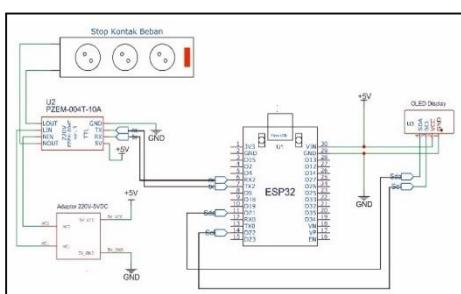
Prototipe AMPD mengambil besaran arus dan tegangan pada beban, baik beban resistif, kapasitif, maupun induktif melalui sensor PZEM004 yang kemudian dikonversi di dalam mikrokontroler ESP32 menjadi jumlah daya beban. Jumlah daya dikalikan dengan jam operasional beban sehingga tarif listrik dapat dihitung. Metode peramalan SES diterapkan ke dalam pemrograman Arduino IDE untuk memperoleh prediksi jumlah kebutuhan energi dan biaya listrik pada periode berikutnya. Arduino IDE adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi untuk mengembangkan aplikasi mikrokontroler dari proses pembuatan program, kompilasi, dan upload[32]. Data daya dan hasil prediksi dikirim ke *Cloud* ke Server Blynk agar bisa dimonitoring melalui smartphone Android dan Laptop/PC.

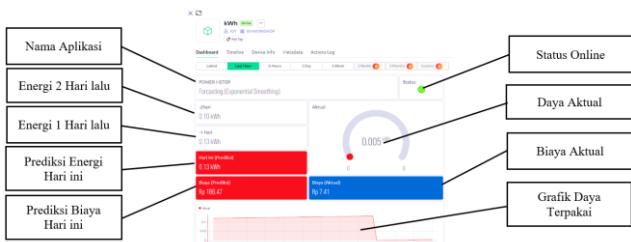
Model penelitian ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Penelitian AMPD.

B. Gambar Rangkaian AMPD





Gambar 11. Tampilan Aplikasi Blynk AMPD di Laptop/PC.

B. Data Hasil Penelitian dan Visualisasi Grafik

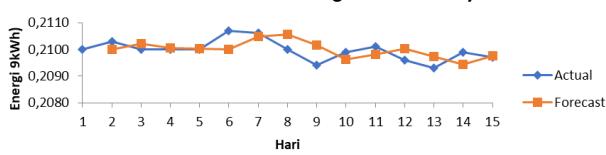
a) Hasil pengujian pada beban resistif

Hasil pengujian AMPD terhadap beban resistif yang disimulasikan oleh lampu LED 6 dan 12 Watt ditunjukkan oleh Tabel 1.

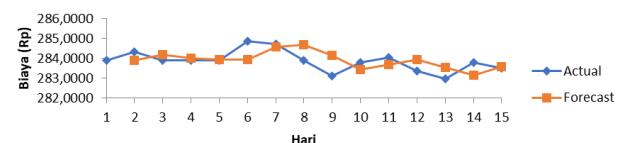
Tabel 1. Data Hasil Pengukuran AMPD pada Beban Resistif

Hari	Energi/ Hari (kWh)	Biaya/ Hari (Rp)	Prediksi Energi (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
1	0,21	283,92		
2	0,2103	284,3256	0,21	283,92
3	0,21	283,92	0,2102	284,2039
4	0,21	283,92	0,2101	284,0052
5	0,21	283,92	0,21	283,9456
6	0,2107	284,8664	0,21	283,9277
7	0,2106	284,7312	0,2105	284,5848
8	0,21	283,92	0,2106	284,6873
9	0,2094	283,1088	0,2102	284,1502
10	0,2099	283,7848	0,2096	283,4212
11	0,2101	284,0552	0,2098	283,6757
12	0,2096	283,3792	0,21	283,9414
13	0,2093	282,9736	0,2097	283,5478
14	0,2099	283,7848	0,2094	283,1459
15	0,2097	283,5144	0,2098	283,5931

Analisa hasil penelitian menggunakan visualisasi grafik ditunjukkan pada gambar berikut:

Exponential Smoothing - Beban Resistif
Prediksi Kebutuhan Energi Hari Berikutnya

Gambar 12. Grafik hasil prediksi AMPD kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban resistif.

Exponential Smoothing - Beban Resistif
Prediksi Biaya Energi Hari Berikutnya

Gambar 13. Grafik hasil prediksi AMPD biaya energi hari berikutnya untuk beban resistif.

Berdasarkan grafik Gambar 12 dan 13 dapat dilihat bahwa AMPD berhasil memberikan angka prediksi secara *real-time* dengan menunjukkan angka prediksi yang mendekati jumlah daya aktual pada prediksi kebutuhan energi dan mendekati jumlah biaya aktual pada prediksi biaya energi untuk beban resistif.

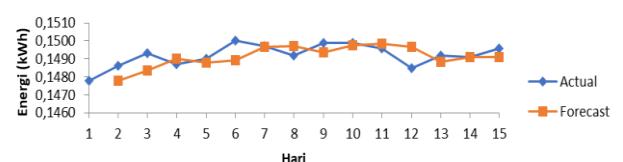
b) Hasil pengujian pada beban kapasitif

Hasil pengujian AMPD pada beban kapasitif yang disimulasikan oleh lampu TL 10 Watt ditunjukkan oleh Tabel 2.

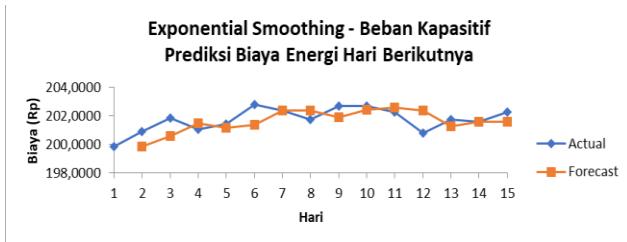
Tabel 2. Data Hasil Pengukuran AMPD pada Beban Kapasitif

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

Analisa hasil penelitian menggunakan visualisasi grafik ditunjukkan pada gambar berikut:

Exponential Smoothing - Beban Kapasitif
Prediksi Kebutuhan Energi Hari Berikutnya

Gambar 14. Grafik hasil prediksi AMPD kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban kapasitif.



Gambar 15. Grafik hasil prediksi AMPD biaya energi hari berikutnya untuk beban kapasitif.

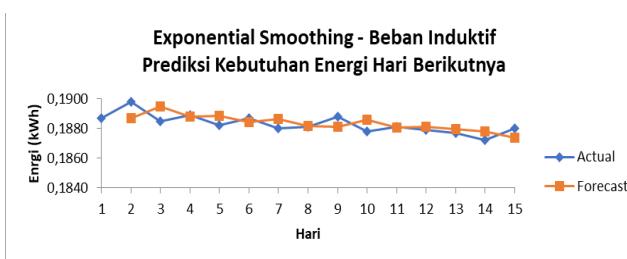
Berdasarkan grafik Gambar 14 dan 15 dapat dilihat bahwa AMPD berhasil memberikan angka prediksi secara *real-time* dengan penunjukkan angka prediksi yang mendekati dengan jumlah daya aktual pada prediksi kebutuhan energi dan mendekati jumlah biaya aktual pada prediksi biaya energi untuk beban kapasitif.

c) Hasil pengujian pada beban induktif

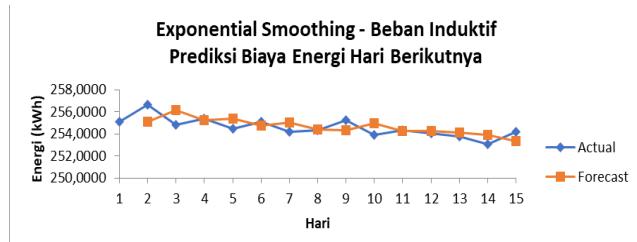
Hasil pengujian pada beban induktif yang disimulasikan oleh lampu 3 buah pumpa akuarium 6,5 Watt ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran AMPD pada Beban Induktif

Hari	Energi/Hari (kWh)	Biaya/Hari (Rp)	Prediksi Energi (kWh)	Prediksi Biaya (Rp)
1	0,1887	255,1224	#N/A	#N/A
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
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



Gambar 16. Grafik hasil prediksi AMPD kebutuhan energi hari berikutnya untuk beban induktif.



Gambar 17. Grafik hasil prediksi AMPD biaya energi hari berikutnya untuk beban induktif.

Berdasarkan grafik Gambar 16 dan 17 dapat dilihat bahwa AMPD berhasil memberikan angka prediksi secara *real-time* dengan penunjukkan angka prediksi yang mendekati dengan jumlah daya aktual pada prediksi kebutuhan energi dan mendekati jumlah biaya aktual pada prediksi biaya energi pada beban induktif.

C. Kesesuaian Prediksi pada AMPD

Merujuk pada persamaan (11) – (13) kesesuaian hasil prediksi untuk dihitung dengan metode 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).

Berikut ini adalah hasil perhitungannya :

a) Kesesuaian hasil prediksi AMPD pada beban resistif:

$$\text{MAD Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{0,1269}{14} = 0,0091$$

$$\text{MAD Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{6,2912}{14} = 0,4839$$

$$\text{MSE Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{0,0082}{14} = 0,0006$$

$$\text{MSE Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} = \frac{4,1653}{14} = 0,2975$$

$$\text{MAPE Prediksi Energi} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{2,4723}{14} = 0,1583 = 15\%$$

$$\text{MAPE Prediksi Biaya} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{2,4723}{14} = 0,1583 = 15\%$$

b) Kesesuaian hasil prediksi AMPD pada beban kapasitif:

$$\text{MAD Prediksi Energi} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{0,0068}{14} = 0,0005$$

$$\text{MAD Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{9,2375}{14} = 0,6598$$

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

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

$$MAPE \text{ Prediksi Energi} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{4,5783}{14} \\ = 0,3270 = 32\%$$

$$MAPE \text{ Prediksi Biaya} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{4,5783}{14} \\ = 0,3270 = 32\%$$

c) Kesesuaian hasil prediksi AMPD pada beban induktif:

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

$$MAD \text{ Prediksi Biaya} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} = \frac{9,1316}{14} = 0,6772$$

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

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

$$MAPE \text{ Prediksi Energi} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{3,7222}{14} \\ = 0,265873791 = 26\%$$

$$MAPE \text{ Prediksi Biaya} = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} = \frac{3,7222}{14} \\ = 0,265873791 = 26\%$$

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, pengambilan data, dan analisis dapat diperoleh kesimpulan bahwa prototipe AMPD dapat bekerja dengan baik dan memenuhi tujuan perancangan dan pengembangannya. Metode peramalan SES yang ditambahkan ke dalam AMPD mampu menampilkan informasi prediksi kebutuhan energi dan biayanya pada periode berikutnya secara real time dan akurat. Kesesuaian hasil peramalan energi dan biaya dihitung dengan metode Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), dan Mean Absolute Percent Error (MAPE). Untuk beban resistif MAD: 0,0091 dan 0,4839, MSE: 0,0006 dan 0,2975, MAPE 17% dan 15% (Hasil peramalan baik). Beban Kapasitif MAD: 0,0005 dan 0,6598, MSE: 0,000000370 dan 0,6770, MAPE 32% dan 32% (Hasil peramalan cukup baik). Beban Induktif MAD: 0,0005 dan 0,6772, MSE: 0,000000357 dan 0,6523; MAPE: 26% dan 26% (Hasil peramalan cukup baik). Nilai MAD dan MSE mendekati nol menunjukkan bahwa hasil prediksi AMPD sesuai dengan data aktual dan bisa

dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.

REFERENSI

- [1] S. Handoko, A. Nugroho, B. Winardi, T. Sukmadi, and M. Facta, "PELATIHAN INSTALASI LISTRIK RUMAH TANGGA DI KELURAHAN PADANGSARI KECAMATAN BANYUMANIK," *J. PASOPATI*, vol. 2, no. 1, pp. 43–48, 2020.
- [2] M. E. D. S. D. M. R. INDONESIA, "PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA NOMOR 10 TAHUN 2022," no. 3, 2022.
- [3] H. Himawan, A. Setyo, and W. Kaswidjanti, "Penggunaan QR-Code Pada Mobile System Untuk Proses Pembelian Pulsa Listrik," *Semin. Nas. Inform.*, vol. 2016, no. September, pp. 29–36, 2016.
- [4] 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/alinier.v3i1.4855.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] L. Hakim, S. P. Kristanto, - Subono, and F. B. Dinan, "Sistem Monitoring Faktor Daya Berbasis Internet of Things dan Android," *Techno.Com*, vol. 21, no. 2, pp. 364–377, 2022, doi: 10.33633/tc.v21i2.5898.
- [8] 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.
- [9] M. Dr. Hantje Ponto, DEA., *DASAR TEKNIK LISTRIK*, vol. 13, no. 1. Sleman: Deepublish, 2018.
- [10] E. Ariyanto and yuniarto, "Korektor Faktor Daya Otomatis Pada Instalasi Listrik Rumah Tangga," *Gema Teknol.*, vol. 19, no. 4, pp. 24–30, 2017.
- [11] Wilianto and A. Kurniawan, "Sejarah , Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things," *Matrix*, vol. 8, no. 2, pp. 36–41, 2018.
- [12] L. K. Ramasamy and S. Kadry, "Internet of things (IoT)," *Blockchain Ind. Internet Things*, no. May, 2021, doi: 10.1088/978-0-7503-3663-5ch1.
- [13] 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>
- [14] N. M. Khoa, L. van Dai, D. D. Tung, and N. A. Toan, "An advanced IoT system for monitoring and analysing chosen power quality parameters in micro-grid solution," *Arch. Electr. Eng.*, vol. 70, no. 1, pp. 173–188, 2021, doi: 10.24425/ae.2021.136060.
- [15] 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.ppj.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/233>
- [16] A. Wagiana, "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.
- [17] Muliadi, A. Imran, and M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 2721–9100, 2020.
- [18] Q. Fitriyah, T. V. Putri, A. W. P, and M. P. E. W, "Pemanfaatan Aplikasi Blynk Sebagai Alat Bantu Monitoring," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. C, pp. 84–92, 2020.
- [19] R. Harir, M. A. Novianta, and D. S. Kristiyana, "Jurnal Elektrikal , Volume 6 Nomor 1 , Juni 2019 , 1-10," *Elektrikal*, vol. 6, pp. 1–10, 2019, [Online]. Available: <https://www.99.co/blog/indonesia/harga-pompa-air-mini/>
- [20] Blynk, "Blynk." <https://docs.blynk.cc/>
- [21] 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.

- [22] O. G. Display *et al.*, “OLED graphic display,” 2019.
- [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] A. Badawi, “Application Untuk Meramalkan Data Time Series Berbasis Microsoft Visual Basic 6 . 0,” *Skripsi*, vol. 0, 2017.
- [25] 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>
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] H. Purnomo, *MANAJEMEN OPERASI*. Yogyakarta: CV SIGMA, 2017.
- [29] M. Waluyo, “Manajemen Perusahaan Industri,” *Book*, p. 231, 2010.
- [30] F. Sutisna and Hendy, “Analisis Perbandingan Tingkat Kesalahan Metode Peramalan Sebagai Upaya Perencanaan Pengelolaan Persediaan yang Optimal pada PT Duta Indah Sejahtera,” *J. Bina Manaj.*, vol. 8, no. 1, pp. 46–47, 2019.
- [31] 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.
- [32] D. Setiawan, H. Jaya, S. Nurarif, T. Syahputra, M. Syahril Syafnur, and S. Triguna Dharma, “IMPLEMENTASI ESP32-CAM DAN BLYNK PADA WIFI DOOR LOCK SYSTEM MENGGUNAKAN TEKNIK DUPLEX,” *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 4307, no. 1, pp. 159–164, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR>
- [33] A. H. Saptadi and A. Kiswanto, “Penerapan Platform Blynk dan Aplikasi Berbasis Pemrograman Processing Untuk Menampilkan Hasil-Hasil Pembacaan Sensor Melalui Beberapa Sarana Implementation of Blynk Platform and Processing Programming-Based Application to Display The Results of Sensor Rea,” vol. 5, pp. 188–198, 2022.