

Sistem Monitoring dan Peramalan Energi Listrik Berbasis *Moving Average* Ordo 3 dan IOT

Muhammad Sholahudin Sunardiyanta^{1*}, Sirojul Hadi¹

¹Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali,
Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Kabupaten Badung, 80364.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: sholahudinj@pnb.ac.id

Abstract – The use of electrical energy in boarding houses often results in unintentional energy waste, because residents tend to leave their rooms without unplugging electrical devices, which causes increased electricity consumption and higher costs. This study aims to design an IoT-based electrical energy monitoring and control system for boarding rooms. This system uses an ESP32 microcontroller connected to a WiFi network, while the energy meter is equipped with a PZEM-004T sensor to measure electrical energy parameters. Measurement data is transmitted to a database for monitoring purposes and displayed on the user's website. This study applies the third-order Moving Average forecasting method by utilizing energy measurement data obtained from the PZEM-004T sensor, which is processed by a web server. The forecasting results show good accuracy, with errors ranging from 0.99–18.65% compared to the actual values. Furthermore, the measurement results show satisfactory performance, with parameter measurement errors ranging between 0–0.8%. This system is capable of providing accurate information about electrical energy consumption, estimating remaining electrical energy, and issuing notifications when available electrical energy falls below a predetermined threshold. Therefore, the proposed system is considered reliable and accurate for monitoring, controlling, and predicting electrical energy, thus supporting efficient energy management.

Abstrak – Penggunaan energi listrik pada rumah singgah atau kos sering kali mengalami pemborosan tanpa disengaja, dikarenakan penghuni meninggalkan ruangan dan lupa mencabut aliran listrik yang menyebabkan pembengkakan dalam pembayaran dan penggunaan energi listrik. Penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem *monitoring* dan kendali energi listrik berbasis IoT pada kamar kos. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke jaringan *WiFi*, energi meter dilengkapi dengan sensor PZEM-004T yang berfungsi sebagai sensor pengukur parameter energi listrik, di mana hasil pengukuran akan dikirimkan ke database untuk keperluan monitoring yang ditampilkan pada website pengguna. Penelitian ini menggunakan metode peramalan *Moving Average* ordo 3, dengan memanfaatkan hasil pengukuran energi oleh PZEM-004T yang dikirimkan ke *database* dan diolah oleh *web server*, metode ini menunjukkan hasil ramalan yang akurat dengan besaran error berkisar 0.99-18.65% dari nilai aktual. Hasil pengukuran parameter menunjukkan hasil yang memuaskan dengan *error* pengukuran parameter hanya berkisar 0-0.8%. Sistem mampu memberikan informasi penggunaan energi listrik secara akurat, ketepatan dalam memperkirakan sisa energi listrik dan memberikan notifikasi ketika jumlah energi listrik kurang dari batas yang ditentukan. Dengan demikian, sistem dinyatakan andal dan akurat dalam memonitor, mengendalikan dan memprediksi energi listrik, sehingga dapat membantu dalam pengelolaan energi secara mandiri dan efisien.

Keywords – 3rd order Moving Average, Energy Monitoring, ESP32, Forecasting, Internet of Things.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu aspek utama dan mendasar dalam menjalani kehidupan di era

modern. Hampir seluruh aspek dalam kehidupan seperti rumah tangga, industri, transportasi, pendidikan, hingga pelayanan publik. Seiring pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas

ekonomi, fenomena berkembangnya berbagai hunian sementara seperti rumah singgah atau kos-kosan dengan sistem pembayaran listrik prabayar atau token, hal ini disambut baik oleh masyarakat terkhusus pada mahasiswa dan perantauan karena menawarkan fleksibilitas bagi penghuni dan pemilik.

Pada praktiknya masih banyak rumah kos yang memilih menggunakan metode konvensional, dengan cara membagi listrik dari rumah ke kamar kos yang ada. Kondisi ini dapat menyebabkan membengkaknya pengeluaran tuan rumah karena pemborosan energi yang digunakan oleh pengguna kamar karena lalai sehingga lupa mematikan listrik yang tidak digunakan, sistem pendistribusian yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan *overload* sehingga berpotensi akan menyebabkan hubungan singkat. Dari sisi pengguna, pemborosan dan ketidakteraturan penggunaan listrik menyebabkan pengeluaran bulanan yang tidak menentu dan sulit diprediksi [1].

Dalam pemanfaatan energi listrik, terkadang tidak diketahui berapa banyak energi listrik yang terpakai sehingga ada kecenderungan pemborosan listrik sehingga diperlukan pengukuran dalam penggunaan energi listrik [2]. Salah satu peralatan yang sering digunakan dalam mengukur sebuah energi listrik adalah sensor PZEM-004T, sensor ini mampu melakukan pengukuran arus, tegangan, daya, serta akumulasi energi yang digunakan secara *real time* dengan error tegangan sebesar 1.45%, daya sebesar 2.63% [3]. ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang memiliki fitur *Wifi* dan *Bluetooth*, hal ini umum digunakan dalam sebuah proyek yang menitikberatkan pada penggunaan internet sebagai komunikasi data pada sebuah sistem [1]. Dalam melakukan pemrograman ESP32 akan digunakan aplikasi *Arduino IDE*, hal ini dikarenakan ESP32 memiliki kompatibilitas dalam menjalankan Bahasa C++ yang sama dengan arduino, hal ini memungkinkan banyak modul sama yang dapat digunakan antara Arduino dan ESP32 [4].

Dalam mengatasi lonjakan penggunaan energi listrik adalah komponen relay, relay sendiri merupakan sebuah komponen yang berfungsi sebagai pemutus dan penyambung dari sebuah rangkaian listrik [5]. Salah satu media yang digunakan untuk memantau hasil pengukuran dari sensor dan melekat pada peralatan adalah *LCD* [6], Dimana *LCD* merupakan media penampil yang memiliki beberapa ukuran sesuai dengan jumlah kolom dan baris, seperti 16x2 dan 20x4.

Diperlukan sebuah *database* untuk media menyimpan data yang terbaca dari kamar kos, hal ini bisa diatasi dengan memilih berbagai macam *database* yang ada seperti *Firestore*, *MySQL*, *google cloud* dan sebagainya, pemilihan ini didasarkan pada kebutuhan dari penelitian, *google spreadsheet* sebagai salah satu alternatif yang murah dan mudah digunakan dan dijangkau, namun harus memiliki koneksi internet yang stabil [7].

Penelitian ini juga dilengkapi dengan fitur pemantauan daya listrik yang berbasis aplikasi web, sehingga dapat diakses baik melalui *smartphone* maupun *laptop*. Tentu pembayaran dari penggunaan listrik juga diakomodasi oleh alat ini, pengguna dapat melakukan pembayaran kepada pemilik kos baik dengan melakukan transfer secara langsung, melalui *Virtual Account*, maupun melalui *merchant* yang ada. Seluruh transaksi dan penyimpanan data dari pengguna akan diolah dengan *database MySQL* dengan alat manajemen *database phpMyAdmin*. *MySQL* merupakan sebuah aplikasi yang digunakan sebagai pengelola *database* dan dapat berfungsi sebagai baik *client* maupun *server* [8-9]. *PhpMyAdmin* merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengontrolan pada *database MySQL* [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dan Faris [10], mengembangkan energi meter yang dapat dipantau secara daring dan *real time*, hasil yang didapat menunjukkan pengukuran yang akurat, pendekatan serupa juga dilakukan oleh Fadlurrohman [11] yang membuat sistem monitoring berbasis PZEM-004T secara daring, keduanya menunjukkan akurasi pengukuran sebesar kurang dari 1%.

Penelitian oleh Putra [12] yang mulai mengimplementasikan metode peramalan *Long Short Term Memory* dan menunjukkan akurasi peramalan sebesar 92% dengan error MAPE kurang dari 10%, sejalan dengan Angdresy [13] yang menggunakan metode peramalan k-NN dan menghasilkan *error MAPE* sebesar 5-12%. Penelitian ini masih berfokus pada peramalan dan belum terintegrasi dengan media pembayaran dan media monitoring.

Sementara itu, Wahidul alam [14] mulai mengimplementasikan pembayaran digital yang berdampak pada meningkatnya transaksi digital sebesar 30%, namun pada penelitian ini masih berfokus pada sistem IoT saja secara umum. Penelitian oleh Gregorio [15] mulai menerapkan

QRIS dalam metode pembayaran energi meter dan menunjukkan keberhasilan transaksi sebesar 100%. Kedua penelitian ini belum diintegrasikan dengan metode peramalan.

Pendekatan penagihan juga dilakukan oleh Patil [16], sistem mampu membantu pembacaan dan penagihan secara otomatis dengan akurasi sebesar 90%, namun pada penelitian ini tidak melakukan pembahasan terkait dashboard monitoring *online*. Penelitian oleh Nyaupane [17] mengembangkan peramalan harga listrik secara harian dengan akurasi hingga 93%, pada penelitian ini belum membahas *platform* pembayaran yang terintegrasi.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang terbatas pada pengukuran dan monitoring daya yang ditampilkan baik secara lokal menggunakan LCD maupun *online* melalui *website*. Penelitian-penelitian tersebut belum mengintegrasikan metode peramalan (*forecasting*) berdasarkan data historis untuk memprediksi kebutuhan energi listrik di masa mendatang, serta belum terhubung dengan sistem pembayaran digital yang terintegrasi secara otomatis dan *real time*.

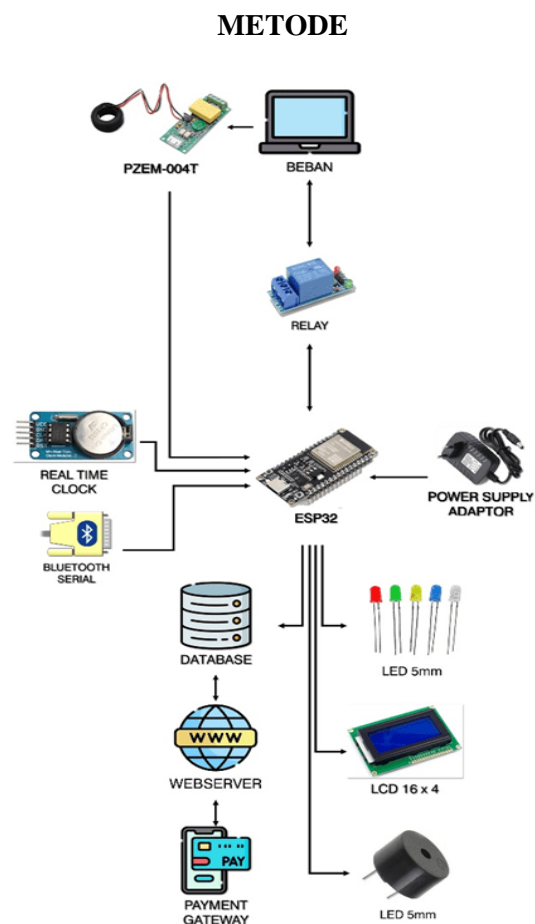
Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang tidak hanya mampu melakukan monitoring penggunaan daya listrik secara *real-time*, tetapi juga mampu melakukan peramalan kebutuhan energi serta terintegrasi dengan aplikasi berbasis *website* dan *payment gateway* sebagai solusi yang lebih komprehensif dalam pengelolaan listrik pada lingkungan rumah kos.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem monitoring dan peramalan penggunaan energi listrik berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan aplikasi web dan *payment gateway*, sehingga mampu membantu penghuni dan pemilik rumah kos dalam mengelola, mengontrol, serta memprediksi penggunaan energi listrik secara lebih efektif, efisien dan terukur.

Dalam pembuatan sebuah *user interface* diperlukan sebuah aplikasi pembuat *interface*, Visual Studio Code merupakan aplikasi yang dapat membuat sebuah *interface*, umumnya menggunakan HTML dan MySQL dalam menyusun sebuah *interface* yang berbasis pada *website* [18]. Sebuah UI berbasis *web* akan dapat diakses apabila sudah memiliki alamat pada jaringan internet, hal ini dapat diselesaikan

dengan menyewa sebuah *web hosting* yang umum digunakan [19-20].

Dalam menunjang pengguna dalam melakukan pembayaran yang fleksibel, *payment gateway* dipilih untuk menunjang hal tersebut dikarenakan *payment gateway* dapat mengakomodasi seluruh jenis pembayaran yang banyak digunakan di Indonesia, seperti kartu kredit, debit, *virtual account* dan lainnya [21-22]. Kemudahan dalam melakukan pembayaran, dengan memasukkan kode transaksi dan klik tombol bayar, transaksi dapat diselesaikan dengan mudah dan banyak digunakan oleh pelaku bisnis *online* [14].



Gambar 1. Diagram Sistem

Penelitian dilaksanakan di Surabaya, lebih tepatnya di Politeknik Negeri Surabaya pada bulan Agustus 2020 hingga Agustus 2021. Pengambilan data dilakukan dengan menguji alat secara langsung. Penelitian ini diawali dengan perancangan sistem monitoring dan pengendalian energi listrik berbasis mikrokontroler ESP32 yang dikombinasikan dengan sensor PZEM-004T sebagai perangkat pengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya, energi

dan faktor daya ($\cos \phi$). Data hasil pengukuran diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara lokal melalui LCD 16x4 serta dikirimkan ke server melalui jaringan *WiFi* untuk disimpan di *database*. Sistem juga dilengkapi dengan relay sebagai pengendali aliran listrik ke beban, serta *LED* dan *buzzer* yang difungsikan sebagai indikator dan notifikasi penggunaan energi listrik. Alur kerja antar komponen pada sistem monitoring ditunjukkan pada Gambar 1.

Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras pada penelitian ini dirancang untuk merealisasikan sistem monitoring, komponen utama yang digunakan pada sistem ini adalah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor PZEM-004T sebagai perangkat pengukur parameter, modul penampil sebagai media visualisasi data, serta aktuator dan perangkat pendukung lainnya yang berfungsi sebagai media notifikasi.

ESP32 merupakan mikrokontroler yang sudah terintegrasi dengan modul *WiFi* dan dual mode bluetooth 4.2. Modul ini juga dilengkapi dengan 34 GPIO yang terdiri dari ADC, DAC, I2C, SPI, UART dan peripheral lain, menjadikan modul ini sangat ideal dalam pembuatan sistem *Internet Of Things* yang membutuhkan komunikasi nirkabel dan pemrosesan data.

PZEM-004T adalah sensor yang digunakan dalam pengukuran tegangan, arus, daya, Energi, Frekuensi dan faktor daya. Sensor ini dilengkapi dengan kumparan trafo dengan diameter 3 mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus hingga 100A. sensor ini menggunakan komunikasi serial TTL dalam proses pengiriman data ke mikrokontroler.

Modul RTC digunakan sebagai sumber waktu dan tanggal pada sistem yang akurat. Memungkinkan dalam pencatatan data energi secara *real time*. Penggunaan baterai kancing sebagai baterai utama, memungkinkan komponen hidup tanpa perlu terhubung ke sumber tenaga luar.

Modul relay merupakan modul yang menggunakan prinsip elektromagnetik untuk mengoperasikan kontaktor yang ada di dalamnya, proses terhubung dan terputusnya kontaktor diakibatkan oleh induksi magnet yang timbul pada kumparan listrik.

Komponen aktuator umumnya digunakan sebagai komponen keluaran atau output dari sebuah sistem. Pada penelitian ini digunakan LED yang digunakan sebagai indikator koneksi internet, buzzer untuk

notifikasi jika energi listrik mendekati batas yang ditentukan dan LCD 16x4 digunakan sebagai media pemantauan energi listrik dan sisa hari hasil perhitungan peramalan. Dengan adanya komponen ini pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi sistem secara lokal dan secara langsung.

Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dirancang untuk menunjang proses pemantauan, pengelolaan data hasil pengukuran, penerapan metode peramalan dan mengakomodasi sistem pembayaran. Aplikasi yang dikembangkan berbasis *website* yang berjalan pada web server, layanan *payment gateway* juga digunakan untuk melakukan proses pembayaran, serta *database* digunakan sebagai media penyimpanan data pengguna.

Basis Data atau yang umum dikenal dengan *database* merupakan media yang digunakan untuk menyimpan data, sehingga bisa digunakan di kemudian hari maupun secara *real time*.

Pada sistem yang dikembangkan, digunakan 2 jenis *database* dengan fungsi yang berbeda yang menyesuaikan kebutuhan sistem yaitu *database* google spreadsheet sebagai *database* perangkat keras berupa hasil pengukuran perangkat keras yang dikirimkan langsung oleh ESP32. Pemilihan google spreadsheet didasarkan pada kemudahan integrasi melalui protokol HTTP, kemudahan akses, serta kemampuan menyimpan data secara *real time* secara terus menerus.

Data hasil pengukuran selanjutnya akan diproses lebih lanjut oleh sistem berbasis *website* untuk disimpan ke dalam *database* SQL. SQL merupakan *database* kedua yang digunakan sebagai penyimpanan yang bersifat transaksional dan terstruktur, seperti data pengguna, ID, Password, informasi saldo, Riwayat pembayaran, serta data pendukung sistem monitoring dan peramalan. Penggunaan SQL memungkinkan sistem untuk melakukan pengolahan data yang lebih kompleks, terstruktur, konsisten dan aman.

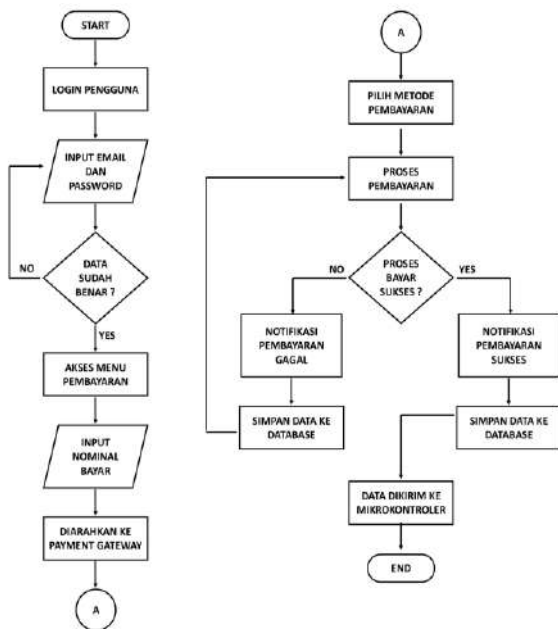
Maka secara umum spreadsheet berperan sebagai media akuisisi data dari perangkat keras, sedangkan SQL berfungsi sebagai pusat pengolahan data sistem monitoring dan pembayaran.

Website pada penelitian ini berfungsi sebagai media menampilkan data, mengelola dan menghubungkan antara pengguna dan sistem dalam melakukan pemantauan penggunaan energi listrik secara daring.

Website dikembangkan menggunakan *text editor Visual Studio Code* dan dirancang dengan pembagian hak akses berdasar jenis pengguna yaitu pemilik kos dan penghuni kos. Pada website pemilik kos berisi menu *dashboard, charts, tables, device ID, add device, profile*, untuk penghuni memiliki tampilan menu *dashboard, charts, tables, device ID, profile*.

Website yang telah dibangun diuji secara lokal guna memastikan performa tampilan dan pengolahan data. Website diunggah pada sebuah layanan *web server* agar dapat diakses secara *online* yang ditawarkan oleh *hosting rumahweb*, pemilihan *web server* didasarkan pada layanan, stabilitas dan dukungan *web server* yang ditawarkan oleh *web hosting rumahweb*.

Payment Gateway dapat mengakomodasi proses pembayaran energi listrik secara non tunai. Layanan *payment gateway* yang digunakan adalah *Midtrans*, yang difungsikan sebagai perantara antara sistem dan institusi keuangan dalam proses transaksi pembayaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Pembayaran

Alur kerja transaksi menggunakan data berupa ID dan nominal pembayaran, kemudian data akan dikirimkan oleh *web server* ke sistem *midtrans* melalui API. *Midtrans* akan memproses permintaan tersebut dan menghasilkan *Virtual Account* sesuai dengan metode pembayaran yang dipilih, *Virtual Account* ini akan dikirimkan Kembali ke *web server* sebagai respon API. Setelah melakukan proses pembayaran maka sistem akan memperbarui data

dan disimpan di SQL. Dengan integrasi melalui API maka sistem pembayaran lebih aman dan mudah digunakan.

Energi Listrik

Pengolahan energi listrik didasarkan pada konsep daya listrik 1 fasa oleh PLN. Daya yang disuplai oleh PLN bersifat daya semu (S) dengan satuan *Volt Ampere*. Pada sistem yang dikembangkan, beban umumnya bersifat resistif dan induktif, sehingga daya yang benar benar digunakan dipengaruhi oleh faktor daya ($\cos\phi$), berikut rumusan daya (1).

$$P = V \times I \times \cos\phi \tag{1}$$

Dengan P adalah daya aktif (*Watt*), V adalah tegangan (*Volt*), I adalah arus (*Ampere*) dan $\cos\phi$ adalah faktor daya.

Nilai daya aktif akan digunakan sebagai perhitungan energi listrik yang didefinisikan dengan akumulasi daya terhadap waktu pemakaian yang dinyatakan dalam Wh atau kWh, maka rumus energi listrik menjadi (2).

$$E = P \times t \tag{2}$$

Dimana E adalah energi listrik (*Watt hour*), P adalah daya aktif (*Watt*), dan t adalah Waktu (*hour*). Nilai ini digunakan sebagai parameter monitoring, perhitungan sisa energi dan masukan peramalan energi listrik.

Tarif Daya Listrik dan Konversi Rupiah Ke Energi

Dalam mendukung sistem prediksi dan lama penggunaan energi listrik, diperlukan mekanisme perhitungan yang mampu mengkonversi nominal pembayaran listrik dalam satuan rupiah menjadi satuan *kilowatt-hour*. Konversi ini didasarkan pada tabel 1 yang merupakan ketentuan tarif listrik prabayar oleh PLN sesuai dengan golongan daya pelanggan [23] dan dikutip dari beberapa sumber laman *website* pemerintahan [24-28], tabel 2 merupakan besaran Pajak Penerangan Jalan yang dibebankan.

Tabel 1. Tarif Daya Listrik

Golongan daya	Keterangan	Tarif (Rp)
R-1/450 VA	Subsidi	415
R-1/900 VA	Subsidi	586
R-1/900 VA-RTM	Non Subsidi	1352
R-1/1300 VA	Subsidi	1444,70
R-1/2200 VA	Subsidi	1444,70
R-2/3500 VA, 4400 VA, 5500 VA	Subsidi	1699,53

Golongan daya	Keterangan	Tarif (Rp)
R-3/6600 VA ke atas	Subsidi	1699,53

Tabel 2. Pajak Penerangan Jalan

Besar Pajak	Daerah
3%	DKI Jakarta, Bogor, Depok, Kab. Serang
5%	Denpasar, Manokwari, Palembang, Sukabumi
6%	Bandung, Pekanbaru, Indramayu
7%	Medan (7, 5%)
8%	Surabaya, Semarang, Banjarmasin, Tangselor, Lampung, Yogyakarta
9%	Banda aceh, Pontianak, Banyumas, Banjarnegara, Purbalingga, Karanganyar
10%	Gorontalo, Makassar, Mamuju, Palu, Morowali, Palangkaraya, Samarinda, Ambon, Mataram, Kupang, Padang, Kendari, Manado, Bengkulu, Blitar, Kediri, Jember, Probolinggo, Situbondo

Besaran energi yang diperoleh dari pembelian token akan dipengaruhi oleh nominal pengisian, biaya administrasi dan Pajak Penerangan Jalan (PPJ), serta tarif tiap golongan yang berbeda. Nilai Pajak Penerangan Jalan (PPJ) akan berbeda pada setiap daerah sesuai regulasi dari pemerintah setempat sedangkan tarif listrik berdasarkan golongan daya. Berdasarkan parameter tersebut maka persamaan (3) merupakan konversi rupiah ke satuan energi.

$$kWh = \frac{(Rp-Ad)(1-PPJ)}{Tr} \tag{3}$$

Dimana kWh adalah hasil konversi rupiah ke energi, Rp adalah nominal total pengisian token (Rp), Ad adalah biaya admin (Rp), PPJ adalah pajak Penerangan Jalan dan Tr yaitu Tarif golongan daya.

Moving Average Orde 3

Moving Average Orde 3 merupakan metode peramalan dengan deret waktu yang menggunakan nilai rata rata dari sejumlah data historis untuk memprediksi nilai berikutnya. Metode ini melakukan rerataan terhadap fluktuasi data, sehingga nilai yang memiliki jarak terlalu jauh bisa diminimalkan [30].

Hasil penelitian yang diperoleh Hima Darmawan [29] yang membandingkan metode *Moving average* dan *exponential smoothing* sebagai metode prakiraan kebutuhan energi, didapatkan hasil bahwa nilai MAPE Exponential Smoothing sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan Moving Average ordo 2 dengan rentang 1.2% - 2.5%. Beberapa skenario menunjukkan nilai MAPE yang sama antar kedua metode, khususnya pada *Exponential* dengan

alpha 0.3. Hal ini menunjukkan bahwa Metode *Moving Average* memiliki tingkat kehandalan yang mendekati *Exponential Smoothing*.

Secara teori peningkatan ordo Metode *Moving Average* akan berdampak pada nilai peramalan seperti meningkatkan perataan data, sehingga hasil ramalan lebih stabil dan tidak sensitif terhadap fluktuasi sesaat. Mengingat *Exponential Smoothing* dengan alpha bernilai 0.3 menghasilkan performa yang sama dengan MA ordo 2, maka penggunaan metode MA ordo 3 dipandang mampu memberi tingkat kestabilan peramalan yang sebanding, khususnya pada data yang *relative* stabil dan tidak menunjukkan tren yang tajam.

Dengan demikian pemilihan Metode *Moving Average* didasarkan pada data yang relatif stabil, tidak menunjukkan tren yang tajam, kepraktisan tanpa memerlukan parameter tambahan seperti alpha, tingkat kompleksitas yang rendah dan mampu menghasilkan nilai peramalan yang konsisten.

Pada sistem digunakan Metode *Moving Average* Orde 3 dengan pertimbangan data terbagi menjadi 3 periode yaitu pagi, siang dan malam. Setiap periode mewakili karakteristik beban yang berbeda, sehingga nilai peramalan pada periode selanjutnya masih dipengaruhi oleh periode sebelumnya, persamaan (4) merupakan persamaan yang digunakan.

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-(n-1)}}{n} \tag{4}$$

Dengan Y_t adalah data aktual ke t, Y_{t-1} adalah Data aktual ke t-1, Y_{t-2} adalah data aktual ke t-2, \hat{Y}_{t+1} adalah data peramalan pada t+1, dan n adalah Orde yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian dari keseluruhan sistem, meliputi pengujian sensor, perhitungan konversi token ke energi, metode peramalan daya, serta uji coba *platform monitoring* berbasis web. Setiap pengujian dilakukan untuk menilai keakuratan dan fungsi yang dikembangkan.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

Jam ke	Tegangan (V)		Arus (A)	
	Avo Meter	PZEM-004T	Avo Meter	PZEM-004T
1	229,2	232,4	0,26	0,20

Jam ke	Tegangan (V)		Arus (A)	
	Avo Meter	PZEM-004T	Avo Meter	PZEM-004T
2	229,8	232,1	0,08	0,07
3	228,8	231,5	0,81	0,82
4	229,7	232,4	0,26	0,27
5	229,5	232,1	1,49	1,50
6	230,2	232,5	0,42	0,43
7	230,8	233,3	1,14	1,15
8	227,8	230,1	0,34	0,35
9	229,6	232,3	0,32	0,33
10	228,9	231,4	0,14	0,15

Tabel 4. Hasil Pengukuran Daya dan Energi

Jam ke	Daya (W)		Energi (Wh)	
	PZEM-004T	TAFF	PZEM-004T	TAFF
1	12,81	12,91	0,02	0,02
2	12,64	12,61	0,04	0,04
3	12,73	12,61	0,06	0,05
4	13,04	12,94	0,09	0,08
5	13,25	13,12	0,12	0,11
6	12,91	12,83	0,14	0,14
7	12,72	12,75	0,17	0,16
8	12,81	12,76	0,19	0,18
9	13,13	13,04	0,22	0,21
10	12,95	12,81	0,24	0,23

Tabel 5. Presentase Error

Jam	Error (%)			
	Tegangan (%)	Arus (%)	Daya (%)	Energi (%)
1	1,40	23,08	0,78	0,00
2	1,00	12,50	0,24	0,00
3	1,18	1,23	0,94	16,67
4	1,18	3,85	0,77	11,11
5	1,13	0,67	0,98	8,33
6	1,00	2,38	0,62	0,00
7	1,08	0,88	0,24	5,88
8	1,01	2,94	0,39	5,26
9	1,18	3,13	0,69	4,55
10	1,09	7,14	1,08	4,17

Pengujian dilakukan dengan beban dan jam yang bervariasi, pengujian arus dan tegangan berdasarkan tabel 3 dan tabel 5 menunjukkan perbandingan sensor PZEM-004T dengan Avo Meter, diperoleh prosentase error tegangan terbesar adalah 1.4% dengan rata rata error 0.11%., untuk pengujian arus didapat error terbesar adalah 23.08% dengan rata rata error sebesar 0.67%. Perbedaan ini didapat pada pengukuran yang sangat kecil, hal ini disebabkan karena adanya noise perbedaan resolusi alat yang digunakan.

Pengukuran energi dan daya berdasarkan tabel 4 dan tabel 5 menunjukkan perbandingan antara sensor

PZEM-004T dengan TAFF wattmeter, didapatkan hasil pada pengukuran daya didapatkan rentang error sebesar 0-1.1%, untuk pengukuran energi didapat rentang error sebesar 0-16%, perbedaan pembacaan sensor disebabkan oleh resolusi sensor dan perbedaan waktu *sampling* pembacaan sensor, namun cenderung akan menurun seiring bertambahnya waktu akibat akumulasi energi yang semakin stabil.

Tabel 6. Hasil Konversi Rupiah ke Energi

Jenis Daya	Kota	Uang (Ribu Rp)	Token Teori (kWh)	Token Real (kWh)
1300 VA	Surabaya	300	187,10	205,80
1300 VA	Surabaya	250	156,20	171,40
1300 VA	Bandung	200	122,90	133,60
1300 VA	Jakarta	150	91,40	99,20
900 VA	Surabaya	100	70,30	73,10
900 VA	Depok	75	52,10	54,60
900 VA	Ambon	100	64,70	68,00
900 VA	Kupang	50	30,40	32,80
450 VA	Aceh	50	109,60	109,60
450 VA	Lombok	40	87,20	87,20
450 VA	Papua	30	65,40	65,40
2200 VA	Surabaya	300	142,30	153,10

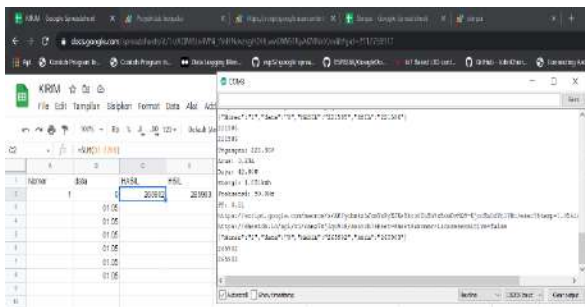
Tabel 6 menunjukkan hasil konversi nominal uang ke energi listrik menggunakan persamaan 3, terdapat perbedaan dikarenakan pengaruh PJJ serta kebijakan subsidi masing masing jenis golongan daya, token *real* yang didapat cenderung lebih banyak terutama pada golongan 450 VA dan 900 VA yang masih mendapat subsidi. Pada jenis golongan 1300 VA dan 2200 VA selisih *relative* kecil karena termasuk non-subsidi.

Tabel 7. Prediksi Moving Average Ordo 3

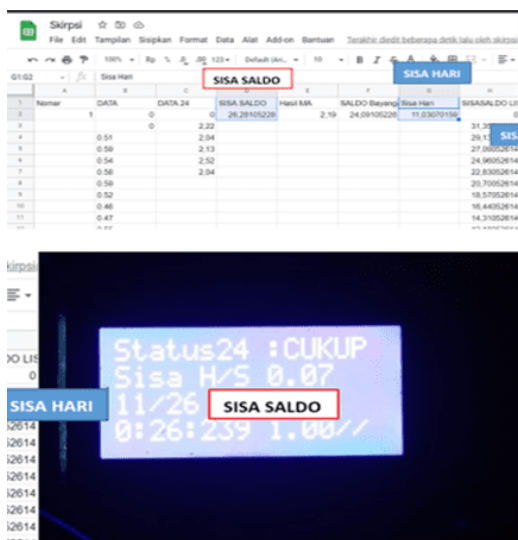
Data ke	Aktual (kWh)	MA(3) (kWh)	Error (%)
1	2.01	0	0
2	2.04	0	0
3	2.00	0	0
4	1.98	2.02	4.29
5	2.10	2.01	8.56
6	2.22	2.03	1.41
7	2.13	2.10	5.39
8	2.04	2.15	5.97
9	2.01	2.13	3.00
10	2.00	2.06	1.51
11	1.99	2.02	0.99
12	2.02	2.00	1.96
13	2.04	2.00	0.50
14	2.01	2.02	0.49
15	2.03	2.02	3.33

Data ke	Aktual (kWh)	MA(3) (kWh)	Error (%)
16	2.10	2.03	18.65
17	2.52	2.05	36.21
18	3.48	2.22	18.18
19	3.30	2.70	0.00
20	3.10	3.10	30.56
21	2.52	3.29	39.44
22	2.13	2.97	26.47
23	2.04	2.58	10.95
24	2.01	2.23	4.29

Hasil peramalan ditunjukkan pada tabel 7 menggunakan Metode *Moving Average*, dihasilkan bahwa MA(3) mampu mengikuti pola data aktual dengan cukup tepat. Pada penggunaan normal *error* yang dihasilkan memiliki rentang antara 0.99-18.65%, *error* terbesar terjadi karena adanya lonjakan penggunaan energi seperti pada data ke 17, 20, 21 dan 22 yang menunjukkan penghuni kos sedang berada di kamar dan menggunakan energi listrik sehingga MA(3) mengalami *lag* dalam merespon perubahan data. Secara keseluruhan dalam skenario penggunaan wajar, MA(3) memiliki *error* rata rata sebesar 5.59% sehingga memiliki keakuratan yang cukup dan dapat digunakan.



Gambar 3. Pengiriman Data ESP32 ke Spreadsheet



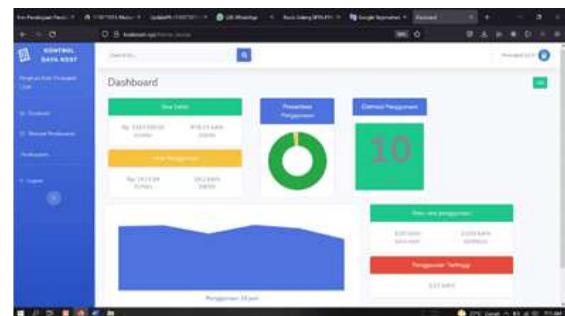
Gambar 4. Tampilan Data di ESP32 dan Spreadsheet

Proses pengiriman data oleh ESP32 ke Spreadsheet melalui API dari spreadsheet sesuai dengan struktur data yang ditentukan dapat dilihat pada Gambar 3. data yang ada akan di parsing dan dikelompokan sesuai jenisnya. ESP32 juga bisa mengakses kembali data yang dibuat dengan metode HTTP GET sesuai dengan parameter yang digunakan. Gambar 3 dan 4 menunjukkan proses pengiriman data dari ESP32 ke *database*.

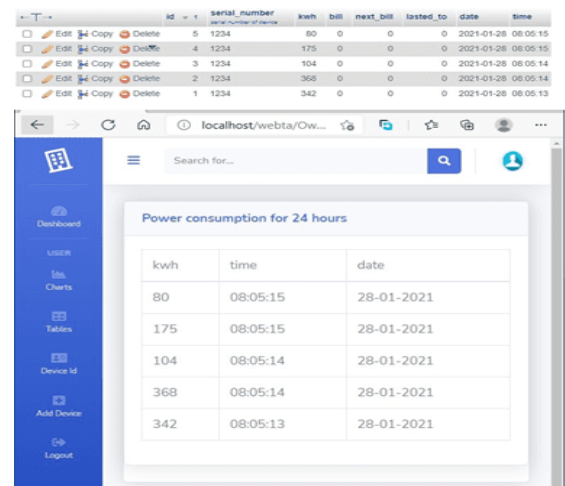


Gambar 5. Hasil Perangkat Keras Sistem

Gambar 5 menunjukkan hasil perangkat keras dan cara menghubungkan ESP32 dengan WiFi yang ditandai dengan berkedipnya LED pada perangkat keras, jika terus berkedip maka perangkat belum terhubung dan jika sudah terhubung maka LED akan hidup tanpa berkedip.

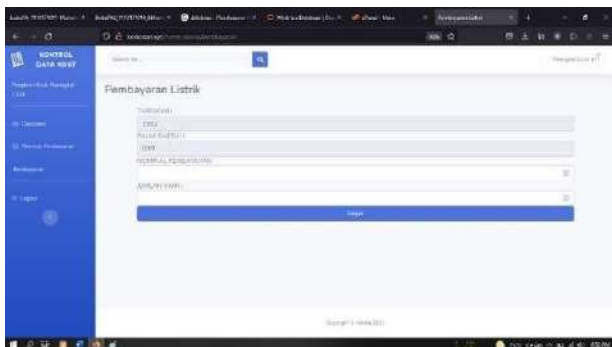


Gambar 6. Dashboard Monitoring

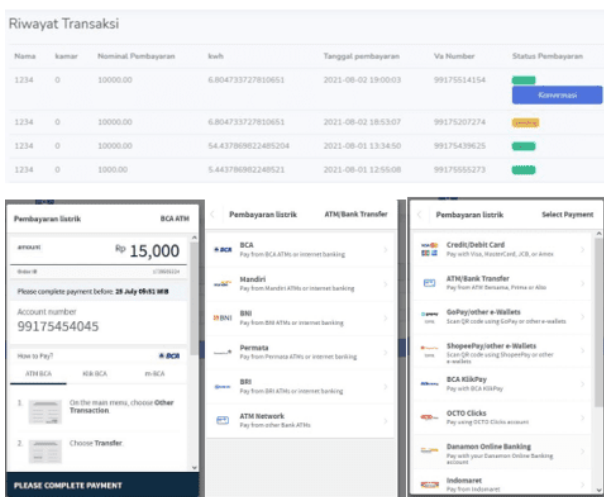


Gambar 7. Dashboard Riwayat Penggunaan Energi

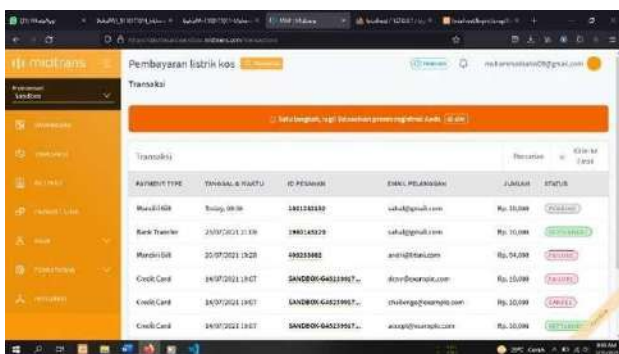
Gambar 6 dan 7 menunjukkan antarmuka awal monitoring daya listrik yang menampilkan informasi saldo, total penggunaan, prosentase penggunaan dan estimasi sisa waktu.



Gambar 8. Dashboard Pembayaran



Gambar 9. Riwayat Pembayaran



Gambar 10. Dashboard Midtrans

Gambar 8 dan 9 menunjukkan dashboard pembayaran yang dapat mengakomodasi pembayaran dengan banyak pilihan metode pembayaran mulai dari bank, virtual account, e-wallet, hingga Indomaret. Gambar 10 menunjukkan Riwayat pembayaran pada platform midtrans.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil terintegrasi dengan baik, terdapat *error* pada daya 450 dan 900 VA yang disebabkan oleh kebijakan subsidi dan non-subsidi. PZEM-004T memiliki Tingkat keakurasian yang memadai untuk monitoring energi, dengan *error* dibawah 1.1%, masih terdapat *error* pengukuran akibat *noise* dan keterbatasan resolusi pengukuran. Konversi biaya listrik sangat dipengaruhi oleh kebijakan subsidi dan penerangan jalan, terutama pada daya 450 dan 900 VA, sehingga menyebabkan perbedaan nilai konversi. Metode Moving Average ordo 3 mampu mengikuti pola penggunaan energi dengan *error* berkisar 0.00-8.56%, namun masih kurang *responsive* saat terjadi lonjakan beban yang tinggi. Sistem pembayaran mampu mengakomodasi pengguna dalam keleluasaan memilih metode membayar penggunaan energi. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan basis data yang lebih unggul dan metode peramalan yang lebih adaptif terhadap perubahan data.

REFERENSI

- [1] Y. Rafsyam *et al.*, “Development of Lora-Based Boarding House Tenant Electricity,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 12, no. 4, pp. 933–942, 2025, doi: 10.25126/jtiik.124.
- [2] I. Chairunnisa *et al.*, “Rancang Bangun Alat Pemantau Biaya Pemakaian Energi Listrik Menggunakan Sensor PZEM-004T dan Aplikasi Blynk,” *J. Fis. Unand*, vol. 11, no. 2, pp. 249–255, 2022, doi: 10.25077/jfu.11.2.249-255.2022.
- [3] A. N. and S. W. Kadek Amerta Yasa, I Made Purbhawa, I Made Sumerta Yasa, I Wayan Teresna, “IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers,” *J. Comput. Sci. Technol. Stud.*, vol. 5, no. 4, pp. 62–68, 2023, doi: 10.32996/jcsts.
- [4] Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan and Ni Putu Agustini, “Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32,” *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 54–68, 2022, doi: 10.36040/aliner.v3i1.4855.
- [5] Tresna Umar Syamsuri, Rahma Nur Amalia, Mudjiono, and Aly Imron, “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 139–145,

- 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.648.
- [6] I. M. A. Iwan Wisnawa, A. M. Dirgayusari, I. G. M. Y. Antara, A. A. G. Ekayana, and I. W. Sudiarsa, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Panel Listrik dan Kontrol Listrik Kos Berbasis IoT," *J. Krisnadana*, vol. 2, no. 1, pp. 211–221, 2022, doi: 10.58982/krisnadana.v2i1.230.
- [7] M. D. Ramadhan, A. Wisaksono, J. Jamaaluddin, and A. Ahfas, "Prototype Of Moisture Content Meter In Grain Using Esp32 Based On Spreadsheet," *J. Comput. Networks, Archit. High Perform. Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 502–513, 2024, doi: 10.47709/cnahpc.v6i2.3530.
- [8] A. Shodiq, S. Baqaruzi, and A. Muhtar, "Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis Internet Of Things," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 18–26, 2021, doi: 10.33019/electron.v2i1.2368.
- [9] E. A. Putri, U. Latifa, and A. Stefanie, "Web System for Data Collection and Data Transmission with MySQL Data Storage," *JISICOM (Journal Inf. Syst. Informatics Comput.)*, vol. 6, no. 2, pp. 343–360, 2022, doi: 10.52362/jisicom.v6i2.867.
- [10] K. Muhammad, W. Hidayat, M. Ghazi, and A. Faris, "IoT - Based Electrical Power Consumption Monitoring System in Households Using ESP32 and PZEM - 004T," *Brill. Res. Artif. Intelligent*, vol. 5, no. 2, pp. 1077–1081, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i2.6368 5.
- [11] F. Agil, N. Cahyo, H. Wibowo, and H. Mustofa, "Digital System and Computing Design and Evaluation of an IoT-Based Real-Time Energy Monitoring System Using NodeMCU and PZEM-004T," *Digit. Syst. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2025, doi: 10.58920/dsc0101419.
- [12] H. A. Muhammad Rifqi Amir Putra, Herlambang Saputra, "Sistem Monitoring Dan Prediksi Konsumsi Listrik Menggunakan Metode Long Short-Term Memory (LSTM) Berbasis Internet Of Things (IOT)," *JUPITER*, vol. 17, no. 3, pp. 953–964, 2025, doi: 10.5281/zenodo.17119678.
- [13] A. Angdresey, L. Sitanayah, Z. Marieke, P. Rumpesak, and J. Ooi, "IoT-Based Home Electricity Monitoring and Consumption Forecasting using k-NN Regression for Efficient Energy Management," *J. Comput. Theor. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 76–90, 2025, doi: 10.62411/jcta.13602.
- [14] W. Alam, D. Sarma, R. J. Chakma, M. J. Alam, and S. Hossain, "Internet of Things Based Smart Vending Machine using Digital Payment System," *Indones. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 719–731, 2021, doi: 10.52549/ijeei.v9i3.3133.
- [15] G. D. Wahanie *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Meter Listrik Prabayar dengan Pembayaran Menggunakan QRIS di Rumah Kost," *J. Tek. Elektro Petra*, vol. 16, no. 1, pp. 5–10, 2023, doi: 10.9744/jte.16.1.5-10.
- [16] M. Patil, P. R. Bhandekar, and P. R. Nawkhare, "IOT Based Automatic Reading & Billing System of Energy MEter," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 758–765, 2025, doi: 10.22214/ijraset.2025.67057.
- [17] R. Nyaupane *et al.*, "IoT-Enabled Smart Metering to Enhance Energy Management for Day-Ahead Electricity Price Forecasting," *Am. J. Mod. Energy*, vol. 11, no. 1, pp. 15–25, 2025, doi: 10.11648/j.ajme.20251101.12.
- [18] N. L. Husni, P. A. R. Sari, T. Dewi, A. S. Handayani, D. Sartika, and A. Mirza, "Visual Studio Code for Activity Monitoring Interface," in *Proceedings of the 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*, 2022, pp. 380–386. doi: 10.2991/ahe.k.220205.067.
- [19] H. Mardin and M. Nur Akbar, "Website-Based Village Digitalization Assistance As Information And Promotion Media In Kayubulan Village, Gorontalo Province," *Panrannuangku J. Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 3, pp. 186–192, 2024, doi: 10.35877/panrannuangku3172.
- [20] R. Puspita and R. Astriani, "Pembuatan Aplikasi Berbasis Website Toko Online Mazhab Creative Menggunakan PHP dan MySQLSite," *J. Ilm. Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 40–54, 2025, doi: 10.56127/juit.v4i1.1845.
- [21] Y. Fatman, N. Khoirun Nafisah, and P. Bendoro Jembar Pambudi, "Implementasi Payment Gateway dengan Menggunakan Midtrans pada Website UMKM Geberco," *J. KomtekInfo*, vol. 10, no. 2, pp. 64–72, 2023, doi: 10.35134/komtekinfo.v10i2.364.
- [22] D. Laudza Zaltu, "Implementasi Sistem Pembayaran Online Midtrans Pada Website Pukisniy," *J. Sist. Inf. dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 726–734, 2025, doi: 10.52005/jursistekni.v7i1.446.
- [23] PT PLN (Persero), "Tarif Adjustment," PT PLN (Persero). Accessed: Dec. 03, 2023. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/06/tt1-Juli-September-2023.jpg>
- [24] B. Jakarta, "Sosialisasi PPJ Sebagai Komponen

- Pajak Daerah,” Bapenda Jakarta. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://bapenda.jakarta.go.id/berita/sosialisasi-ppj-sebagai-komponen-pajak-daerah?utm_source=chatgpt.com
- [25] Bapenda Pekanbaru, “Pajak Penerangan Jalan,” Bapenda Pekanbaru. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://bapenda.pekanbaru.go.id/layanan/ppj?utm_source=chatgpt.com
- [26] Badan Pengelolaan Keuangan dan Pendapatan Daerah Salatiga, “Pajak Penerangan Jalan,” Badan Pengelolaan Keuangan dan Pendapatan Daerah Salatiga. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://bpkpd.salatiga.go.id/pajak_penerangan_jalan/?utm_source=chatgpt.com
- [27] BPPDRD and K. BALIKPAPAN, “Pajak Penerangan Jalan,” BPPDRD KOTA BALIKPAPAN. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://bppdrd.balikipapan.go.id/pajak_ppj.html?utm_source=chatgpt.com
- [28] Bliblicare, “Bagaimana cara menghitung jumlah kWh listrik Prabayar?,” Bliblicare. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.blibli.com/faq/produk-digital/bagaimana-cara-menghitung-jumlah-kwh-listrik-prabayar/?utm_source=chatgpt.com
- [29] H. Darmawan, G. Budiono, and R. Hartayu, “Analisis Perbandingan Metode Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Moving Average dan Exponential Smoothing Di PT . PLN Distribusi Jawa Timur,” in *SEMINAR NASIONAL HASIL RISET DAN PENGABDIAN “Peran Riset, Inovasi dan Pengabdian Kepada Masyarakat Bagi Pembangunan Indonesia Berkelanjutan,”* 2023, pp. 1451–1461.
- [30] H. Sulastri, G. S. Anwar, E. Nur, and F. Dewi, “Peramalan Stok Barang Percetakan dan ATK Menggunakan Single Moving Average,” *J. Rekayasa Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 59–69, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.30872/jurti.v7i1.11876>.