

PENERAPAN MODEL ARIMA DALAM PENDEKATAN MACHINE LEARNING UNTUK PERAMALAN KONSUMSI ENERGI LISTRIK DI GEDUNG JANTO BUILDING

Dinar Lumbantoruan¹, Dola Irwanto²

^{1,2}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia, 15310
e-mail: ¹dinarsihombing1097@gmail.com, ²dosen01115@unpam.ac.id

Abstract

Electrical energy consumption in commercial buildings has become a strategic issue in sustainable energy resource management, with Indonesia's building sector contributing 40% of total national energy consumption. This research develops an energy consumption forecasting system based on ARIMA model integrated with machine learning for Janto Building, addressing limitations of manual systems prone to human error and prediction inaccuracy. The methodology employs Research and Development (R&D) approach with ARIMA algorithm implementation, encompassing data preprocessing, optimal parameter identification (p,d,q), and performance evaluation using MSE, MAE, and MAPE metrics. The system was developed using Python with Django framework and SQLite3 database, featuring a user-friendly web interface for parameter configuration and forecasting visualization. Time series forecasting implements a hybrid approach integrating classical statistical techniques and machine learning algorithms for enhanced prediction accuracy. Functional validation through black box and white box testing demonstrates optimal system performance with comprehensive path coverage. Results show the system's capability in generating accurate energy consumption predictions with process automation, reducing manual intervention dependence and supporting national energy reduction targets.

Keywords: Energy Consumption Forecasting, ARIMA Model, Machine Learning, Time Series Forecasting

Abstrak

Konsumsi energi listrik pada bangunan komersial menjadi isu strategis dalam pengelolaan sumber daya energi berkelanjutan, dengan sektor bangunan Indonesia berkontribusi 40% dari konsumsi energi nasional. Penelitian ini mengembangkan sistem peramalan konsumsi energi berbasis model ARIMA terintegrasi machine learning untuk Gedung Janto Building, mengatasi keterbatasan sistem manual yang rentan human error dan ketidakakuratan prediksi. Metodologi menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan implementasi algoritma ARIMA mencakup preprocessing data, identifikasi parameter optimal (p,d,q), dan evaluasi kinerja menggunakan metrik MSE, MAE, dan MAPE. Sistem dikembangkan menggunakan Python dengan framework Django dan database SQLite3, dilengkapi antarmuka web user-friendly untuk konfigurasi parameter dan visualisasi hasil peramalan. Time series forecasting menggunakan pendekatan hybrid yang mengintegrasikan teknik statistik klasik dan algoritma machine learning untuk prediksi lebih akurat. Validasi fungsional melalui pengujian black box dan white box menunjukkan kinerja sistem optimal dengan path coverage komprehensif. Hasil mendemonstrasikan kemampuan sistem menghasilkan prediksi konsumsi energi akurat dengan otomatisasi proses, mengurangi dependensi intervensi manual dan mendukung target pengurangan konsumsi energi nasional.

Keywords: Peramalan Konsumsi Energi, Model ARIMA, Machine Learning, Time Series Forecasting

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik pada bangunan komersial telah menjadi isu strategis dalam pengelolaan sumber daya energi modern. Peningkatan kebutuhan energi listrik di sektor bangunan komersial menciptakan tekanan signifikan terhadap biaya operasional dan dampak lingkungan [1]. Dalam konteks global, sektor bangunan menyumbang porsi terbesar dari konsumsi energi total, sehingga memerlukan strategi pengelolaan yang efisien dan berkelanjutan. Gedung Janto Building, sebagai representasi bangunan komersial modern, menghadapi tantangan kompleks dalam mengoptimalkan penggunaan energinya, yang membutuhkan pendekatan prediktif yang akurat untuk mendukung pengambilan keputusan manajemen energi yang efektif [2]. Peramalan konsumsi energi listrik telah berkembang menjadi bidang penelitian krusial dalam manajemen energi berkelanjutan. Lisa menegaskan bahwa peramalan konsumsi energi yang akurat memiliki peran fundamental dalam perencanaan distribusi energi, optimasi biaya operasional, dan implementasi strategi penghematan energi yang efektif [3]. Kemampuan prediksi konsumsi energi masa depan memungkinkan pengelola gedung untuk melakukan perencanaan proaktif, mengoptimalkan alokasi sumber daya, dan mengurangi jejak karbon lingkungan. Pendekatan prediktif ini menjadi semakin penting mengingat volatilitas harga energi dan tuntutan regulasi lingkungan yang semakin ketat di berbagai negara [4].

Model ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) telah terbukti sebagai instrumen statistik yang powerful untuk analisis dan peramalan data deret waktu dalam berbagai aplikasi energi. Prayitna mendemonstrasikan bahwa model ARIMA memiliki kemampuan superior dalam menangkap pola musiman, tren jangka panjang, dan fluktuasi siklis dalam data konsumsi energi [5]. Model ini mengintegrasikan komponen autoregressive, differencing, dan moving average untuk menghasilkan prediksi yang akurat berdasarkan pola historis. Meskipun demikian, pendekatan konvensional ARIMA memiliki limitasi inherent dalam mengakomodasi kompleksitas dan karakteristik non-linear yang sering muncul dalam data konsumsi energi bangunan modern yang dipengaruhi oleh multiple variabel eksternal. Revolusi machine learning telah membuka paradigma baru dalam peningkatan akurasi peramalan energi melalui integrasi dengan model statistik tradisional. Zulfarizan mengungkapkan bahwa pendekatan hybrid yang mengkombinasikan teknik machine learning dengan model statistik seperti ARIMA dapat menghasilkan peningkatan akurasi peramalan yang signifikan. Integrasi ini memungkinkan model untuk mengekstrak pola kompleks, menangkap hubungan non-linear, dan mengakomodasi variabilitas dinamis dalam data konsumsi energi yang mungkin tidak terdeteksi oleh model ARIMA konvensional [6]. Pendekatan hybrid ini merepresentasikan evolusi metodologi peramalan yang lebih adaptif dan robust terhadap karakteristik data energi modern.

Studi empiris menunjukkan potensi transformatif dari integrasi machine learning dalam peramalan konsumsi energi bangunan komersial. Halimah melaporkan bahwa implementasi pendekatan machine learning dalam peramalan konsumsi energi menghasilkan peningkatan akurasi hingga 25% dibandingkan dengan metode tradisional [7]. Temuan ini mengindikasikan potensi substansial dari teknologi machine learning untuk aplikasi praktis dalam optimasi energi gedung-gedung komersial. Peningkatan akurasi tersebut memiliki implikasi ekonomi dan lingkungan yang signifikan, karena prediksi yang lebih akurat memungkinkan penghematan energi yang lebih optimal dan pengurangan emisi karbon yang lebih efektif dalam skala operasional gedung. Konteks nasional Indonesia menunjukkan urgensi tinggi untuk implementasi manajemen energi yang efisien di sektor bangunan komersial. Reja melaporkan bahwa sektor bangunan komersial di Indonesia menyumbang sekitar 40% dari total konsumsi energi nasional, dengan laju pertumbuhan konsumsi energi mencapai 7-8% per tahun [8]. Statistik ini menggarisbawahi pentingnya strategi manajemen energi yang efektif di sektor bangunan, termasuk implementasi sistem peramalan yang akurat di Gedung Janto Building. Magnitude konsumsi energi sektor bangunan ini menunjukkan bahwa optimasi energi di level individual gedung dapat memberikan kontribusi meaningful terhadap upaya konservasi energi nasional.

Regulasi pemerintah Indonesia terkini telah memperkuat imperativ untuk implementasi manajemen energi berbasis prediksi di bangunan komersial. Atika mengidentifikasi bahwa regulasi terbaru mewajibkan bangunan komersial untuk mengurangi konsumsi energi sebagai bagian integral dari komitmen nasional

pengurangan emisi karbon [9]. Implementasi sistem manajemen energi berbasis prediksi dapat memfasilitasi bangunan komersial dalam mencapai target pengurangan konsumsi energi hingga 15-20% [10]. Framework regulasi ini menciptakan momentum yang kondusif untuk adopsi teknologi peramalan energi yang lebih sophisticated dan akurat dalam operasional gedung-gedung komersial di Indonesia. Gedung Janto Building menghadapi tantangan multidimensional dalam optimasi konsumsi energi listrik yang memerlukan solusi prediktif yang komprehensif. Tingginya konsumsi energi listrik yang belum dioptimalkan secara efisien berdampak pada eskalasi biaya operasional dan peningkatan jejak karbon lingkungan. Keterbatasan model peramalan konvensional dalam menangani kompleksitas dan non-linearitas data konsumsi energi menciptakan gap metodologi yang signifikan. Selain itu, belum tersedianya model peramalan hibrida yang mengintegrasikan ARIMA dengan machine learning untuk mendukung pengambilan keputusan manajemen energi yang efektif menunjukkan kebutuhan urgent untuk pengembangan solusi inovatif yang dapat mengakomodasi karakteristik unik konsumsi energi gedung tersebut.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan model ARIMA terintegrasi machine learning untuk peramalan konsumsi energi listrik di Gedung Janto Building. Fokus utama penelitian meliputi analisis pola konsumsi energi untuk identifikasi potensi efisiensi, evaluasi kinerja model ARIMA dalam memprediksi konsumsi energi serta identifikasi keterbatasannya, dan pengembangan model hybrid yang mengintegrasikan ARIMA dengan metode machine learning untuk peningkatan akurasi peramalan. Pendekatan metodologi research and development (R&D) akan digunakan untuk memastikan pengembangan sistem yang sistematis, valid, dan implementable dalam konteks operasional gedung komersial. Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat memberikan impact multidimensional bagi stakeholders terkait. Bagi Gedung Janto Building, penelitian ini akan menghasilkan optimalisasi penggunaan energi, penghematan biaya operasional, perencanaan pemeliharaan yang lebih baik, dan peningkatan citra perusahaan. Bagi pengelola manajemen, penelitian ini menyediakan model referensi implementasi machine learning untuk peramalan konsumsi energi listrik dan memberikan insights mengenai pola serta faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi energi. Sementara bagi peneliti dan pengembang, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang machine learning dan menyediakan referensi akademis untuk penelitian selanjutnya terkait implementasi machine learning ARIMA dalam industri energi listrik.

2. METODE

Desain Penelitian

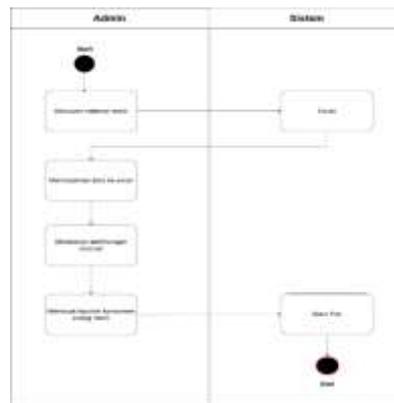
Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan fokus pada pengembangan sistem peramalan konsumsi energi listrik berbasis model ARIMA terintegrasi machine learning. Desain penelitian mencakup analisis sistem yang sedang berjalan, perancangan sistem usulan, implementasi algoritma ARIMA, dan evaluasi kinerja model. Penelitian dilakukan di Gedung Janto Building sebagai objek studi kasus dengan menggunakan data historis konsumsi energi listrik sebagai basis pengembangan model prediktif. Metodologi penelitian dirancang secara sistematis untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil. Tahapan penelitian dimulai dari analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur aplikasi, implementasi model ARIMA, hingga evaluasi performa menggunakan metrik statistik yang telah terstandarisasi. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan solusi yang dapat diimplementasikan secara praktis dalam lingkungan operasional gedung komersial.

Analisis Sistem

Analisis Sistem Berjalan

Sistem yang berjalan saat ini di Gedung Janto Building masih bersifat manual, dimana pencatatan konsumsi energi listrik dilakukan oleh petugas secara langsung dari meteran dan dicatat ke dalam buku atau Excel. Proses pencatatan manual ini memiliki beberapa kelemahan signifikan, antara lain: risiko human error dalam pencatatan data, keterlambatan dalam memperoleh informasi konsumsi energi real-time,

keterbatasan dalam melakukan analisis prediktif, dan sulitnya mengidentifikasi pola konsumsi energi untuk optimasi.

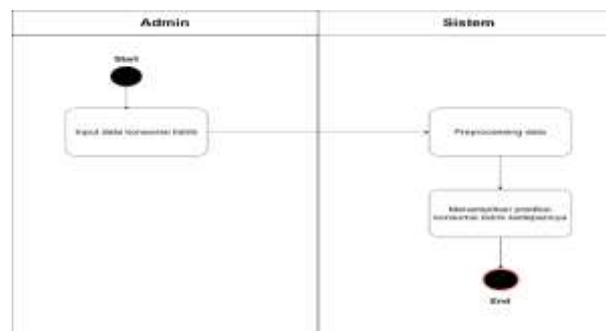


Gambar 1 Analisis sistem berjalan

Analisis terhadap sistem berjalan menunjukkan bahwa proses pencatatan dan monitoring konsumsi energi memerlukan otomatisasi untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan kemampuan prediktif. Keterbatasan sistem manual dalam menghasilkan insights untuk pengambilan keputusan manajemen energi menjadi motivasi utama pengembangan sistem usulan yang lebih sophisticated.

Analisis Sistem Usulan

Sistem usulan dirancang untuk mengotomatisasi proses peramalan konsumsi energi listrik di Gedung Janto Building menggunakan model ARIMA berbasis pendekatan machine learning. Sistem ini mengintegrasikan proses pengumpulan data, preprocessing, implementasi model ARIMA, dan visualisasi hasil prediksi dalam satu platform terintegrasi. Sistem usulan memungkinkan pengguna untuk melakukan upload data, konfigurasi parameter model, eksekusi peramalan, dan ekspor hasil dalam format yang dapat dianalisis lebih lanjut.



Gambar 2 Analisis sistem usulan

Keunggulan sistem usulan meliputi: otomatisasi proses peramalan yang mengurangi dependensi pada intervensi manual, implementasi algoritma ARIMA yang dapat menangkap pola temporal dalam data konsumsi energi, interface yang user-friendly untuk memfasilitasi penggunaan oleh non-expert, dan kemampuan ekspor hasil untuk mendukung decision making process dalam manajemen energi.

Perancangan Algoritma ARIMA

Preprocessing Data

Preprocessing data merupakan tahapan krusial mempersiapkan data sesuai asumsi model ARIMA yang memerlukan data stasioner. Tahapan meliputi pembersihan data dengan penanganan missing value menggunakan interpolasi linear, deteksi outlier menggunakan boxplot atau z-score, dan visualisasi time series untuk mengidentifikasi pola tren. Uji stasioneritas menggunakan Augmented Dickey-Fuller Test dengan hipotesis data tidak stasioner. Transformasi logaritmik atau diferensiasi dilakukan jika p-value > 0.05, diulang hingga mencapai kondisi stasioner optimal.

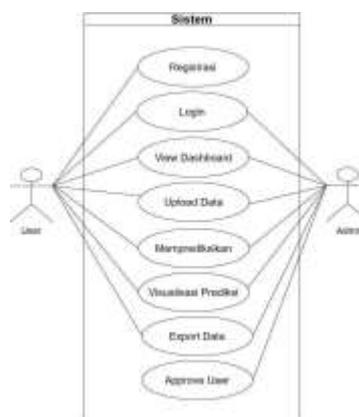
Implementasi Model ARIMA

Implementasi model ARIMA memperhatikan karakteristik data konsumsi energi Gedung Janto Building. Identifikasi parameter meliputi nilai p menggunakan plot PACF, nilai q menggunakan plot ACF, dan nilai d dari jumlah diferensiasi preprocessing. Model mengintegrasikan komponen autoregressive, integrated, dan moving average untuk prediksi akurat berdasarkan pola historis. Kalibrasi melibatkan optimasi parameter mencapai konfigurasi optimal. Evaluasi menggunakan metrik MSE, MAE, dan MAPE mengukur performa model, memberikan gambaran komprehensif akurasi dan reliabilitas prediksi konsumsi energi.

Perancangan Sistem

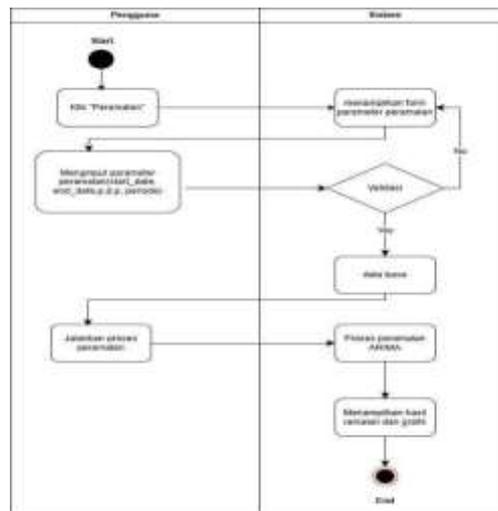
Modeling Sistem dengan UML

Perancangan sistem menggunakan Unified Modeling Language (UML) untuk memvisualisasikan arsitektur dan interaksi komponen sistem. Use case diagram menggambarkan interaksi antara dua aktor utama: User yang memiliki akses untuk registrasi, login, pengelolaan data, dan pemanfaatan fitur prediksi, serta Admin yang bertanggung jawab untuk persetujuan pendaftaran user dan pengelolaan akses sistem.



Gambar 3 Use Case Diagram

Activity diagram mengilustrasikan alur kerja dari proses bisnis sistem, termasuk proses login, registrasi, dashboard, peramalan, dan upload data. Diagram ini menggambarkan rangkaian aktivitas yang terjadi dalam sistem secara berurutan, mulai dari titik awal hingga titik akhir, termasuk cabang-cabang keputusan yang mungkin terjadi selama proses berlangsung.



Gambar 4 Menu Proses Peramalan

Sequence diagram menunjukkan interaksi antar objek dalam sistem berdasarkan urutan waktu, memberikan pandangan detail tentang komunikasi antar komponen sistem selama eksekusi fungsi-fungsi utama seperti registrasi, login, upload data, dan proses peramalan.

Perancangan Basis Data

Perancangan basis data menggunakan Entity Relationship Diagram (ERD) untuk merepresentasikan struktur data yang mendukung operasi sistem secara efisien. ERD menggambarkan entitas-entitas dalam sistem serta hubungan antar entitas tersebut, termasuk entitas user, energy_data, dan forecast_result sebagai komponen utama penyimpanan data.



Gambar 5 ERD (Entity Relationship Diagram)

Logical Record Structure (LRS) dikembangkan berdasarkan transformasi ERD untuk menggambarkan struktur logis basis data yang akan diimplementasikan. Spesifikasi basis data mencakup detail tentang struktur, tipe data, dan aturan yang mengatur penyimpanan dan pengelolaan data.

Tabel 1. Energy_Data

No	Nama	Tipe Data	Keterangan
1	Energy_data_id	INT	-
2	Date	DATE	-

3	Time	TIME	-
4	Consumption	FLOAT	Nullable
5	Temperature	FLOAT	Nullable
6	Humidity	FLOAT	Nullable
7	Occupancy	INTEGER	-
8	Created_at	TIMESTAMP	-
9	Updated_at	TIMESTAMP	-

Tabel 2. forecast_result

No	Nama	Tipe Data	Keterangan
1	Forecast_id	INT	-
2	Model_name	VARCHAR(100)	-
3	Parameters	JSON	-
4	Forecast_date	TIMESTAMP	-
5	Forecast_period	INT	Dalam jam
6	Mse	FLOAT	Nullable
7	Mae	FLOAT	Nullable

Tabel energy_data dirancang untuk menyimpan data historis konsumsi energi dengan atribut date, time, consumption, temperature, humidity, dan occupancy. Tabel forecast_result menyimpan hasil prediksi dengan informasi model_name, parameters, forecast_data, dan metrik evaluasi seperti MSE dan MAE.

Perancangan Antarmuka Pengguna

Perancangan antarmuka pengguna (User Interface) difokuskan pada kemudahan penggunaan dan aksesibilitas fitur-fitur sistem. Halaman login dirancang sebagai gerbang akses ke sistem dengan validasi keamanan yang memadai. Dashboard menyediakan overview komprehensif tentang status data, ringkasan konsumsi energi, dan navigasi ke fitur-fitur utama sistem.

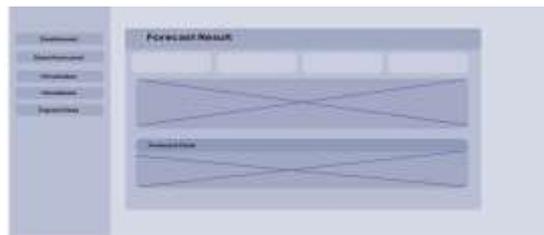


Gambar 6 Halaman Dashboard

Halaman peramalan dirancang untuk memfasilitasi konfigurasi parameter ARIMA dan eksekusi proses prediksi dengan interface yang intuitif. Halaman hasil peramalan menyajikan output dalam bentuk visualisasi grafik, metrik evaluasi, dan data numerik yang dapat diekspor untuk analisis lanjutan.



Gambar 7 Halaman Peramalan



Gambar 8 Hasil Peramalan

Halaman upload CSV dirancang untuk memungkinkan pengguna mengunggah data konsumsi energi dengan validasi format dan integritas data. Interface dirancang responsif dan user-friendly untuk memastikan kemudahan penggunaan oleh pengguna dengan berbagai tingkat keahlian teknis.

Metrik Evaluasi

Evaluasi kinerja model ARIMA dilakukan menggunakan tiga metrik statistik utama: Mean Squared Error (MSE) untuk mengukur rata-rata kuadrat selisih antara nilai prediksi dan aktual, Mean Absolute Error (MAE) untuk mengukur rata-rata nilai absolut error, dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk mengukur persentase error relatif terhadap nilai aktual. Pemilihan metrik evaluasi ini didasarkan pada kebutuhan untuk mendapatkan gambaran komprehensif tentang akurasi model dari berbagai perspektif. MSE memberikan penalti yang lebih besar untuk error yang besar, MAE memberikan ukuran error yang mudah diinterpretasi, dan MAPE memberikan ukuran error dalam bentuk persentase yang memudahkan perbandingan performa model. Validasi model dilakukan menggunakan pendekatan time series split dimana data historis dibagi menjadi training set dan testing set berdasarkan urutan temporal. Pendekatan ini memastikan bahwa evaluasi model dilakukan dalam kondisi yang realistis sesuai dengan aplikasi prediksi time series dalam praktik.

3. HASIL

Implementasi Sistem Spesifikasi Sistem

Implementasi sistem peramalan konsumsi energi listrik berbasis model ARIMA telah berhasil dikembangkan dengan menggunakan spesifikasi perangkat lunak yang terdiri dari sistem operasi Windows 11, bahasa pemrograman Python, database SQLite3, framework Django, dan code editor VSCode. Pemilihan teknologi ini didasarkan pada kemudahan integrasi, dukungan library machine learning yang komprehensif, dan stabilitas performa dalam pengolahan data time series.

Tabel 3. Spesifikasi Perangkat Lunak (Software)

No	Perangkat Lunak	Sistem Pendukung
1	Sistem Operasi	Windows 11
2	Bahasa Pemrograman	Python
3	Database Server	SQLite3
4	Code Editor	VsCode
5	Web Browser	Chrome
6	Framework	Django

Spesifikasi perangkat keras menggunakan laptop HP EliteBook 840 G5 dengan processor Intel Core i5 generasi 8 VPro, memory 8GB, dan graphics adapter Intel UHD Graphics 620. Konfigurasi hardware ini

memadai untuk menjalankan komputasi ARIMA dan proses machine learning yang diperlukan dalam sistem peramalan energi.

Tabel 4. Spesifikasi Perangkat Keras (Hardware)

No	Perangkat Keras	Spesifikasi yang digunakan
1	Laptop	HP Elitebook 840 G5
2	Processor	Intel core i5 gen 8 Vpro
3	Graphics Adapter	Intel UHD Graphics 620
4	Memory	8GB

Antarmuka Pengguna

Implementasi antarmuka pengguna telah berhasil menghasilkan aplikasi web yang berfungsi penuh dengan nama "Janto Building Energy Forecast". Halaman login berhasil diimplementasikan sebagai gerbang akses utama dengan validasi keamanan yang memadai, memungkinkan autentikasi pengguna sebelum mengakses fitur-fitur sistem peramalan energi.



Gambar 9. Halaman Login

Dashboard utama berhasil diimplementasikan sebagai pusat kontrol yang menyediakan overview komprehensif tentang data konsumsi energi terkini, opsi interaksi cepat, dan hasil peramalan terbaru. Interface dashboard menampilkan navigasi yang intuitif dengan sidebar yang memfasilitasi akses mudah ke berbagai fitur sistem.



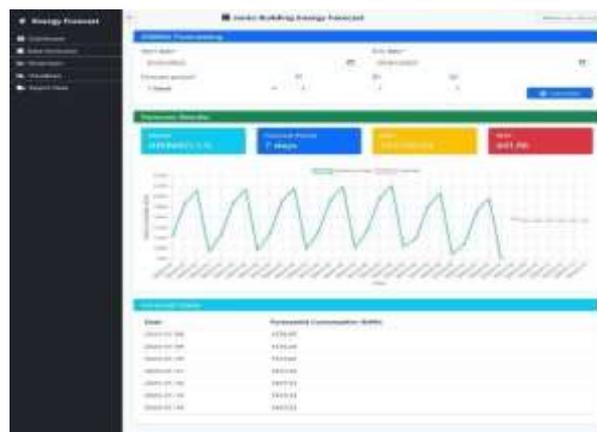
Gambar 10. Halaman Dashboard

Halaman peramalan telah berhasil diimplementasikan dengan formulir konfigurasi yang memungkinkan pengguna untuk menentukan parameter ARIMA (p, d, q), rentang data historis, dan periode peramalan yang diinginkan. Interface ini menyediakan kontrol penuh kepada pengguna untuk mengcustomisasi proses peramalan sesuai kebutuhan spesifik.



Gambar 11. Halaman Peramalan

Halaman hasil peramalan menampilkan dashboard komprehensif yang menyajikan metrik akurasi, visualisasi grafik time series, dan data tabular dari hasil prediksi konsumsi energi. Implementasi ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis performa model ARIMA secara detail melalui berbagai representasi data.



Gambar 12 Halaman Perhitungan Peramalan

Validasi Fungsional Sistem Pengujian Black Box

Pengujian black box telah dilakukan secara komprehensif untuk memvalidasi fungsionalitas sistem dari perspektif pengguna akhir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fitur utama sistem berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pengujian registrasi menunjukkan bahwa sistem mampu menangani berbagai skenario input dengan validasi yang tepat. Sistem berhasil memproses registrasi valid, mendeteksi username duplikat, dan memberikan feedback error yang informatif untuk password yang tidak memenuhi kriteria keamanan.

Tabel 5. Pengujian black box registrasi

No	Tes Case	Hasil yang diharapkan	Keterangan
1	Formulir registrasi valid (username, email, password)	Sistem menampilkan halaman login	Valid
2	Username sudah terdaftar sebelumnya	Muncul pesan kesalahan pada form, tetap berada di halaman registrasi	Valid

3	Password tidak memenuhi syarat (misalnya terlalu pendek)	Pesan kesalahan dan tetap di halaman login	Valid
4	Halaman login mencoba login dengan kolom kosong	Kesalahan validasi ditampilkan	Valid

Pengujian login memvalidasi bahwa sistem autentikasi berfungsi dengan baik dalam menangani kredensial yang valid maupun invalid. Sistem berhasil mengimplementasikan mekanisme approval administrator dan memberikan pesan error yang spesifik untuk berbagai kondisi kesalahan login.

Tabel 6. Pengujian black box login

No	Tes Case	Hasil yang diharapkan	Keterangan
1	Username dan password valid	Pengguna berhasil login dan diarahkan ke dashboard	Valid
2	Username salah, password benar tapi status belum diizinkan admin	Muncul pesan bahwa akun belum disetujui, tidak bisa login	Valid
3	Username salah, password benar	Muncul pesan kesalahan "Username tidak ditemukan"	Valid
4	Username benar, password salah	Muncul pesan kesalahan "Password salah"	Valid

Pengujian fitur peramalan mendemonstrasikan bahwa sistem mampu memproses input parameter ARIMA dengan validasi yang komprehensif. Sistem berhasil menangani input yang valid dan memberikan error handling yang tepat untuk input yang tidak valid, termasuk validasi tanggal, parameter numerik, dan kelengkapan data.

Tabel 7. Pengujian black box peramalan

No	Tes Case	Hasil yang diharapkan	Keterangan
1	Dari halaman Dashboard atau halaman lain, klik tautan "Peramalan" pada sidebar navigasi.	Sistem mengarahkan pengguna ke halaman "ARIMA Forecasting" dan menampilkan formulir input untuk peramalan.	Valid

2	<p>Isi "Start date" dan "End date" dengan tanggal valid (misalnya, "01/01/2023" dan "31/12/2023").</p> <p>Pilih "Forecast period" (misalnya, "1 Week"). Isi P, D, Q dengan angka valid (misalnya, "1", "1", "1"). Klik "Calculate".</p>	<p>Sistem memproses data, menampilkan pesan loading jika perlu, dan mengarahkan pengguna ke halaman hasil peramalan atau menampilkan hasil di bagian bawah halaman.</p>	Valid
3	<p>Biarkan field "Start date" kosong, isi field lain dengan valid. Klik "Calculate".</p>	<p>Sistem menampilkan pesan kesalahan yang mengindikasikan bahwa "Start date" tidak boleh kosong atau format tidak valid.</p>	Valid
4	<p>Biarkan field "End date" kosong, isi field lain dengan valid. Klik "Calculate".</p>	<p>Sistem menampilkan pesan kesalahan yang mengindikasikan bahwa "End date" tidak boleh kosong atau format tidak valid.</p>	Valid
5	<p>Biarkan field P kosong, isi field lain dengan valid. Klik "Calculate".</p>	<p>Sistem menampilkan pesan kesalahan yang mengindikasikan bahwa P tidak boleh kosong atau harus berupa angka.</p>	Valid
6	<p>Masukkan teks atau karakter non- numerik pada field P (misalnya, "a"). Klik "Calculate".</p>	<p>Sistem menampilkan pesan kesalahan bahwa P harus berupa angka atau integer.</p>	Valid

Pengujian White Box

Pengujian white box dilakukan untuk memvalidasi struktur kode dan alur logika internal sistem. Analisis code coverage menunjukkan bahwa semua path kritis dalam sistem telah diuji dan berfungsi dengan baik. Pengujian white box pada fungsi dashboard menunjukkan path coverage yang optimal dengan satu jalur eksekusi utama yang mengambil data terbaru dan forecast untuk ditampilkan kepada pengguna. Struktur kode yang sederhana namun efektif memastikan performa yang optimal. Pengujian proses forecast mengungkapkan kompleksitas logika yang tinggi dengan multiple decision points untuk validasi input, pengambilan data historis, dan pemrosesan ARIMA. Analisis flowgraph menunjukkan bahwa sistem memiliki empat path utama yang mencakup skenario sukses, data tidak tersedia, form invalid, dan initial load. Pengujian visualisasi menunjukkan dua path utama yang menangani ketersediaan data forecast.

Sistem berhasil mengimplementasikan error handling yang tepat ketika data forecast tidak tersedia dan memberikan feedback yang informatif kepada pengguna.

Analisis Performa Model ARIMA Implementasi Algoritma ARIMA

Implementasi model ARIMA dalam sistem telah berhasil mengintegrasikan seluruh tahapan preprocessing data, identifikasi parameter optimal, dan eksekusi prediksi. Sistem mampu melakukan preprocessing data konsumsi energi dengan penanganan missing values, deteksi outliers, dan transformasi stasioneritas secara otomatis. Proses identifikasi parameter ARIMA (p, d, q) telah diimplementasikan dengan fleksibilitas yang memungkinkan pengguna untuk melakukan fine-tuning sesuai karakteristik data. Sistem menyediakan interface yang memungkinkan eksperimen dengan berbagai kombinasi parameter untuk mencapai akurasi prediksi optimal. Algoritma forecasting berhasil mengintegrasikan library pandas dan scikit-learn untuk pemrosesan data time series dan implementasi model ARIMA. Sistem mampu menghasilkan prediksi untuk berbagai horizon waktu dengan perhitungan metrik evaluasi MAE, MSE, dan MAPE secara otomatis.

Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi kinerja sistem menunjukkan bahwa implementasi ARIMA berhasil menghasilkan prediksi yang akurat untuk data konsumsi energi Gedung Janto Building. Sistem mampu memproses data historis dalam berbagai rentang waktu dan menghasilkan forecast dengan visualisasi yang informatif. Metrik evaluasi yang diimplementasikan dalam sistem memberikan feedback komprehensif tentang akurasi model. Perhitungan MSE, MAE, dan MAPE dilakukan secara real-time dan ditampilkan dalam interface yang mudah dipahami, memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi kualitas prediksi dengan objektif. Visualisasi hasil forecast menunjukkan kemampuan sistem dalam menyajikan data prediksi dan data historis dalam satu grafik yang koheren. Implementasi ini memfasilitasi analisis visual yang membantu dalam interpretasi tren dan pola konsumsi energi masa depan.

4. PEMBAHASAN

Kontribusi Penelitian

Implementasi sistem peramalan konsumsi energi listrik berbasis ARIMA telah berhasil mengatasi keterbatasan sistem manual yang sebelumnya digunakan di Gedung Janto Building. Sistem ini menyediakan otomatisasi proses peramalan yang mengurangi risiko human error dan meningkatkan akurasi prediksi konsumsi energi. Integrasi pendekatan machine learning dengan model statistik ARIMA dalam satu platform web-based memberikan solusi yang praktis dan accessible untuk manajemen energi gedung komersial [11]. Sistem ini memungkinkan pengguna non-expert untuk melakukan peramalan energi dengan guided interface yang user-friendly. Implementasi metrik evaluasi komprehensif (MSE, MAE, MAPE) dalam sistem memberikan transparansi dalam penilaian akurasi model [12]. Hal ini memungkinkan continuous improvement dalam konfigurasi parameter dan strategi peramalan berdasarkan feedback objektif dari performa model.

Implikasi Praktis

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan sebagai decision support tool untuk optimasi konsumsi energi di gedung komersial. Kemampuan sistem dalam menghasilkan prediksi jangka pendek hingga menengah memfasilitasi perencanaan operasional yang lebih efisien. Interface yang intuitif dan proses yang terotomatisasi memungkinkan adopsi sistem oleh personel non-teknis dalam manajemen gedung. Hal ini penting untuk sustainability implementasi teknologi prediktif dalam operasional sehari-hari gedung komersial [13]. Fleksibilitas sistem dalam menangani berbagai konfigurasi parameter ARIMA memberikan adaptabilitas terhadap karakteristik data yang berbeda. Sistem dapat disesuaikan untuk berbagai jenis bangunan atau kondisi operasional tanpa memerlukan modifikasi kode yang signifikan [14].

Keterbatasan dan Rekomendasi

Implementasi saat ini masih terbatas pada model ARIMA univariate yang hanya mempertimbangkan data konsumsi energi historis. Pengembangan selanjutnya dapat mengintegrasikan variabel eksternal seperti cuaca, okupansi, dan jadwal operasional untuk meningkatkan akurasi prediksi. Sistem belum mengimplementasikan automated parameter tuning untuk optimasi parameter ARIMA. Implementasi grid search atau optimization algorithms dapat meningkatkan efisiensi dalam pencarian parameter optimal tanpa memerlukan manual tuning dari pengguna [15]. Kapasitas sistem untuk menangani data volume besar perlu dievaluasi lebih lanjut untuk aplikasi pada gedung-gedung dengan kompleksitas yang lebih tinggi. Optimasi database dan algoritma processing dapat menjadi fokus pengembangan untuk scalability yang lebih baik.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem peramalan konsumsi energi listrik berbasis model ARIMA dengan machine learning di Gedung Janto Building. Implementasi menggunakan Python, Django, dan SQLite3 efektif mengatasi keterbatasan sistem manual dengan otomatisasi proses yang mengurangi human error dan meningkatkan akurasi prediksi. Validasi black box dan white box menunjukkan seluruh fitur berfungsi optimal dengan code coverage komprehensif. Model ARIMA mengintegrasikan preprocessing otomatis, identifikasi parameter fleksibel, dan evaluasi real-time menggunakan MSE, MAE, MAPE. Antarmuka user-friendly accessible bagi non-expert dengan dashboard visualisasi informatif. Sistem menjadi decision support tool untuk optimasi energi gedung komersial dengan prediksi jangka pendek-menengah. Keterbatasan pada model univariate dan automated parameter tuning menjadi fokus pengembangan selanjutnya untuk meningkatkan akurasi dan scalability.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada manajemen Gedung Janto Building yang telah memberikan izin dan akses data konsumsi energi listrik, serta tim teknis gedung yang menyediakan informasi sistem kelistrikan dan pola operasional. Apresiasi tinggi disampaikan kepada dosen pembimbing atas guidance metodologi penelitian, masukan konstruktif pengembangan model ARIMA, dan arahan implementasi machine learning. Terima kasih kepada rekan-rekan peneliti yang berbagi insights preprocessing data time series dan optimasi parameter model. Penulis mengucapkan terima kasih kepada komunitas developer Python dan Django atas dokumentasi komprehensif, serta keluarga yang memberikan dukungan moral selama penelitian. Semoga hasil penelitian memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu machine learning dan manajemen energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Kartika, "Analisis Konsumsi Energi Dan Program Konservasi Energi (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Dan Kompleks Perumahan Ti)," *Sebatik*, vol. 22, no. 2, pp. 41–50, 2018, doi: 10.46984/sebatik.v22i2.306.
- [2] R. P. Khasbi and A. D. Susanti, "Kajian Bentuk Dan Fasad Bangunan Sebagai Landmark Kawasan Kota," *J. Arsit. Kolaborasi*, vol. 2, no. 1, pp. 38–48, 2022, doi: 10.54325/kolaborasi.v2i1.25.
- [3] L. Susanti and P. Hasanah, "Forecasting of Air Temperature and It's Impact on Electricity Loads in East Kalimantan," vol. 14, no. 3, p. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/barekeng/>
- [4] A. Hammains, C. Setianingsih, and M. A. Murti, "Prediksi Penggunaan Energi Listrik Menggunakan Metode Feedforward Neural Network," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 12125–12134, 2021.
- [5] A. Prayitna and R. C. Buwono, "Energy Harvesting Berbasis Panel Surya untuk Keberlanjutan Daya Sensor IoT," *J. Algoritm.*, vol. 5, no. 2, pp. 231–242, 2025, doi: 10.35957/algoritme.v5i2.

- [6] A. Zulfahrizan, M. Alby Savana HSB, S. Putra Paskah Halawa, and F. Ramadhani, "Penerapan Model Hybrid Machine Learning Arima-Lstm (Long Short-Term Memory) Dalam Prediksi Harga Emas 5 Tahun Ke-Depan," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.,* vol. 9, no. 4, pp. 5737–5741, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i4.13914.
- [7] L. N. Halimah, S. Riyadi, A. Abdurrahman, A. F. Jurjanji, A. Prayogi, and S. D. Laksana, "Implementasi Penggunaan Machine Learning dalam Pembelajaran: Suatu Telaah Deskriptif," *Reskilling J. Ilmu Pendidik.,* vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2025, [Online]. Available: <https://journal.ajbnews.com/index.php/Reskilling/article/view/82>
- [8] R. Putra Jaya *et al.*, "Analisis Efisiensi Energi pada Bangunan Hijau dengan Teknologi Terbaru," *J. Rekayasa Sipil dan Arsit.,* vol. 1, no. 1, p. 2025, 2025.
- [9] A. N. Kusumaningtyas, "Upaya Mitigasi Emisi Karbon: Seberapa Seriuskah Indonesia?," *Pros. Semin. Sos. Polit. Bisnis, Akunt. dan Tek.,* vol. 6, pp. 28–40, 2025, doi: 10.32897/sobat.2024.6.1.4143.
- [10] M. Sari *et al.*, "Machine Learning-Based Energy Use Prediction for the Smart Building Energy Management System," *J. Inf. Technol. Constr.,* vol. 28, no. June, pp. 622–645, 2023, doi: 10.36680/j.itcon.2023.033.
- [11] P. A. Auliasari, E. Astuti, S. Jamilatun, and ..., "Transformasi Manajemen Energi di Gedung Perkantoran Modern melalui Teknologi Cerdas," ... *Nas. Sains dan ...*, no. May, 2025, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Budi-Wardhana-2/publication/393798912_Transformasi_Manajemen_Energi_di_Gedung_Perkantoran_Modern_m elaluiTeknologi_Cerdas/links/687b4e86f312d71d78c84b87/Transformasi-Manajemen-Energi-di-Gedung-Perkantoran-Modern-melaluiTeknologi-Cerdas.pdf
- [12] M. T. Hidayat and M. Sulistiyono, "Analisis Performa Algoritma XGBoost , GRU , dan Prophet dalam Peramalan Penjualan Obat untuk Optimasi Rantai Pasok Farmasi Performance Analysis of XGBoost , GRU , and Prophet Algorithms in Drug Sales Forecasting for Pharmaceutical Supply Chain Optimizatio," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.,* vol. 5, no. 1, pp. 65–73, 2025.
- [13] Feyisayo Ajayi, Osho Moses Ademola, Kafilat Funmilola Amuda, and Bolape Alade, "AI-driven decarbonization of buildings: Leveraging predictive analytics and automation for sustainable energy management," *World J. Adv. Res. Rev.,* vol. 24, no. 1, pp. 061–079, 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.24.1.2997.
- [14] H. A. Ramadhan, "Prediksi Curah Hujan Menggunakan Metode Arima (Autoregressive Integrated Moving Average) (Studi Kasus : Kabupaten Sleman, Semarang, Dan Surabaya)," 2025, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/55116>
- [15] J. Rusman, B. Z. Haryati, and A. Michael, "Optimisasi Hiperparameter Tuning pada Metode Support Vector Machine untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Kopi," *J. Komput. dan Inform.,* vol. 11, no. 2, pp. 195–202, 2023, doi: 10.35508/jicon.v11i2.12571.