IMPLEMENTASI *ENSEMBLE KALMAN FILTER* UNTUK MENGOPTIMALKAN AKURASI MODEL SARIMA DALAM PERAMALAN DATA DERET WAKTU

(Studi Kasus: Penumpang Pesawat di Bandara Supadio)

MUHALIP TEGAR WICAKSONO
NIM.H1011201059

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

IMPLEMENTASI *ENSEMBLE KALMAN FILTER* UNTUK MENGOPTIMALKAN AKURASI MODEL SARIMA DALAM PERAMALAN DATA DERET WAKTU

(Studi Kasus: Penumpang Pesawat di Bandara Supadio)

MUHALIP TEGAR WICAKSONO
NIM.H1011201059

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Matematika pada Program Studi Matematika

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Implementasi *Ensemble Kalman Filter* untuk Mengoptimalkan Akurasi Model SARIMA dalam Peramalan Data Deret Waktu (Studi Kasus: Penumpang Pesawat di Bandara Supadio)
Nama Mahasiswa	: Muhalip Tegar Wicaksono
NIM	: H1011201059
Jurusan/Program Studi	: Matematika/Matematika
Tanggal Lulus	: 07 Juli 2026
SK Pembimbing	: No. 4385/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal 17 Juli 2026
SK Penguji	: No. 4425/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal 20 Juli 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Nur'ainul Miftahul Huda, S.Si., M.Si	Fransiskus Fran, S.Si., M.Si.
NIP 199411142020122014	NIP. 198804152019031014

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Dr. Yundari, M.Sc.	Drs. Helmi, M.Si.
NIP 198310202008012012	NIP 196410171998021001

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Nur'ainul Miftahul Huda, S.Si., M.Si	Fransiskus Fran, S.Si., M.Si.
NIP 199411142020122014	NIP. 198804152019031014

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Muhalip Tegar Wicaksono
NIM	: H1011201059
Program Studi/Jurusan	: Matematika/Matematika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 07 Juli 2026



Muhalip Tegar Wicaksono

NIM. H1011201059

Implementasi *Ensemble Kalman Filter* untuk Mengoptimalkan Akurasi Model SARIMA dalam Peramalan Data Deret Waktu

Abstrak

Peramalan data deret waktu sangat penting dalam sektor transportasi udara yang memiliki fluktuasi musiman yang cukup jelas. Bandara Supadio Pontianak yang menjadi pintu masuk utama Kalimantan Barat mencatat peningkatan penumpang yang cukup tinggi setiap musim liburan. Prediksi yang akurat diperlukan agar pihak bandara dapat mengantisipasi keterbatasan fasilitas dan menjaga kualitas layanan. Model *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) umum digunakan untuk data musiman, namun model ini umumnya menghasilkan prediksi berbasis nilai titik (*point forecast*) sehingga kurang mampu menggambarkan tingkat ketidakpastian yang terdapat dalam proses peramalan. Metode tambahan diperlukan untuk dapat meningkatkan akurasi sekaligus mengakomodasi dinamika data. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan akurasi model SARIMA dengan mengintegrasikan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF). Metode EnKF dipilih karena mampu memperbarui prediksi secara adaptif menggunakan data terbaru serta memberikan estimasi lebih stabil melalui pendekatan *ensemble*. Studi kasus dilakukan pada data bulanan jumlah penumpang pesawat di Bandara Supadio, periode Januari 2021–Desember 2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kalimantan Barat. Analisis dimulai dengan uji stasioneritas menggunakan transformasi Box-Cox dan uji ADF, dilanjutkan dengan *differencing* yang dilakukan jika data yang tidak stasioner, identifikasi model SARIMA dengan ACF dan PACF, lalu integrasi EnKF melalui inisialisasi *ensemble*, tahap *forecast*, dan *update* dengan Kalman Gain. Hasil penelitian menunjukkan model SARIMA menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 3,60% (sangat baik), sedangkan SARIMA-EnKF mencapai 0,84% (lebih akurat). Hal ini membuktikan bahwa EnKF efektif dalam mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan performa SARIMA. Peramalan tahun 2025 juga menunjukkan pola musiman yang konsisten dengan lonjakan pada periode liburan.

Kata kunci: ACF dan PACF, MAPE, Pola Musiman.

Implementation of Ensemble Kalman Filter to Optimize SARIMA Model Accuracy in Time Series Data Forecasting

Abstract

Time series forecasting is crucial in the air transport sector, which experiences significant seasonal fluctuations. Supadio Airport in Pontianak, the main gateway to West Kalimantan, sees a substantial increase in passenger numbers during every holiday season. Accurate forecasts are necessary so that airport authorities can anticipate facility constraints and maintain service quality. The Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) model is commonly used for seasonal data; however, this model typically produces point forecasts, making it less capable of capturing the level of uncertainty inherent in the forecasting process. Additional methods are needed to improve accuracy while accommodating data dynamics. This study aims to optimize the accuracy of the SARIMA model by integrating the Ensemble Kalman Filter (EnKF) method. The EnKF method was chosen because it can adaptively update forecasts using the latest data and provides more stable estimates through an ensemble approach. A case study was conducted on monthly data on the number of airline passengers at Supadio Airport for the period January 2021–December 2024, obtained from the Central Statistics Agency (BPS) of West Kalimantan. The analysis began with a stationarity test using Box-Cox transformation and the ADF test, followed by differencing if the data was non-stationary, identification of the SARIMA model using ACF and PACF, and then EnKF integration through initialization.

Keywords: *ACF and PACF, MAPE, Seasonal Patterns.*

PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT. karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Implementasi *Ensemble Kalman Filter* untuk Mengoptimalkan Akurasi Model SARIMA dalam Peramalan Data Deret Waktu". Skripsi ini menjadi salah satu pencapaian beharga dalam perjalanan panjang penulis menempuh dunia pendidikan di Universitas Tanjungpura. Proses penulisan tugas akhir ini tentu tidak selalu mudah. Ada banyak tantangan, rintangan, sekaligus pelajaran beharga yang penulis alami. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua tercinta beserta kakek dan nenek yang telah memberikan doa, dukungan berupa material maupun non material selama perkuliahan sehingga menjadi motivasi dan semangat bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Nur'ainul Miftahul Huda, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Fransiskus Fran, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan motivasi serta arahan yang sangat berharga selama proses penulisan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura yang sudah mendidik dan memberikan ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman dan pacar penulis yang selalu memberikan bantuan, dukungan, dan saran kepada penulis selama proses perkuliahan dan skripsi ini.

Pontianak, 07 Juli 2026

Muhalip Tegar Wicaksono

DAFTAR ISI

Abstrak ..... **iv**

Abstract ..... **v**

PRAKATA ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xii**

DAFTAR SIMBOL ..... **xiii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Tinjauan Pustaka 4

1.6 Metodologi Penelitian 5

BAB II LANDASAN TEORI **9**

2.1 Analisis Deret Waktu 9

2.2 Stasioneritas Data Deret Waktu terhadap Varians 10

2.3 Stasioneritas Data Deret Waktu terhadap Rata-Rata 11

2.4 Fungsi Autokorelasi (ACF) dan Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF) 12

2.4.1 Fungsi Autokerelasi (ACF) 12

2.4.2 Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF) 15

2.5 Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) 16
2.6 Model *Seasonal* ARIMA (SARIMA) 18
2.7 Proses *White Noise* 19
2.8 Metode *Ensemble Kalman Filter* 20
2.9 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 20
BAB III IMPLEMENTASI *ENSEMBLE KALMAN FILTER* UNTUK MENGOPTIMALKAN AKURASI MODEL SARIMA 22
3.1 Karakteristik Data 22
3.2 Identifikasi Stasioneritas Data 24
3.3 Identifikasi Model SARIMA 29
3.4 Uji Diagnostik Residual 32
3.5 Penerapan Metode EnKF pada Model SARIMA 35
3.5.1 Inisialisasi *Ensemble* 35
3.5.2 *Forecast* (*Time-Update*) per Anggota 36
3.5.3 Kalman Gain 37
3.6 Tingkat Akurasi Peramalan Menggunakan Model SARIMA 37
3.7 Tingkat Akurasi Peramalan Menggunakan Model SARIMA-EnKF 38
3.8 Peramalan Menggunakan Model SARIMA-EnKF 39
BAB IV PENUTUP 41
4.1 Kesimpulan 41
4.2 Saran 41
DAFTAR PUSTAKA 42
DAFTAR LAMPIRAN 44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Flowchart Evaluasi Akurasi SARIMA–EnKF 8
Gambar 2. 1 Contoh Plot ACF 14
Gambar 2. 2 Contoh Plot PACF 16
Gambar 3. 1 Plot Data Deret Waktu Penumpang Angkutan Udara 23
Gambar 3. 2 Grafik Musiman Data 23
Gambar 3. 3 Plot Box-Cox Jumlah Penumpang Angkutan Udara 24
Gambar 3. 4 Plot Box-Cox Transformasi Data Pertama 25
Gambar 3. 5 Plot Box-Cox Transformasi Data Kedua 25
Gambar 3. 6 (a)Plot Data Aktual (b)Plot Data Setelah Transformasi Kedua 26
Gambar 3. 7 Plot Setelah Differencing Gabungan 28
Gambar 3. 8 (a)Plot ACF Data (b)Plot PACF Data 30
Gambar 3. 9 Plot Normalitas Residual 33
Gambar 3. 10 Plot Data Aktual dan Hasil Peramalan dengan Model SARIMA . 38
Gambar 3. 11 Plot Data Aktual dan Hasil Ramalan dengan SARIMA-EnKF 39
Gambar 3. 12 Plot Hasil Ramalan untuk Periode 2025 40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Transformasi Box-Cox (Box & Cox, 1964)..... 10
Tabel 2. 2 Kriteria Ketepatan MAPE..... 21
Tabel 3. 1 Hasil Statistik Deskriptif..... 22
Tabel 3. 2 Hasil Pengujian ADF Data Transformasi Jumlah Penumpang..... 27
Tabel 3. 3 Hasil Uji ADF Musiman Orde 1..... 28
Tabel 3. 4 Hasil Uji ADF Non-Musiman Orde 1..... 29
Tabel 3. 5 Estimasi Model SARIMA..... 31
Tabel 3. 6 Hasil Perhitungan Ljung-Box..... 32
Tabel 3. 7 Hasil Peramalan Jumlah Penumpang Bandara Supadio Pontianak..... 40

DAFTAR SIMBOL

Z_t	: data periode ke- t
B	: operator *backshift*
α_t	: nilai residual pada waktu ke- t
p	: orde AR
q	: orde MA
d	: banyaknya pembedaan atau *differencing*
P	: orde musiman AR
D	: banyaknya musiman yang di *differencing*
Q	: orde musiman MA
S	: jumlah periode per musim
$\phi_p(B)$	: faktor AR non-musiman
$\theta_q(B)$	: faktor MA non-musiman
$\Phi_P(B^S)$	: faktor AR musiman
$\Theta_Q(B^S)$	: faktor MA musiman
μ	: rata-rata Z_t
n	: banyaknya pengamatan dalam data deret waktu
K	: banyaknya lag yang diuji
$\hat{\rho}_k$	: nilai koefisien autokorelasi pada lag- k

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penumpang Periode Januari 2021 hingga Desember 2024 44
Lampiran 2 Data Aktual dan Hasil Peramalan Model SARIMA 44
Lampiran 3 Data Aktual dan Hasil Peramalan Model SARIMA-EnKF 46
Lampiran 4 Perhitungan MAPE Model SARIMA..... 48
Lampiran 5 Perhitungan MAPE Model SARIMA-EnKF 49
Lampiran 6 Ramalan Periode 2025 Menggunakan Model SARIMA..... 49
Lampiran 7 Ramalan Periode 2025 Menggunakan Model SARIMA-EnKF 50

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peramalan (*forecasting*) merupakan suatu analisis data deret waktu (*time series*) yang bertujuan untuk memprediksi kejadian di masa depan berdasarkan data historis. Teknik ini memperkirakan nilai-nilai masa depan dengan mempertimbangkan informasi dari masa lalu maupun kondisi saat ini. Peramalan banyak diterapkan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti perencanaan kegiatan, pengelolaan keuangan, hingga pengambilan keputusan strategis. Namun, hasil peramalan yang dikenal sebagai titik ramal tidak selalu akurat karena mengandung unsur ketidakpastian (Zhu et al., 2025). Ketidakpastian ini menjadi penting untuk diperhatikan, terutama dalam sektor transportasi yang merupakan salah satu komponen vital bagi suatu negara. Transportasi berperan dalam memudahkan mobilitas masyarakat, baik untuk mendukung kegiatan ekonomi, sosial, maupun pemenuhan kebutuhan sehari-hari.

Pada era globalisasi sekarang, transportasi terbagi menjadi tiga jenis utama yaitu darat, laut, dan udara. Di antara ketiganya, transportasi udara semakin menunjukkan peran pentingnya, terutama dalam hal kecepatan, efisiensi, dan jangkauan jarak jauh seperti antar pulau maupun antar negara. Transportasi udara mencakup pesawat terbang, helikopter, dan lain-lain. Meskipun transportasi darat seperti sepeda motor, mobil, bus, maupun kereta api masih umum dan sering digunakan untuk aktivitas harian, tetapi transportasi udara kini lebih menjadi pilihan utama bagi masyarakat yang membutuhkan mobilitas tinggi, kenyamanan, dan efisiensi waktu. Hal ini menjadikan transportasi udara sebagai solusi unggulan dalam segi mobilitas modern (Meliyana et al., 2025). Pesawat adalah jenis transportasi udara yang bergerak di atmosfer dengan memanfaatkan empat gaya yaitu gaya angkat, gaya berat, gaya dorong, dan gaya hambat. Pesawat digunakan untuk mengangkut penumpang maupun barang antarwilayah, baik dalam negeri maupun luar negeri.

Pesawat memiliki banyak keunggulan dibandingkan transportasi lainnya, seperti mampu menempuh jarak jauh dalam waktu singkat, bebas dari kemacetan, serta efisiensi dalam mobilitas lintas pulau atau negara.

Berdasarkan data dari BPS Provinsi Kalimantan Barat, jumlah penumpang pesawat di Bandara Supadio setiap tahunnya menunjukkan pola kenaikan yang konsisten, terutama menjelang momen Natal dan Tahun Baru. Lonjakan ini terjadi secara berulang dari tahun 2021 hingga 2024 yang mencerminkan adanya pola musiman yang cukup jelas. Kondisi ini tentu menjadi perhatian serius bagi pihak Bandara Supadio, karena jika tidak dikelola dengan baik, lonjakan jumlah penumpang berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan di masa yang akan datang, seperti kepadatan di terminal, keterbatasan fasilitas, hingga penurunan kualitas layanan. Oleh karena itu, penting dilakukan peramalan jumlah penumpang untuk periode-periode selanjutnya. Dengan adanya prediksi yang akurat, pihak bandara dapat mempersiapkan diri lebih baik, seperti menambah fasilitas, memperkuat operasional, dan mengatur strategi pelayanan agar lonjakan penumpang dapat ditangani secara optimal.

Pendekatan yang umum digunakan dalam peramalan ini adalah analisis deret waktu (*time series analysis*). Pendekatan ini mempertimbangkan pengaruh waktu terhadap data yang biasanya tersusun secara periodik seperti harian, bulanan, atau tahunan. Salah satu model yang digunakan dalam analisis deret waktu adalah SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*). Model ini merupakan pengembangan dari ARIMA yang dapat menangani data musiman, yaitu data yang memiliki pola berulang dalam periode tertentu. Musiman berarti terdapat kecenderungan pola tingkah laku data yang berulang secara periodik seperti bulanan, triwulanan, atau tahunan (Makridakis et al., 1997).

Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan model SARIMA seperti Ukhra (2014) menggunakan model SARIMA dalam pemodelan dan peramalan data deret waktu. Selanjutnya, Katabba (2021) menggunakan model SARIMA untuk memprediksi jumlah penumpang kereta api di pulau Sumatera. Namun, sebagian be-

sar penelitian tersebut hanya menghasilkan titik prediksi tanpa mempertimbangkan adanya *prediction interval*, yang penting untuk mengukur ketidakpastian dari hasil prediksi. Dalam perkembangan selanjutnya, metode *Kalman Filter* menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk analisis deret waktu. *Kalman Filter* merupakan bagian dari model *state space* yang bekerja secara rekursif untuk menggabungkan data terbaru ke dalam model, memperbaiki hasil prediksi sebelumnya, dan menghasilkan prediksi baru secara optimal berdasarkan data masa lalu dan saat ini. Untuk sistem yang bersifat linear maupun nonlinear, terdapat pengembangan *Kalman Filter* yang dikenal dengan *Ensemble Kalman Filter* (EnKF). Metode EnKF menggunakan pendekatan *ensemble* yang mampu memberikan estimasi keadaan sistem yang lebih akurat dan stabil, serta terbukti dapat memperbaiki akurasi prediksi SARIMA, ditunjukkan dengan nilai MAPE yang lebih kecil dibandingkan model SARIMA tanpa EnKF Wibisono et al., (2019). Oleh karena itu, metode EnKF cocok digunakan dalam peramalan data kompleks seperti memprediksi jumlah penumpang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, bagaimana efektivitas penerapan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) dalam memperbaiki model SARIMA, khususnya dalam menurunkan nilai MAPE pada data *time series*, serta sejauh mana metode tersebut mampu memberikan peningkatan akurasi dibandingkan dengan penggunaan model SARIMA?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penerapan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) pada model SARIMA untuk mengoptimalkan akurasi peramalan yang diukur melalui nilai MAPE, sehingga dapat diperoleh model dengan tingkat ketepatan lebih tinggi.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini menggunakan data kedatangan penumpang pesawat udara domestik di Bandara Supadio, Pontianak, Kalimantan Barat. Data yang digunakan

berupa data *time series* periode bulanan dimulai dari Januari 2021 hingga Desember 2024. Data diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Kalimantan Barat. Penelitian ini terbatas pada penggunaan model SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) sebagai model dasar dan perbaikan model SARIMA dengan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) untuk meramalkan jumlah kedatangan penumpang pada tahun 2025.

1.5 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan dengan bersumber pada hasil penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Berdasarkan penelitian yang diberitahukan sebelumnya yaitu Ukhra (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "Pemodelan dan Peramalan Data Deret Waktu Menggunakan Model SARIMA". Pada penelitian ini membahas penerapan model SARIMA untuk memodelkan dan meramalkan data deret waktu dengan pola musiman. Penelitian ini mencakup proses identifikasi model, estimasi parameter, dan evaluasi akurasi prediksi. Dengan menggunakan model SARIMA$(1,1,0)(0,1,0)^{12}$, hasil penelitian ini menunjukkan keberhasilan dalam menangkap pola musiman dan tren dalam data *AirPassengers*, serta memperoleh hasil prediksi untuk tahun 1960 yang sangat mendekati data aktual.

Penelitian lainnya yaitu dari Katabba (2021) yang berhasil mengembangkan model SARIMA$(0,1,1)(0,1,1)^{12}$ untuk meramalkan jumlah penumpang kereta api di Pulau Sumatera berdasarkan data Januari 2015-Desember 2019. Model ini efektif menangkap pola musimandan tren, menghasilkan prediksi yang akurat untuk tahun 2020, sebagaimana ditunjukkan oleh kecocokan dengan data actual dan evaluasi menggunakan MAPE. Hasil penelitian ini mendukung penggunaan SARIMA untuk data transportasi musiman. Penelitian mengenai estimasi atau peramalan juga dilakukan oleh Sutopo & Arif (2022) dengan menggunakan metode EnKF dalam penelitiannya yang berjudul "Estimasi Model Penyebaran Penyakit Demam Berdarah dengan Menggunakan Metode *Ensemble Kalman Filte*r" yang menunjukkan bahwa EnKF efektif untuk memodelkan penyebaran DBD dengan hasil MAPE yag rendah.

Penelitian menggunakan EnKF juga dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Purnaningrum (2020) yang berhasil menerapkan metode *Kalman Filter* untuk meramalkan pergerakan IHSG selama pandemi COVID-19 dengan hasil akurasi tinggi (RMSE $= 0{,}0001$, MAE $= 0{,}0001$, MAPE $< 10\%$). Model ini efektif menangani tingkat fluktuasi tinggi dalam data pasar saham, menjadikannya alat yang andal untuk peramalan di tengah ketidakpastian. Dari beberapa penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat dilihat bahwa SARIMA dirancang untuk menangkap komponen musiman dan tren dalam deret waktu. Kemudian, EnKF dapat digunakan untuk mengestimasi parameter model secara rekursif dan menghasilkan interval prediksi. Oleh karena itu, pendekatan SARIMA-EnKF dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya karena dapat menggabungkan model SARIMA dalam menangani pola musiman dengan EnKF untuk mengatasi ketidakpastian.

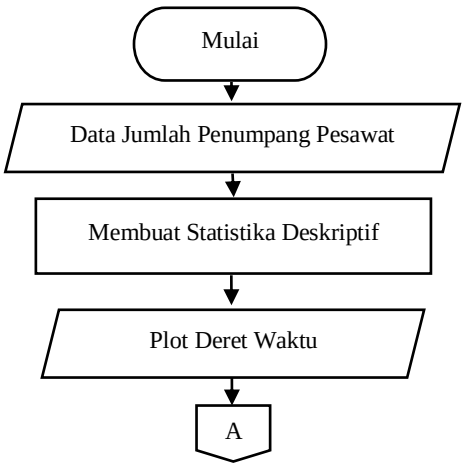
1.6 Metodologi Penelitian

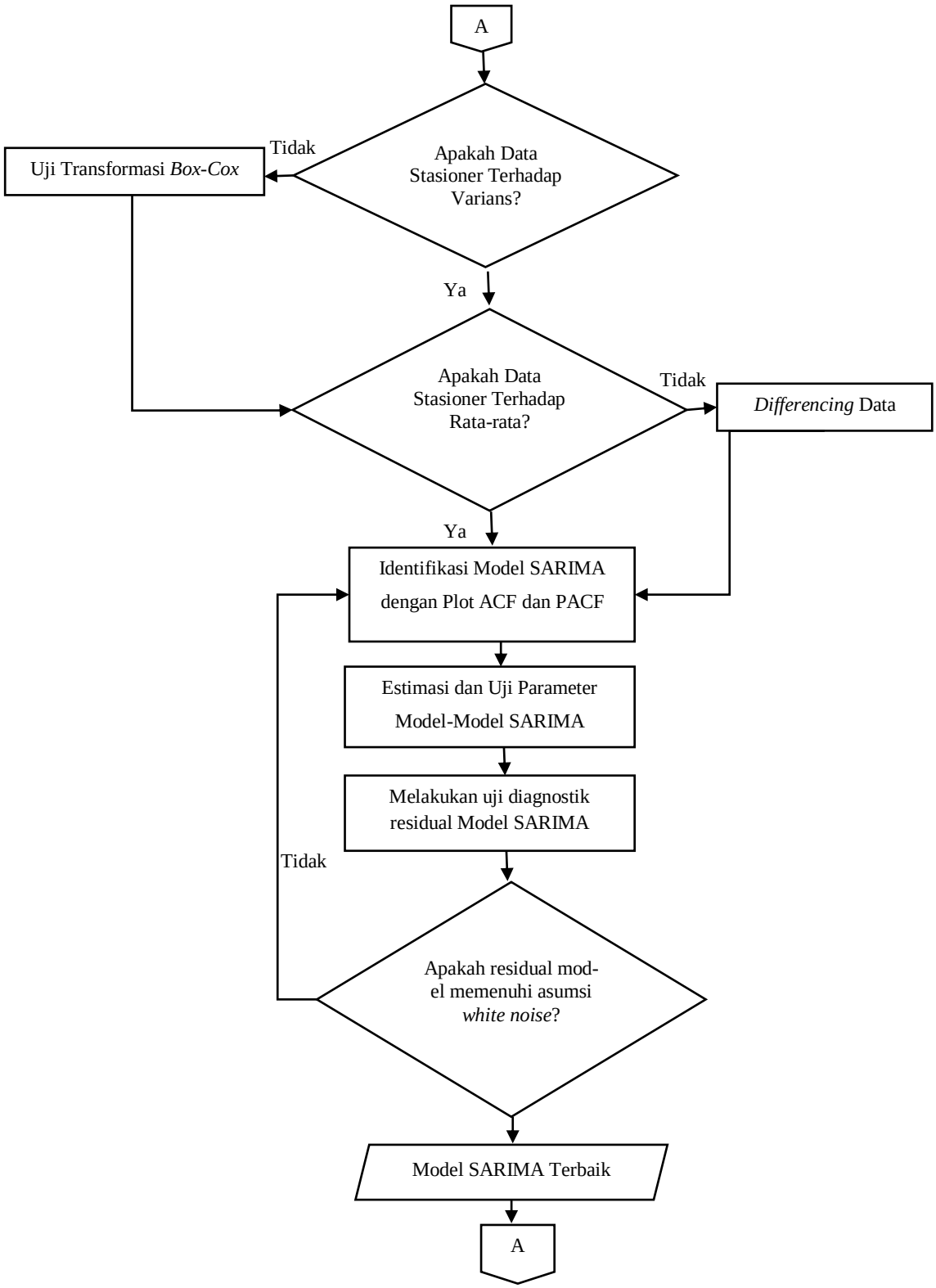
Metodologi penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data jumlah penumpang dari Badan Pusat Statistik provinsi Kalimantan Barat. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan beberapa kandidat model SARIMA terbaik. Analisis dimulai dari membuat statistik deskriptif dan dilanjutkan dengan membuat plot deret waktu untuk memahami pola awal data. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan stasioneritas terhadap varians dan stasioneritas terhadap rata-rata. Pemeriksaan stasioneritas terhadap varians dilakukan dengan menerapkan uji *Box-Cox*, sedangkan stasioneritas terhadap rata-rata menggunakan uji ADF (*Augmented Dickey-Fuller*).

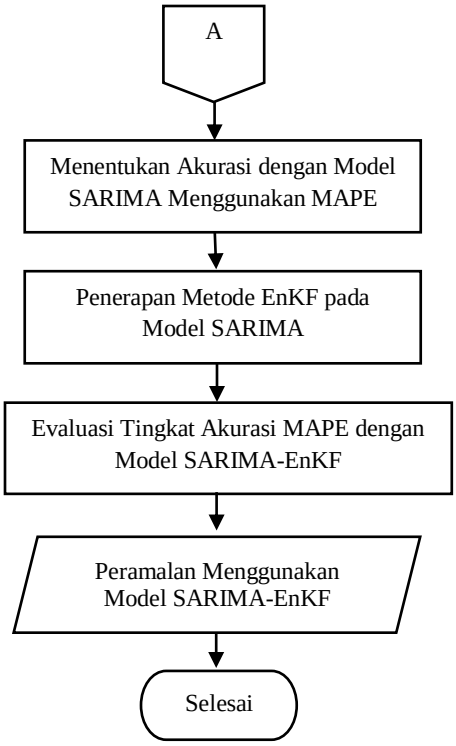
Setelah data stasioner, selanjutnya adalah membentuk model SARIMA. Orde model SARIMA adalah $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)^S$ dengan (p,d,q) merupakan komponen non-musiman dan (P,D,Q) merupakan komponen musiman. Identifikasi orde p,q,P,Q pada model tersebut dilakukan dengan menganalisis *plot* ACF dan PACF, sedangkan penentuan d,D berdasarkan jumlah diferensiasi yang dibutuhkan agar data stasioner. Selanjutnya, dilakukan estimasi parameter model SARIMA

dengan menggunakan statistik uji. Jika ditemukan parameter yang tidak signifikan, maka proses kembali ke tahap identifikasi orde $(p, d, q)(P, D, Q)$. Setelah beberapa model dibentuk, kemudian diperiksa secara. Jika terdapat beberapa model yang memenuhi kriteria kelayakan, maka model terbaik yang dipilih.

Selanjutnya, proses pembentukkan model EnKF-SARIMA dimulai dngan inisialisasi *ensemble* untuk mencerminkan ketidakpastian awal. *Ensemble* dibuat dengan mereplikasi nilai awal data dan menambahkan gangguan acak (*noise*) sehingga terbentuk sejumlah anggota *ensemble* yang merepresentasikan kemungkinan keadaan sistem. Model SARIMA yang telah dibentuk sebelumnya digunakan sebagai model propagasi untuk memprediksi nilai pada setiap anggota *ensemble* secara sekuensial. Masing-masing *ensemble* menghasilkan prediksi satu langkah ke depan berdasarkan struktur dan parameter SARIMA. Setelah prediksi dilakukan, data observasi aktual pada waktu yang sama digunakan untuk melakukan koreksi terhadap hasil prediksi menggunakan pendekatan *Ensemble Kalman Filter*. Dengan demikian, model EnKF–SARIMA mampu mengakomodasi ketidakpastian sistem dan memperbaiki prediksi berdasarkan informasi terbaru yang tersedia secara dinamis. Hasil akhir dari proses ini kemudian dievaluasi menggunakan indikator akurasi MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk menilai kinerja model dalam melakukan peramalan jumlah penumpang.




A
Apakah Data Stasioner Terhadap Varians?
Tidak
Uji Transformasi *Box-Cox*
Ya
Apakah Data Stasioner Terhadap Rata-rata?
Tidak
Differencing Data
Ya
Identifikasi Model SARIMA dengan Plot ACF dan PACF
Estimasi dan Uji Parameter Model-Model SARIMA
Melakukan uji diagnostik residual Model SARIMA
Tidak
Apakah residual model memenuhi asumsi *white noise*?
Model SARIMA Terbaik
A



Gambar 1. 1 *Flowchart* Evaluasi Akurasi SARIMA–EnKF