

PERBANDINGAN MODEL *SEASONAL* ARIMAX DAN *GATED RECURRENT UNIT* DALAM MEMPREDIKSI INDEKS KUALITAS UDARA PM2.5 DI DKI JAKARTA

NADHIRA MAULIDA HAYANI



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Perbandingan Model *Seasonal* ARIMAX dan *Gated Recurrent Unit* dalam Memprediksi Indeks Kualitas Udara PM2.5 di DKI Jakarta” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Nadhira Maulida Hayani
G5401221004



ABSTRAK

NADHIRA MAULIDA HAYANI. Perbandingan Model *Seasonal* ARIMAX dan *Gated Recurrent Unit* dalam Memprediksi Indeks Kualitas Udara PM2.5 di DKI Jakarta. Dibimbing oleh I WAYAN MANGKU dan YENNI ANGRAINI.

Pencemaran udara merupakan permasalahan yang tidak ada habisnya, khususnya di kota besar seperti Jakarta. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) terdiri dari berbagai parameter, salah satunya PM2.5. Tinggi rendahnya ISPU dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti curah hujan dan kecepatan angin sebagai peubah eksogen. Tingginya pencemaran udara dapat berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan, sehingga diperlukan metode prediksi yang akurat. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja model SARIMAX dan GRU dalam memprediksi indeks kualitas udara, serta melakukan prediksi selama enam bulan ke depan menggunakan model terbaik. Data yang digunakan adalah data harian periode 1 Januari 2021 hingga 30 November 2025 di DKI Jakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik adalah GRU dengan dua *hidden layer*, *batch size* 128, *epoch* 30, *learning rate* 0,001, *window size* 14 hari, serta 128 neuron. Model dibangun menggunakan *expanding cross validation* dengan lima *window*, masing-masing terdiri atas 68 data uji. Rata-rata nilai MAPE dari kelima yang diperoleh sebesar 17,0377%. Hasil prediksi menunjukkan pola yang cenderung menurun pada awal periode, kemudian meningkat secara bertahap.

Kata kunci: GRU, indeks kualitas udara, PM2.5, SARIMAX

ABSTRACT

NADHIRA MAULIDA HAYANI. Comparison of Seasonal ARIMAX and Gated Recurrent Unit Models for Predicting PM2.5 Air Quality Index in DKI Jakarta. Supervised by I WAYAN MANGKU and YENNI ANGRAINI.

Air pollution remains an ongoing problem, particularly in large cities such as Jakarta. The Air Pollution Standard Index (ISPU) consists of several parameters, one of which is PM2.5. The level of ISPU can be influenced by external factors such as rainfall and wind speed as exogenous variables. High levels of air pollution can have negative impacts on human health and the environment, thus an accurate forecasting method is required. This study aims to compare the performance of SARIMAX and GRU models in forecasting air quality index and to generate forecasts for the next six months using the selected best model. The data used are daily air quality data from January 1, 2021 to November 30, 2025 in DKI Jakarta. The results show that the best model is GRU with two hidden layers, batch size of 128, 30 epochs, learning rate of 0.001, window size of 14 days, and 128 neurons. The model is constructed using expanding cross validation with five windows, each consisting of 68 testing data points. The average Mean Absolute Percentage Error (MAPE) obtained from all windows is 17,0377%. The forecasting results indicate a decreasing pattern at the beginning of the period, followed by a gradual increase.

Keywords: air quality index, GRU, PM2.5, SARIMAX



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PERBANDINGAN MODEL *SEASONAL* ARIMAX DAN *GATED RECURRENT UNIT* DALAM MEMPREDIKSI INDEKS KUALITAS UDARA PM2.5 DI DKI JAKARTA

NADHIRA MAULIDA HAYANI

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

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
1 Bidayatul Masulah, S.Si., M.Sc.



Judul Skripsi : Perbandingan Model *Seasonal* ARIMAX dan *Gated Recurrent Unit* dalam Memprediksi Indeks Kualitas Udara PM2.5 di DKI Jakarta

Nama : Nadhira Maulida Hayani
NIM : G5401221004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. I Wayan Mangku, M.Sc.

Pembimbing 2:
Dr. Yenni Angraini, S.Si, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Donny Citra Lesmana, M.Fin.Math.
197902272005011001

Tanggal Ujian: 25 Mei 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai bulan Mei 2026 ini adalah Pemodelan Matematika, dengan judul “Perbandingan Model *Seasonal* ARIMAX dan *Gated Recurrent Unit* dalam Memprediksi Indeks Kualitas Udara PM2.5 di DKI Jakarta”. Proses penyusunan karya ilmiah telah dibantu dan didukung oleh banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. I Wayan Mangku, M.Sc. dan Dr. Yenni Angraini, S.Si, M.Si. yang telah membimbing penulis dan banyak memberi saran dalam penyelesaian tugas akhir ini,
2. Bidayatul Masulah, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji luar dalam ujian tugas akhir ini yang telah memberikan masukan dan perbaikan terhadap penulisan karya ilmiah ini,
3. Dr. Ir. Fahren Bukhari, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik serta seluruh dosen dan staf Program Studi Matematika Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama penulis menjadi mahasiswa,
4. Orang tua penulis beserta adik kandung penulis atas doa, dukungan, kasih sayang, dan motivasi kepada penulis,
5. Seluruh anggota grup Cucu Eyang terkhusus Ara, Alief, Mirlan, dan Cheryl sebagai teman yang memberikan semangat dan pembelajaran kepada penulis selama di dunia perkuliahan,
6. Akbar dan Karen yang selalu menjadi wadah untuk segala keluh kesah penulis selama ini,
7. Seluruh anggota grup Bcanda Paling Serius, Ekspedisi 9 Gunung, dan Anak Emak, sebagai teman sepermainan yang telah menemani penulis selama masa sekolah hingga sekarang,
8. Seluruh mahasiswa Program Studi Matematika IPB angkatan 59 yang telah berjuang bersama, terkhusus Aufa yang telah menemani penulis berdiskusi bersama dan menjadi rekan asisten sejak Semester 5,
9. Semua pihak yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Jazakumullah khairan katsiran. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Nadhira Maulida Hayani

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Kualitas Udara	3
2.2 Deret Waktu dan Peramalan	3
2.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Indeks Kualitas Udara	4
2.4 Analisis Korelasi	4
2.5 Analisis Multikolinearitas	5
2.6 Analisis Kestasioneran Data	5
2.7 Fungsi Autokorelasi dan Fungsi Autokorelasi Parsial	8
2.8 Pemeriksaan Diagnostik	9
2.9 Normalisasi Data	10
2.10 <i>Expanding Window Cross Validation</i>	11
2.11 Evaluasi Kinerja Model	11
III METODE	13
3.1 Sumber dan Jenis Data	13
3.2 Tahapan Penelitian	13
IV KAJIAN MATEMATIS	17
4.1 Model-Model Deret Waktu	17
4.2 Model Deret Waktu dengan Peubah Eksogen	20
4.3 Identifikasi Orde untuk Model Deret Waktu	21
4.4 Pendugaan Parameter untuk Model Deret Waktu	22
4.5 <i>Gated Recurren Unit</i>	24
V HASIL DAN PEMBAHASAN	30
5.1 Eksplorasi Data	30
5.2 Identifikasi Peubah Eksogen	32
5.3 Kestasioneran Data	34
5.4 Identifikasi Model	37
5.5 Pemodelan SARIMAX	37
5.6 Evaluasi Model SARIMAX	40
5.7 Pemodelan GRU	42
5.8 Prediksi PM2.5 Selama Enam Bulan ke Depan Menggunakan Model Terbaik	45
VI SIMPULAN DAN SARAN	47
6.1 Simpulan	47
6.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48

LAMPIRAN
RIWAYAT HIDUP

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR TABEL

1	Kasus khusus transformasi Box-Cox	7
2	Kriteria nilai MAPE	12
3	Pola teoritis ACF dan PACF untuk komponen nonmusiman	21
4	Pola teoritis ACF dan PACF untuk komponen musiman	21
5	Statistika dekriptif indeks kualitas udara PM2.5 harian	30
6	Hasil analisis korelasi	33
7	Hasil pemodelan SARIMAX	38
8	Hasil uji diagnostik model SARIMAX	38
9	Hasil <i>overfitting</i> model SARIMAX(1,1,2)(0,1,1) ₇	39
10	Hasil evaluasi model SARIMAX terbaik	40
11	Detail arsitektur dan variasi parameter GRU	42
12	Hasil evaluasi kombinasi parameter model GRU	44
13	Hasil evaluasi model GRU terbaik	44
14	Prediksi PM2.5 selama enam bulan ke depan dengan model terbaik	46

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi <i>expanding window</i> (Santos 2022)	11
2	Diagram alir penelitian	16
3	Struktur <i>Recurrent Neural Network</i> (Goodfellow <i>et al.</i> 2016)	25
4	Arsitektur GRU (Chughtai <i>et al.</i> 2022)	26
5	Plot dekomposisi dari indeks kualitas udara PM2.5 harian	30
6	Deret waktu dan komponen musiman PM2.5 tahun 2021	31
7	Plot deret waktu PM2.5 dengan pembagian data latih dan data uji	31
8	Plot deret waktu peubah eksogen curah hujan harian	32
9	Plot deret waktu peubah eksogen kecepatan angin rata-rata	32
10	<i>Scatter plot</i> antar peubah. (a) curah hujan dengan PM2.5,	33
11	Plot Box-Cox dari indeks kualitas udara PM2.5	34
12	Plot Box-Cox setelah transformasi Box Cox	35
13	Plot deret waktu PM2.5 setelah transformasi Box-Cox	35
14	Plot ACF dan PACF data PM2.5	36
15	Diagram ACF dan PACF setelah <i>differencing</i> orde pertama	36
16	Plot deret waktu PM2.5 setelah <i>differencing</i> $d = 1$ dan $D = 1$	36
17	Diagram ACF dan PACF data yang telah stasioner	37
18	Ilustrasi <i>expanding window cross validation</i>	40
19	Plot evaluasi model SARIMAX(1,1,2)(0,1,1) ₇ dengan <i>expanding window</i> . (a) <i>Window 1</i> , (b) <i>Window 2</i> , (c) <i>Window 3</i> , (d) <i>Window 4</i> , (e) <i>Window 5</i>	41
20	Plot deret waktu PM2.5 setelah dinormalisasi. (a) <i>Window 1</i> , (b) <i>Window 2</i> , (c) <i>Window 3</i> , (d) <i>Window 4</i> , (e) <i>Window 5</i>	43
21	Evaluasi model GRU dengan kombinasi <i>hyperparameter</i> terbaik dengan <i>expanding window</i> . (a) <i>Window 1</i> , (b) <i>Window 2</i> , (c) <i>Window 3</i> , (d) <i>Window</i> 4, (e) <i>Window 5</i>	45
22	Visualisasi prediksi konsentrasi PM2.5 selama enam bulan ke depan	46



DAFTAR LAMPIRAN

1	Kode R untuk pemodelan SARIMAX	53
2	Kode R untuk uji diagnostik Pemodelan SARIMAX	54
3	Kode R untuk pemodelan overfitting SARIMAX	55
4	Kode Phyton untuk pemodelan GRU	56
5	Hasil evaluasi kombinasi <i>hyperparameter</i> GRU	63
6	Prediksi PM2.5 enam bulan ke depan	65

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.