

Vol 11 No 1 Januari 2025

ISSN 2460-4542 (print)  
ISSN 2615-8663 (online)

# Jurnal Sains Matematika dan Statistika

Jurnal Hasil Penelitian Matematika, Statistika dan Aplikasinya

Diterbitkan oleh:  
Program Studi Matematika  
Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau

Jurnal Sains Matematika dan Statistika  
Volume 11 Nomor 1 Januari 2025

ISSN 2460 – 4542 (print)  
ISSN 2615 – 8663 (online)

**Editor Kepala**

Fitri Aryani

**Editor**

Wartono  
Sri Basriati  
Rahmadeni  
Irma Suryani  
Nilwan Andiraja  
Rahmawati  
Zukrianto  
Ratri Isharyadi  
Arcat

**Reviewer**

Abdul Karim (UIN Wali Songo Semarang)	Habibie Saleh (UIN Suska Riau)
Elis Ratna Wulan (UIN Sunan Gunung Djati)	Abdussakir (UIN Malang)
Esih Sukaesih (UIN Sunan Gunung Djati)	Rado Yendra (UIN Suska Riau)
Fadilah Ilahi (UIN Sunan Gunung Djati)	M. Imran (Universitas Riau)
Nina Fitriyati (UIN Syarif Hidayatullah Jakarta)	Uha Isnaini (UGM Yogyakarta)
Puguh Wahyu Prasetyo (UAD Yogyakarta)	Sri Gemawati (Universitas Riau)
M. Wahid Mustofa (UIN Yogyakarta)	Riswan Effendi (UIN Suska Riau)
Yuslenita Muda (UIN Suska Riau)	Arisman Adnan (Universitas Riau)
Retno Subekti (UNY Yogyakarta)	Sri Harini (UIN Malang)

**Sekretariat**

Elfira Safitri

**Alamat Redaksi**

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. H.R. Soebrantas Km 15, Tampan, Pekanbaru, 28293  
Telp. 085356083828, e-mail: jsmsfst@uin-suska.ac.id

<b>Perbandingan Metode <i>Triple Exponential Smoothing</i> dan ARFIMA pada Peramalan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika</b> Hazulil Fitriah Zedha, Silvy Amelia Siregar, Rizqa Maulida Rahmi, Syarifah Raihannatul Jannah, Riski Friyah Hari Sandi, Anjas Irawan, Samsul Anwar	1-15
<b>Penerapan Model SIR dengan <i>Nonlinier Incidence Rate</i> pada Penyebaran Covid-19 di Provinsi Riau</b> Irma Suryani, Fitri Kurniyawati	16-25
<b>Analisis Multidimensional Scaling Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Di Jawa Timur Tahun 2022</b> Rosidun Nindyo Pratiwi, Evi Wijayawati, Lulu Uljanah, Atikah Faizah, Dita Amelia, Dita Amelia	26-37
<b>Pemodelan <i>Generalized Space Time Autoregressive</i> untuk Meramalkan Data Inflasi Bulanan di Provinsi Jawa Barat</b> Hikma Abdia, Tiara Annisa Akhsan, Anisa Kalondeng, Siswanto Siswanto	38-52
<b>Implementasi Teori Permainan dalam Penentuan Strategi Pemasaran Produk Roti (Studi Kasus: Toko Roti Kecamatan Medan Selayang)</b> Perli Pujiana, Parapat Gultom	53-61
<b>Kualitas Kenyamanan Iklim Termal di Pulau Geser dan Kaitannya dengan La Nina</b> Fadhli Aslama Afghani	62-74
<b>Analisis Keputusan <i>Hedging</i> pada Bank Non-Syariah di Indonesia Menggunakan Model Regresi Logit Biner Data Panel dengan Efek Acak</b> Grace Lucyana Koesnadi, Suliyanto, M. Fariz Fadillah Mardianto, Sediono	75-87
<b>Pemodelan dan Aplikasi <i>Single Depot mTSP</i> Berbasis <i>Fuzzy</i> untuk Efisiensi <i>Deposit Carrying</i></b> Rahmawati, Novi Hidayah, Mohammad Soleh, Aldi Suprianto	88-100
<b>Analisis Sistem Antrean di Puskesmas Dago dengan Simulasi</b> Monika Krismayanti, Dharma Lesmono, Daniel Salim	101-113
<b>Analisis Korespondensi Hasil Produksi Budidaya Perikanan Berdasarkan Jenis Budidaya dan Pembagian Wilayah di Indonesia</b> Adrian Wahyu Abdillah, Citrawani Marthabakti, Gabriella Agnes Budijono, Indana Zulfa Wulandari, Dita Amelia, M. Fariz Fadillah Mardianto, Elly Ana	114-126
<b>Pemodelan <i>Generalized Poisson Regression (GPR)</i> terhadap Jumlah Kasus Penyakit <i>Tuberculosis</i> di Provinsi Nusa Tenggara Timur</b> Joseph F. Seran Berek, Robertus Dole Guntur	127-139
<b>Mencari Alternatif Strategi Pemberantasan Korupsi di Indonesia dengan Model Matematika</b> Pipit Pratiwi Rahayu, Muhammad Wakhid Musthofa	140-154

## Penerapan Metode Triple Exponential Smoothing dan ARFIMA pada Peramalan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika

Hazulil Fitriah Zedha<sup>1</sup>, Silvy Amelia Siregar<sup>2</sup>, Rizqa Maulida Rahmi<sup>3</sup>, Syarifah Raihannatul Jannah<sup>4</sup>, Riski Friyah Hari Sandi<sup>5</sup>, Anjas Irawan<sup>6</sup>, Samsur Anwar<sup>7\*</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Jurusan Statistika, FMIPA, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Syech Abdurrauf No. 3, Darussalam, Kota Banda Aceh 23111  
Korespondensi penulis: samsul.anwar@unsyiah.ac.id

### Abstrak

Stabilitas nilai tukar Rupiah (Rp) terhadap Dollar Amerika (USD) sangat penting dalam upaya menjaga stabilitas perekonomian nasional. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan nilai tukar Rp terhadap USD pada tahun 2022 hingga 2024. Data yang dianalisis adalah data bulanan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Januari 2001 hingga bulan Juni 2022 (258 observasi). Nilai tukar Rp tersebut merupakan data time series yang bersifat long memory sehingga metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Triple Exponential Smoothing (TES) dan Autoregressive Fractional Integrated Moving Average (ARFIMA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode TES memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meramalkan nilai tukar Rp terhadap USD jika dibandingkan dengan metode ARFIMA. Berdasarkan hasil peramalan dengan menggunakan metode TES, nilai tukar Rp diperkirakan akan mengalami pelemahan pada bulan Maret hingga Juni pada setiap tahunnya. Nilai tukar terendah diprediksi akan terjadi pada bulan Maret 2024 yaitu sebesar Rp.14.755/USD dengan selang kepercayaan 95% antara Rp.12.209/USD hingga Rp. 17.302/USD.

**Kata Kunci:** Arfima, dollar amerika, nilai tukar rupiah, triple exponential smoothing.

### Abstract

*The stability of the Rupiah exchange rate (IDR) against the US Dollar (USD) is fundamentally important in efforts to maintain national economic stability. This study aims to predict the IDR exchange rate against the USD in 2022 to 2024. The data analyzed are monthly data on the IDR exchange rate against the USD in the period January 2001 to June 2022 (258 observations). The Rupiah exchange rate is long memory time series data so that the forecasting method employed in this study is the Triple Exponential Smoothing (TES) method and the Autoregressive Fractional Integrated Moving Average (ARFIMA). The test results show that the TES method demonstrates a better ability to predict the IDR exchange rate against the USD when compared to the ARFIMA method. Based on the results of forecasting*

using the TES method, the IDR exchange rate is expected to weaken from March to June each year. The lowest exchange rate is predicted to occur in March 2024, which is IDR 14,755/USD with a 95% confidence interval between IDR.12,209/USD to IDR.17,302/USD.

**Keywords:** Arfima, US dollar, rupiah exchange rate, triple exponential smoothing.

## 1. Pendahuluan

Nilai tukar atau kurs merupakan salah satu indikator penting dalam menganalisis perekonomian suatu negara. Menurut penelitian [1], nilai tukar rupiah sangat berpengaruh dalam menjaga stabilitas perekonomian negara Indonesia. Idealnya nilai tukar sebuah mata uang diharapkan seimbang, terutama jika dikaitkan dengan aktivitas jual beli dan hutang piutang dengan negara lain. Nilai tukar uang yang seimbang akan mendukung terciptanya hubungan yang baik dalam sistem perdagangan dunia [2]. Di sisi lain, melemahnya nilai tukar uang akan berdampak pada terhambatnya proses kegiatan impor dan ekspor sehingga dapat mengakibatkan perekonomian suatu negara menjadi tidak stabil.

Nilai tukar adalah harga dua buah mata uang yang berbeda, dimana akan terdapat perbandingan nilai atau harga antara kedua mata uang tersebut [3]. Nilai tukar mata uang disebut dengan nilai tukar valuta asing. Salah satu contoh mata uang yang sering dipertukarkan dengan mata uang rupiah (Rp) adalah dollar Amerika (USD). Dalam mendukung sistem perekonomian nasional, perusahaan-perusahaan yang ada di Indonesia aktif melakukan kegiatan ekspor dan impor produk yang terkait dengan bisnis mereka. Salah satu faktor yang memengaruhi kegiatan ekspor impor tersebut adalah nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika. Beberapa faktor yang menyebabkan perubahan nilai tukar Rp tersebut diantaranya adalah perubahan harga barang ekspor dan impor, terjadinya inflasi, perubahan suku bunga dan tingkat pengembalian investasi serta pertumbuhan ekonomi. Bagi perusahaan-perusahaan yang aktif melakukan kegiatan ekspor dan impor, kestabilan nilai tukar Rp terhadap USD menjadi sangat penting dalam upaya mendukung stabilitas bisnis mereka. Data menunjukkan bahwa pergerakan nilai tukar Rp terhadap USD bersifat fluktuatif dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, diperlukan adanya peramalan atau prediksi nilai tukar Rp terhadap USD untuk masa yang akan datang [4]. Hasil peramalan nilai tukar Rp terhadap USD tersebut dapat digunakan sebagai salah satu bahan rujukan dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan kegiatan ekonomi termasuk rencana ekspor dan impor.

Salah satu cara untuk memprediksi atau meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD tersebut adalah dengan menggunakan analisis deret waktu (*time series*). Deret waktu atau *time series* adalah pergerakan pola nilai suatu variabel pada jangka waktu tertentu yang diukur dalam periode harian, mingguan, bulanan, tahunan atau satuan waktu lainnya yang bersifat teratur [5]. Menurut [6], pengamatan sekarang ( $Z_t$ ) dalam analisis *time series* bergantung pada satu atau beberapa pengamatan sebelumnya ( $Z_{t-k}$ ). Adapun tujuan dari analisis *time series* antara lain adalah untuk memahami dan menjelaskan pola ketergantungan dari suatu data serta untuk meramalkan atau memprediksi nilai suatu data pada masa yang akan datang.

Terdapat banyak model yang dapat digunakan dalam analisis *time series*. Salah satu model yang sering digunakan adalah model AR (*Autoregressive*) dan MA (*Moving Average*) serta gabungannya. Meskipun sering digunakan, namun model-model tersebut memiliki beberapa kelemahan dalam peramalannya. Salah satunya, hasil peramalan dengan model

tersebut cenderung memiliki bias yang semakin besar seiring dengan penambahan periode peramalan yang dilakukan [7]. Selain itu, model tersebut hanya cocok untuk meramalkan data yang memiliki sifat *short memory* (data memiliki nilai autokorelasi yang signifikan pada *lag* yang relatif kecil).

Selain model AR dan MA, model *Triple Exponential Smoothing* (TES) dan *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* (ARFIMA) juga merupakan model dalam analisis *time series* yang sering digunakan untuk meramalkan data-data dalam bidang ekonomi yang pada umumnya bersifat *long memory* (data memiliki nilai autokorelasi yang signifikan pada *lag* yang relatif besar). Secara sederhana, metode *triple exponential smoothing* adalah salah satu teknik peramalan rata-rata bergerak yang melakukan penimbangan terhadap data masa lalu dengan cara eksponensial sehingga data paling akhir mempunyai bobot atau timbangan yang lebih besar dalam menentukan nilai pada masa yang akan datang [8]. Sedangkan metode ARFIMA adalah metode yang mampu menjelaskan data deret waktu yang mempunyai sifat *long memory* melalui proses *differencing* ( $d$ ) dengan menggunakan bilangan pecahan [9]. Kedua metode tersebut memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode sebelumnya dalam menganalisis data yang bersifat *long memory* sehingga dapat diterapkan pada peramalan data nilai tukar Rp terhadap USD pada penelitian ini.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *triple exponential smoothing* dan ARFIMA dalam meramalkan beberapa data penting dalam bidang ekonomi. Penelitian [10] menggunakan metode *triple exponential smoothing* untuk meramalkan laju inflasi bulanan Provinsi Aceh pada tahun 2019-2020. Selanjutnya, penelitian [11] juga menggunakan metode yang sama dalam meramalkan laju infasi bulanan di Kota Padang, Sumatera Barat untuk periode tahun 2018 hingga tahun 2020. Selain itu, metode TES juga dipakai oleh [12] dalam meramalkan harga cabai merah dalam upaya menjaga stabilitas laju inflasi di Kota Banda Aceh pada tahun 2020 dan 2021.

Penelitian dengan menggunakan metode ARFIMA juga pernah dilakukan oleh beberapa tim peneliti diantaranya oleh [13] dalam meramalkan tingkat suku bunga Sertifikat Bank Indonesia (SBI) pada tahun 2009 dan penelitian [14] dalam meramalkan Indeks Harga Perdagangan Besar (IHPPB) di Indonesia pada tahun 2002-2006 serta tahun 2009 hingga 2013. Penelitian-penelitian terdahulu tersebut menunjukkan bahwa metode *triple exponential smoothing* dan ARFIMA memiliki kemampuan yang baik dalam meramalkan data-data dalam bidang ekonomi. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk menerapkan metode *triple exponential smoothing* dan ARFIMA dalam meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD. Metode peramalan yang memiliki tingkat akurasi yang lebih baik selanjutnya akan digunakan untuk meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada tahun 2022 hingga tahun 2024.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Data dan sumber data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bulanan nilai tukar Rp terhadap USD mulai dari periode bulan Januari tahun 2001 sampai dengan bulan Juni tahun 2022 (258 observasi). Data tersebut merupakan data sekunder yang bersumber dari Bank Indonesia [15].

### 2.2 Data Training dan Testing

Data penelitian selanjutnya dibagi menjadi dua bagian yaitu data *training* dan data *testing*. Data *training* digunakan untuk membangun model peramalan sedangkan data *testing* digunakan untuk mengukur kinerja dari model peramalan yang dibangun sebelumnya. Dalam penelitian ini, data nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Januari tahun 2001 sampai dengan bulan Juni tahun 2021 (246 observasi) dijadikan sebagai data *training*. Sedangkan data mulai dari bulan Juli tahun 2021 sampai dengan bulan Juni tahun 2022 (12 observasi) dijadikan sebagai data *testing*.

### 2.3 Metode dan Langkah Analisis Data

Metode *time series* yang digunakan dalam meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada penelitian ini adalah metode *Triple Exponential Smoothing* dan ARFIMA.

#### 2.3.1 Metode Triple Exponential Smoothing

*Exponential Smoothing* adalah salah satu metode peramalan yang bekerja dengan cara memberikan bobot yang lebih besar pada data observasi yang lebih akhir dalam menentukan nilai data pada masa yang akan datang. Metode *Exponential Smoothing* terbagi menjadi tiga yaitu *Single Exponential Smoothing* (SES), *Double Exponential Smoothing* (DES) dan *Triple Exponential Smoothing* (TES).

Metode *Triple Exponential Smoothing* (TES) merupakan salah satu metode *Exponential Smoothing* yang paling sering digunakan terutama ketika data memiliki komponen *trend* (kecenderungan) dan *seasonal* (musiman). Terdapat 3 parameter yang digunakan pada metode TES yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ , dengan nilai parameter yang berkisar antara 0 sampai dengan 1 [16]. Ketiga parameter  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  tersebut masing-masing mengindikasikan persamaan *smoothing* untuk level, *trend* dan komponen *seasonalitas* [17].

Persamaan (1), (2) dan (3) menjabarkan proses penerapan metode TES [6].

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{c_{t-L}} (1 - \alpha) + (S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2)$$

$$c_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1 - \gamma)c_{t-L} \quad (3)$$

Sedangkan nilai peramalan pada periode  $m$  yang akan datang diperoleh dengan menggunakan Persamaan (4)

$$F_{t+m} = (S_t + mb_t)c_{t-L+m} \quad (4)$$

Dimana:

$S_t$  = Nilai pemulusan eksponensial pada periode ke  $t$

$X_t$  = Data aktual pada periode ke  $t$

$b_t$  = Nilai estimasi trend pada periode ke  $t$

$c_t$  = Nilai estimasi musiman pada periode ke  $t$

$m$  = jumlah periode yang akan diramalkan

$F_{t+m}$  = Nilai ramalan pada  $m$  periode mendatang

$L$  = panjang musiman

$\alpha$  = parameter pemulusan data aktual

$\beta$  = parameter pemulusan data *trend*

$\gamma$  = parameter pemulusan data musiman

Adapun tahapan analisis data dengan menggunakan metode TES dapat dijabarkan berikut:

1. Membuat plot dari data penelitian.
2. Membagi data menjadi data *training* dan data *testing*.
3. Membangun beberapa model TES tentatif dengan nilai parameter  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  yang bervariasi.
4. Meramalkan data *testing* berdasarkan beberapa model TES tentatif yang dibangun sebelumnya.
5. Memilih model TES terbaik berdasarkan kriteria nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

### 2.3.2 Metode *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* (ARFIMA)

ARFIMA atau *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* adalah sebuah metode yang dikembangkan dari metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Sehingga data yang dianalisis dengan model ARFIMA pada dasarnya juga harus stasioner terhadap *mean* dan *varians*. Secara umum model ARIMA dapat dituliskan sebagai Persamaan (5).

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_q(B)a_t \quad (5)$$

Dimana:

$B$  = Operator *backshift*

$Z_t$  = Data pada periode ke  $t$

$\phi_p(B)$  = Polinomial model *Autoregressive* (AR),  $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$

$\theta_q(B)$  = Polinomial model *Moving Average* (MA),  $\theta_q(B) = 1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q$

$a_t$  = Komponen *white noise*

$d$  = Orde *differencing* data

Berbeda dengan orde *differencing* ( $d$ ) pada metode ARIMA yang menggunakan bilangan bulat (integer), nilai  $d$  pada proses *differencing* model ARFIMA menggunakan bilangan pecahan yang diestimasi dengan menggunakan metode GPH (Geweke and Porter-Hudak) melalui Persamaan (6).

$$\hat{d} = \frac{\sum_{j=1}^m (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sum_{j=1}^m (X_j - \bar{X})^2} \quad (6)$$

Dengan  $X_j = \ln \left[ \frac{1}{4[\sin(\frac{\omega_j}{2})]^2} \right]$ ,  $Y_j = \ln I_Z(\omega_j)$ ,  $\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$  dan  $\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i$ . Nilai  $d$  tersebut berkisar antara  $-0,5 < d < 0,5$  [9].

Selain itu, jika pada metode ARIMA hanya dapat menjelaskan struktur ketergantungan pada jangka pendek (*short memory*), metode ARFIMA justru dapat menjelaskan struktur ketergantungan dalam jangka panjang (*long memory*) [9]. *Long memory* merupakan sebuah sifat pada data *time series* di mana kondisi setiap pengamatan memiliki korelasi yang cukup kuat dengan pengamatan lainnya meskipun jarak antar pengamatan (*lag*) cukup jauh.

Dengan demikian, salah satu syarat penting yang harus dipenuhi dalam penggunaan metode ARFIMA adalah data yang akan dianalisis harus memiliki sifat *long memory*. Pola *long memory* tersebut dapat diidentifikasi melalui plot ACF yang turun secara lambat pada *lag* yang panjang dan juga dapat diuji dengan menggunakan uji *Hurst*

dengan kriteria nilai  $H$  yang berada pada interval  $0,5 < H \leq 1$ . Penjelasan secara detail mengenai metode ARFIMA dapat ditemukan pada buku [9].

Adapun tahapan analisis data dengan menggunakan metode ARFIMA dapat dijabarkan berikut:

1. Membuat plot dari data penelitian.
2. Membagi data menjadi data *training* dan data *testing*.
3. Melakukan uji stasioneritas terhadap data yang akan dianalisis.
4. Mengidentifikasi ada tidaknya sifat *long memory* pada data penelitian.
5. Melakukan estimasi orde *differencing* ( $d$ ) dengan metode GPH.
6. Membangun beberapa model tentatif ARFIMA.
7. Meramalkan data *testing* berdasarkan beberapa model tentatif ARFIMA yang dibangun sebelumnya.
8. Memilih model ARFIMA terbaik berdasarkan kriteria nilai MAPE dan RMSE.

Setelah mendapatkan model terbaik dari masing-masing metode (TES dan ARFIMA), selanjutnya dilakukan pemilihan satu model final yang akan digunakan untuk meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Juli tahun 2022 hingga bulan Desember tahun 2024. Kriteria nilai MAPE dan RMSE terhadap data *testing* juga akan digunakan untuk memilih model final diantara kedua model terbaik masing-masing metode tersebut. Sebagai catatan, data pada penelitian ini diolah dengan menggunakan bantuan *software* R versi 4.3.0 dan *Microsoft Excel* 2013.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Gambaran Umum Data Penelitian

Pola pergerakan nilai tukar Rupiah (Rp) terhadap Dollar Amerika (USD) selama periode bulan Januari tahun 2001 hingga bulan Juli tahun 2022 dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Perubahan Nilai Tukar Rp Terhadap USD pada Tahun 2001 hingga 2022

Berdasarkan Gambar 1, terlihat adanya *trend* pelemahan nilai tukar Rp terhadap USD terutama pada periode tahun 2012 hingga 2015. Pada periode selanjutnya, nilai tukar Rp terhadap USD terlihat lebih stabil pada angka Rp.13.000/USD hingga mendekati angka Rp.15.000/USD. Tabel 1 menyajikan beberapa ringkasan (*summary*) statistik nilai tukar Rp terhadap USD selama periode penelitian tersebut.

**Tabel 1. Ringkasan Statistik**

Statistik	Nilai (Rp/USD)
Minimum	8.279
Quartil 1	9.165
Median	10.075
Mean	11.154
Quartil 3	13.489
Maksimum	16.367

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa selama periode penelitian (tahun 2001–2022) nilai tukar Rp terhadap USD terendah terjadi pada bulan Mei tahun 2003 yaitu sebesar Rp. 8.279/USD dan tertinggi terjadi pada bulan Maret tahun 2020 dengan nilai tukar sebesar Rp 16.367/USD. Rata-rata nilai tukar Rp terhadap USD selama periode waktu penelitian adalah sebesar Rp. 11.154/USD. Selanjutnya, juga diketahui bahwa masing-masing sekitar 25%, 50% dan 75% dari seluruh data penelitian masing-masing memiliki nilai tukar di bawah Rp. 9.165/USD, Rp. 10.075/USD dan Rp. 13.489/USD.

### 3.2 Pembentukan Model Peramalan Nilai Tukar Rp Terhadap USD

Setelah dilakukan visualisasi dan perhitungan beberapa ringkasan statistik dari data penelitian, selanjutnya dilakukan pembentukan model peramalan nilai tukar Rp terhadap USD dengan menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing* (TES) dan *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* (ARFIMA). Data terlebih dahulu dibagi menjadi dua bagian yaitu data *training* (periode bulan Januari tahun 2001 hingga bulan Juni tahun 2021) dan data *testing* (periode bulan Juli tahun 2021 sampai dengan bulan Juni tahun 2022).

#### 3.2.1 Model Peramalan *Triple Exponential Smoothing* (TES)

Dalam pembentukan model peramalan dengan metode *Triple Exponential Smoothing* (TES), terdapat 3 parameter pemulusan yang harus ditentukan yaitu  $\alpha$  (*alpha*),  $\beta$  (*beta*) dan  $\gamma$  (*gamma*). Penentuan nilai parameter yang optimal dilakukan secara *trial and error* terhadap data *training* (Januari 2001 - Juni 2021), sehingga dibentuk beberapa model tentatif dengan kombinasi nilai parameter  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berbeda-beda. Tabel 2 menyajikan 5 model tentatif dengan variasi nilai parameter pemulusan yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 2. Model Tentatif TES ( $\alpha, \beta, \gamma$ )**

Model Tentatif	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Model 1	0,10	0,20	0,30
Model 2	0,30	0,20	0,10
Model 3	0,10	0,30	0,40
Model 4	0,20	0,30	0,40

Dari kelima model tentatif tersebut, nantinya akan dipilih satu model terbaik berdasarkan tingkat akurasi peramalannya terhadap data *testing* (Juli 2021 - Juni 2022). Dua indikator yang akan digunakan untuk mengukur tingkat akurasi peramalan tersebut adalah *Root Meas Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). RMSE digunakan karena mampu mengukur nilai standar deviasi dari kesalahan peramalannya (perbedaan antara data asli dengan hasil ramalannya). Sedangkan MAPE digunakan karena mampu menghitung rata-rata perbedaan persentase absolut antara hasil prediksi dengan nilai sebenarnya. Oleh karena itu, kedua indikator tersebut digunakan sebagai ukuran dalam pemilihan model terbaik pada penelitian ini.

Model peramalan terbaik merupakan model dengan nilai indikator RMSE dan MAPE yang terkecil. Nilai RMSE dan MAPE dari kelima model TES tentatif terhadap data *testing* ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Nilai RMSE dan MAPE Data *Testing* dari Kelima Model TES Tentatif**

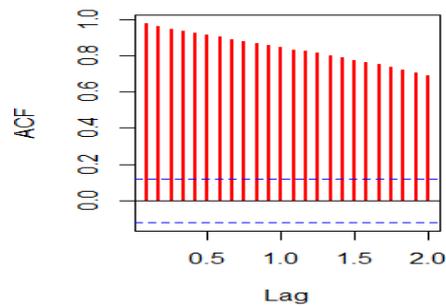
Model Tentatif	RMSE	MAPE
Model 1*	280,098	0,015
Model 2	371,787	0,021
Model 3	367,805	0,020
Model 4	590,340	0,035
Model 5	353,173	0,018

\* Model terbaik

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa model tentatif 1 merupakan model dengan indikator nilai RMSE dan MAPE yang paling kecil dibandingkan model tentatif lainnya. Nilai RMSE dan MAPE model tentatif 1 terhadap data *testing* masing-masing adalah sebesar 280,098 dan 0,015. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model tentatif 1 dengan nilai parameter  $\alpha = 0,1$ ,  $\beta = 0,2$  dan  $\gamma = 0,3$  adalah model TES terbaik yang selanjutnya akan dibandingkan dengan model peramalan dengan metode ARFIMA. Model terbaik diantara kedua metode tersebut (ETS dan ARFIMA) selanjutnya akan digunakan untuk meramalkan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Juli tahun 2022 sampai dengan bulan Desember tahun 2024.

### 3.2.2 Model Peramalan *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* (ARFIMA)

Pada pembentukan model ARFIMA, terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Tahap pertama adalah menguji stasioneritas dan sifat *long memory* pada data penelitian. Dalam analisis *time series*, pengujian stasioneritas dan sifat *long memory* pada data penelitian salah satunya dapat dilakukan dengan melihat plot *Autocorrelation function* (ACF). Jika plot ACF menurun secara lambat, maka data terindikasi belum stasioner. Lebih lanjut, jika mayoritas (lebih dari 95%) plot ACF pada *lag* yang berbeda berada di luar garis *Bartlett* (garis putus-putus berwarna biru) maka data juga terindikasi bersifat *long memory*. Sifat *long memory* pada data merupakan syarat penting dalam penggunaan model ARFIMA. Gambar 2 menyajikan plot ACF dari data *training* nilai tukar Rp terhadap USD.



**Gambar 2. Plot ACF Nilai Tukar Rp Terhadap USD**

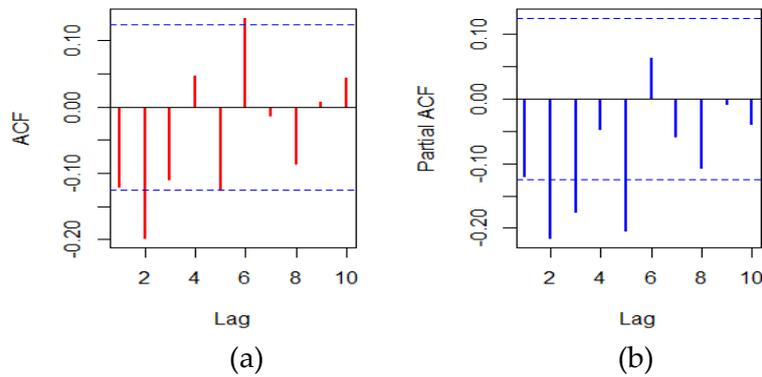
Berdasarkan plot ACF pada Gambar 2 dapat dilihat secara visual bahwa plot ACF berada di luar garis *Bartlett* pada semua *lag* yang dianalisis. Hal ini mengindikasikan bahwa data penelitian belum stasioner dan terindikasi memiliki sifat *long memory* sehingga metode ARFIMA dapat digunakan untuk meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada masa yang akan datang.

Selain melalui plot ACF, uji stasioneritas dan *long memory* juga dapat dilakukan melalui uji statistik. Pengujian stasioneritas melalui uji statistik dilakukan melalui dua kriteria yaitu pengujian stasioneritas terhadap varian dan stasioneritas terhadap mean. Uji stasioneritas terhadap varians dilakukan dengan melihat kriteria nilai *Lamda Box-Cox*, sedangkan uji stasioneritas terhadap mean dilakukan melalui uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Jika data penelitian belum stasioner terhadap varian, maka data perlu dilakukan transformasi terhadap data. Sedangkan apabila data belum stasioner terhadap mean, maka perlu dilakukan proses *differencing* terhadap data sampai data menjadi stasioner. Data penelitian dikatakan sudah stasioner terhadap varians apabila nilai *Lamda Box-Cox* mendekati 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Lamda Box-Cox* untuk data awal adalah sebesar 0,343 yang mengindikasikan bahwa data awal belum stasioner terhadap varians. Setelah dilakukan transformasi akar (*square root*), nilai *Lamda Box-Cox* naik menjadi 0,813 sehingga terindikasi sudah stasioner terhadap varian. Pada pengujian stasioneritas terhadap rata-rata, nilai *p-value* uji ADF terhadap data awal adalah sebesar 0,401 yang menunjukkan bahwa data belum stasioner terhadap mean. Setelah dilakukan proses *differencing* orde pertama terhadap data awal, diketahui bahwa data hasil *differencing* tersebut telah stasioner yang ditunjukkan oleh nilai *p-value* sebesar 0,010.

Sifat *long memory* pada data penelitian dapat diuji dengan melihat nilai *Hurst* (*H*). Data memiliki sifat *long memory* apabila nilai *Hurst* yang dihasilkan berada pada interval antara 0,5 hingga 1. Hasil pengujian terhadap data menunjukkan bahwa nilai *Hurst* yang dihasilkan adalah sebesar 0,853 yang menunjukkan bahwa data bersifat *long memory*. Hal ini juga sejalan dengan hasil pengujian melalui plot ACF yang telah dilakukan sebelumnya. Karena data bersifat *long memory*, maka langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mengestimasi nilai  $\hat{d}$  dengan menggunakan metode *Geweke Porter-Hudak* (GPH). Hasil perhitungan terhadap data *training* menunjukkan bahwa nilai  $\hat{d}$  yang diestimasi melalui metode GPH adalah sebesar 0,0534. Nilai  $\hat{d}$  tersebut selanjutnya digunakan sebagai orde *differencing* pada metode ARFIMA.

Penentuan orde *p* dan *q* pada model ARFIMA dilakukan dengan cara yang sama seperti pada metode ARIMA yaitu dengan melihat pola plot ACF dan PACF dari data

penelitian. Gambar 3 menyajikan plot ACF dan PACF dari data *training* nilai tukar Rp terhadap USD yang telah ditransformasi dan *differencing* sebelumnya.



Gambar 3. Plot ACF (a) dan PACF (b) dari data setelah transformasi dan *differencing*

Berdasarkan plot ACF dan PACF pada Gambar 3, terdapat beberapa model ARFIMA tentatif yang dapat dianalisis lebih lanjut. Plot ACF terlihat berada di luar garis *Bartlett* pada lag ke-2 dan 6, sedangkan plot PACF terlihat berada di luar garis *Bartlett* pada lag ke-2, 3 dan 5. Tabel 4 menyajikan 5 model tentatif ARFIMA yang dipilih pada penelitian ini.

Tabel 4. Model Tentatif ARFIMA ( $p, d, q$ )

Model Tentatif	$p$	$d$	$q$
Model 1	0	0,0534	2
Model 2	0	0,0534	3
Model 3	2	0,0534	0
Model 4	6	0,0534	2
Model 5	6	0,0534	3

Sama halnya seperti model TES, dari kelima model tentatif ARFIMA pada Tabel 4 selanjutnya akan dipilih satu model terbaik berdasarkan kriteria nilai RMSE dan MAPE terhadap data *testing*. Tabel 5 menyajikan nilai RMSE dan MAPE data *testing* untuk kelima model tentatif ARFIMA tersebut.

Tabel 5. Nilai RMSE dan MAPE Data *Testing* dari Kelima Model tentatif ARFIMA

Model Tentatif	RMSE	MAPE
Model 1	2.761,380	18,350
Model 2	2688,860	17,760
Model 3*	410,860	2,610
Model 4	610,820	3,970
Model 5	715,870	4,640

\* Model terbaik

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa model tentatif 3 merupakan model dengan nilai RMSE dan MAPE terkecil. Nilai RMSE dan MAPE dari model tersebut masing-masing adalah sebesar 410,860 dan 2,610. Dengan demikian model ARFIMA(2;0,0534;0) merupakan model ARFIMA terbaik dalam meramalkan nilai tukar Rp terhadap USD. Pada tahapan selanjutnya, model ETS terbaik dan model ARFIMA terbaik akan dibandingkan untuk memilih satu model final yang akan digunakan untuk meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Juli tahun 2022 sampai dengan bulan Desember tahun 2024.

### 3.3 Perbandingan Model ETS dan ARFIMA Terbaik

Perbandingan kinerja antara model peramalan ETS dan ARFIMA terbaik yang sudah didapatkan sebelumnya juga dilakukan dengan melihat kriteria nilai RMSE dan MAPE yang dihasilkan masing-masing model terbaik terhadap data *testing*. Tabel 6 menyajikan perbandingan nilai RMSE dan MAPE terhadap data *testing* dari kedua model terbaik tersebut.

**Tabel 6. Perbandingan Tingkat Akurasi Peramalan Kedua Model Terbaik**

Metode	Parameter	RMSE	MAPE
TES ( $\alpha; \beta; \gamma$ )*	0,1;0,2;0,3	280,098	0,015
ARFIMA ( $p; d; q$ )	2;0,0534;0	410,860	2,610

\* Model final

Berdasarkan perbandingan tingkat akurasi peramalan terhadap data *testing* pada Tabel 6, terlihat bahwa model TES dengan parameter 0,1; 0,2 dan 0,3 memiliki nilai RMSE dan MAPE yang lebih kecil dari pada model ARFIMA dengan parameter 2; 0,0534 dan 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model ETS tersebut merupakan model final yang akan digunakan untuk meramalkan perubahan nilai tukar Rp terhadap USD pada masa yang akan datang.

### 3.4 Peramalan Nilai Tukar Rp Terhadap USD Pada Periode Bulan Juli Tahun 2022 Hingga Bulan Desember Tahun 2024

Tabel 7 menyajikan hasil peramalan nilai tukar Rp terhadap USD untuk periode bulan Juli tahun 2022 sampai dengan bulan Desember tahun 2024 dengan menggunakan model final. Model final yang digunakan adalah model TES dengan nilai parameter  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  masing-masing sebesar 0,1; 0,2 dan 0,3.

**Tabel 7. Hasil Peramalan Nilai Tukar Rp Terhadap USD Periode Juli 2022 - Desember 2024**

Tahun	Bulan	Nilai Tukar Rp terhadap USD	Selang Kepercayaan 95%	
			Lower	Upper
2022	Juli	14.333	12.961	15.705
	Agustus	14.377	12.995	15.759
	September	14.484	13.089	15.879
	Oktober	14.372	12.960	15.785
	November	14.276	12.842	15.710
	Desember	14.244	12.784	15.704

Tahun	Bulan	Nilai Tukar Rp terhadap USD	Selang Kepercayaan 95%	
			Lower	Upper
2023	Januari	14.197	12.706	15.687
	Februari	14.311	12.785	15.838
	Maret	14.697	13.129	16.265
	April	14.502	12.888	16.116
	Mei	14.481	12.814	16.146
	Juni	14.525	12.802	16.248
	Juli	14.391	12.476	16.307
	Agustus	14.435	12.457	16.414
	September	14.542	12.496	16.588
	Oktober	14.430	12.312	16.548
	November	14.334	12.139	16.529
	Desember	14.302	12.026	16.579
2024	Januari	14.255	11.892	16.617
	Februari	14.370	11.917	16.822
	Maret	14.755	12.209	17.302
	April	14.560	11.915	17.205
	Mei	14.539	11.792	17.285
	Juni	14.583	11.731	17.435
	Juli	14.449	11.368	17.531
	Agustus	14.493	11.304	17.683
	September	14.600	11.299	17.901
	Oktober	14.488	11.073	17.904
	November	14.392	10.858	17.926
	Desember	14.361	10.706	18.016

Selain ditampilkan dalam bentuk tabel, hasil peramalan nilai tukar Rp terhadap USD beserta selang kepercayaan 95% tersebut juga dapat disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 4) untuk melihat perbandingan pola dengan data aktual nilai tukar Rp terhadap USD pada periode sebelumnya.



**Gambar 4. Hasil Peramalan Nilai Tukar Rp Terhadap USD Pada Periode Bulan Juli Tahun 2022 Sampai Dengan Bulan Desember Tahun 2024**

Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui bahwa hasil peramalan (garis berwarna biru) nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Juli tahun 2022 sampai dengan bulan Desember tahun 2024 terlihat mengikuti pola data sebelumnya (garis berwarna hitam). Selain itu, juga ditampilkan selang kepercayaan 95% (batas atas dan batas bawah) nilai tukar Rp tersebut yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna merah. Secara umum, terdapat kenaikan dan penurunan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode-periode tertentu. Terlihat adanya *trend* pelemahan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Maret hingga Juni pada setiap tahunnya. Lebih lanjut, berdasarkan hasil peramalan tersebut diperkirakan bahwa nilai tukar Rp terhadap USD terendah akan terjadi pada bulan Januari tahun 2023 yaitu sebesar Rp. 14.197/USD dengan selang kepercayaan 95% antara Rp. 12.706/USD hingga Rp. 15.687/USD. Sedangkan nilai tukar Rp tertinggi diprediksi akan terjadi pada bulan Maret tahun 2024 yaitu sebesar Rp. 14.755/USD dengan batas kepercayaan terendah dan tertinggi masing-masing sebesar Rp. 12.209/USD dan Rp. 17.302/USD.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [1] yang meramalkan nilai tukar Rp terhadap USD pada tahun 2022 hingga tahun 2023 dengan menggunakan metode ARIMA. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa nilai tukar Rp terhadap USD pada tahun 2022 hingga 2023 diprediksi akan berada pada rentang Rp.14.200/USD hingga Rp. 14.700/USD. Meskipun menggunakan metode yang berbeda, namun hasil peramalan tersebut sangat mendekati hasil peramalan yang dilakukan pada penelitian ini khususnya untuk periode tahun 2022 hingga tahun 2023 tersebut. Selain itu, jika dibandingkan dengan data aktual pada bulan Januari hingga Mei tahun 2023, nilai tukar Rp terhadap USD pada hari terakhir dari kelima bulan tersebut masing-masing adalah sebesar Rp.14.904/USD, Rp.15.198/USD, Rp.14.987/USD, Rp.14.677/USD dan Rp.14.894/USD [15]. Kelima nilai tersebut masih berada dalam selang kepercayaan 95% hasil peramalan yang dihasilkan oleh model TES pada penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa hasil peramalan yang dihasilkan melalui model ETS terbaik pada penelitian ini relatif akurat terhadap data aktual nilai tukar Rp terhadap USD saat ini.

Pemerintah Indonesia melalui kementerian dan lembaga terkait diharapkan dapat menyiapkan langkah-langkah antisipatif dalam upaya menjaga stabilitas nilai tukar Rp terhadap USD terutama pada periode-periode yang diprediksi akan mengalami pelemahan yang signifikan seperti pada bulan Maret hingga Juni setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan stabilitas nilai tukar Rp terhadap USD sangat penting dalam menjaga stabilitas perekonomian negara Indonesia termasuk yang berkaitan dengan kegiatan ekspor dan impor nasional.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu disampaikan. Keterbatasan pertama berkaitan dengan awal periode data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mulai dari bulan Januari tahun 2001. Penggunaan periode data sebelum tahun 2001 mungkin akan membantu meningkatkan tingkat akurasi peramalan yang dihasilkan. Keterbatasan lainnya terkait dengan tidak dimasukkannya efek dari variasi kalender pada penggunaan data bulanan. Penelitian [18] menunjukkan bahwa unsur variasi kalender akan membantu meningkatkan kemampuan sebuah model *time series* dalam menghasilkan peramalan yang lebih akurat. Terakhir, penggunaan satuan data yang lebih kecil misalnya harian dapat memberikan hasil peramalan yang lebih detail jika dibandingkan dengan penggunaan data bulanan. Meskipun memiliki beberapa

keterbatasan yang telah disebutkan sebelumnya, hasil penelitian ini diyakini mampu memberikan gambaran mengenai pergerakan nilai tukar Rp terhadap USD pada masa yang akan datang khususnya pada tahun 2022 hingga tahun 2024.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Triple Exponential Smoothing* (TES) memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meramalkan nilai tukar Rupiah (Rp) terhadap Dollar Amerika (USD) jika dibandingkan dengan metode *Autoregressive Fractional Integrated Moving Average* (ARFIMA). Model peramalan terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan model TES dengan nilai parameter  $\alpha = 0,1$ ,  $\beta = 0,2$  dan  $\gamma = 0,3$ . Hasil peramalan pada periode bulan Juli tahun 2022 hingga bulan Desember tahun 2024 menunjukkan adanya kecenderungan pelemahan nilai tukar Rp terhadap USD pada periode bulan Maret hingga Juni setiap tahunnya. Nilai tukar Rp terhadap USD tertinggi diprediksi akan terjadi pada bulan Maret 2024 yaitu sebesar Rp.14.755/USD dengan selang kepercayaan 95% antara Rp.12.209/USD hingga Rp. 17.302/USD. Pemerintah disarankan untuk menyiapkan langkah antisipatif dalam upaya menjaga stabilitas nilai tukar Rp terhadap USD terutama pada periode yang diprediksi mengalami pelemahan tersebut.

#### Daftar Pustaka

- [1] G. Ardesfira, H. Fitriah Zedha, I. Fazana, J. Rahmadhiyanti, S. Rahima, and S. Anwar, "Peramalan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika dengan Menggunakan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)," *Jambura J. Probab. Stat.*, vol. 3, no. 2, pp. 71–84, Nov. 2022.
- [2] M. Fatmawati and R. R. Sugiharti, "Dinamika Nilai Tukar Rupiah Terhadap Us Dollar: Metode Monetary Approach," *J. Ekon.*, vol. 11, no. 2, p. 265, 2021.
- [3] H. Santosa and A. M. Wisnu, "Analisis Pengaruh Nilai Tukar Rupiah, Suku Bunga SBI, Inflasi Terhadap Jakarta Islamic Index," *J. Ilm. Ekon. Islam*, vol. 4, no. 03, p. 160, 2018.
- [4] D. Jauhari, A. Hanafi, M. F. A. Yuniarsa, A. R. Satria, L. H. H, and I. Cholissodin, "Prediksi Nilai Tukar Rupiah Terhadap US Dollar Menggunakan Metode Genetic Programming," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 4, p. 285, 2016.
- [5] S. Mehrmolaei and M. R. Keyvanpour, "Time series forecasting using improved ARIMA," *2016 Artif. Intell. Robot. IRANOPEN 2016*, pp. 92–97, 2016.
- [6] S. Makridakis, S. C. Wheelwright, and R. J. Hyndman, *Forecasting: Methods and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [7] S. Anwar, "Peramalan Suhu Udara Jangka Pendek di Kota Banda Aceh dengan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)," *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 6–12, Jul. 2017.
- [8] S. Santoso, *Business Forecasting : Metode Peramalan Bisnis Masa Kini dengan Minitab dan SPSS*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2009.
- [9] W. W. S. Wei, *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*, Second Edi. New York: Pearson Addison Wesley, 2006.
- [10] V. Fitria and S. Anwar, "Penerapan Tiple Exponential Smoothing dalam

- Meramalkan Laju Inflasi Bulanan Provinsi Aceh," *E-jurnal Ekon. dan Bisnis*, vol. 1, no. 9, pp. 23–38, 2020.
- [11] A. Fitri, S. Anwar, A. F. Zohra, and M. H. Nasution, "Peramalan Laju Inflasi Bulanan Kota Padang Menggunakan Metode Triple Exponential Smoothing," *J. Ilm. Sosio-Ekonomika Bisnis*, vol. 21, no. 2, pp. 1–10, 2018.
- [12] N. Hidayati, S. Anwar, and R. Rahmah, "Peramalan Harga Cabai Merah sebagai upaya menjaga Stabilitas Inflasi Kota Banda Aceh," *AGRIEKONOMIKA*, vol. 11, no. 1, pp. 31–42, Aug. 2022.
- [13] L. K. Ningrum, "Penerapan Model ARFIMA (Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average) Dalam Peramalan Suku Bunga Sertifikat Bank Indonesia (SBI)," Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2009.
- [14] S. Idris, R. Goejantoro, and Y. N. Nasution, "Pemodelan dan Peramalan Indeks Harga Perdagangan Besar (IHPB) dengan Menggunakan ARFIMA (Studi Kasus : IHPB Provinsi Kalimantan Timur bulan Januari 2002 - Desember 2006 dan Januari 2009 - September 2013)," *J. EKSPONENSIAL*, vol. 5, no. 2, pp. 137–146, 2014.
- [15] Bank Indonesia, "Foreign Exchange Rates," Jun-2022. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/en/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/default.aspx>. [Accessed: 03-Jun-2023].
- [16] M. Mirdaolivia and A. Amelia, "Metode Exponential Smoothing Untuk Forecasting Jumlah Penduduk Miskin Di Kota Langsa," *J. Gamma-Pi*, vol. 3, no. 1, pp. 47–52, 2021.
- [17] C. C. Holt, "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages," *Int. J. Forecast.*, vol. 20, no. 1, pp. 5–10, Jan. 2004.
- [18] R. Assakhiy, S. Anwar, and A.R. Fitriana, "Peramalan Realisasi Penerimaan Zakat Pada Baitulmal Aceh Dengan Mempertimbangkan Efek Dari Variasi Kalender," *J. Ekon. dan Pembang.*, vol. 27, no. 2, pp. 27–45, Dec. 2019.

## Penerapan Model SIR dengan *Nonlinier Incidence Rate* pada Penyebaran Covid-19 di Provinsi Riau

Irma Suryani<sup>1</sup>, Fitri Kurniyawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Matematika, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293  
Email: [irma.suryani@uin-suska.ac.id](mailto:irma.suryani@uin-suska.ac.id)<sup>1</sup>, [fitri20kurniyawati@gmail.com](mailto:fitri20kurniyawati@gmail.com)<sup>2</sup>

### Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai model SIR dengan tingkat insiden nonlinier (*nonlinear incidence rate*) ditambahkan dengan asumsi adanya kematian akibat Covid-19. Penelitian ini dilakukan dengan mendiskritisasi model SIR menggunakan metode Euler dan mensimulasikan model dengan menggunakan Maple. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Riau bulan Agustus–September 2021. Pada penelitian ini ditemukan bahwa model memiliki dua titik ekuilibrium, yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik. Hasil yang diperoleh yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit stabil asimtotik jika  $R_0 < 1$  dan titik ekuilibrium endemik penyakit stabil asimtotik jika syarat dan kondisi terpenuhi. Berdasarkan data riil diperoleh pula Covid-19 di Provinsi Riau merupakan sebuah endemik penyakit yang penyebarannya akan sulit dikendalikan, namun akan menghilang perlahan secara signifikan.

**Kata Kunci:** Covid-19, model matematika, model SIR, *nonlinear incidence rate*, titik ekuilibrium

### Abstract

*This research discusses the SIR model with nonlinear incident rates added with the assumption that there are deaths due to Covid-19. This research was conducted by discretizing the SIR model using the Euler method and simulating the model using Maple. The data used in this research is secondary data obtained from the Riau Provincial Health Office in August–September 2020. In this research it was found that the model has two equilibrium points, namely a disease-free equilibrium point and an endemic equilibrium point. The results obtained are an asymptotically stable disease-free equilibrium point if  $R_0 < 1$  and an asymptotically stable disease-endemic equilibrium point if the terms and conditions are met. Based on real data, Covid-19 in Riau Province is an endemic disease whose spread will be difficult to control, but will slowly and significantly disappear.*

**Keywords:** Covid-19, equilibrium points, mathematical model, *nonlinear incidence rate*, SIR model

## 1. Pendahuluan

Covid-19 (*Coronavirus Disease 2019*) merupakan jenis penyakit baru yang belum pernah diketahui pada manusia. Virus penyebab Covid-19 adalah SARS-CoV-2, yang dikategorikan sebagai virus zoonosis (penularan dari hewan ke manusia). *Coronavirus* adalah keluarga besar virus yang mengakibatkan penyakit bergejala ringan sampai bergejala berat yang menyebabkan kematian. Gejala umum dari Covid-19 yaitu gangguan pernapasan akut seperti sesak napas, batuk, dan demam [1]. Kasus pertama Covid-19 di Indonesia pada tanggal 2 Maret 2020 sebanyak dua kasus dikonfirmasi [2]. Munculnya wabah Covid-19 yang telah melanda dunia menjadi perhatian berbagai pihak karena cepatnya tingkat penyebaran dan banyaknya kasus kematian yang terjadi. Hal ini terjadi dikarenakan waktu kemunculan Covid-19 yang terlalu tiba-tiba, hingga vaksin dan upaya pencegahan belum dipersiapkan.

Upaya pencegahan penyebaran penyakit menular salah satunya dengan mempelajari sifat dinamis penyebaran penyakit tersebut dengan pemodelan matematika [3]. Banyak peneliti mengusulkan model matematika untuk menggambarkan perilaku Covid-19, salah satunya oleh penelitian [4], yang mengusulkan metode baru untuk menggambarkan perilaku Covid-19 yaitu model SIR dengan metode *Nonlinear Incidence Rate*. Dalam penelitiannya, ditemukan bahwa intervensi dari pemerintah seperti kebijakan atau *social distancing* dapat membuat penyakit ini berkurang lebih cepat. Penelitian tentang model penyebaran Covid-19 juga dilakukan oleh [5], dimana penelitiannya mengkaji model SIR di suatu populasi tertutup dan diperoleh hasil bahwa aktivitas sosial yang terbatas dapat menurunkan kasus infeksi Covid-19. Selanjutnya oleh [6], digunakan model SIR untuk mengukur laju penyebaran Covid-19 yang menunjukkan terdapat laju penurunan kasus terinfeksi dan diprediksi akan berakhir di bulan Juni 2020. Namun, prediksi tersebut tidak sesuai dengan kenyataan dikarenakan kurang tepatnya asumsi dan data yang digunakan dalam penelitian tersebut.

Dari beberapa penelitian di atas terdapat kesamaan hasil penelitian, yaitu adanya laju penurunan kasus Covid-19 akibat dari penerapan pembatasan sosial masyarakat. Penulis tertarik untuk mengulas jurnal [4] dengan menambahkan asumsi adanya kematian karena penyakit Covid-19. Dengan demikian, penulis mengambil judul "**Penerapan Model SIR dengan *Nonlinear Incidence Rate* pada Penyebaran Covid-19 di Provinsi Riau**".

## 2. Metode Penelitian

1. Mempelajari model SIR penyebaran Covid-19 pada jurnal Fayeldi dan Dinnullah [4] yaitu:

$$\begin{aligned}\dot{S} &= \alpha - \mu S - \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI, \\ \dot{I} &= \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI - (\mu + \vartheta)I, \\ \dot{R} &= \vartheta I - \mu R,\end{aligned}\tag{1}$$

dengan

- $S(t)$  : jumlah individu rentan pada saat  $t$ ,
- $I(t)$  : jumlah individu terinfeksi pada saat  $t$ ,
- $R(t)$  : jumlah individu yang sembuh pada saat  $t$ ,

- $N$  : jumlah individu dalam populasi,  
 $\frac{1}{1+\gamma I^2}$  : faktor penghambat (PSBB, *social distancing*, vaksinasi, penggunaan masker),  
 $\alpha$  : tingkat kelahiran,  
 $\beta$  : tingkat penularan Covid-19,  
 $\vartheta$  : tingkat kesembuhan individu terinfeksi, dan  
 $\mu$  : tingkat kematian.

2. Membentuk model SIR dengan *Nonlinear Incidence Rate* pada jurnal Fayeldi dan Dinnullah [4] dengan menambahkan asumsi adanya kematian karena penyakit Covid-19 ( $b$ ) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \dot{S} &= \alpha - \mu S - \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI, \\
 \dot{I} &= \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI - (\mu + \vartheta + b)I, \\
 \dot{R} &= \vartheta I - \mu R,
 \end{aligned} \tag{2}$$

3. Mencari titik ekuilibrium dan kestabilan model pada langkah (2).  
 4. Melakukan simulasi dan analisis model dengan menggunakan aplikasi *Maple*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### a. Model Matematika Covid-19

Model matematika adalah gambaran suatu sistem dengan menggunakan konsep dan bahasa matematika yang biasanya digunakan sebagai alat untuk mengetahui dinamika penyebaran suatu penyakit menular. Model matematika dalam penelitian ini adalah model SIR dengan *nonlinier incidence rate*. Diperlukan beberapa asumsi yang sesuai yang akan diteliti. Adapun asumsi-asumsi tersebut adalah:

1. Populasi ( $N$ ) terdiri dari tiga kompartemen, yaitu jumlah individu yang rentan ( $S$ ), jumlah individu terinfeksi ( $I$ ), dan jumlah individu yang sembuh ( $R$ ).
2. Terdapat kelahiran dan kematian dalam suatu populasi.
3. Laju kelahiran, kematian, dan imigrasi diabaikan sehingga populasi konstan (tertutup). Artinya  $N = S(t)+I(t)+R(t)$ , jumlah populasi dalam waktu  $t$  sama dengan jumlah individu rentan, terinfeksi, dan sembuh.
4. Terjadi kematian karena infeksi virus pada populasi yang terinfeksi Covid-19.
5. Populasi telah divaksinasi dan memiliki faktor penghambat seperti penggunaan masker dan *social distancing*. Faktor penghambat tersebut sebagai laju insidensi penyebaran nonlinier, yaitu  $\frac{1}{1+\gamma I^2}$ .

Adapun variabel-variabel dan parameter-parameter yang digunakan dalam model SIR penyebaran Covid-19 pada penelitian ini adalah:

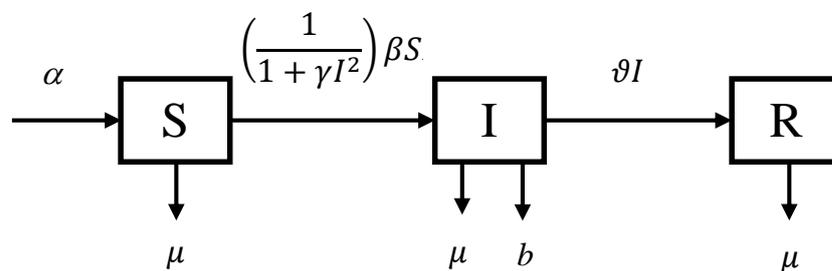
#### Variabel

- $S(t)$  : Jumlah individu rentan pada saat  $t$ ,  
 $I(t)$  : Jumlah individu terinfeksi pada saat  $t$ ,  
 $R(t)$  : Jumlah individu yang sembuh pada saat  $t$ ,  
 $N$  : Jumlah individu dalam populasi.

**Parameter**

- $\gamma$  : Faktor penghambat (PSBB, *social distancing*, vaksinasi, penggunaan masker),
- $\alpha$  : Tingkat kelahiran,
- $\mu$  : Tingkat kematian,
- $\beta$  : Tingkat penularan Covid-19,
- $\vartheta$  : Tingkat kesembuhan individu terinfeksi,
- $b$  : Tingkat kematian akibat Covid-19.

Berdasarkan asumsi, variabel, dan parameter di atas, maka dapat dibentuk model SIR penyebaran Covid-19 dengan *nonlinier incidence rate* seperti Persamaan (2), dengan  $S(t) + I(t) + R(t) = \text{konstan} = N$ . Adapun bentuk model di atas menjadi diagram berikut:



**Gambar 1 Diagram Transfer Covid-19 dengan Nonlinier Incidence Rate**

b. Titik Ekuilibrium

Titik ekuilibrium juga merupakan penyelesaian sistem  $\dot{x} = f(x)$  yang tidak berubah terhadap waktu. Syarat untuk mencapai titik ekuilibrium dapat terjadi saat sistem persamaan disubstitusikan titik ekuilibrium maka fungsi tersebut akan bernilai nol, sedemikian sehingga mengakibatkan turunan pertama fungsi tersebut sama dengan nol. Sebagaimana didefinisikan titik ekuilibrium sebagai berikut:

**Definisi 1** [7] Titik  $\bar{x} \in \mathbb{R}^n$  disebut titik ekuilibrium dari  $\dot{x} = f(\bar{x})$  jika  $f(\bar{x}) = 0$ .

Adapun titik ekuilibrium dari Sistem Persamaan (3) diperoleh dengan menjadikan ruas kanan masing-masing persamaan dengan nol, atau  $\dot{S} = \frac{dS}{dt} = 0$  dan  $\dot{I} = \frac{dI}{dt} = 0$ . Persamaan ketiga dari Sistem Persamaan (3) atau kompartemen  $R$  tidak muncul pada persamaan pertama dan kedua, karena  $R$  tidak mempengaruhi laju perubahan individu pada kompartemen  $S$  dan  $I$ .

Terdapat dua titik ekuilibrium pada Sistem Persamaan (3) yang ditentukan dalam dua kondisi, yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik penyakit. Titik ekuilibrium bebas penyakit diperoleh  $E_0 = \left(\frac{\alpha}{\mu}, 0\right)$  dan titik ekuilibrium endemik penyakit adalah  $E_1 = \left(\frac{(\mu+\vartheta+b)(1+\gamma I^2)}{\beta}, \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\mu^2\gamma(1-R_0)}}{2\mu\gamma}\right)$  dengan  $R_0 = \frac{\alpha\beta}{(\mu+\vartheta+b)}$ .

c. Kestabilan Titik Ekuilibrium

Untuk menentukan kestabilan titik ekuilibrium pada sistem persamaan SIR diskrit dilakukan linearisasi dengan matriks Jacobian. Sehingga diperoleh matriks Jacobian dari Sistem Persamaan (3), yaitu:

$$J = \begin{pmatrix} 1 - \mu h - \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} hI & -\frac{\beta}{1 + \gamma I^2} hS \\ \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} hI & 1 + \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} hS - (\mu + \vartheta + b)h \end{pmatrix} \quad (3)$$

**Teorema 1.** Jika  $R_0 < 1$  dan  $h < \min\left(\frac{2}{\mu}, \frac{2}{(\mu + \vartheta + b) - \frac{\alpha\beta}{\mu(1 + \gamma I^2)}}\right)$ , maka titik ekuilibrium

bebas penyakit stabil asimtotik.

**Bukti:**

Dengan menstubsitusikan titik ekuilibrium bebas penyakit  $E_0 = \left(\frac{\alpha}{\mu}, 0\right)$  ke matriks Jacobian (4), sehingga diperoleh persamaan karakteristiknya, yaitu:

$$\left[1 - \mu h - \lambda\right] \left[1 + h \left(\frac{\alpha\beta}{\mu(1 + \gamma I^2)} - (\mu + \vartheta + b)\right) - \lambda\right] = 0,$$

maka

$$\lambda_1 = 1 - \mu h \text{ atau } \lambda_2 = 1 + h \left(\frac{\alpha\beta}{\mu(1 + \gamma I^2)} - (\mu + \vartheta + b)\right).$$

Nilai  $|\lambda_1| < 1$  diperoleh jika  $h < \frac{2}{\mu}$ , dan nilai  $|\lambda_2| < 1$  diperoleh jika  $h < \frac{2}{(\mu + \vartheta + b) - \frac{\alpha\beta}{\mu(1 + \gamma I^2)}}$ .

Jadi, terbukti bahwa titik ekuilibrium bebas penyakit adalah stabil asimtotik. ■

**Teorema 4.2** Titik ekuilibrium endemik penyakit  $E_1 = \left(\frac{(\mu + \vartheta + b)(1 + \gamma I^{*2})}{\beta}, \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\mu^2\gamma(1 - R_0)}}{2\mu\gamma}\right)$  stabil asimtotik jika  $|\lambda_{1,2}| < 1$  dan  $R_0 > 1$ .

**Bukti:**

Dengan menstubsitusikan titik ekuilibrium bebas penyakit  $E_1$  ke matriks Jacobian (4), sehingga diperoleh persamaan karakteristiknya, yaitu:

$$\lambda^2 - \left(2 - \mu h - \frac{\beta}{1 + \gamma I^{*2}} hI^*\right) \lambda + 1 - \mu h - \frac{\beta}{1 + \gamma I^{*2}} hI^*(1 + (\mu + \vartheta + b)h) = 0,$$

atau dapat ditulis menjadi

$$\lambda^2 + A\lambda + B = 0, \quad (4)$$

dimana  $A = 2\mu h - \frac{\beta}{1 + \gamma I^{*2}} hI^*$  dan  $B = 1 - \mu h - \frac{\beta}{1 + \gamma I^{*2}} hI^*(1 + (\mu + \vartheta + b)h)$ , maka Persamaan (4.22) memiliki akar-akar karakteristik yang memenuhi Lemma 4.1 berikut:

**Lemma 4.1** [8] Persamaan kuadrat  $\lambda^2 + A\lambda + B = 0$  memiliki dua akar yang memenuhi  $|\lambda_{1,2}| < 1$  jika dan hanya jika memenuhi ketiga kondisi berikut:

- i)  $1 + A + B > 0$ ,
- ii)  $1 - B > 0$ ,
- iii)  $1 - A + B > 0$ .

Dari analisis kestabilan titik ekuilibrium  $E_1$  diperoleh tiga kondisi sebagai berikut:

i)  $1 + A + B > 0$  terpenuhi dengan tiga kemungkinan, yaitu

a.  $h > 0$  dan  $\frac{1}{4}\left(\mu + \frac{\beta}{1+\gamma I^{*2}} I^*\right)^2 < \frac{\beta(\mu+\vartheta+b)}{1+\gamma I^{*2}} I^*$ ,

b.  $h = 0$  dan  $\frac{1}{4}\left(\mu + \frac{\beta}{1+\gamma I^{*2}} I^*\right)^2 = \frac{\beta(\mu+\vartheta+b)}{1+\gamma I^{*2}} I^*$ ,

c.  $0 < h < h_1$  atau  $h > h_2$  dan  $\frac{1}{4}\left(\mu + \frac{\beta}{1+\gamma I^{*2}} I^*\right)^2 > \frac{\beta(\mu+\vartheta+b)}{1+\gamma I^{*2}} I^*$ .

ii)  $1 - B > 0$  terpenuhi.

iii)  $1 - A + B > 0$  terpenuhi.

### 3.1 Simulasi

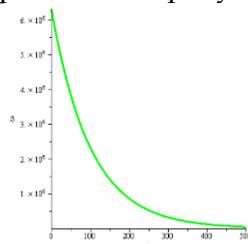
Disini, simulasi akan dilakukan dengan 2 kondisi yaitu  $R_0 < 1$  dan  $R_0 > 1$ . Nilai parameter yang digunakan berdasarkan data riil yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Riau dan Jurnal Fayeldi [4] seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1 Nilai Parameter pada Model Penyakit Covid-19**

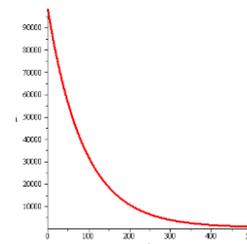
Parameter	Nilai Parameter
$\alpha$	0,1
$\mu$	0,1
$\beta$	0,5
$\gamma$	0,5
$\vartheta$	0,005960847
$b$	0,007402275
$h$	0,1

Sumber: Dinas Kesehatan Provinsi Riau (Agustus-September 2021)

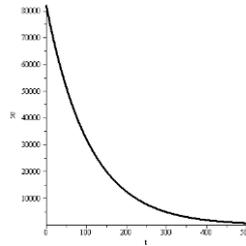
Diketahui, bulan Agustus – Spetember 2021 merupakan bulan naik nya penderita Covid-19 di Pekanbaru sehingga Penulis mengambil data pada bulan Agustus-September 2021. Lebih lanjut, berdasarkan data sensus penduduk dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, nilai awal:  $S(0) = 6.313.295$ ,  $I(0) = 98.310$ , dan  $R(0) = 81.998$ . Sehingga dinamika populasi bebas penyakit dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



a) Grafik  $S(t)$



b) Grafik  $I(t)$

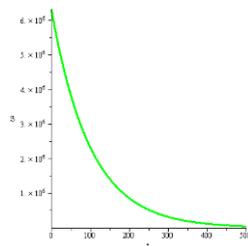


c) Grafik  $R(t)$

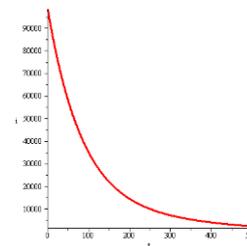
**Gambar 2 Simulasi 1 Covid-19 di Provinsi Riau dengan  $\beta=0,5$**

Berdasarkan Gambar 2 di atas dapat disimpulkan bahwa populasi di setiap kompartemen ( $S$ ,  $I$ , dan  $R$ ) menurun terhadap waktu  $t$ . Diperlihatkan grafik solusi nilai awal  $(S_0, I_0) = (6313295, 98310)$  terhadap  $h = 0,1$  konvergen menuju ke titik ekuilibrium bebas penyakit  $(1,0)$ . Hal ini berarti, bahwa populasi  $S$  akan menurun secara drastis menuju nol pada hari ke-500, karena cepatnya penularan virus Covid-19. Populasi  $I$  akan menurun secara signifikan menuju nol pada hari ke-450 dan stabil, akibat adanya faktor penghambat ( $\gamma$ ), bertambahnya orang meninggal akibat Covid-19 ( $b$ ) dan laju kesembuhan ( $\vartheta$ ). Sehingga  $R$  juga terjadi penurunan signifikan menuju nol pada hari ke-500 yang dikarenakan oleh laju kesembuhan pada populasi yang terinfeksi ( $\vartheta$ ) dan laju kematian alami. Diketahui parameter di atas  $R_0 < 1$ , maka penyebaran Covid-19 akan menghilang seiringnya waktu.

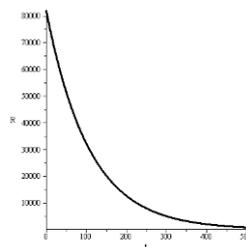
Sedangkan diketahui berdasarkan data riil Covid-19 di Provinsi Riau diperoleh  $\beta = 4,30869$  sehingga diperoleh  $R_0 = 3,80079 > 1$ . Sehingga, nyatanya penyebaran Covid-19 meningkat bahkan akan sampai sulit dikendalikan. Hal ini berarti penyebaran Covid-19 di Provinsi Riau dapat diartikan sebagai sebuah endemik penyakit. Namun berdasarkan Gambar 3 di bawah ini, terlihat bahwa populasi  $S$ ,  $I$ , dan  $R$  terjadi penurunan yang signifikan dan menuju titik nol dan stabil pada hari ke-500. Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa Covid-19 sebagai endemik penyakit dimulai pada hari ke-500 Covid-19 akan hilang atau tidak ada.



a) Grafik  $S(t)$



b) Grafik  $I(t)$



c) Grafik  $R(t)$

**Gambar 3 Simulasi 2 Covid-19 di Provinsi Riau dengan  $\beta=4,30869$**

#### 4. Kesimpulan

Dari pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Model epidemik SIR dengan *nonlinear incidence rate* berdasarkan [5], ditambahkan asumsi adanya kematian karena penyakit Covid-19 ( $b$ ):

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \alpha - \mu S - \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI, \\ \dot{I} &= \frac{\beta}{1 + \gamma I^2} SI - (\mu + \vartheta + b)I, \\ \dot{R} &= \vartheta I - \mu R. \end{aligned} \tag{5}$$

Diketahui  $S$ ,  $I$ , dan  $R$  masing-masing merupakan populasi rentan, terinfeksi, dan pulih. Parameter  $\alpha$  merepresentasikan angka kelahiran,  $\beta$  merepresentasikan tingkat penularan *Coronavirus*,  $\gamma$  merepresentasikan efek penghambatan seperti upaya pemerintah untuk pencegahan penyebaran penyakit Covid-19,  $\mu$  merepresentasikan tingkat kematian, dan  $\vartheta$  merepresentasikan tingkat pemulihan.

2. Persamaan Model SIR (5.1) di atas memiliki dua titik ekuilibrium yaitu bebas penyakit  $E_0 = \left(\frac{\alpha}{\mu}, 0\right)$  dan endemik penyakit  $E_1 = \left(\frac{(\mu + \vartheta + b)(1 + \gamma I^{*2})}{\beta}, \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\mu^2\gamma(1 - R_0)}}{2\mu\gamma}\right)$  dengan  $R_0 = \frac{\alpha\beta}{(\mu + \vartheta + b)}$ . Dimana titik ekuilibrium model SIR diskrit sama dengan titik ekuilibrium model SIR kontinu. Kestabilan titik ekuilibrium bebas penyakit stabil asimtotik karena  $R_0 < 1$  dan kestabilan titik ekuilibrium endemik penyakit juga stabil asimtotik karena  $|\lambda_{1,2}| < 1$  dan  $R_0 > 1$ .
3. Hasil simulasi model penyebaran Covid-19 berdasarkan [4] dengan simulasi Model SIR (5) adalah terdapat perbedaan bentuk grafik, karena perbedaan sumber data. Namun, dari grafik-grafik tersebut memiliki kondisi yang sama. Dimana penyakit Covid-19 sebagai endemik penyakit (karena berdasarkan data riil Covid-19 di Provinsi Riau diperoleh  $\beta = 4,30869$ , sehingga  $R_0 = 3,80079 > 1$ ) dimulai pada hari ke-500 Covid-19 akan menghilang atau tidak ada secara signifikan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia dan Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, *Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Coronavirus Disease (COVID-19)*. 2020. [Daring]. Tersedia pada: [https://infeksiemerging.kemkes.go.id/download/REV-04\\_Pedoman\\_P2\\_COVID-19\\_27\\_Maret2020\\_TTD1.pdf](https://infeksiemerging.kemkes.go.id/download/REV-04_Pedoman_P2_COVID-19_27_Maret2020_TTD1.pdf) [Diakses 11 Juni 2021].
- [2] "WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 – 11 March 2020," 2020. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> (diakses 22 April 2021).
- [3] S. Agustianingsih, R. Reorita, dan R. Renny, "Kontrol Optimal pada Model SIR dengan Pengaruh Vaksinasi, Karantina, dan Faktor Imigrasi," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, vol. 16, no. 3, hal. 311–324, 2020, doi: 10.20956/jmsk.v16i3.6942.
- [4] T. Fayeldi dan R. N. I. Dinnullah, "Covid-19 sir model with nonlinear incidence

- rate," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1869, no. 1, hal. 1–5, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1869/1/012113.
- [5] A. F. Huda, E. R. Wulan, F. Ilahi, dan M. S. Khumaeroh, "Analisis Pengaruh Social Distancing pada Transmisi Covid-19 dengan Menggunakan Model SIR," *UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, vol. 19, 2020.
- [6] R. T. Handayanto dan H. Herlawati, "Efektifitas Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) di Kota Bekasi Dalam Mengatasi COVID-19 dengan Model Susceptible-Infected-Recovered (SIR)," *Jurnal Kajian Ilmiah*, vol. 20, no. 2, hal. 119–124, Mei 2020, doi: 10.31599/jki.v20i2.119.
- [7] S. P. Hastings, "Differential Equations and Dynamical Systems (Lawrence Perko)," *SIAM Review*, vol. 34, no. 1, hal. 129–131, Mar 1992, doi: 10.1137/1034019.
- [8] S. Elaydi, *An Introduction to Difference Equations*, Third. New York: Springer, 2003.
- [9] F. Sinuhaji, "Model Epidemi SIRS dengan Time Delay pada Infected (Terinfeksi Penyakit)," *Visipena Journal*, vol. 4, no. 1, hal. 24–32, 2020.
- [10] J. K. Hale dan H. Kocak, *Dynamics and Bifurcations*. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [11] M. Soleh dan R. Sriningsih, "Eksistensi dan Kestabilan Titik Equilibrium Model SIR dengan Nonlinear Incidence Rate," *Jurnal Matematika*, vol. 1, hal. 45–52, 2012.
- [12] R. T. Putra, Sukatik, dan S. Nita, "Kestabilan Model Epidemi SEIR dengan Laju Insidensi," *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, vol. 10, no. 2, hal. 74–82, 2015, doi: 10.30630/jipr.10.2.77.
- [13] Y. Yulida dan M. A. Karim, "Pemodelan Matematika Penyebaran Covid-19 di Provinsi Kalimantan Selatan," *Media Bina Ilmiah*, vol. 14, no. 10, hal. 3257–3264, 2020.
- [14] Tim Kerja Kementerian Dalam Negeri, *Pedoman Umum Menghadapi Pandemi Covid-19 Bagi Pemerintah Daerah: Pencegahan, Pengendalian, Diagnosis dan Manajemen*, vol. 53, no. 9. 2013. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [15] W. B. Fischer, G. Thiel, dan R. H. A. Fink, *Viral Membrane Proteins: Structure, Function, and Drug Design*. New York: Plenum Publisher, 2005. doi: 10.1007/S00249-009-0525-Y.
- [16] Widowati dan Sutimin, *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Semarang: Universitas Diponegoro, 2007.
- [17] R. Beckley, C. Weatherspoon, M. Alexander, M. Chandler, A. Johnson, dan G. S. Bhatt, "Modeling Epidemics with Differential Equations," hal. 1–9, 2013.
- [18] I. Suryani dan F. Ariad, "Analisis Kestabilan Model Seirs Pada Penyebaran Penyakit Flu Singapura (Hand, Food, and Mouth Disease) dengan Saturated Incidence Rate," *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, vol. 4, no. 2, hal. 63–73, 2018.
- [19] J. C. Butcher, *Numerical Methods for Ordinary Differential Equations*. New Zealand: Wiley Blackwell, 2016. doi: 10.1002/9781119121534.
- [20] I. Suryani dan M. Y. E, "Analisis Kestabilan Model MSEIR Penyebaran Penyakit Difteri Dengan Saturated Incidence Rate," *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [21] R. Naresh, A. Tripathi, J. M. Tchuente, dan D. Sharma, "Stability Analysis of A Time Delayed SIR Epidemic Model with Nonlinear Incidence Rate," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 58, no. 2, hal. 348–359, 2009, doi: 10.1016/j.camwa.2009.03.110.
- [22] W. Liu, S. A. Levin, dan Y. Iwasa, "Influence of Nonlinear Incidence Rates Upon

- The Behavior of SIRS Epidemiological Models," *Journal of Mathematical Biology*, vol. 23, no. 2, hal. 187–204, 1986, doi: 10.1007/BF00276956.
- [23] W. R. Derrick dan P. van den Driessche, "A Disease Transmission Model in A Nonconstant Population," *Journal of Mathematical Biology*, vol. 31, hal. 837–848, 1993, doi: 10.4249/scholarpedia.2877.
- [24] V. Capasso dan G. Serio, "A Generalization of the Kermack-McKendrick Deterministic Epidemic Model," *Mathematical Biosciences*, vol. 42, no. 1–2, hal. 43–61, 1978, doi: 10.1016/0025-5564(78)90006-8.
- [25] Z. Hu, W. Ma, dan S. Ruan, "Analysis of SIR Epidemic Models with Nonlinear Incidence Rate and Treatment," *Mathematical Biosciences*, vol. 238, no. 1, hal. 12–20, 2012.

## Analisis *Multidimensional Scaling* Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Di Jawa Timur Tahun 2022

Rosidun Nindyo Pratiwi<sup>1</sup>, Evi Wijayawati<sup>2</sup>, Lulu Uljanah<sup>3</sup>, Atikah Faiza<sup>4</sup>, Dita Amelia<sup>5</sup>, M. Fariz Fadillah<sup>6</sup>, Elly Ana<sup>4</sup>

Program Studi Statistika, Universitas Airlangga  
Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Mulyorejo, Kec Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur  
Email: [rosidun.nindyo.pratiwi-2022@fst.unair.ac.id](mailto:rosidun.nindyo.pratiwi-2022@fst.unair.ac.id)<sup>1</sup>, [evi.wijayawati-2022@fst.unair.ac.id](mailto:evi.wijayawati-2022@fst.unair.ac.id)<sup>2</sup>,  
[lulu.uljanah-2020@fst.unair.ac.id](mailto:lulu.uljanah-2020@fst.unair.ac.id)<sup>3</sup>, [atikah.faiza-2020@fst.unair.ac.id](mailto:atikah.faiza-2020@fst.unair.ac.id)<sup>4</sup>  
Korespondensi penulis : [dita.amelia@fst.unair.ac.id](mailto:dita.amelia@fst.unair.ac.id)

### Abstrak

Peningkatan mutu sumber daya manusia merupakan salah satu indikator pengukur tingkat keberhasilan pertumbuhan ekonomi, dan rencana pembangunan saat ini selalu menitikberatkan pada perkembangan manusia. Kini, pencapaian kualitas manusia seringkali menjadi tolok ukur keberhasilan pembangunan. Indeks Pembangunan Manusia menjadi metrik yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat perkembangan manusia dalam suatu negara. Tiga dimensi utama pembangunan manusia yang tercakup dalam IPM melibatkan angka harapan hidup, durasi rata-rata pendidikan, serta pengeluaran per kapita. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis faktor-faktor yang berdampak pada IPM (Indeks Pembangunan Manusia) di wilayah Jawa Timur. Dari hasil analisis menggunakan metode *Multidimensional Scaling*, tampak bagaimana kabupaten/kota di Jawa Timur terkelompok berdasarkan indikator IPM. Dari analisis tersebut, teridentifikasi empat kelompok dengan karakteristik yang serupa di dalamnya, tetapi berbeda dengan kelompok lainnya. Hasil pengelompokannya sangat cocok ditunjukkan dari nilai stress sebesar 1,804% dan mencapai  $R^2$  99,962%.

**Kata Kunci:** IPM, *Multidimensional Scaling*, angka harapan hidup, lama sekolah, pengeluaran perkapita

### Abstract

*Improving the quality of human resources is one indicator of measuring the level of success of economic growth, and current development plans always focus on human development. Now, the achievement of human quality is often a measure of development success. The Human Development Index is a metric used to evaluate the level of human development in a country. The three main dimensions of human development included in the HDI involve life expectancy, average duration of education, and per capita expenditure. The aim of this research is to analyze the factors that have an impact on the HDI (Human Development Index) in the East Java*

region. From the results of the analysis using the Multidimensional Scaling method, it can be seen how districts/cities in East Java are grouped based on HDI indicators. From this analysis, four groups were identified with characteristics that were similar in themselves, but different from other groups. The grouping results are very suitable as shown by the stress value of 1.804% and reaching  $R^2$  99.962%.

**Keywords:** HDI, Multidimensional Scaling, life expectancy, years of schooling, per capita expendity

## 1. Pendahuluan

Salah satu indikator keberhasilan pembangunan ekonomi adalah peningkatan kualitas sumber daya manusia, oleh karena itu rencana pembangunan saat ini selalu fokus pada pembangunan manusia. Pembangunan manusia merupakan hal yang penting dan memerlukan perhatian. Sebab, pada kenyataannya pertumbuhan ekonomi yang tinggi belum tentu menyelesaikan permasalahan kesejahteraan seperti kemiskinan dan taraf hidup masyarakat secara keseluruhan. Oleh karena itu, saat ini keberhasilan pembangunan seringkali diukur dari pencapaian kualitas manusia [1]. Menurut Program Pembangunan Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNDP), Indeks Pembangunan Manusia merupakan salah satu pendekatan untuk mengukur tingkat keberhasilan pembangunan manusia. Indeks Pembangunan Manusia ditentukan dari hasil pengukuran perbandingan angka harapan hidup, angka melek huruf dari jenjang pendidikan terakhir yang diselesaikan, dan daya beli orang di seluruh negara di dunia[2].

Menurut [3], teknik *multidimensional scaling* (MDS) dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan jenis datanya. Metrik MDS digunakan bila datanya memiliki interval atau rasio (kuantitatif). Metric MDS adalah "teknik penskalaan klasik" yang diperkenalkan oleh Young dan Househer pada tahun 1938. Pada dasarnya, metrik MDS mengubah masukan atau metrik jarak menjadi bentuk geometris sebagai keluaran. Sebaliknya, MDS non-metrik digunakan jika datanya nominal atau ordinal (kualitatif). MDS nonmetrik menggunakan pendekatan transformasi monoton kuadrat terkecil Kruskal. Untuk mendapatkan koordinat awal setiap objek, dilakukan cara yang sama seperti metode metrik MDS, dengan asumsi bahwa data tersebut bukanlah informasi jarak sebenarnya, melainkan memandang nilai deret sebagai variabel interval.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016, atribut yang dikaitkan dengan indikator kesejahteraan masyarakat sebanyak jiwa, antara lain kemiskinan jiwa, angka pengangguran yang tidak diungkapkan, pengeluaran per kapita, dan lama sekolah yang diharapkan. Rata-rata lama sekolah regional, tingkat partisipasi angkatan kerja, angka harapan hidup, dan kepadatan penduduk. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesejahteraan di Jawa Tengah diantaranya adalah faktor sumber daya manusia seperti angka partisipasi murni, keluhan kesehatan, penduduk usia kerja, dan angka partisipasi sekolah [4].

Beberapa penelitian tentang hubungan indeks pembangunan manusia dengan pertumbuhan ekonomi telah dilakukan sebelumnya. Menurut penelitian [5] melalui penerapan analisis regresi linier sederhana, dapat disimpulkan terdapat pengaruh negatif dan signifikan dari variabel Indeks Pembangunan Manusia terhadap perkembangan ekonomi di provinsi Jawa Timur. Secara spesifik, setiap kenaikan perkembangan ekonomi sebesar 1% diikuti dengan penurunan sebesar 0,19% pada Indeks Pembangunan Manusia. Sebaliknya, peningkatan Indeks Pembangunan Manusia sebesar 1% akan menyebabkan

penurunan perkemabangan ekonomi sebesar 19,29%. Saat ini, penelitian menunjukkan [6] Melalui analisis *multidimensional scaling* indikator kesejahteraan penduduk Jawa Barat tahun 2020, hasil pemetaan menunjukkan empat kelompok. Kelompok 1 terdiri dari wilayah yang menonjol dalam kinerja pekerjaan dan kesehatan. Kelompok 2, memiliki rata-rata IPM tertinggi dan kinerja yang kuat di bidang pendidikan dan kesehatan. Kelompok 3 fokus pada sektor pendidikan, kesehatan, dan kependudukan. Sementara Kelompok 4, menunjukkan indikator kesejahteraan yang lebih rendah, tingkat kemiskinan yang lebih tinggi, serta performa pendidikan, lapangan kerja, dan kesehatan yang lebih rendah, dengan rata-rata IPM terendah dibandingkan kelompok lainnya. Dari hasil pemetaan, didapatkan nilai STRESS sebesar 6,49%, menunjukkan bahwa kualitas pemetaan sangat baik. Sementara nilai RSQ mencapai 99,21%, mengindikasikan bahwa data yang digunakan dapat dapat dengan mudah dipahami atau diinterpretasikan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan metode analisis *Multidimensional Scaling* untuk menganalisis faktor-faktor yang dapat mempengaruhi IPM (Indeks Pembangunan Manusia) di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2022. Penelitian ini menganalisis pengelompokan kabupaten/kota berdasarkan koefisien IPM sehingga masyarakat dapat mengetahui daerah mana saja yang memiliki rata-rata IPM rendah hingga tinggi dan dapat dimanfaatkan oleh pemerintah untuk pembangunan kabupaten/kota. Kota-kota di Jawa Timur juga bisa diperhitungkan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Indeks Pembangunan Manusia

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) adalah alat ukur yang digunakan untuk menilai kemajuan suatu negara dalam hal kesejahteraan dan perkembangan masyarakatnya. IPM mencakup beberapa indikator kunci yang mencerminkan kesejahteraan dan perkembangan masyarakat. IPM mengukur tiga dimensi utama pembangunan manusia. Pertama, dimensi kesehatan yang mencakup umur panjang dan kehidupan yang sehat. Kedua, dimensi pendidikan yang dievaluasi melalui pengetahuan dan harapan lama sekolah. Dan ketiga, dimensi standar hidup layak yang dihitung berdasarkan rata-rata pengeluaran perkapita [7]. IPM sebagai indikator krusial dalam mengevaluasi pencapaian dengan tujuan akhir membangun kualitas manus, serta untuk menetapkan posisi dan tingkat perkembangan suatu wilayah atau negara [8].

### 2.2 Analisis *Multidimensional Scaling* (MDS)

Scaling adalah metode multivariat yang memungkinkan penentuan posisi relatif suatu objek terhadap objek lain dengan mempertimbangkan tingkat kesamaan di antara keduanya kemiripannya [9]. *Multidimensional Scaling* memiliki tujuan untuk menyajikan representasi visual yang mencerminkan pola hubungan antara objek tertentu dengan menyajikan gambaran visual dari jarak atau kemiripan antar objek, serta mengidentifikasi pengelompokan objek. Dalam hal ini, dapat memetakan kabupaten/kota di Jawa Timur menurut variabel-variabel yang memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia.

### 2.3 Jenis *Multidimensional Scaling* (MDS)

Berdasarkan skala datanya, *Multidimensional Scaling* dibedakan menjadi dua jenis [10], yaitu sebagai berikut:

- a. *Multidimensional scaling* metrik  
 Multidimensional Scaling metrik menggunakan data jarak yang bertipe rasio atau interval. Metode *Multidimensional Scaling* berbasis metrik biasa digunakan untuk mengidentifikasi oleh tiap titik dalam kelompok dalam dimensi ruang n [10]. Dalam *Multidimensional scaling* metrik, disimilaritas ( $\delta_{ij}$ ) diartikan  $d_{ij}$  sama dengan jarak yaitu  $\delta_{ij} = d_{ij}$  [11].
- b. *Multidimensional scaling* non-metriks  
*Multidimensional Scaling* non-metrik menggunakan data jarak yang bertipe nominal atau ordinal. *Multidimensional Scaling* non-metrik bertujuan untuk menentukan korelasi non-monotonik antara jarak antar titik dan tingkat kesamaan yang diamati [12]. Dalam *Multidimensional scaling* metrik, disimilaritas sebagai berikut ( $\delta_{ij}$ )  $d_{r_1s_1} < d_{r_2s_2} < \dots < d_{r_ms_m}$  dimana  $r_1s_1$  menunjukkan pasangan item dengan ketidaksamaan terkecil dan  $r_ms_m$  mewakili pasangan dengan ketidaksamaan terbesar [13].

#### 2.4 Prosedur *Multidimensional Scaling* (MDS)

Analisis *Multidimensional Scaling* digunakan untuk memetakan persepsi (perceptual map) pada peta multidimensi secara visual. Tahapan dalam melakukan analisis *Multidimensional Scaling*, yaitu sebagai berikut [14]:

1. Hitung matriks jarak menggunakan jarak *Euclidean*. Diketahui n adalah jumlah data dan p adalah variabel yang menunjukkan dimensi ruang euclid, maka ukuran jarak *euclid* antar dua objek  $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$  dan  $(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp})$  dimana  $(i, j = 1, \dots, n)$ , dirumuskan sebagai berikut:

$$D = d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Di mana :

$d_{ij}$  = Jarak antara benda ke-i dengan benda ke-j

$x_{ik}$  = Hasil pengukuran objek ke-i pada variabel k

$x_{jk}$  = Hasil pengukuran objek ke-j pada variabel k

2. Menentukan jarak  $d_{rs}^2$  dengan rumus

$$d_{rs}^2 = \sum_{k=1}^p (x_{rk} - x_{sk})^2$$

3. Menghitung matriks B dengan rumus

$$b_{rs} = a_{rs} - a_{r.} - a_{.s} - a_{..}$$

Dimana

$$a_{rs} = -\frac{1}{2}d_{rs}^2, a_{r.} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n d_{rs}^2, a_{.s} = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n d_{rs}^2, a_{..} = \frac{1}{n^2} \sum_{r=1}^n \sum_{s=1}^n d_{rs}^2$$

4. Mencari nilai eigen dan vektor eigen dengan rumus sebagai berikut:

$$\det(\mathbf{B} - \lambda \mathbf{I}) = 0 ; (\mathbf{B} - \lambda \mathbf{I}) \mathbf{X} = \mathbf{0}$$

5. Membentuk koordinat koordinat n titik pada ruang *euclid* dengan dimensi p menggunakan rumus.

$$x_{ij} = v_{ij} \lambda_j^{\frac{1}{2}}$$

Untuk  $(i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, p)$

6. Menghitung STRESS (*Standardized Residual Sum of Square*) dan nilai  $R^2$   
 STRESS merupakan ukuran ketidaksesuaian metode dengan data yang digunakan. Semakin kecil nilai STRESS maka dianggap semakin cocok [14]. Nilai stress dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Kruskal's Stress-2 dengan menginduksi rata rata jarak  $\bar{d}$ , dengan  $1 \leq i \leq j$ , sebagai berikut [15]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=j}^n (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i=j}^n d_{ij}^2}}$$

**Tabel 1. Kriteria Nilai STRES**

<i>Stress</i>	<i>Kesesuaian</i>
0.200	<i>Poor</i> (buruk)
0.100	<i>Fair</i> (cukup)
0.050	<i>Good</i> (baik)
0.025	<i>Excellent</i> (sangat baik)
0.00	<i>Perfect</i> (sempurna)

$R^2 = R$  square (RSQ) adalah kuadrat dari koefisien korelasi yang menunjukkan proporsi varians dari skala optimal data, yang disumbangkan oleh prosedur *Multidimensional Scaling* untuk ukuran *goodness of fit* [16].  $R^2$  dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i,j} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i,j} (d_{ij})^2}$$

Berikut metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu,

### 2.5 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari web resmi BPS untuk data pada tahun 2022. Data yang digunakan berjumlah 38 kabupaten/kota yang ada di Jawa Timur [17].

### 2.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan merupakan faktor-faktor yang diduga mempengaruhi IPM di Jawa Timur. Variabel-variabel tersebut dapat disajikan dalam Tabel 2 berikut :

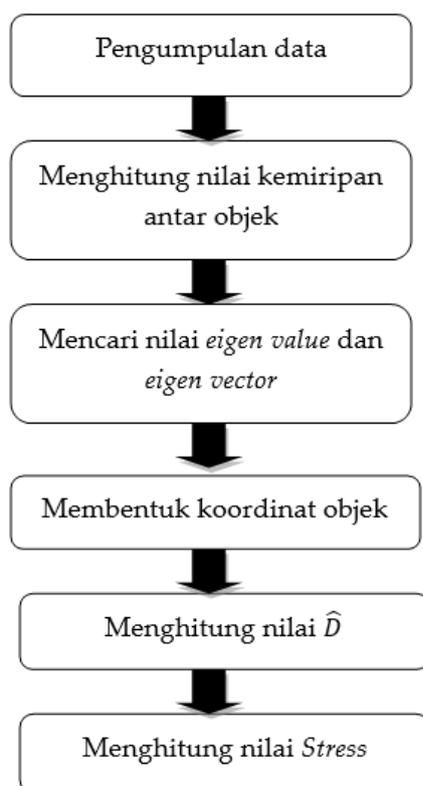
**Tabel 2. Variabel Indeks Pembangunan Manusia**

Variabel	Keterangan	Satuan
$X_1$	Pengeluaran Perkapita	Ribu Rupian
$X_2$	Rata-rata Lama Sekolah	Tahun
$X_3$	Angka Harapan Hidup	Tahun

Dimensi ekonomi diwakili oleh variabel pengeluaran perkapita, dimensi pendidikan diwakili oleh variabel RLS, sedangkan dimensi kesehatan diwakili oleh variabel AHH.

## 2.7 Langkah Analisis Data

Langkah analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan Analisis

## 3 Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Statistika Deskriptif

Tabel 3. Statistika Deskriptif

Variabel	Mean	St. Dev	Min	Max
Pengeluaran perkapita	1.184	2.208	8.944	18.345
RLS	8,262	1,602	5,060	11,670
AHH	72,069	1,941	67,290	74,540

Berdasarkan Tabel 3, nilai minimal dari variabel pengeluaran perkapita sebesar 8944 sedangkan nilai tertingginya sebesar 18345 dengan rata-ratanya sebesar 1184 dan standar deviasinya sebesar 2208. Pada variabel RLS nilai terendahnya sebesar 5,060 sedangkan nilai tertingginya sebesar 11,670 dengan rata-ratanya sebesar 8,262 dan standar deviasinya sebesar 1,602. Pada variabel AHH nilai terendahnya sebesar 67,290 sedangkan nilai tertingginya sebesar 74,540 dengan rata-ratanya sebesar 72,069 dan standar deviasinya sebesar 1941.

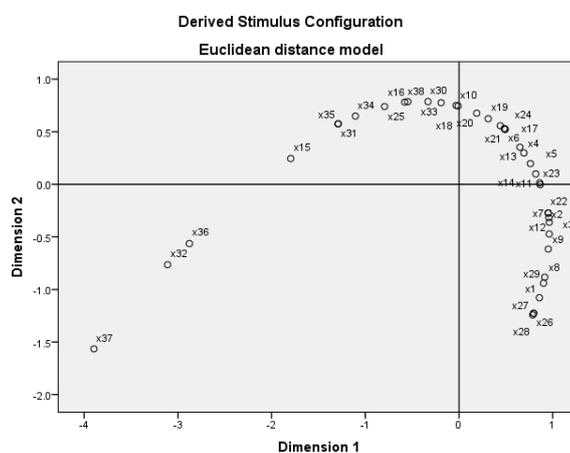
### 3.2 Common Space

Analisis selanjutnya yaitu mengelompokkan data menjadi dua kelompok sesuai dengan jumlah dimensi dalam penelitian. Kemudian, dilakukan penggambaran peta pengelompokkan sesuai dengan koordinat setiap objek berikut.

**Tabel 4. Koordinat Titik Objek 2 Dimensi**

Kabupaten/Kota	Kelompok	
	1	2
Kabupaten Pacitan	0,8576	-1,0786
Kabupaten Ponorogo	0,9626	-0,3614
Kabupaten Trenggalek	0,6931	-0,4726
Kabupaten Tulungagung	0,7619	0,2982
Kabupaten Blitar	0,4913	0,1973
⋮	⋮	⋮
Kota Pasuruan	-1,1061	0,6490
Kota Mojokerto	-1,2889	0,5761
Kota Madiun	-2,8774	-0,5634
Kota Surabaya	-3,39632	-1,5649
Kota Batu	-0,5790	0,7821

Berikut merupakan hasil pengelompokkan data kabupaten/kota di Jawa Timur menjadi empat kelompok.

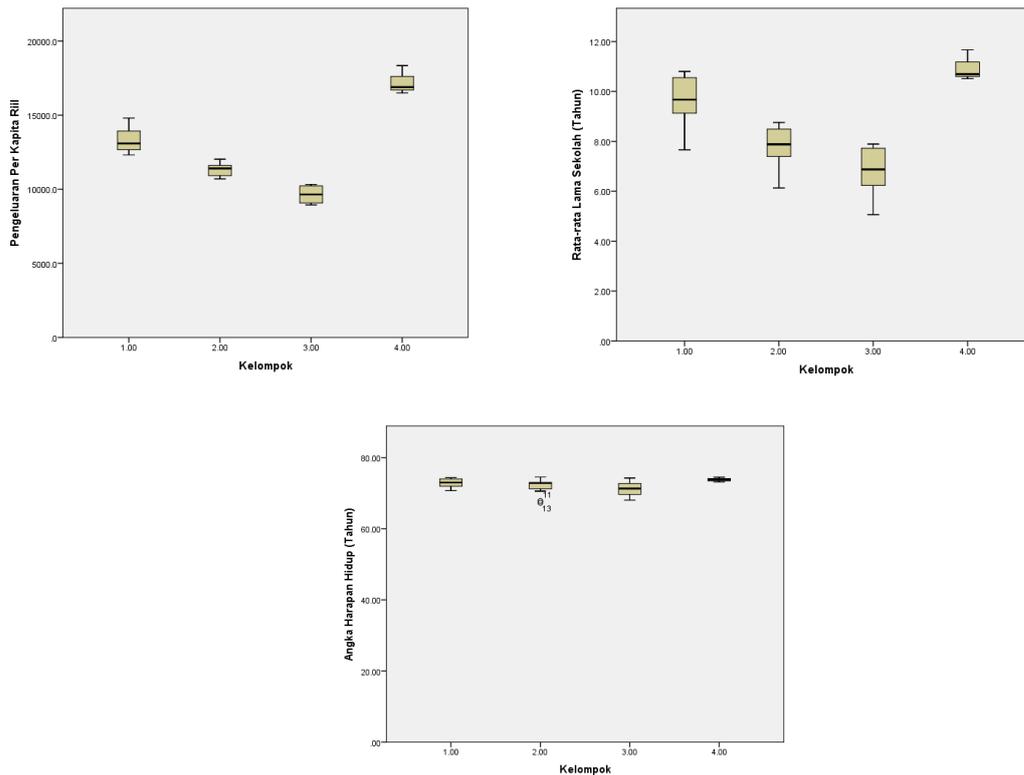


**Gambar 2. Pengelompokkan data 38 kota/kabupaten di Jawa Timur ke dalam empat kelompok**

**Tabel 5. Pengelompokan 38 kota/kabupaten di Jawa Timur**

Jenis Kelompok	Anggota Pengelompokan
Kelompok 1	Kabupaten Sidoarjo, Kota Mojokerto, Kota Blitar, Kota Pasuruan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Mojokerto, Kota Batu, Kota Probolinggo, Kabupaten Nganjuk, Kota Kediri.
Kelompok 2	Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Magetan, Kabupaten Madiun, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Jombang, Kabupaten Kediri, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Tuban.
Kelompok 3	Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Malang, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Jember, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Pacitan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep
Kelompok 4	Kota Surabaya, Kota Malang, dan Kota Madiun.

### 3.3 Karakteristik Kelompok



**Gambar 3. Karakteristik tiap kelompok**

Berdasarkan Gambar dapat diketahui karakteristik dari masing-masing kelompok yang terbentuk yang dijelaskan dalam tabel .

**Tabel 6. Karakteristik 4 kelompok**

Kelompok	Karakteristik
<b>Kelompok 1</b>	Kelompok 1 memiliki karakteristik pengeluaran perkapita tertinggi kedua, menandakan bahwa dalam kelompok ini cenderung memiliki tingkat pengeluaran per kapita yang tinggi, mendekati atau melebihi rata-rata kelompok.
<b>Kelompok 2</b>	Kelompok 2 memiliki karakteristik rata-rata lama sekolah rendah kedua menggambarkan tingkat pendidikan dalam kelompok ini berada di bawah rata-rata umum, meskipun tidak yang terendah.
<b>Kelompok 3</b>	Kelompok 3 memiliki karakteristik pengeluaran perkapita dan rata-rata lama sekolah paling rendah dibanding kelompok lain, mengindikasikan tingkat pengeluaran individu dan tingkat pendidikan yang lebih rendah.
<b>Kelompok 4</b>	Kelompok 4 yang berisi Kota Surabaya, Kota Malang, dan Kota Madiun menonjol dengan pengeluaran per kapita, rata-rata lama sekolah, dan angka harapan hidup lebih tinggi dibanding kelompok lain. Ini disebabkan oleh kemajuan kota-kota tersebut dalam infrastruktur pendidikan, pelayanan kesehatan yang memadai, dan fasilitas umum yang baik. Meskipun angka harapan hidup relatif sama dengan kelompok lain, ketiga kota tersebut menciptakan lingkungan yang nyaman dan mendukung perkembangan sosial dan ekonomi.

### 3.4 Nilai Stress

Berdasarkan Gambar 1, empat kelompok memiliki kemiripan antar anggotanya tetapi berbeda dengan kelompok lainnya. Pada kelompok 1 beranggotakan Kabupaten Sidoarjo, Kota Mojokerto, Kota Blitar, Kota Pasuruan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Mojokerto, Kota Batu, Kota Probolinggo, Kabupaten Nganjuk, Kota Kediri. Pada kelompok 2 beranggotakan Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Magetan, Kabupaten Madiun, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Jombang, Kabupaten Kediri, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Tuban. Pada kelompok 3 beranggotakan Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Malang, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Jember, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Pacitan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep. Pada kelompok 4 beranggotakan Kota Surabaya, Kota Malang, dan Kota Madiun.

Setelah dilakukan analisis menggunakan bantuan software SPSS, berikut merupakan nilai Stress dan nilai  $R^2$ .

**Tabel 6. Nilai Stress**

	Nilai
Stress	0,01804
$R^2$	0,99962

Berdasarkan pada tabel di atas, diperoleh nilai Stress sebesar 0,01804 atau sebesar 1,804% yang artinya bahwa model atau hasil pengelompokan memiliki nilai kesesuaian yang sempurna. Nilai  $R^2$  sebesar 0,99962 atau sebesar 99,962% yang artinya bahwa semakin mendekati 100 nilai  $R^2$  maka akan menunjukkan model atau kesesuaian yang sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa model/pengelompokan sudah sempurna dan sudah layak digunakan.

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan penelitian, diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Nilai minimal variabel pengeluaran perkapita di Jawa Timur tahun 2022 sekitar 8944 sampai 18.345 dengan rata-ratanya 1184 serta standar deviasinya 2.208, nilai RLS di provinsi jawa timur tahun 2022 adalah 5,060 sampai 11,670 dengan rata-ratanya 8,262 dan standar deviasinya 1,602 sedangkan untuk nilai AHH di jawa timur tahun 2022 adaalah 67,290 sampai 74,540 dengan rata-rata 72,069 dan standar deviasi 1.941.
2. Terdapat empat kelompok memiliki kemiripan antar anggotanya tetapi berbeda dengan kelompok lainnya. Kelompok 1 terdiri dari Kabupaten Sidoarjo, Kota Mojokerto, Kota Blitar, Kota Pasuruan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Mojokerto, Kota Batu, Kota Probolinggo, Kabupaten Nganjuk, Kota Kediri. Kelompok 2 terdiri dari Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Magetan, Kabupaten Madiun, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Jombang, Kabupaten Kediri, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Tuban Sedangkan pada kelompok 3 terdiri dari Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Malang, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Jember, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Pacitan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep. Dan kelompok 4 terdiri dari Kota Surabaya, Kota Malang, dan Kota Madiun.
3. Nilai Stress yang diperoleh dalam perhitungan diatas adalah 0,01804 atau 1,804% dengan kesimpulan bahwa model atau hasil pengelompokkan memiliki nilai kesesuaian yang sempurna. Nilai  $R^2$  sebesar 0,99962 atau sebesar 99,962% yang dapat disimpulkan bahwa semakin mendekati 100 nilai  $R^2$  maka akan menunjukkan model atau kesesuaian yang sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa model/pengelompokkan sudah sempurna dan sudah layak digunakan.
4. Karakteristik kelompok 4 yang berisi Kota Surabaya, Kota Malang, dan Kota Madiun menonjol dengan pengeluaran per kapita, rata-rata lama sekolah, dan angka harapan hidup lebih tinggi dibanding kelompok lain. Ini disebabkan oleh kemajuan kota-kota tersebut dalam infrastruktur pendidikan, pelayanan kesehatan yang memadai, dan fasilitas umum yang baik. Meskipun angka harapan hidup relatif sama dengan kelompok lain, ketiga kota tersebut menciptakan lingkungan yang nyaman dan mendukung perkembangan sosial dan ekonomi. Kelompok 3 memiliki karakteristik pengeluaran perkapita paling rendah dibanding kelompok lain. Kelompok 2 memiliki karakteristik rata-rata lama sekolah rendah kedua dibanding kelompok lain. Kelompok 1 memiliki karakteristik pengeluaran perkapita tertinggi kedua dibanding kelompok lain.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Badan Pusat Statistik, yang telah menyediakan data penelitian dan Universitas Airlangga Surabaya yang telah memberikan fasilitas untuk penulisan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] I. L. S. Si'lang, Z. Hasid, and Priyagus, "Analysis of factors that influence the human development index," *J. Manaj.*, vol. 11, no. 2, pp. 159–169, 2019.
- [2] R. S. Nasution, "Analisis Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Jumlah Tenaga Kerja Ekonomi Kreatif, dan Upah Pekerja Ekonomi Kreatif Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kreatif Di Indonesia," *J. Ilm. Mhs. FEB*, 2020.
- [3] M. Ikhsan and F. H. Basri, "Tinjauan Tahunan Perekonomian Indonesia," vol. XLI, 1994.
- [4] N. I. D. Gustyarini, "Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Kesejahteraan Masyarakat Di Provinsi Jawa Tengah," pp. i–78, 2019.
- [5] M. Muqorrobin and A. Soejoto, "Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia (Ipm) Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Jawa Timur," *J. Pendidik. Ekon.*, vol. 5, no. 3, p. 6, 2017.
- [6] T. A. Salsabila and L. Wachidah, "Analisis Multidimensional Scaling pada Pemetaan Kabupaten/Kota di Jawa Barat Berdasarkan Indikator Kesejahteraan Rakyat," *Bandung Conf. Ser. Stat.*, vol. 2, no. 2, pp. 173–179, 2022, doi: 10.29313/bcss.v2i2.3701.
- [7] Badan Pusat Statistik, "Berita Resmi Statistik Tahun 2022," no. 62, pp. 1–8, 2022.
- [8] M. Paizal, S. Sahrul, and U. S. Sukmawati, "Analisis Indeks Pembangunan Manusia (Ipm) Terhadap Kemiskinan Di Kalimantan Barat," *JIEF J. Islam. Econ. Financ.*, vol. 1, no. 2, pp. 41–51, 2021, doi: 10.28918/jief.v1i2.4123.
- [9] R. T. Herman, "Penerapan Model Multidimensional Scaling," *J. WINNERS*, vol. 11, no. 1, pp. 81–93, 2010.
- [10] D. Safitri, "Analisis Multidimensional Scaling Dan Penerapannya Pada Pemetaan Kab / Kota Di Provinsi Sumatera Barat," *J. Math.*, vol. 6, no. 3, pp. 20–25, 2021.
- [11] H. Ula and Manuharawati, "Analisis Posisi Produk Mie Instan Dengan Metode Multidimensional Scaling ( Mds ) Pada Mahasiswa Fmipa Universitas Negeri Surabaya," *J. Ilm. Mat.*, vol. 2, no. 6, pp. 27–32, 2017.
- [12] A. N. Husin, M. S. Paendong, and H. A. H. Komalig, "d ' CartesiaN Analisis Multidimensional Scaling untuk Data Evaluasi Pembelajaran oleh," 2021.
- [13] B. Everitt and A. C. Rencher, *Methods of Multivariate Analysis.*, vol. 45, no. 4. 1996. doi: 10.2307/2988560.
- [14] P. R. Zain and T. S. Yanti, "Penerapan Multidimensional Scaling terhadap Pengelompokan Provinsi Berdasarkan Indikator Tujuan ke-6 SDGs," *J. Ris. Stat.*, pp. 153–160, 2022, doi: 10.29313/jrs.v2i2.1465.
- [15] D. P. N. S. Hendra Perdana, "Analisis Perbandingan Metode Multidimensional Scaling (Mds) Dan Weighted Multidimensional Scaling (Wmds)," *Bimaster Bul. Ilm. Mat. Stat. dan Ter.*, vol. 8, no. 1, pp. 149–156, 2019, doi: 10.26418/bbimst.v8i1.30870.
- [16] N. Lestari, "Produktivitas Padi di Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Metode

- Multidimensional Scaling (MDS),” Universitas Islam Negeri(UIN) Alauddin, 2017.
- [17] Badan Pusat Statistik, “Indeks Pembangunan Manusia.” [Online]. Available: <https://jatim.bps.go.id/publication/2023/06/16/465a16e477353c14b05da2a4/indeks-pembangunan-manusia-provinsi-jawa-timur-2022.html>

## Pemodelan *Generalized Space Time Autoregressive* untuk Meramalkan Data Inflasi Bulanan di Provinsi Jawa Barat

Hikma Abdia<sup>1</sup>, Tiara Annisa Akhsan<sup>2</sup>, Anisa Kalondeng<sup>3</sup>, Siswanto Siswanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Statistika, Universitas Hasanuddin

<sup>1,2,3,4</sup> Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

Email: [abdiahikma03@gmail.com](mailto:abdiahikma03@gmail.com)<sup>1</sup>, [tiaraannisaakhsan@gmail.com](mailto:tiaraannisaakhsan@gmail.com)<sup>2</sup>, [nkalondeng@gmail.com](mailto:nkalondeng@gmail.com)<sup>3</sup>, [siswanto@unhas.ac.id](mailto:siswanto@unhas.ac.id)<sup>4</sup>

Korespondensi penulis : [siswanto@unhas.ac.id](mailto:siswanto@unhas.ac.id)

### Abstrak

Inflasi adalah penurunan nilai uang akibat kenaikan nilai barang dan jasa secara terus-menerus. Inflasi juga merupakan fenomena ekonomi yang sangat mempengaruhi kehidupan sehari-hari masyarakat dan stabilitas ekonomi sebuah negara. Untuk menjaga stabilitas harga dan pertumbuhan ekonomi, penting untuk memantau dan meramalkan tingkat inflasi. Metode *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) adalah metode yang mampu meramalkan tingkat inflasi dengan melibatkan keterkaitan antar lokasi dan waktu. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data inflasi 7 kota di Jawa Barat yaitu Kota Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya pada bulan Januari 2018 hingga Desember 2022. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh model dan hasil peramalan GSTAR terbaik berdasarkan data inflasi di tujuh kota di Jawa Barat. Berdasarkan hasil penelitian model GSTAR  $(1_1)I(1)$  nilai MSE dan nilai MAPE data komposit 80:20 pada data training yaitu 0.12% dan 12.20%, dan diperoleh hasil peramalan enam kota relatif naik dan satu kota mengalami penurunan. Sehingga model terbaik untuk data inflasi tujuh kota di Jawa Barat yaitu model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dengan bobot lokasi seragam.

**Kata Kunci:** *Generalized Space Time Autoregressive*, Inflasi, MAPE, MSE

### Abstract

*Inflation is the decline in the value of money due to the continuous increase in the value of goods and services. Inflation is also an economic phenomenon that greatly affects people's daily lives and the economic stability of a country. To maintain price stability and economic growth, it is important to monitor and forecast the inflation rate. The Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) method is a method that is able to forecast inflation rates involving interrelationships between location and time. The data used in this study is inflation data for 7 cities in West Java, namely Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi and Tasikmalaya in January 2018 to December 2022. This purpose of this study is to obtain the*

best GSTAR model and forecasting results based on inflation data in seven cities in West Java. Based on the research results, the GSTAR ( $\mathbf{1}_1$ )I(1) model, the MSE value and MAPE value of the 80:20 which is 0.12% and 12.20%, and the forecast results obtained for six cities relatively increased and one city experienced a decline. So that the best model for inflation data of seven cities in West Java is the GSTAR ( $\mathbf{1}_1$ )I(1) model with uniform location location weights.

**Keywords:** Generalized Space Time Autoregressive, Inflation, MAPE, MSE

## 1. Pendahuluan

Inflasi dapat diartikan sebagai penurunan nilai mata uang berdasarkan nilai total barang dan jasa. Hal tersebut disebabkan oleh fakta bahwa inflasi adalah suatu tren kenaikan harga barang dan jasa yang berlangsung secara konsisten [1]. Inflasi juga merupakan fenomena ekonomi yang sangat mempengaruhi kehidupan sehari-hari masyarakat dan stabilitas ekonomi sebuah negara [2]. Berdasarkan 82 kota yang digunakan untuk menghitung inflasi negara, Jawa Barat termasuk provinsi yang paling informatif, karena memiliki tujuh kota yaitu Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya yang memberikan tunjangan inflasi daerah untuk membentuk inflasi negara. Oleh karena itu, Jawa Barat merupakan salah satu provinsi yang berpengaruh signifikan terhadap laju inflasi negara [3]. Guna menciptakan kebijakan moneter dan fiskal yang tepat untuk menjaga stabilitas harga dan pertumbuhan ekonomi, maka penting untuk memantau dan meramalkan tingkat inflasi di kota-kota tersebut [4].

Model yang paling umum digunakan dalam peramalan adalah model *time series*, model yang memperhatikan data sebelumnya secara berurutan pada interval waktu yang sama seperti harian, mingguan, bulanan, atau tahunan. Model *Space Time Autoregressive* (STAR) umumnya digunakan untuk menghubungkan deret waktu dengan lokasi [5]. Akan tetapi, model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) adalah perkembangan dari model STAR karena parameter *autoregressive* diasumsikan memiliki nilai yang sama di semua lokasi [6]. Model GSTAR lebih fleksibel dibandingkan model STAR, karena parameter *autoregressive* yang dihipotesiskan mempunyai lokasi yang berbeda, sehingga cocok untuk lokasi dengan karakteristik heterogen [7].

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gama (2017) yang membandingkan efektivitas model STAR dan GSTAR dalam meramalkan tingkat inflasi di wilayah Dumai, Pekanbaru, dan Batam. Hasilnya menunjukkan bahwa model STAR memiliki nilai (1,1) dan GSTAR memiliki nilai (1,1) berdasarkan perhitungan MAE dan RMSE yang berarti ramalan inflasi Kota Batam lebih baik dengan bobot korelasi silang normalisasi STAR. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Talungke, Nainggolan dan Hatidja (2015) menganalisis data inflasi menggunakan model GSTAR pada tiga lokasi yang berbeda. Penelitian tersebut menemukan bahwa model GSTAR yang dihasilkan mampu memprediksi data inflasi di ketiga kota tersebut dengan cukup baik.

Permasalahan utama dengan model GSTAR adalah penentuan dan pemilihan bobot lokasi. Pada model inflasi GSTAR pembobot lokasi invers jarak dapat digunakan. Hal tersebut diperoleh dengan normalisasi nilai-nilai jarak invers antar lokasi. Oleh

karena itu, dengan menggunakan bobot lokasi *invers* jarak 7 lokasi di Jawa Barat yaitu Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya, diharapkan model ini menghasilkan model GSTAR terbaik yang menggambarkan keterkaitan waktu dan lokasi dengan memperhatikan nilai kesalahan peramalan terkecil [8].

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi Badan Pusat Statistik. Penelitian ini menggunakan data Inflasi tujuh kota di Jawa Barat yaitu Kota Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya. Data yang diambil merupakan data pada periode Januari 2018 hingga Desember 2022. Penelitian ini menerapkan model GSTAR dengan pembobot lokasi seragam. Langkah-langkah berikut diambil untuk menganalisis data dalam penelitian ini:

### 1) Statistik Deskriptif

Analisis ini bertujuan untuk menyajikan gambaran umum tentang perubahan harga-harga di berbagai sektor ekonomi pada kota-kota di Jawa Barat serta memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi inflasi di tingkat lokal. Analisis ini juga mendukung perumusan kebijakan ekonomi yang lebih efektif dan berkelanjutan. Dengan demikian, analisis ini tidak hanya merinci data inflasi secara terperinci namun juga memberikan kontribusi pada pemahaman yang lebih luas terkait dinamika ekonomi di wilayah tersebut.

### 2) Menghitung Koefisien Korelasi Antar Lokasi

Hubungan inflasi antar lokasi diukur dengan koefisien korelasi. Dua variabel dianggap saling berkorelasi apabila terjadi perubahan pada salah satu variabel yang diikuti oleh perubahan yang teratur menuju arah positif atau negatif. Koefisien korelasinya berkisar dari -1 hingga 1. Jika  $\rho = 0$ , maka tidak ada korelasi antara dua lokasi. Jika  $\rho < 0$ , maka terdapat korelasi negatif antara dua lokasi, sedangkan jika  $\rho > 0$ , maka terdapat korelasi positif antara dua lokasi. Adanya korelasi yang sempurna ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi mendekati satu [9].

### 3) Memeriksa Heterogenitas Spasial

Indeks gini pertama kali diperkenalkan oleh seorang statistikawan Italia, yaitu Corrado Gini (1884-1965) dengan tujuan untuk mempelajari keragaman diberbagai lokasi. Indeks Gini merupakan suatu koefisien yang menunjukkan sejauh mana distribusi homogen. Penggunaan Indeks Gini dilakukan untuk membandingkan perubahan baik antar periode waktu maupun antar lokasi. Statistik uji indeks gini terdapat pada persamaan (1).

$$G = 1 + \frac{1}{T} - \frac{2}{T^2 \bar{Z}} x \sum_{t=1}^n Z_i(t) \quad \#(1)$$

Jika  $Z_i$  adalah nilai pengamatan pada lokasi ke-  $i$ ,  $\bar{Z}_i(t)$  adalah nilai rata-rata, dan  $T$  merupakan total jumlah pengamatan. Jika nilai indeks gini adalah 1 maka  $H_0$  ditolak [10].

#### 4) Memeriksa Kestasioneran Data Tiap Lokasi

Tujuan dari memeriksa kestasioneran data tiap lokasi adalah untuk menentukan apakah koefisien tertentu dalam model *Vector Autoregressive* (VAR) yang diramalkan memiliki nilai yang sama dengan satu atau tidak. Salah satu metode yang digunakan adalah uji *augmented Dickey-Fuller* (ADF), yang dapat memberikan informasi tentang stasioneran data dengan kriteria keputusan pada taraf signifikansi  $(1 - \alpha)100\%$  [11]. Dengan mengimplementasikan uji ini, penelitian ini berusaha untuk memvalidasi kecocokan model VAR dengan data empiris di berbagai lokasi, sehingga dapat memberikan dasar yang kuat untuk analisis dan interpretasi hasil ramalan.

#### 5) Mengidentifikasi Orde Model GSTAR

Ordo *autoregressive* dan ordo spasial digunakan dalam model GSTAR. Penentuan orde spasial hanya terbatas pada orde spasial satu, karena penginterpretasian orde spasial lebih dari satu sulit dilakukan. Namun, modFel VAR(p) dengan nilai AIC terkecil dapat digunakan untuk menentukan orde *autoregressive* [12].

#### 6) Menghitung Bobot Lokasi Model GSTAR

Bobot lokasi yang baik adalah ketika model dengan memiliki kesalahan prediksi yang kecil. Nilai pembobot harus memenuhi syarat  $w_{ij}^k = 0$  dan  $\sum_{i \neq j} w_{ij}^k = 1; i = 1, 2, \dots, N$ . Pembobot lokasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu bobot lokasi seragam. Matriks pembobotnya dapat didefinisikan pada persamaan (2) [13].

$$W = [w_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N2} & w_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad \#(2)$$

#### 7) Mengestimasi Parameter Model GSTAR

Metode kuadrat terkecil atau yang dikenal sebagai *Least Square Method* (LSM), merupakan pendekatan yang efektif untuk mengestimasi parameter dalam model *autoregressive* GSTAR. Model ini dapat dijelaskan sebagai suatu model linier yang mencerminkan hubungan antara variabel-variabel yang terlibat. Dengan menggunakan LSM, vektor parameter dapat diestimasi dengan meminimalkan jumlah kuadrat dari selisih antara nilai observasi aktual dan nilai yang diprediksi oleh model. Proses estimasi parameter ini dapat didefinisikan secara matematis pada persamaan (3), yang memberikan dasar bagi penentuan nilai-nilai parameter yang optimal untuk mencapai kesesuaian terbaik antara model dan data observasional [14]

$$\bar{\beta} = [X'X]^{-1}X'Y \quad \#(3)$$

8) Menguji kelayakan model

Uji kelayakan model dilakukan setelah melakukan estimasi parameter untuk model GSTAR. Uji dilakukan dengan menggunakan uji asumsi *white noise*, di mana uji *Ljung-Box* dipilih sebagai metode evaluasi. Proses pengujian menggunakan statistik uji *Ljung-Box Pearce* yang dapat ditemukan pada persamaan (4) [15]. Hasil dari uji ini menjadi kunci dalam menilai sejauh mana model GSTAR mampu menggambarkan keadaan *white noise* yang diinginkan, memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait validitas dan kehandalan model yang telah diestimasi.

$$Q = n(n + 2) \sum_{k=1}^K \frac{\rho_k^2}{n - k} \quad \#(4)$$

dengan,

$Q$  : Statistik uji *Ljung Box Pearce*

$n$  : Banyak data

$K$  : Banyak lag yang diuji

9) Menentukan Model GSTAR Terbaik

Pentingnya nilai akurasi dalam peramalan menjadi kriteria utama dalam menilai dan memilih metode yang paling optimal. Dalam menentukan model terbaik untuk *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR), digunakanlah dua parameter utama, yaitu *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Kedua ukuran kesalahan peramalan ini menjadi penentu utama dalam memilih model GSTAR yang memberikan hasil yang paling akurat dan dapat diandalkan. Dengan memperhatikan nilai-nilai tersebut, dapat dipastikan bahwa penilaian terhadap akurasi peramalan menjadi langkah kritis dalam mengevaluasi dan meningkatkan metode peramalan yang digunakan.

a) *Mean Square Error* (MSE)

Keakuratan nilai estimasi model dapat diukur melalui bentuk kesalahan kuadrat rata-rata yang dihitung menggunakan *Mean Squared Error* (MSE). Proses penghitungan kesalahan ini melibatkan langkah-langkah seperti pengkuadratan setiap nilai kesalahan, penjumlahan hasil pengkuadratan, dan pembagian total kesalahan dengan jumlah pengamatan. Persamaan matematis yang merepresentasikan proses ini dapat ditemukan pada persamaan (5). Dengan menggunakan MSE, kita dapat menggambarkan sejauh mana model memberikan estimasi yang akurat dengan mempertimbangkan seluruh data pengamatan [15].

$$MSE = \frac{\sum e_i^2}{n} = \frac{\sum (Z_i - F_i)^2}{n}; i = 1, 2, \dots, n \quad \#(5)$$

dengan

$n$  : Jumlah periode waktu data

$e_i$  : Kesalahan pada periode waktu ke- $i$

$Z_i$  : Data pada periode waktu ke-  $i$

$F_i$  : Ramalan untuk periode waktu ke-  $i$

b) *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Tingkat akurasi estimasi model, yang diukur sebagai bentuk rata-rata persentase absolut kesalahan, dapat dihitung dengan menggunakan MAPE. Untuk membandingkan data dalam konteks interval waktu yang berbeda digunakan MAPE. Ekspresi matematis dari perhitungan ini dapat dijabarkan secara detail dalam persamaan (6). Metode ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang seberapa baik model mampu memberikan estimasi yang akurat dalam mengatasi variasi data pada berbagai interval waktu [15].

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|e_i|}{Z_i} \times 100\%}{n} = \frac{\sum \frac{|Z_i - F_i|}{Z_i} \times 100\%}{n}; i = 1, 2, \dots, n \quad \#(6)$$

dengan

$n$  : Jumlah periode waktu data

$e_i$  : Kesalahan pada periode waktu ke- $i$

$Z_i$  : Data pada periode waktu ke-  $i$

$F_i$  : Ramalan untuk periode waktu ke-  $i$

10) Melakukan Peramalan Berdasarkan Model GSTAR Terbaik

11) Menarik Kesimpulan

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Statistik Deskriptif

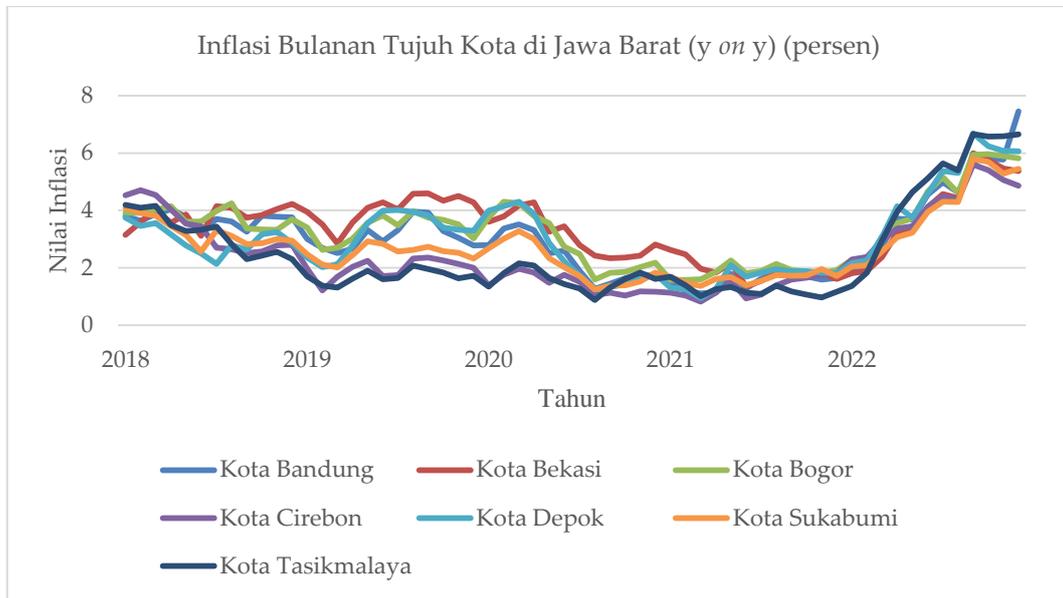
Analisis deskriptif data inflasi bulanan dilakukan dengan tujuan memberikan pemahaman menyeluruh mengenai tingkat inflasi yang terjadi di beberapa kota di Jawa Barat, yaitu Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi, dan Tasikmalaya.

**Tabel 3.1 Statistik Deskriptif Data Inflasi Bogor, Sukabumi, Bandung, Cirebon, Bekasi, Depok, dan Tasikmalaya**

Kota	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation
Bandung	1.11	7.45	3.01	1.32
Bekasi	1.35	6.00	3.37	1.13
Bogor	1.58	5.96	3.25	1.17
Cirebon	0.82	5.60	2.43	1.28
Depok	0.95	6.68	3.01	1.36
Sukabumi	1.25	5.79	2.70	1.10
Tasikmalaya	0.88	6.66	2.49	1.60

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa sepanjang bulan Januari 2018-Desember 2022, Kota Bandung merupakan kota dengan inflasi tertinggi diantara enam kota lainnya yaitu sebesar 7.45%. Kota Depok, Tasikmalaya, Bekasi, Bogor, dan Sukabumi berturut-turut mempunyai tingkat inflasinya sebesar 6.68%, 6.66%, 6.00%, 5.96%, dan 5.79%. Sedangkan

Kota Cirebon merupakan kota dengan *fluktuasi* inflasi paling rendah dibandingkan tujuh kota lainnya sebesar 5.60%. Kota yang rata-rata inflasinya tertinggi adalah Kota Bekasi sebesar 3.37%, dan terendah adalah Kota Cirebon sebesar 2.43%.



**Gambar 3.1 Grafik Inflasi Tahunan 7 Kota di Jawa Barat**

Kesamaan pola inflasi yang tergambar pada gambar 3.1 mencerminkan tren serupa di Kota Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi, dan Tasikmalaya. Analisis terhadap grafik tersebut menunjukkan adanya konsistensi dalam pola inflasi tahunan di ketujuh kota tersebut. Hal ini tidak hanya mencerminkan kesamaan karakteristik ekonomi setiap kota, tetapi juga memberikan bukti yang kuat tentang keterkaitan erat di antara mereka. Keseluruhan pola inflasi yang seragam ini memperkuat pandangan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi inflasi di ketujuh kota tersebut saling terkait dan memperlihatkan integrasi ekonomi yang signifikan di wilayah tersebut.

### 3.2 Uji Korelasi

Nilai korelasi antar lokasi, yang mencerminkan seberapa besar hubungan antara satu lokasi dengan lokasi lainnya, dapat dilihat dalam Tabel 3.2. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas tentang sejauh mana keterkaitan antar lokasi tersebut. Korelasi ini menjadi indikator penting dalam memahami pola hubungan spasial antar lokasi yang terdapat dalam data. Dengan melihat nilai korelasi antar lokasi, kita dapat mengidentifikasi sejauh mana pengaruh atau interaksi yang mungkin terjadi di antara berbagai lokasi, memberikan wawasan yang berharga dalam konteks analisis spasial.

**Tabel 3.2 Korelasi Antar Lokasi**

	Bandung	Bekasi	Bogor	Cirebon	Depok	Sukabumi	Tasikmalaya
Bandung	1	0.89	0.96	0.87	0.92	0.95	0.89
Bekasi	0.88	1	0.90	0.67	0.84	0.82	0.67
Bogor	0.95	0.90	1	0.83	0.94	0.95	0.84

Cirebon	0.87	0.67	0.83	1	0.79	0.93	0.94
Depok	0.91	0.84	0.94	0.79	1	0.92	0.81
Sukabumi	0.95	0.82	0.95	0.93	0.92	1	0.93
Tasikmalaya	0.88	0.68	0.83	0.94	0.81	0.93	1

Tabel 3.2 menggambarkan tingkat korelasi yang tinggi antara lokasi-lokasi yang terjangkau, dengan nilai korelasi antar ketujuh kota tetap berada di atas 0.6. Terdapat korelasi yang mencolok antara Sukabumi-Bogor dan Bandung-Sukabumi, mencapai 0.95, yang menandakan adanya hubungan antar lokasi. Fenomena ini memberikan gambaran bahwa hubungan antara Sukabumi-Bogor dan Bandung-Sukabumi memiliki perbedaan yang substansial, memperkuat observasi mengenai tingginya tingkat korelasi antar lokasi terjangkau dalam analisis ini.

### 3.3 Heterogenitas Lokasi

Uji heterogenitas lokasi adalah salah satu asumsi yang mendasari pemodelan GSTAR. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, salah satu syarat analisis model GSTAR adalah memiliki karakteristik lokasi yang bersifat heterogen. Dengan demikian, dalam memeriksa heterogenitas suatu lokasi dapat dilakukan dengan menggunakan indeks gini. Nilai indeks gini berkisar dari 0 hingga 1, semakin tinggi nilainya maka lokasi penelitian semakin beragam. Nilai Indeks gini disajikan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Nilai Indeks Gini**

Kota	Indeks Gini
Bandung	1
Bekasi	1
Bogor	1
Cirebon	1
Depok	1
Sukabumi	1
Tasikmalaya	1

Berdasarkan informasi yang terdapat pada Tabel 3.3, dapat disimpulkan bahwa nilai indeks Gini sebesar 1. Hal ini mengindikasikan bahwa data secara keseluruhan memenuhi asumsi model GSTAR, yang menunjukkan karakteristik lokasi yang heterogen di setiap lokasi pengamatan. Hasil ini memberikan gambaran bahwa distribusi nilai pada variabel yang diamati memiliki tingkat ketidaksetaraan yang tinggi, yang sesuai dengan karakteristik yang diharapkan oleh model GSTAR.

### 3.4 Kestasioneran Data

Pemodelan *time-series* dapat diterima jika data yang digunakan memenuhi persyaratan stasioner. Uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF) dapat digunakan untuk menguji stasioneritas data dalam rata-rata. Kriteria uji ADF adalah bahwa data dikatakan stasioner jika *p-value* kurang dari  $\alpha$ . Hasil uji ADF dengan  $\alpha = 0.05$  menunjukkan bahwa data tidak stasioner, sehingga disarankan untuk melakukan proses *differencing* 1. Setelah proses *differencing* 1 selesai, data diuji kembali dengan uji ADF yang dapat dilihat pada Tabel 3.4

**Tabel 3.4 Uji ADF**

Kota	Dickey-Fuller	p-value
Bandung	-4.21	0.01
Bekasi	-3.96	0.02
Bogor	-3.9	0.02
Kota	Dickey-Fuller	p-value
Cirebon	-4.11	0.01
Depok	-5.32	0.01
Sukabumi	-3.87	0.02
Tasikmalaya	-3.66	0.04

Dari hasil analisis pada Tabel 3.4, dapat disimpulkan bahwa uji stasioneritas data inflasi di setiap lokasi penelitian menghasilkan hasil yang menunjukkan sifat stasioner. Artinya, data inflasi pada setiap lokasi penelitian cenderung stabil dan tidak mengalami tren signifikan seiring waktu. Hasil ini memberikan dasar yang kuat untuk interpretasi lebih lanjut terkait perilaku dan karakteristik inflasi di wilayah-wilayah tersebut, memperkuat keandalan data yang digunakan dalam penelitian ini.

### 3.5 Pemilihan Orde Model GSTAR

Identifikasi orde model VAR ditentukan oleh panjang lag yang optimal. Nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC) digunakan untuk menentukan kriteria panjang lag terbaik. Nilai AIC terkecil pada berbagai lag digunakan untuk menentukan orde model terbaik untuk GSTAR. Nilai AIC disajikan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Nilai AIC Pada Model VAR

Lag	AIC
1	-18.30
2	-18.13
3	-18.29

Dari hasil analisis pada Tabel 3.5, dapat disimpulkan bahwa nilai AIC terendah terdapat pada lag pertama, mengindikasikan bahwa orde model *autoregressive* GSTAR adalah 1. Hal ini menggambarkan bahwa model GSTAR yang diperoleh adalah GSTAR  $(1_1)I(1)$  sesuai dengan hasil penilaian AIC. Dengan demikian, keputusan untuk mengadopsi orde *autoregressive* 1 pada model GSTAR didukung oleh nilai AIC yang paling rendah, memvalidasi kecocokan dan ketepatan model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dalam menggambarkan data yang ada.

### 3.6 Bobot Lokasi Pada Model GSTAR

Bobot lokasi seragam diberikan pada setiap lokasi yang berdekatan dengan  $i$ . Bobot lokasi seragam umumnya cocok untuk data yang memiliki jarak antar lokasi yang seragam atau homogen. Dengan menggunakan persamaan  $W_{ij} = \frac{1}{n_i}$ , maka hasil perhitungan bobot lokasi seragam dapat dilihat pada persamaan (3.1).

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 0 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 0 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 0 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 0 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \quad \#(3.1)$$

### 3.7 Estimasi Model GSTAR

Metode kuadrat terkecil dapat digunakan untuk menghitung estimasi setiap parameter dalam model *autoregressive* GSTAR, yang dilakukan dengan meminimalkan jumlah residual kuadrat digambarkan sebagai model linier. Estimasi dari vektor parameter dengan metode *Least Square* dapat didefinisikan pada persamaan (2.3) [14]. Hasil estimasi tersebut dapat dilihat pada tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Estimasi Parameter GSTAR  $(1_1)I(1)$  Dengan Bobot Lokasi Seragam**

Parameter	Estimasi
$\phi_{10}^1$	0.62
$\phi_{10}^2$	0.76
$\phi_{10}^3$	0.60
$\phi_{10}^4$	0.83
$\phi_{10}^5$	0.76
$\phi_{10}^6$	0.97
$\phi_{10}^7$	0.86
$\phi_{11}^1$	0.43
$\phi_{11}^2$	0.19
$\phi_{11}^3$	0.41
$\phi_{11}^4$	0.10
$\phi_{11}^5$	0.31
$\phi_{11}^6$	0.01
$\phi_{11}^7$	0.07

Pada Tabel 3.6, terdapat penjelasan mengenai hasil estimasi parameter model GSTAR yang menggunakan bobot lokasi yang seragam. Model GSTAR dengan persamaan  $(1_1)I(1)$  diterapkan pada data inflasi bulanan di berbagai kota, termasuk Kota Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi, dan Tasikmalaya. Untuk membentuk model ini, digunakan matriks pembobot seragam yang dijelaskan pada persamaan (3.2). Penelitian ini mencerminkan upaya untuk menggambarkan dan menganalisis pola inflasi di kawasan tersebut dengan mempertimbangkan faktor-faktor

yang terkait, yang tercermin dalam hasil estimasi parameter yang terdokumentasi dalam tabel tersebut.

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ Z_3(t) \\ Z_4(t) \\ Z_5(t) \\ Z_6(t) \\ Z_7(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.62 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.60 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.83 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.76 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.97 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.86 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ Z_3(t-1) \\ Z_4(t-1) \\ Z_5(t-1) \\ Z_6(t-1) \\ Z_7(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.43 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.41 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.31 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.07 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 & 0.17 \\ 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ Z_3(t-1) \\ Z_4(t-1) \\ Z_5(t-1) \\ Z_6(t-1) \\ Z_7(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1(t) \\ e_2(t) \\ e_3(t) \\ e_4(t) \\ e_5(t) \\ e_6(t) \\ e_7(t) \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Contoh model persamaan GSTAR  $(1_1)I(1)$  dengan bobot lokasi seragam di Kota Bogor

$$\begin{aligned} Z_1(t) = & 0.62Z_1(t-1) + 1.04Z_2(t-1) + 1.04Z_3(t-1) + 1.04Z_4(t-1) \\ & + 1.04Z_5(t-1) + 1.04Z_6(t-1) + 1.04Z_7(t-1) + e_1(t) \end{aligned}$$

Berdasarkan model diatas diperoleh pengaruh inflasi dari satu kota ke kota lain mempunyai bobot yang seragam. Artinya naik atau turunnya inflasi di suatu kota mempunyai pengaruh yang sama terhadap perubahan tingkat inflasi di kota-kota lain. Dengan differensiasi sekali, model ini membantu dalam mengeksplorasi perubahan jangka pendek dalam inflasi, sehingga memberikan informasi tentang bagaimana perubahan inflasi dari bulanan di setiap lokasi dapat mempengaruhi perubahan inflasi di lokasi lain, dengan bobot yang sama pada setiap lokasi.

### 3.8 Uji Kelayakan Model

Model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dianggap cocok untuk penggunaan apabila nilai residualnya memperlihatkan sifat *white noise*. Keberlanjutan penggunaan model ini sangat tergantung pada ketepatan asumsi bahwa residu tersebut bersifat *white noise*. Untuk memastikan bahwa asumsi tersebut terpenuhi, uji *Ljung Box Pearce* digunakan sebagai metode pengecekan. Uji ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah residu dari model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dapat dianggap sebagai *white noise* atau tidak, sehingga hasilnya dapat memberikan kepercayaan dalam interpretasi dan penggunaan model tersebut. Dengan demikian, penerapan uji *Ljung Box Pearce* menjadi suatu langkah penting dalam mengevaluasi kesesuaian dan kualitas model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dalam konteks analisis data yang dilakukan.

**Tabel 3.7 Uji White Noise**

Bobot Lokasi	P-value	Tanda	Alpha	Keputusan	Kesimpulan
Seragam	0.057	>	0.05	Gagal Tolak H0	Residual memenuhi asumsi <i>white noise</i>

Analisis dari tabel 3.7 menunjukkan bahwa residual model GSTAR  $(1_1)I(1)$  memiliki sifat *white noise*, yang mengindikasikan bahwa tidak terdapat korelasi yang signifikan antara residual tersebut dan model. Temuan ini memberikan implikasi positif, menandakan bahwa model ini dapat dianggap layak digunakan dalam konteks analisis yang dilakukan. Keberadaan *white noise* pada residual menegaskan bahwa tidak ada pola atau informasi yang belum diakomodasi oleh model, memvalidasi kehandalan model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dalam menjelaskan fenomena yang diamati.

### 3.9 Ukuran Kesalahan Model

Pemeriksaan ketepatan model dapat dilakukan melalui perbandingan ukuran kesalahan pada model, yang dapat diamati dari nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada data *training* dan *testing* yang telah diperoleh. Pengujian ini menggunakan komposisi uji 80:20, di mana model dievaluasi dengan menggunakan 80% data untuk pelatihan dan 20% sisanya untuk pengujian. Dengan demikian, proses ini memberikan pemahaman terkait kinerja model dan memungkinkan penilaian yang lebih terhadap keakuratan dan ketepatan prediksi.

**Tabel 3.8 Perbandingan Nilai MSE dan MAPE Data Training dan Testing pada Model GSTAR  $(1_1)I(1)$  dengan komposisi 80:20**

	MSE	MAPE
<i>Training</i>	0.12	12.20
<i>Testing</i>	11.15	60.69

Dari hasil analisis kelayakan model dengan menggunakan komposisi 80:20, terlihat bahwa nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk data *training* lebih kecil dibandingkan dengan data *testing*. Secara spesifik, nilai MSE dan MAPE untuk data *training* masing-masing adalah sebesar 0.12% dan 12.20%. Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki performa yang baik dalam menangani data *training*, namun demikian, perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut untuk memastikan kemampuan generalisasi model terhadap data *testing*.

### 3.10 Peramalan

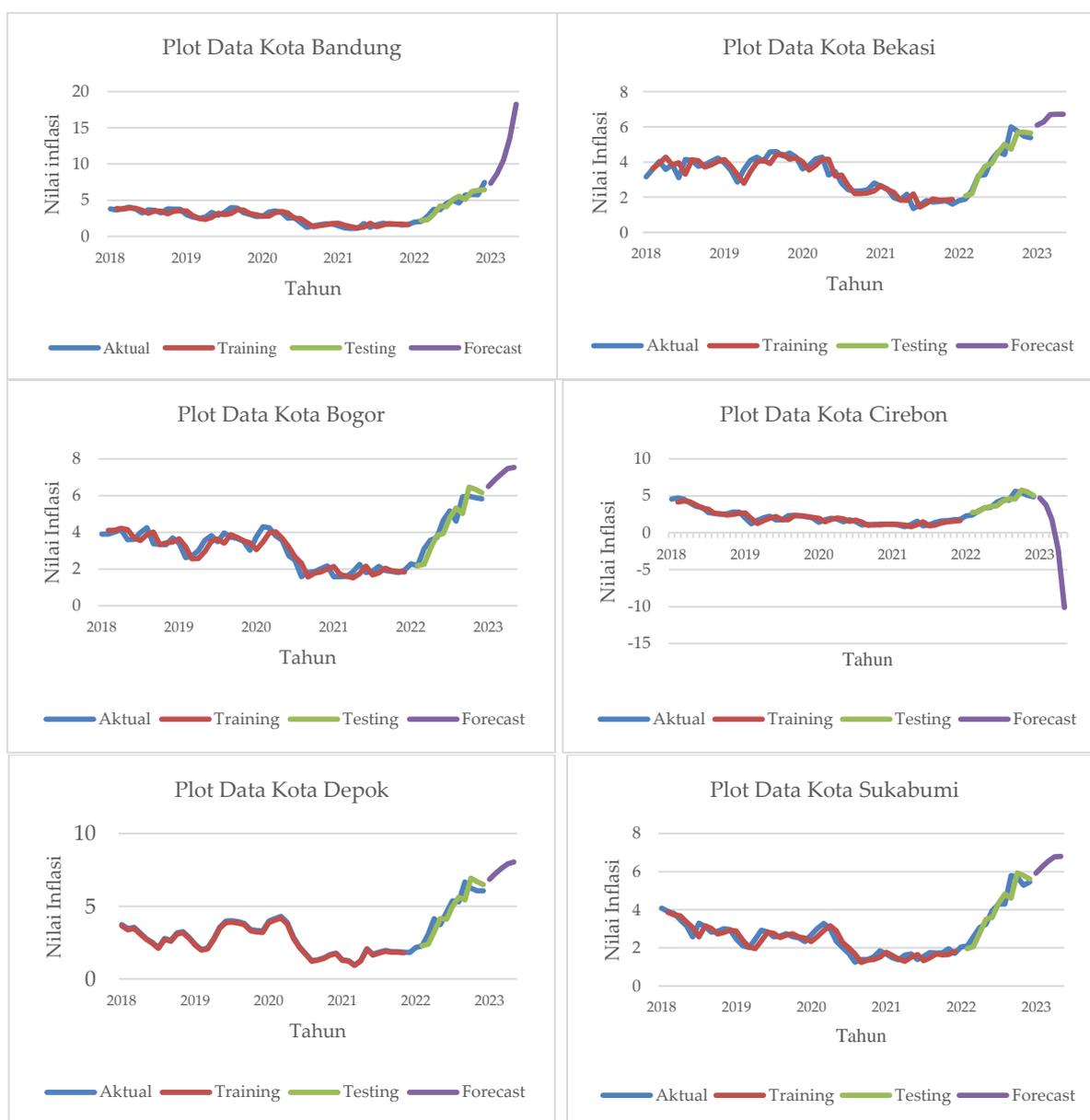
Model terbaik yang telah diperoleh sebelumnya digunakan untuk melakukan peramalan 5 bulan kedepan. Proses perhitungan ini melibatkan metode dan parameter yang telah terbukti efektif dalam prediksi sebelumnya. Hasil peramalan untuk 5 bulan mendatang akan ditampilkan secara rinci pada tabel 3.9, memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur untuk mendukung keputusan dan perencanaan ke depan.

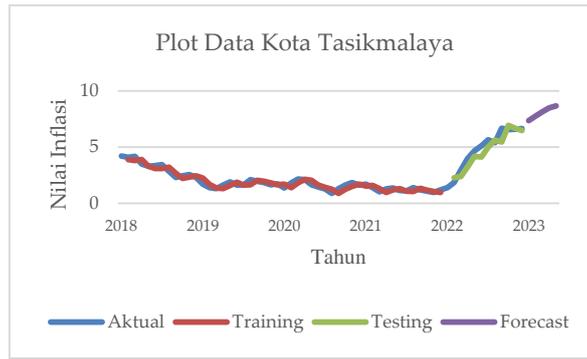
**Tabel 3.9 Nilai Peramalan Inflasi**

Tanggal	Bandung	Bekasi	Bogor	Cirebon	Depok	Sukabumi	Tasikmalaya
01/01/2023	7.34	6.09	6.49	4.69	6.86	5.91	7.34

01/02/2023	8.63	6.29	6.86	3.76	7.26	6.25	7.76
01/03/2023	10.55	6.69	7.19	1.75	7.62	6.54	8.15
01/04/2023	13.51	6.71	7.46	-2.32	7.93	6.78	8.5
01/05/2023	18.26	6.71	7.53	-10.12	8.04	6.8	8.67

Berdasarkan hasil prediksi yang tercantum dalam tabel 3.9, dapat diamati bahwa terjadi peningkatan relatif dalam data inflasi di hampir setiap lokasi, kecuali di Cirebon yang mengalami penurunan. Hal ini lebih terperinci dan terilustrasikan melalui *plot* time series pada gambar 3.2, yang menampilkan hasil ramalan data inflasi untuk tiap lokasi. *Plot* tersebut memberikan gambaran visual yang lebih jelas mengenai tren perubahan inflasi di setiap daerah, memperkuat pemahaman terhadap dinamika ekonomi yang sedang berlangsung.





**Gambar 3.2 Grafik Peramalan Inflasi masing-masing Kota**

Gambar 3.2 menjelaskan grafik perbandingan dari hasil analisis data inflasi kota Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya periode Januari 2018 hingga Desember 2022. Pada grafik, garis biru menggambarkan data aktual, garis merah menggambarkan data *train*, garis hijau menggambarkan hasil peramalan pada data *testing* dan garis ungu menggambarkan hasil peramalan inflasi. Berdasarkan grafik nilai inflasi kota Bandung, Bekasi, Bogor, Depok, Sukabumi dan Tasikmalaya berturut-turut naik sebesar 1.45%, 0.25%, 0.29%, 0.33%, 0.25%, dan 0.3%. Sehingga garis peramalan pada grafik relatif naik. Sedangkan pada grafik kota Cirebon nilai inflasi turun sebesar 3.08% dan dapat dilihat pada grafik garis peramalan menurun secara signifikan selama 5 bulan kedepan.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan grafik data inflasi bulanan mengalami tren turun pada periode akhir tahun 2018 hingga awal tahun 2021, dan setelah itu mengalami fluktuasi yang cukup signifikan pada periode akhir tahun 2021 hingga awal tahun 2022. Dari ketujuh grafik *forecasting* dapat dilihat bahwa inflasi bulanan, enam kota relatif naik dan satu kota mengalami penurunan. Dan diperoleh model terbaik untuk data inflasi 7 kota di Jawa Barat yaitu model GSTAR (1<sub>1</sub>)I(1) dengan bobot lokasi seragam.

Diharapkan bahwa penelitian yang akan datang dapat menggunakan pembobot lain karena berdasarkan MAPE model kurang baik digunakan, diharapkan meningkatkan keakuratan peramalan dengan memasukkan data inflasi bulanan dari tempat lain, melihat jenis pengembangan metode GSTAR seperti GSTAR-X, dan mempertimbangkan perbandingan antara model GSTAR dan metode lain. Selain itu, diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan panduan penting bagi pemerintah untuk mengantisipasi fluktuasi inflasi yang mungkin terjadi, yang akan membantu mereka membuat kebijakan moneter dan fiskal yang lebih tepat dan efisien.

#### Daftar Pustaka

- [1] B. P. Statistik, "Indeks Harga Konsumen (IHK)." [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/subject/3/inflasi.html>
- [2] M. Ingriela Toja Mario, R. Dwi Bekt, and J. Statistka, "Pemodelan Generalized Space Time Autoregressive (Gstar) Untuk Peramalan Tingkat Inflasi Di Pulau Jawa," *J. Stat. Ind. dan Komputasi*, vol. 06, no. 02, pp. 171–184, 2021.

- [3] D. M. Putri, "Analisis Regresi Data Panel untuk Pemodelan Laju Inflasi Tujuh Kota di Provinsi Jawa Barat Tahun 2013-2020," *J. Biotropika*, vol. 2(3), pp. 164–168, 2022.
- [4] A. Hartadi *et al.*, "Musim inflasi di jawa barat dan penyebabnya," vol. 15, no. 43, pp. 115–119, 2019.
- [5] A. Rahim, D. Retno Dwi Hastuti, D. Pradipta, N. Bustanul, and N. Azizah, "The Influence of Respondent Characteristics and Different Areas on Small-Scale Fisherman Household Income of Urban Coastal Areas in," *J. Socioecon. Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–71, 2018.
- [6] R. Handayani, S. Wahyuningsih, and D. Yuniarti, "Pemodelan Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) Pada Data Inflasi di Kota Samarinda dan Kota Balikpapan," *J. Eksponensial*, vol. 9, no. 2, pp. 153–162, 2018.
- [7] Agnesya Risnandar and Anneke Iswani Achmad, "Pemodelan Generalized Space Time Autoregressive untuk Meramalkan Indeks Harga Konsumen," *J. Ris. Stat.*, pp. 43–50, 2023.
- [8] M. A. Masdin and D. Lusiyanti, "Peramalan Menggunakan Model Generalized Space Time Autoregressive ( GSTAR ) untuk Indeks Harga Konsumen di Empat Kota Provinsi Sulawesi Selatan," vol. 14, no. 1, pp. 39–49, 2018.
- [9] M. Andini, "Peramalan curah hujan di DKI Jakarta dengan menggunakan metode generalized space time autoregressive integrated (gstar-i) jurnal ilmiah," *Peramalan curah hujan di DKI Jakarta dengan menggunakan Metod. Gen. Sp. time autoregressive Integr. J. Ilm.*, 2021.
- [10] S. Aufa, R. Santoso, and S. Suparti, "Pemodelan Indeks Harga Properti Residensial Di Indonesia Menggunakan Metode Generalized Space Time Autoregressive," *J. Gaussian*, vol. 11, no. 1, pp. 31–44, 2022.
- [11] D. A. Kusumaningrum and S. P. Palupi, "Analisis Keterkaitan Data Inflasi Antara Provinsi DKI Jakarta dan Jawa Barat Tahun 2014-2021 Menggunakan Metode Vector Autoregressive (VAR)," *Gov. Stat.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [12] V. P. Balqis, E. Kurniati, and O. Rohaeni, "Model Peramalan Data Inflasi dengan Metode Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) pada Tiga Kota di Jawa Barat," *Pros. Mat. Semin. Penelit. Sivitas Akad. Unisba*, pp. 43–50, 2020.
- [13] N. F. Arini, N. M. Huda, and W. Andani, "Perbandingan Matriks Bobot Invers Jarak dan Bobot Seragam pada Model Gstar (1;1) untuk Data Indeks Harga Konsumen (Studi Kasus: Indeks Harga Konsumen di Kalimantan Barat)," *Tensor Pure Appl. Math. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–36, 2023.
- [14] E. Siswanto, H. Yasin, and S. Sudarno, "Pemodelan Generalized Space Time Autoregressive (Gstar) Seasonal Pada Data Curah Hujan Empat Kabupaten Di Provinsi Jawa Tengah," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 4, pp. 418–427, 2019.
- [15] S. S. R. Kharisma, "Implementasi Model Generalized Space Time Autoregressive (Gstar) Dalam Peramalan Data Harga Beras" 2022.

## Implementasi Teori Permainan dalam Penentuan Strategi Pemasaran Produk Roti (Studi Kasus: Toko Roti Kecamatan Medan Selayang)

Perli Pujiana<sup>1</sup> dan Parapat Gultom<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Matematika, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Dr. T. Mansyur No. 9 Padang Bulan, Medan Baru, Kota Medan, 20222  
Email: [pirlipujiana@gmail.com](mailto:pirlipujiana@gmail.com)<sup>1</sup> dan [parapat@usu.ac.id](mailto:parapat@usu.ac.id)<sup>2</sup>  
Korespondensi penulis : [pirlipujiana@gmail.com](mailto:pirlipujiana@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui strategi pemasaran produk roti yang tepat dan menghasilkan keuntungan yang optimum dengan menggunakan Teori Permainan. Data yang digunakan adalah primer yang diperoleh kuesioner dengan cara menggunakan kuesioner. Penelitian ini menggunakan tiga *players* yang akan diteliti yaitu Aroma Bakery & Cake Shop, France Bakery dan Mawar Bakery & Cake Shop. Adapun strategi (variabel) yang akan diteliti yaitu: strategi variasi roti (x1), strategi kualitas produk (x2), strategi harga produk terjangkau (x3), strategi harga produk lebih murah (x4), strategi lokasi strategis (x5), strategi promosi online (x6). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa strategi yang harus digunakan oleh Aroma bakery adalah strategi lokasi strategis (x5), France bakery menggunakan strategi harga produk lebih murah (x4) dan Mawar bakery menggunakan strategi kualitas produk (x2) agar masing-masing toko roti memperoleh keuntungan yang maksimum.

**Kata Kunci:** *Game Theory*, pemasaran produk roti, tiga *Players*.

### Abstract

*This study aims to determine the right bakery product marketing strategy and generate optimum profits by using Game Theory. The Data used is the primary questionnaire obtained by using questionnaires. This study uses three players namely Aroma Bakery & Cake Shop, France Bakery and Mawar Bakery & Cake Shop. The strategies (variables) to be studied are: bread variation strategy (x1), product quality strategy (x2), affordable product pricing strategy (x3), cheaper product pricing strategy (x4), strategic location strategy (x5), online promotion strategy (x6). Based on research that has been done can be concluded that the strategy should be used by Aroma bakery is a strategic location strategy (x5), France bakery using a cheaper product price strategy (x4) and Mawar bakery using product quality strategy (x2) in order for each bakery to obtain maximum profit.*

**Keywords:** *Game Theory*, bakery product marketing, Three *Players*.

## 1. Pendahuluan

Roti merupakan bagian kelompok dari industri makanan, proses produksi roti dilakukan dengan mengolah bahan utamanya yaitu tepung, telur, susu dan mentega. Industri roti memiliki prospek yang tinggi karena roti dapat menjadi pengganti makanan pokok. Roti juga dianggap sebagai makanan yang praktis untuk dikonsumsi karena tidak memerlukan persiapan yang lama dalam penyajiannya [1]. Praktis dan efisiensi waktu merupakan alasan utama konsumen karena tidak mau repot dan terganggu dengan berbagai aktifitas sehari-hari yang sangat padat. Saat ini roti memang menjadi alternatif bagi kebanyakan orang yang mempunyai aktifitas yang padat. Semakin banyaknya industri roti yang semakin berkembang, maka para pelaku usaha pun mulai bersaing untuk menarik para pembeli. Persaingan tersebut terjadi dalam kegiatan pemasaran. Pentingnya menentukan strategi pemasaran produk kepada konsumen juga dapat meningkatkan daya saing yang dimiliki suatu perusahaan [2].

Produk merupakan barang atau sesuatu yang bisa dipasarkan maupun ditawarkan kepada konsumen. Di mana, produk ini mulai dari barang yang bisa dikonsumsi hingga digunakan. Dalam dunia bisnis, konsumen merupakan salah satu faktor dalam mencapai keberhasilan, karena konsumen sebagai pengguna dari suatu produk yang ditawarkan. Oleh karena itu perusahaan memberikan yang terbaik kepada konsumen termasuk dalam hal produk yang akan dipasarkan [3][4]. Setiap perusahaan dituntut untuk mampu mendistribusikan produknya kepada konsumen dengan kuantitas dan waktu yang tepat [5][6].

*Game Theory* merupakan metode pengambilan keputusan optimal yang dikombinasikan dengan model matematika terapan yang bertujuan untuk mengidentifikasi interaksi antara individu atau struktur lain dari berbagai situasi kompetitif yang berbeda [7]. Teori permainan adalah model matematika yang digunakan untuk menganalisis konflik atau kompetisi di mana pihak yang berbeda bertujuan untuk mengoptimalkan strategi mereka [8][9]. Teori permainan dapat diterapkan di berbagai bidang, seperti menganalisis persaingan antar perusahaan di industri seperti pertambangan atau terminal pengiriman [10]. Konsep teori seperti keseimbangan Nash, strategi dominan, dan strategi campuran sangat penting untuk pengambilan keputusan dalam situasi yang kompleks, seperti taktik militer atau penawaran lelang [11].

Berdasarkan penelitian menggunakan teori permainan yang dilakukan oleh [12] hasil yang diperoleh untuk strategi pemasaran terbaik *paid promote* agar mendapatkan keuntungan yang maksimal adalah strategi kualitas konten *paid promote*. Sedangkan untuk strategi pemasaran terbaik *endorsement* agar mendapatkan keuntungan yang maksimal adalah strategi kualitas konten *endorsement*. Strategi murni dari teori permainan juga dilakukan oleh [13] dan dapat mengidentifikasi strategi yang digunakan oleh masing-masing pemain, yaitu rasa strategi untuk roti isi dan strategi ketahanan untuk roti tawar. Dengan mendapatkan hasil yang kompetitif strategi yang optimal, penelitian ini dapat memberikan saran kepada CV. XYZ mengenai strategi untuk mempertahankan daya saing.

Melihat telah banyaknya penelitian terdahulu yang berhasil menentukan strategi optimal untung masing-masing pemain menggunakan teori permainan maka penulis merasa tertarik untuk meneliti menggunakan teori permainan. Yang akan diteliti yaitu

toko roti yang berada di Kota Medan. Karena Kota Medan merupakan salah satu kota metropolitan yang ada di Indonesia maka industri roti pun berkembang pesat di kota ini. Banyak toko roti yang hadir menawarkan berbagai produk roti. Oleh karena itu penulis merasa perlu melakukan penelitian agar setiap masing-masing toko roti dapat menggunakan strategi yang optimal guna mendapat keuntungan yang maksimum.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga *players* yang akan diteliti yaitu Aroma Bakery & Cake Shop, France Bakery dan Mawar Bakery & Cake Shop. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data hasil penilaian responden terhadap toko roti yang diteliti. Data tersebut merupakan data primer yang diperoleh menggunakan kuesioner yang dibagikan kepada konsumen yang berdomisili di kecamatan Medan Selayang. Populasi dari penelitian ini adalah masyarakat medan selayang jumlah sampel yang diamati adalah sebanyak 100 responden. Teknik pengambilan sampel menggunakan *random sampling*. Kemudian uji validitas dan reliabilitas dilakukan terhadap kuesioner yang dibagikan kepada responden.

Adapun strategi (variabel) yang akan diteliti yaitu: strategi variasi roti (x1) (Haniswanto *et al.* 2022), strategi kualitas produk (x2), strategi harga produk terjangkau (x3), strategi harga produk lebih murah (x4), strategi lokasi strategis (x5), strategi promosi online (x6). Penilaian responden dari setiap variabel (strategi) tersebut untuk masing-masing toko roti ditentukan menggunakan skala likert. Setiap pilihan jawaban responden terhadap pertanyaan dalam kuesioner diberi skor atau bobot yang disusun secara bertingkat. Skor yang diberikan pada jawaban dari tiap-tiap pertanyaan adalah 1 (Sangat Tidak Setuju), 2 (Tidak Setuju), 3 (Netral), 4 (Setuju), dan 5 (Sangat Setuju).

Hasil penilaian seluruh responden untuk suatu toko roti akan menjadi nilai perolehan untuk toko roti tersebut pada matriks permainan yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$a_{ij} = x_i, y_j = \frac{p_i \text{ atribut } i - p_j \text{ atribut } j}{\text{jumlah responden}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

$x_i, y_j$  : Alternatif strategi-strategi yang dimiliki masing-masing pemain

$p_i$  : Perolehan minimum dari tiap strategi  $i$  yang dipilih oleh pemain I

$p_j$  : Perolehan minimum dari tiap strategi  $j$  yang dipilih oleh pemain II

$i$  : Nilai ke  $i$  dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$j$  : Nilai ke  $j$  dimana  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  [14].

Matriks *payoff* disusun berdasarkan tabel di bawah ini:

**Tabel 1. Matriks *Payoff***

		PEMAIN 1 (P1)			
		S <sub>21</sub>	S <sub>22</sub>	...	S <sub>2n</sub>
PEMAIN 2 (P2)	S <sub>11</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	...	a <sub>1n</sub>
	S <sub>12</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	...	a <sub>2n</sub>
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	S <sub>1m</sub>	a <sub>1m</sub>	a <sub>2m</sub>	...	a <sub>mn</sub>

Dimana:

$S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2n}$  : pilihan strategi P2 yang akan meminimumkan permainan

$S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}$  : pilihan strategi P1 yang akan memaksimumkan permainan

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{mn}$  : nilai permainan yang diketahui masing-masing pemain.

Adapun langkah-langkah atau prosedur penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Melakukan observasi untuk menentukan kemungkinan-kemungkinan strategi (variabel)
2. Menyusun kuesioner penelitian untuk diajukan kepada responden
3. Membagikan kuesioner kepada responden dan melakukan pengolahan data
4. Melakukan uji validitas dan reliabilitas kuesioner
5. Menyusun matriks permainan
6. Mengimplementasikan *game theory* untuk menentukan strategi penjualan roti (menentukan nilai maksimin dan nilai minimaks)
7. Menentukan strategi optimal
8. Menarik kesimpulan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini penulis menggunakan Permainan Jumlah Nol (Zero-Sum) untuk diimplementasikan guna mengetahui strategi yang tepat untuk mengoptimalkan penjualan produk roti. Strategi yang digunakan untuk menyelesaikan permainan adalah permainan dengan strategi murni. Pemain baris mengidentifikasi strategi optimal melalui kriteria maksimin. Sedangkan, pemain kolom menggunakan kriteria minimaks dalam mengidentifikasi strategi optimalnya. Maksimin berarti nilai yang dicapai harus merupakan maksimum dari minimum baris. Minimaks berarti nilai minimum dari maksimum kolom [15]. Bila nilai minimaks dan maksimin sama maka titik ekuilibrium telah dicapai dan titik ini sering dikenal sebagai titik pelana (*saddle point*). Strategi yang mencapai titik pelana merupakan strategi yang mengoptimalkan hasil penjualan.

Langkah-langkah dalam strategi murni adalah:

- a. Membuat tabel permainan
- b. Mencari nilai minimum tiap
- c. Menentukan nilai maksimin yaitu nilai yang paling besar dari nilai-nilai minimum tiap baris
- d. Mencari nilai-nilai maksimum tiap kolom
- e. Menentukan nilai minimaks yaitu nilai yang paling minimum dari nilai-nilai maksimum tiap kolom
- f. Bila nilai maksimin = minimaks berarti sudah mencapai titik keseimbangan (titik *saddle point*/ titik pelana).

### Analisis Strategi Menggunakan Teori Permainan

Pentingnya strategi penjualan dari masing-masing toko roti dinilai berdasarkan pilihan jawaban responden terhadap kuesioner yang diberikan oleh peneliti. Setiap responden memberikan penilaian terhadap setiap strategi yang ditawarkan. Penilaian kuesioner menggunakan skala likert. Skor terendah mulai 1 (satu) hingga paling tinggi adalah 5

(lima). Jumlah responden sebanyak 100 orang. Jumlah nilai dari masing-masing toko roti diperoleh dengan menjumlahkan seluruh penilaian dari semua responden. Berikut adalah tabel jumlah hasil penilaian responden untuk setiap strategi.

**Tabel 2. Hasil Penilaian Responden**

Strategi	Produk		
	Aroma Bakery	France Bakery	Mawar Bakery
X1	255	240	272
X2	271	259	291
X3	265	270	251
X4	271	295	245
X5	296	293	246
X6	280	240	276

Pemain dalam matriks *payoff* (matriks permainan) dinotasikan sebagai berikut:

P1 = Aroma Bakery

P2 = France Bakery

P3 = Mawar Bakery

**Matriks *Payoff* Aroma Bakery dengan France Bakery**

Menggunakan rumus Pers. (1) diperoleh matriks *payoff* sebagai berikut:

$$a_{ij} = x_{i,y_j} = \frac{p_i \text{ atribut } i - p_j \text{ atribut } j}{\text{jumlah responden}} \times 100\%$$

$$a_{1,1} = x_{i,y_j} = \frac{255-240}{100} \times 100\% = 15$$

$$a_{1,2} = x_{i,y_j} = \frac{255-259}{100} \times 100\% = -4$$

$$a_{1,3} = x_{i,y_j} = \frac{255-270}{100} \times 100\% = -15$$

⋮

$$a_{1,6} = x_{i,y_j} = \frac{255-240}{100} \times 100\% = 15$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3. Matriks *Payoff* Aroma Bakery dan France Bakery**

P1 \ P2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Minimum baris
	X1	15	-4	-15	-40	-38	
X2	31	12	1	-24	-22	31	-24
X3	25	6	-5	-30	-28	25	-30
X4	31	12	1	-24	-22	31	-24
X5	56	37	26	1	3	56	1
X6	40	21	10	-15	-13	40	-15
Maksimum kolom	56	37	26	1	3	56	

Berdasarkan Tabel 3 Matriks *Payoff* untuk Aroma bakery dan France bakery terdapat titik *saddle point* yaitu nilai maksimin (nilai terbesar pada minimum baris) senilai 1 dan nilai minimaks (nilai terkecil pada maksimum kolom) senilai 1, sehingga permainan ini diselesaikan menggunakan strategi murni (*pure strategy*). Strategi yang tepat untuk mengoptimalkan penjualan produk roti bagi Aroma bakery adalah strategi lokasi strategis (x5) dan France bakery menggunakan strategi harga lebih murah (x4) agar mendapatkan penjualan yang optimum.

### Matriks *Payoff* Aroma Bakery dengan Mawar Bakery

Menggunakan rumus Persamaan (1) diperoleh matriks *payoff* sebagai berikut:

$$a_{ij} = x_{i,y_j} = \frac{p_i \text{ atribut } i - p_j \text{ atribut } j}{\text{jumlah responden}} \times 100\%$$

$$a_{1,1} = x_{1,y_1} = \frac{255-272}{100} \times 100\% = -17$$

$$a_{1,2} = x_{1,y_2} = \frac{255-291}{100} \times 100\% = -36$$

$$a_{1,3} = x_{1,y_3} = \frac{255-251}{100} \times 100\% = 4$$

$$\vdots$$

$$a_{1,6} = x_{1,y_6} = \frac{255-276}{100} \times 100\% = -21$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. Matriks *Payoff* Aroma Bakery dan Mawar Bakery**

P1 \ P3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Minimum baris
	X1	-17	-36	4	10	9	-21
X2	-1	-20	20	26	25	-5	-20
X3	-7	-26	14	20	19	-11	-26
X4	-1	-20	20	26	25	-5	-20
X5	24	5	45	51	50	20	5
X6	8	-11	29	35	34	4	-11
Maksimum kolom	24	5	45	51	50	20	

Berdasarkan Tabel 4. Matriks *Payoff* untuk Aroma bakery dan Mawar bakery terdapat titik *saddle point* yaitu nilai maksimin (nilai terbesar pada minimum baris) senilai 5 dan nilai minimaks (nilai terkecil pada maksimum kolom) senilai 5, sehingga permainan ini diselesaikan menggunakan strategi murni (*pure strategy*). Strategi yang tepat untuk mengoptimalkan penjualan produk roti bagi Aroma bakery adalah strategi lokasi strategis (x5) dan Mawar bakery menggunakan strategi kualitas produk (x2) agar mendapatkan penjualan yang optimum.

### Matriks *Payoff* France Bakery dengan Mawar Bakery

Menggunakan rumus Pers. (1) diperoleh matriks *payoff* sebagai berikut:

$$a_{ij} = x_i, y_j = \frac{p_i \text{ atribut } i - p_j \text{ atribut } j}{\text{jumlah responden}} \times 100\%$$

$$a_{1,1} = x_i, y_j = \frac{240-272}{100} \times 100\% = -32$$

$$a_{1,2} = x_i, y_j = \frac{240-291}{100} \times 100\% = -52$$

$$a_{1,3} = x_i, y_j = \frac{240-251}{100} \times 100\% = -11$$

⋮

$$a_{1,6} = x_i, y_j = \frac{240-276}{100} \times 100\% = -36$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5. Matriks *Payoff* France Bakery dan Mawar Bakery**

P2 \ P3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Minimum Baris
	X1	-32	-51	-11	-5	-6	-36
X2	-13	-32	8	14	13	-17	-32
X3	-2	-21	19	25	24	-6	-21
X4	23	4	44	50	49	19	4
X5	21	2	42	48	47	17	2
X6	-32	-51	-11	-5	-6	-36	-51
Maksimum kolom	23	4	44	50	49	19	

Berdasarkan Tabel 5. Matriks *Payoff* untuk France bakery dan Mawar bakery terdapat titik *saddle point* yaitu nilai maksimin (nilai terbesar pada minimum baris) senilai 4 dan nilai minimaks (nilai terkecil pada maksimum kolom) senilai 4, sehingga permainan ini diselesaikan menggunakan strategi murni (*pure strategy*). Strategi yang tepat untuk mengoptimalkan penjualan produk roti bagi France bakery adalah strategi harga produk lebih murah (x4) dan Mawar bakery menggunakan strategi kualitas produk (x2) agar mendapatkan penjualan yang optimum.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa strategi yang harus digunakan oleh Aroma bakery untuk memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan kerugian dalam penjualan produk roti adalah menggunakan strategi lokasi strategis (x5). Untuk France bakery harus menggunakan strategi harga produk lebih murah (x4) agar mendapatkan keuntungan maksimum. Mawar bakery menggunakan strategi kualitas produk (x2) untuk mendapatkan keuntungan signifikan dan meminimumkan kerugian dalam penjualan produknya.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Rahmawati, R. D. Handayani, and W. Fauzzia, "Pengembangan Pemasaran Produk Roti dan Pastry dengan Bauran Pemasaran 4P di Sari Good Bakery," *Jurnal Abdimas BSI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 2, no. 1, pp. 233–243, 2019.
- [2] D. Wijayati and E. Supriyadi, "Aplikasi Teori Permainan dalam Penentuan Strategi Pemasaran Program Studi Teknik Informatika dan Teknik Industri," *E-Jurnal Matematika*, vol. 10, no. 2, pp. 131–136, 2021.
- [3] H. Sabrina, "Pengaruh Marketing Endorser dan Kreativitas dalam Iklan Sepeda Motor Honda terhadap Persepsi Konsumen (Studi pada Masyarakat Lingkungan VI Helvetia Tengah Medan)," *Jurnal PLANS: Penelitian Ilmu Manajemen dan Bisnis*, vol. 11, no. 2, 2016.
- [4] A. Lubis, "Kajian Pemasaran Pengolahan kopi pada Kelompok Usaha Kopi di Desa Toweren Toa Kabupaten Aceh Tengah," *Jurnal, FKBI*, 2017.
- [5] A. Hariati, N. H. Prasetya, and H. Cipta, "The Effectiveness of Clarke Wright and Sequential Insertion Algorithm in Distribution Routing Aqua," *Quadratic: Journal of Innovation and Technology in Mathematics and Mathematics Education*, vol. 1, no. 1, pp. 15–22, 2021, doi: 10.14421/quadratic.2021.011-03.
- [6] A. N. Sari and E. Aryanny, "Analysis of Optimum Marketing Strategy with Game Theory (Case Study: Marketplace Indonesian)," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 4, no. 3, pp. 226–256, 2022.
- [7] D. A. Ramdani and J. Arifin, "An Application of Game Theory in Determining Competitive Strategies on Smartphone Products," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [8] A. Setiawan, D. Bin Aziz, I. Birawaputra, and B. Triyanto, "Implementation of Game Theory in Marketing Sirtu Fraction at PT. X and PT. Y," *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, vol. 5, no. 1, pp. 7–14, 2022.
- [9] C. H. Simamora, E. Rosmaini, and N. Napitupulu, "Penerapan Teori Permainan dalam Strategi Pemasaran Produk Ban Sepeda Motor di FMIPA USU," *Saintia Matematika*, vol. 1, no. 2, pp. 129–137, 2013.
- [10] T. Al-Amin, L. Adrianto, and B. Sartono, "Aplikasi Game Theory dalam Kompetisi antar Terminal Peti Kemas di Pelabuhan Tanjung Priok Game Theory Application of Terminal Container Competition in Port of Tanjung Priok", *Warta Penelitian Perhubungan*, 2018.
- [11] N. E. Chen, "A Description of Game Theory," *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*, vol. 2, pp. 199–205, 2022.
- [12] R. Silalahi and M. S. Sinaga, "Analisis Pengaruh Endorsement dan Paid Promote terhadap Penjualan Online Shop dengan Teori Permainan," *Journal of Mathematics Computations and Statistics*, vol. 6, no. 1, p. 53, 2023, doi: 10.35580/jmathcos.v6i1.33154.
- [13] D. Igo Pratomo Putro Haniswanto, A. Suseno, D. Nurwinata Rinaldi, and C. Author, "Penerapan Metode Clark and Wright dan Pure Strategy dalam Menentukan Strategi Pemasaran dan Distribusi Produk Roti," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 8, no. 9, pp. 104–116, 2022.
- [14] S. F. Nuraini, A. Sani, M. K. Djafar, and L. O. Sabran, "Implementasi Teori

- Permainan dalam Penentuan Strategi Pemasaran Produk Bakso (Studi Kasus: Warung Bakso di Kabupaten Bombana)," *JOSTECH Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 35–46, 2023, doi: 10.15548/jostech.v3i1.5647.
- [15] D. E. Sirait, "Implementasi Teori Permainan pada Strategi Pemasaran Produk Kecantikan Oriflame dan Jafra," *MES: Journal of Mathematics Education and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 35–40, 2021.

## Kualitas Kenyamanan Iklim Termal di Pulau Geser dan Kaitannya dengan La Nina

Fadhli Aslama Afghani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika  
Jl. Perhubungan I No. 5 Tangerang Selatan, Banten, 15221  
Email: [fadhli.aslama.afghani@gmail.com](mailto:fadhli.aslama.afghani@gmail.com)<sup>1</sup>  
Korespondensi penulis : [fadhli.aslama.afghani@gmail.com](mailto:fadhli.aslama.afghani@gmail.com)

### Abstrak

Sektor pariwisata menjadi sektor ekonomi yang menjadi penyumbang terbesar bagi negara-negara di dunia bahkan di Indonesia yang dapat mencapai nilai Rp 634 triliun tahun 2017. Sektor pariwisata tidak lepas dari isu perubahan iklim yang telah melanda dunia karena iklim mempengaruhi daya tarik dan motivasi wisatawan terhadap suatu destinasi. Pulau Geser dengan beragam potensi pariwisata menjadi perhatian penting sehingga informasi mengenai tingkat kenyamanan iklim termal diperlukan serta perlunya rekomendasi waktu terbaik untuk berkunjung. Penelitian ini menggunakan data tahun 2014-2023 dari Stasiun Meteorologi Kuffar dengan mengkaji tingkat kenyamanan menggunakan *Humidity Index* (Humidex), *Holiday Climate Index* (HCI), dan *Temperature Humidity Index* (THI). Hasil yang didapatkan berupa terjadi kecenderungan tren yang meningkat untuk ketiga indeks kenyamanan pengaruhnya rendah sekali. Selain itu, frekuensi kriteria indeks yang mendominasi secara berturut-turut untuk Humidex, HCI, dan THI, yaitu "Perasaan Sangat Tidak Nyaman Hingga Menimbulkan Rasa Tersengat" (51.57%), "Baik" (52.12%), dan "Tidak Nyaman" (52.65%). Kalender pariwisata yang didapatkan menghasilkan kesimpulan bahwa waktu terbaik untuk mengunjungi Pulau Geser berlangsung selama bulan Juni-September. Hal ini terjadi karena kriteria setiap indeksnya "Ditoleransi" (THI), "Nyaman" (HCI), dan "Tidak Nyaman" (Humidex). Sementara itu, fenomena La Nina berdampak pada peningkatan nilai indeks kenyamanan termal.

**Kata Kunci:** THI, Humidex, HCI, Kenyamanan, Pulau Geser

### Abstract

*The tourism sector is the economic sector that is the largest contributor to countries in the world, even in Indonesia which can reach a value of IDR 634 trillion in 2017. The tourism sector cannot be separated from the issue of climate change which has hit the world because climate affects the attraction and motivation of tourists towards a destination. Geser Island, with its diverse tourism potential, is an important concern, so information*

regarding the level of thermal climate comfort is needed as well as recommendations for the best time to visit. This research uses data from 2014-2023 from the Kuffar Meteorological Station by assessing comfort levels using the Humidity Index (Humidex), Holiday Climate Index (HCI), and Temperature Humidity Index (THI). The results obtained are that there is an increasing trend for the three comfort indices, and the influence is very low. In addition, the frequency of index criteria that dominate respectively for Humidex, HCI, and THI, namely "Very uncomfortable feeling to the point of stinging" (51.57%), "Good" (52.12%), and "Uncomfortable" (52.65%). The tourism calendar obtained resulted in the conclusion that the best time to visit Geser Island is during June-September. This happens because the criteria for each index are "Tolerable" (THI), "Comfortable" (HCI), and "Uncomfortable" (Humidex). Meanwhile, the La Nina phenomenon has an impact on increasing the thermal comfort index value.

**Keywords:** THI, Humidex, HCI, Comfort, Geser Island

## 1. Pendahuluan

Sektor ekonomi yang menyumbang devisa bagi negara-negara di dunia, yaitu pariwisata [1]. Sektor ini memiliki kontribusi pada pembangunan suatu negara sehingga menjadi sektor unggulan [2]. Indonesia sendiri menjadikan sektor pariwisata berupa wisata alam, budaya dan sejarah sebagai sektor yang dipertimbangkan mengingat sektor ini efektif dalam mendorong devisa Indonesia [3], [4]. Hal ini dapat dilihat dari nilai transaksi ketika tahun 2017 menyentuh angka Rp 634 triliun [5] serta peningkatan pendapatan masyarakat [6].

Sektor pariwisata erat kaitannya dengan iklim yang telah diteliti dan ditarik kesimpulan bahwa iklim mempengaruhi pilihan suatu destinasi wisata dan motivasi turis [7], [8], [9], [10], [11]. Selain itu, daya tarik suatu destinasi dipengaruhi oleh iklim [12], [13] sehingga faktor ini mendapatkan peran dalam pengambilan keputusan wisatawan, waktu perjalanan, dan destinasi wisata [14]. Kondisi iklim mengalami perubahan yang didasarkan pada perubahan kondisi curah hujan dan suhu [15]. Hal ini tidak luput terjadi di Indonesia yang telah terjadi dalam tiga dekade terakhir [16]. Dampak yang dirasakan oleh manusia dari kenaikan suhu berupa tingkat kenyamanan manusia [17] dan thermal stress [18].

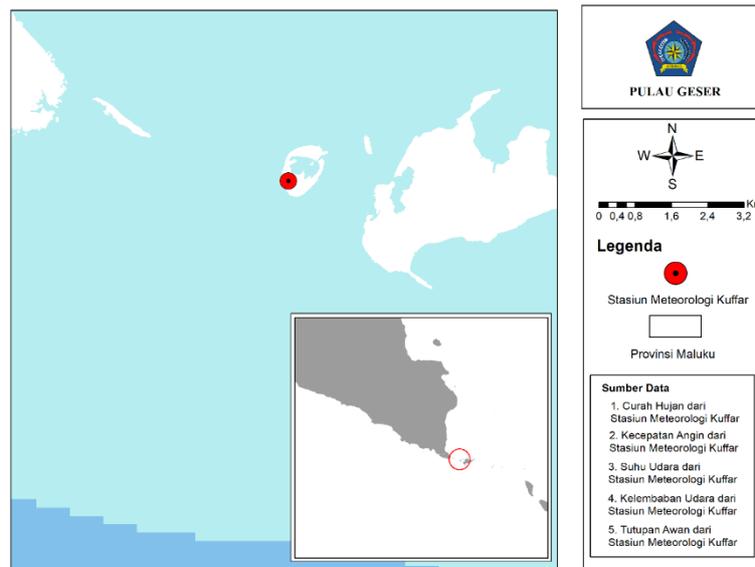
Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi akan sektor pariwisata, yaitu Pulau Geser yang terletak di Provinsi Maluku. Wilayah ini memiliki berbagai destinasi wisata seperti wisata selam berupa *diving*, *snorkling*, dan *sunbathing*. Selain itu, Pulau ini masuk ke dalam kawasan minapolitan yang akan mengalami peningkatan pertumbuhan ekonomi (percepatan penguatan konektivitas) [19].

Di sisi lain, terdapat berbagai dinamika atmosfer yang mempengaruhi wilayah ini salah satunya yaitu La Nina. Fenomena ini akan mempengaruhi berbagai parameter iklim seperti suhu udara, kelembapan udara, curah hujan, dan masih banyak lainnya [20]. Selain itu, fenomena ini juga berdampak pada terbentuknya cuaca ekstrem dan bencana hidrometeorologi seperti curah hujan ekstrem dan tanah longsor [21], [22]

Oleh karena itu, pentingnya informasi mengenai tingkat kenyamanan iklim termal bagi sektor pariwisata. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui tingkat kenyamanan menggunakan tiga metode berupa Humidity Index, Holiday Climate Index, dan Temperature Humidity Index serta tren yang terjadi selama kurun waktu 2014-2023. Selain itu, rekomendasi waktu terbaik bagi wisatawan untuk berkunjung ke Pulau Geser.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan di Pulau Geser menggunakan data curah hujan, tutupan awan, kecepatan angin, kelembaban udara, dan suhu permukaan dari data observasi Stasiun Meteorologi Kuffar selama periode 2014-2023. Penentuan kualitas wisata didasarkan pada suatu acuan yang dikenal dengan kenyamanan iklim sehingga indeksnya perlu diketahui melalui beberapa metode. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa *Humidity Index* (Humidex), *Holiday Climate Index* (HCI), dan *Temperature Humidity Index* (THI).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Humidex adalah metode untuk mengukur ketidaknyamanan suhu yang berdampak pada kenyamanan manusia [23] dengan menghubungkan suhu dan kelembaban relatif [24]. Metode ini telah dilakukan di Indonesia seperti Aceh yang menunjukkan kondisi tidak nyaman (23.2-25.8°C) [25], Kalimantan Barat dengan kondisi tidak nyaman (37.5-39.2°C) [26], dan GAW Bukit Kototabang dalam kondisi nyaman ketika pagi dan malam hari, sedangkan sore hari kondisinya kurang nyaman [27]. Perhitungan matematis Humidex ini sebagai berikut [28], [29]

$$humidex = T + \frac{5}{9}(e - 10) \quad (1)$$

$$e = 6.112 \times 10^{\left(\frac{7.5T}{237.7+T}\right)} \times \frac{RH}{100} \quad (2)$$

Dimana T adalah suhu udara (°C), RH adalah kelembaban udara (%), dan e adalah tekanan uap air (mbar).

Tabel 1. Kategori Humidex [30], [31]

Indeks	Kategori
≤29°C	Nyaman
30-34°C	Perasaan Sedikit Tidak Nyaman
35-39°C	Perasaan Tidak Nyaman

40-45°C	Perasaan Sangat Tidak Nyaman Hingga Menimbulkan Rasa Tersengat
46-53°C	Perasaan Sangat Tidak Nyaman dan Hampir Dapat Menyebabkan Penyakit
≥54°C	Kematian Akibat Panas

Di sisi lain, metode *Holiday Climate Index* (HCI) dirancang khusus untuk pariwisata yang tidak bersifat subjektif karena menggunakan validasi empiris dengan menggabungkan kenyamanan termal menggunakan perhitungan suhu udara, tutupan awan, curah hujan, dan kecepatan angin [32]. Metode ini telah digunakan di beberapa tempat Indonesia seperti Banjarmasin dengan nilai HCI 54-70 (dapat diterima-bagus) [33], Pantai Panjang Kota Bengkulu yang berkategori cukup baik dan masuk ke nyaman dengan indeks terbaik terjadi pada bulan Juli, sedangkan terburuk bulan November [34], dan pesisir Kota Padang memiliki nilai HCI sebesar 58.6-71.6 (cukup baik-sangat baik) [35]. Persamaan matematis metode HCI sebagai berikut [36], [37]

$$TC = (0.8xT) + \left(\frac{RHxT}{500}\right) \quad (3)$$

$$HCI = (TCx4) + (Ax2) + [(Rx3) + (W)] \quad (4)$$

Dimana TC merupakan kenyamanan termal, A adalah tutupan awan, R mewakili curah hujan, dan W menjadi simbol dari kecepatan angin.

**Tabel 2. Skema Penilaian Variabel HCI [14], [30], [37], [38], [39]**

Peringkat	Suhu Udara (°C)	Kecepatan Angin (km/jam)	Tutupan Awan (%)	Curah Hujan (mm)
10	23-35	1-9	11-20	0.00
9	20-22 atau 26	10-19	1-10 atau 21-30	<3.00
8	27-28	0 atau 20-29	0 atau 31-40	3.00-5.99
7	18-19 atau 29-30	-	41-50	-
6	15-17 atau 31-32	30-39	51-60	-
5	11-14 atau 33-34	-	61-70	6.00-8.99
4	7-10 atau 35-36	-	71-80	-
3	0-6	40-49	81-90	-
2	37-39 atau (-1)-(-5)	-	91-99	9.00-12.00
1	≤6	-	100	-
0	≥39	50-57	-	>12.00 atau ≤25.00
-1	-	-	-	>25.00
-10	-	>70	-	-

**Tabel 3. Kategori HCI [14], [30], [37], [38], [39]**

Indeks	Kategori	Keterangan
90-100	Ideal	
80-89	Sangat Baik	Nyaman
70-79	Baik	
60-69	Cukup Baik	
50-59	Ditoleransi	
40-49	Batas Kondisi Ditoleransi	
30-39	Tidak Baik	Tidak Nyaman
20-29	Sangat Tidak Baik	
10-19	Sangat Ekstrim	
9-(-9)	Tidak Memungkinkan	

Disamping itu, terdapat metode Temperature Humidity Index (THI) yang menjadi indeks kenyamanan manusia di wilayah perkotaan [40] dengan menggabungkan parameter meteorologi suhu dan kelembaban udara [41]. Penelitian di Indonesia yang telah menggunakan metode ini terdapat di Manado dengan 28.15% merasakan nyaman, 59.97% sebagian nyaman, dan 11.87% tidak nyaman [42]. Selain itu, di DKI Jakarta memperlihatkan rata-rata persentase dengan kategori nyaman (7.1% atau 26 hari per tahun), sebagian nyaman (71% atau 259 hari per tahun), dan tidak nyaman (22.1% atau 81 hari per tahun) [17]. Persamaan empiris THI dinotasikan dalam persamaan 5

$$THI = 0.8T + \left(\frac{RHXT}{500}\right) \quad (5)$$

**Tabel 3. Kategori THI [30]**

Indeks	Kategori
>27	Tidak Nyaman
25-27	Ditoleransi
21-27	Nyaman
8-20	Ditoleransi

Tren grafik yang didapatkan secara temporal menggunakan persamaan regresi linear dengan persamaan empiris sebagai berikut [43]

$$y = a + bx \quad (6)$$

Dengan  $y$  adalah variabel tidak bebas,  $a$  merupakan konstanta,  $b$  menjadi simbol dari koefisien regresi dan  $x$  ialah variabel bebas. Konstanta  $a$  dan  $b$  ditentukan menggunakan persamaan yang didapatkan dengan cara sebagai berikut [44]

$$a = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (7)$$

$$b = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (8)$$

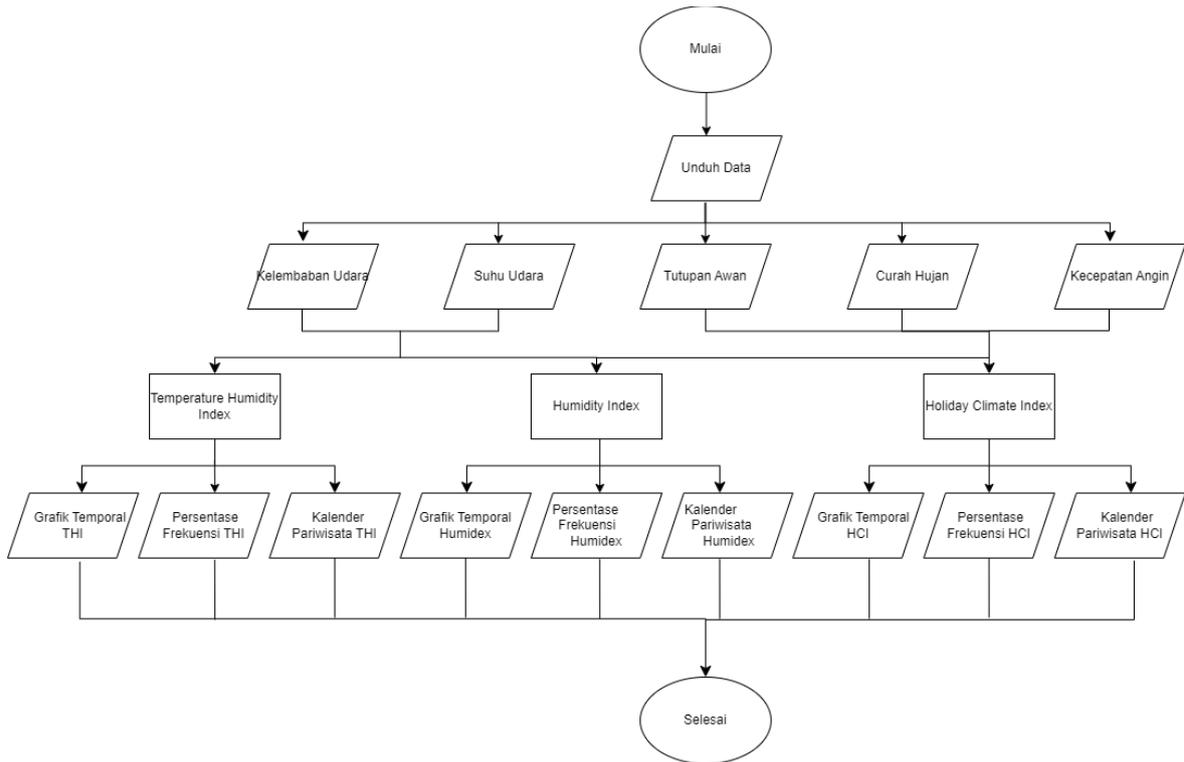
Dimana  $n$  = jumlah data

Sementara itu, koefisien determinasi ( $R^2$ ) merupakan suatu koefisien yang menandakan nilai pengaruh variabel bebas terhadap variabel tidak bebas dalam model regresi linear dengan rentang nilai 0-1 (semakin dekat dengan 1, maka semakin baik variabel bebas menjelaskan variabel tidak bebas dan berlaku juga untuk sebaliknya) [45].

**Tabel 4. Kategori Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) [46]**

Nilai	Keterangan
<4%	Sangat Rendah
5%-16%	Rendah
17%-49%	Cukup
50%-80%	Tinggi
>81%	Sangat Tinggi

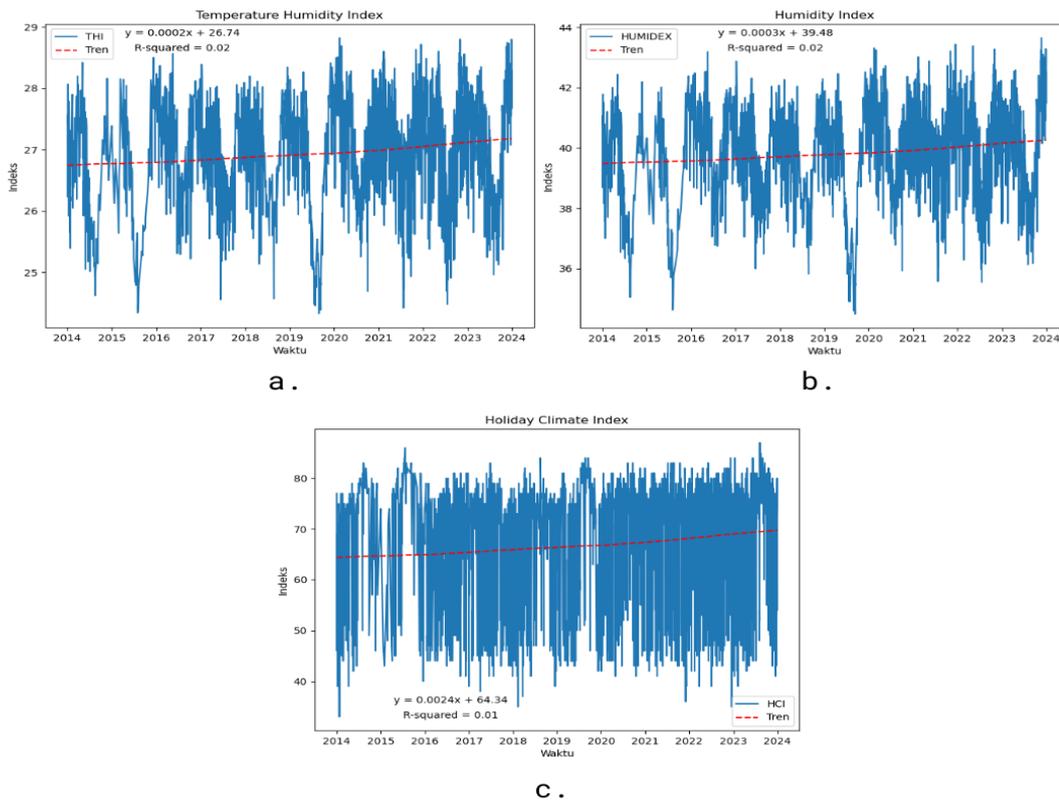
Kemudian untuk indicator La Nina dilihat melalui indeks ONI yang dapat di akses pada laman ([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)). Pada penelitian ini, cakupan waktu pada bulan September-November tahun 2019 (normal) dan 2020 (La Nina).



Gambar 2. Diagram Alir

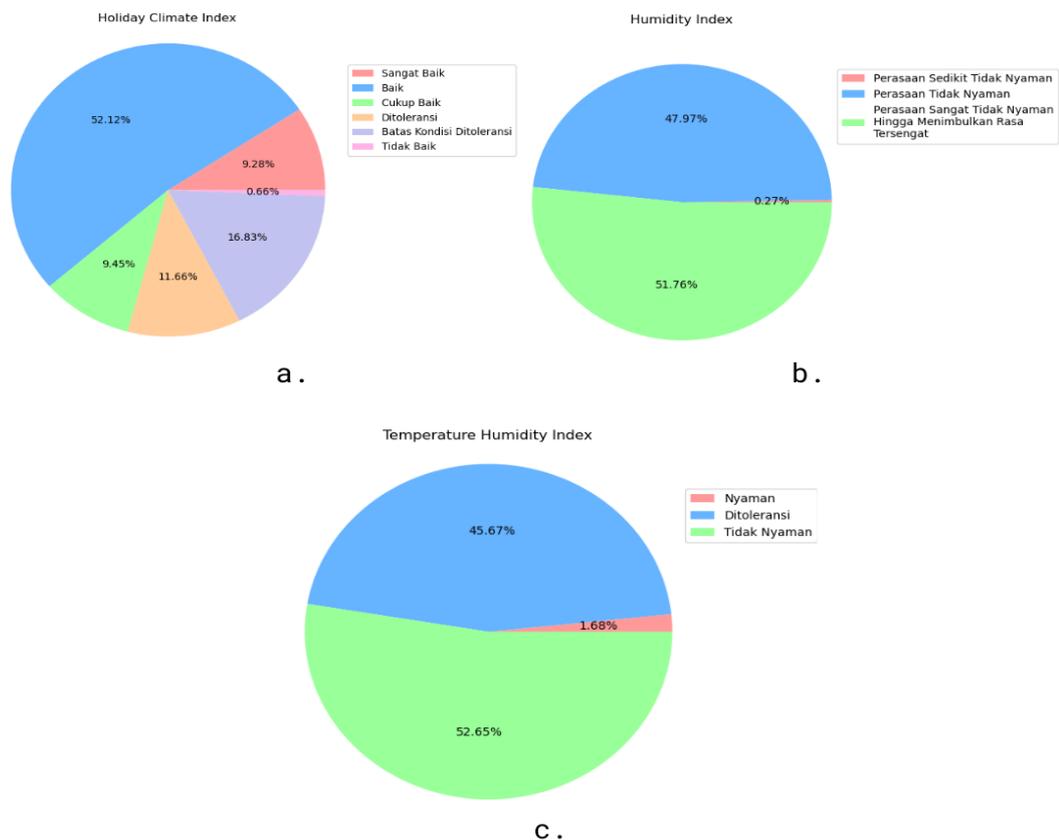
### 3. Hasil dan Pembahasan

Indeks kenyamanan yang terjadi di Pulau Geser selama 10 tahun terakhir secara temporal dapat dilihat pada Gambar 3. Indeks yang didapatkan menggunakan THI, Humidex, dan HCI menunjukkan tren yang meningkat. Persamaan tren yang didapatkan secara berturut-turut, yaitu  $y = 0.0002x + 26.74$  (kenaikan indeks THI 0.02% setiap harinya),  $y = 0.0003x + 39.48$  (kenaikan indeks Humidex 0.03% setiap harinya), dan  $y = 0.0024x + 64.34$  (kenaikan indeks HCI 0.24% setiap harinya). Selain itu,  $R^2$  yang didapat untuk masing-masing indeks kenyamanan secara beruntun sebesar 0.02, 0.02, dan 0.01 sehingga masuk kedalam kriteria rendah sekali karena kurang dari 4%.



**Gambar 3. Grafik Temporal Indeks Kenyamanan dengan (a) THI, (b) Humidex, (c) HCI**

Di sisi lain, persentase kriteria untuk setiap indeksnya terlihat pada Gambar 4. Secara umum, metode THI menunjukkan kriteria dengan persentase didominasi oleh “Tidak Nyaman” sebesar 52.65%, “Ditoleransi” sebesar 45.67%, dan submisif sebesar 1.68% dengan kriteria “Nyaman” sehingga sebagian waktu di objek wisata ini tidak nyaman dari aspek kenyamanan iklimnya. Selain itu, indeks yang didapatkan menggunakan metode Humidex memiliki kriteria sebesar 0.27% untuk “Perasaan Sedikit Tidak Nyaman”, “Perasaan Tidak Nyaman” bernilai 47.97%, dan kriteria yang mendominasi, yaitu “Perasaan Sangat Tidak Nyaman Hingga Menimbulkan Rasa Tersengat” sebesar 51.76%. Sementara itu, nilai indeks yang didapatkan menggunakan metode HCI memperlihatkan bahwa kategori “Baik” menjadi kriteria yang mendominasi dengan nilainya mencapai 52.12%, sedangkan persentase terendah didapati kriteria “Tidak Baik” sebesar 0.66%. Kriteria lain yang didapatkan menggunakan metode ini, yaitu “Batas Kondisi Ditoleransi” (16.83%), “Ditoleransi” (11.66%), “Cukup Baik” (9.45%), dan “Sangat Baik” (9.28%).



**Gambar 4. Persentase Kategori Kenyamanan dengan (a) THI, (b) Humidex, (c) HCI**

Waktu terbaik yang dapat dilakukan oleh wisatawan untuk mengunjungi Pulau Geser ketika bulan Juni hingga September yang terlihat pada Tabel 5. Periode ini menawarkan kondisi iklim di Pulau Geser yang paling nyaman bagi pengunjung. Hal ini didasarkan pada rentang nilai THI sebesar 25.81-26.54 yang menunjukkan tingkat kenyamanan "Ditoleransi". Selain itu, rentang indeks dari Humidex berkisar antara 37.64-39.17 sehingga masuk kedalam kriteria "Tidak Nyaman", sedangkan di bulan lainnya berada pada kriteria "Sangat Tidak Nyaman". Sementara itu, indeks yang didapatkan menggunakan metode HCI berada pada rentang 67.90-72.92 yang menandakan bahwa iklim di Pulau Geser pada periode Juni-September masuk kedalam kriteria "Nyaman" dengan kriteria ini berlangsung sepanjang tahun. Dengan demikian, para wisatawan lokal maupun asing dapat menikmati kenyamanan ketika mengeksplorasi berbagai destinasi wisata di Pulau Geser dengan pertimbangan kenyamanan iklim termal.

**Tabel 5. Kalender Pariwisata**

	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
THI	27.32	27.14	27.21	27.22	27.20	26.54	25.93	25.81	26.20	26.99	27.51	27.50
HUMIDEX	40.38	40.00	40.23	40.40	40.48	39.17	37.94	37.64	38.46	40.01	40.89	40.79
HCI	64.77	64.33	66.01	64.70	64.13	67.90	70.57	72.92	71.60	69.84	66.77	63.80

Keterangan:

-  : Sangat Tidak Nyaman
-  : Tidak Nyaman
-  : Ditoleransi
-  : Nyaman

Di sisi lain, ketika tingkat kenyamanan termal dikaitkan dengan dinamika atmosfer berupa La Nina dapat mempengaruhi nilai indeks. Hal ini dapat terlihat dimana terjadi perubahan nilai rerata THI, Humidex, dan HCI sebesar 0.66; 1.37; dan -4.46 terhadap tahun 2019. Perbedaan nilai ini dapat disebabkan oleh nilai kelembapan udara yang meningkat. Fenomena La Nina sendiri akan berdampak pada peningkatan kelembapan udara sehingga nilai indeks pun juga akan meningkat [47].

#### 4. Kesimpulan

Tingkat Kenyamanan iklim yang terjadi di Pulau Geser dapat diuraikan menjadi tiga indeks, yaitu THI, Humidex, dan HCI dengan tren yang dihasilkan meningkat setiap harinya sebesar 0.02%, 0.03%, dan 0.24% secara berturut-turut (pengaruh rendah sekali karena nilai koefisien determinasi <4%). Sementara itu, frekuensi kategori yang paling mendominasi untuk THI berupa “Tidak Nyaman” sebesar 52.65%, Humidex bernilai 51.76% (Perasaan Sangat Tidak Nyaman Hingga Menimbulkan Rasa Tersengat), dan HCI memiliki kategori “Baik” dengan persentasenya bernilai 52.12%.

Di sisi pariwisata, waktu terbaik bagi para wisatawan untuk berkunjung ke Pulau Geser berlangsung pada periode Juni-September. Hal ini didasarkan pada tiga indeks utama yang memperlihatkan bahwa indeks THI dengan menimbang secara toleransi yang tinggi terhadap suhu dan kelembapan memberikan kriteria “Ditoleransi” dan HCI yang merepresentasikan kenyamanan iklim ideal memberikan kategori “Nyaman”, sedangkan Humidex yang mewakili tingkat kelembapan yang dapat mempengaruhi kenyamanan menunjukkan bahwa Pulau Geser masuk kedalam kriteria “Tidak Nyaman”.

Sementara itu, dinamika atmosfer berupa La Nina berdampak pada perubahan nilai semua indeks. Hal ini karena La Nina akan meningkatkan kelembapan udara dengan hubungan antara indeks kenyamanan termal berbanding lurus terhadap kelembapan udara.

#### Daftar Pustaka

- [1] D. Tolkach dan B. King, “Strengthening Community-Based Tourism In A New Resource-Based Island Nation: Why And How?,” *Tour. Manag.*, vol. 48, hal. 386–398, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.12.013>.
- [2] Megawati, T. Tahir, M. Hasan, dan M. Dinar, “Tourism Development Strategy in Improving the Community Economy at Tanjung Bira Beach, Bonto Bahari District, Bulukumba Regency,” *Pinisi J. Entrep. Rev.*, vol. 1, hal. 1–15, Jan 2023, doi:

- 10.62794/pjer.v1i1.36.
- [3] I. M. Hasibuan, S. Mutthaqin, R. Erianto, dan I. Harahap, "Kontribusi Sektor Pariwisata terhadap Perekonomian Nasional," *J. Masharif Al-Syariah J. Ekon. dan Perbank. Syariah*, vol. 8, no. 2 SE-, hal. 1200–1217, Jul 2023, doi: 10.30651/jms.v8i2.19280.
- [4] R. Roisah, N. L. A. I. Maulana, dan I. Aisyah, "Experiential Marketing dalam Upaya Meningkatkan Loyalitas Pelanggan Jasa Wisata," *Altasia J. Pariwisata Indones.*, vol. 2, no. 2, 2020, doi: <https://doi.org/10.37253/altasia.v2i2.557>.
- [5] Badan Pusat Statistik, "Neraca Satelit Pariwisata Nasional (NESPARNAS)," Badan Pusat Statistik.
- [6] A. P. Yakup dan T. Haryanto, "Pengaruh Pariwisata terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia," *Bina Ekon. Maj. Ilm. Fak. Ekon. Univ. Katolik Parahyangan*, vol. 23, no. 2, hal. 39–47, 2021, doi: <https://doi.org/10.26593/be.v23i2.3266.39-47>.
- [7] T. Suwanto, "Pengaruh Iklim Dan Perubahannya Terhadap Destinasi Pariwisata Pantai Pangandaran," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 22, no. 1, hal. 17–32, 2011, doi: <https://doi.org/10.5614/jpwwk.2011.22.1.2>.
- [8] G. Dubois, J.-P. Ceron, S. Gössling, dan C. M. Hall, "Weather Preferences Of French Tourists: Lessons For Climate Change Impact Assessment," *Clim. Change*, vol. 136, no. 2, hal. 339–351, 2016, doi: 10.1007/s10584-016-1620-6.
- [9] R. Steiger, N. Knowles, K. Pöll, dan M. Rutty, "Impacts Of Climate Change On Mountain Tourism: A Review," *J. Sustain. Tour.*, hal. 1–34, 2022, doi: 10.1080/09669582.2022.2112204.
- [10] M. Rutty dan D. Scott, "Bioclimatic comfort and the thermal perceptions and preferences of beach tourists," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 59, no. 1, hal. 37–45, 2015, doi: 10.1007/s00484-014-0820-x.
- [11] N. A. Ngxongo, "The Impact Of Climate Change On Visitor Destination Selection: A Case Study Of The Central Drakensberg Region In Kwazulu-Natal," *Jamba (Potchefstroom, South Africa)*, vol. 13, no. 1, hal. 1161, 2021, doi: 10.4102/jamba.v13i1.1161.
- [12] S. Gössling, B. Abegg, dan R. Steiger, "'It Was Raining All the Time!': Ex Post Tourist Weather Perceptions," *Atmosphere*, vol. 7, no. 1, 2016. doi: 10.3390/atmos7010010.
- [13] A. Hübner dan S. Gössling, "Tourist Perceptions Of Extreme Weather Events In Martinique," *J. Destin. Mark. Manag.*, vol. 1, no. 1, hal. 47–55, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2012.09.003>.
- [14] D. Scott, M. Rutty, B. Amelung, dan M. Tang, "An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe," *Atmosphere*, vol. 7, no. 6, 2016. doi: 10.3390/atmos7060080.
- [15] D. N. Utami, "Kajian Dampak Perubahan Iklim Terhadap Degradasi Tanah," *J. Alami J. Teknol. Reduksi Risiko Bencana*, vol. 3, no. 2, hal. 122–131, 2019, doi: <https://doi.org/10.29122/alami.v3i2.3744>.
- [16] Supari, F. Tangang, L. Juneng, dan E. Aldrian, "Observed Changes In Extreme Temperature And Precipitation Over Indonesia," *Int. J. Climatol.*, vol. 37, no. 4, hal. 1979–1997, 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4829>.
- [17] T. Wati dan F. Fatkhuroyan, "Analisis Tingkat Kenyamanan Di DKI Jakarta

- Berdasarkan Indeks THI (Temperature Humidity Index)," *J. Ilmu Lingkungan; Vol 15, No 1 April 2017* DO - 10.14710/jil.15.1.57-63 , Mei 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan/article/view/14557>
- [18] T. E. Wilson dan C. G. Crandall, "Effect Of Thermal Stress On Cardiac Function," *Exerc. Sport Sci. Rev.*, vol. 39, no. 1, hal. 12–17, Jan 2011, doi: 10.1097/JES.0b013e318201eed6.
- [19] S. T. M. T. Sosilawati et al., *Sinkronisasi Program dan Pembiayaan Pembangunan Jangka Pendek 2018-2020 Keterpaduan Pengembangan Kawasan dengan Infrastruktur PUPR Kepulauan Maluku dan Pulau Papua*, no. v. 1. in Sinkronisasi Program dan Pembiayaan Pembangunan Jangka Pendek 2018-2020 Keterpaduan Pengembangan Kawasan dengan Infrastruktur PUPR Kepulauan Maluku dan Pulau Papua. Pusat Pemrograman Dan Evaluasi Keterpaduan Infrastruktur Pupr, Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat., 2016. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=DtunDgAAQBAJ>
- [20] R. A. Wijaya et al., "Analisis Hujan Ekstrem di Kabupaten Banyumas Tahun 2016-2021," *J. Ilmu Lingkungan; Vol 22, No 4 July 2024* DO - 10.14710/jil.22.4.1041-1053, vol. 22, no. 4, hal. 1041–1053, Jun 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/jil.22.4.1041-1053>.
- [21] W. N. Harahap, B. Yuniasih, dan S. Gunawan, "Dampak La Nina 2021-2022 terhadap Peningkatan Curah Hujan," *AGROISTA J. Agroteknologi*, vol. 7, no. 1 SE-Articles, hal. 26–32, Jul 2023, doi: 10.55180/agi.v7i1.364.
- [22] W. Sulistya, "Belajar Dari Kejadian Bencana Alam Sepanjang Tahun 2021," *J. Widya Climago*, vol. 4, no. 2, hal. 84–90, 2022.
- [23] I. Charalampopoulos, I. Tsiros, A. Chronopoulou-Sereli, dan A. Matzarakis, "Analysis Of Thermal Bioclimate In Various Urban Configurations In Athens, Greece," *Urban Ecosyst.*, vol. 16, no. 2, hal. 1–17, Jun 2013, doi: 10.1007/s11252-012-0252-5.
- [24] D. C. Siregar, V. P. Ardah, dan R. D. Ninggar, "Identifikasi Kenyamanan Kota Tanjungpinang Berdasarkan Indeks Panas Humidex," *J. Ilmu Lingkungan; Vol 17, No 2 Agustus 2019* DO - 10.14710/jil.17.2.316-322, vol. 17, no. 2, hal. 316–322, Sep 2019, doi: <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.316-322>.
- [25] D. C. Siregar, N. A.-Z. Lubis, dan Muhajir, "Analisis Kenyamanan Termis Kota Banda Aceh Berdasarkan Temperature Humidity Index, Discomfort Index dan Humidex," *Widyakala J.*, vol. 7, no. 1, hal. 53–58, 2020, doi: <https://doi.org/10.36262/widyakala.v7i1.296>.
- [26] F. Aditya dan J. Khasanah, "Perubahan Tingkat Kenyamanan berdasarkan Indeks Panas (Humidex) di Kalimantan Barat," *Megasains*, vol. 12, no. 1, hal. 8–16, 2021, doi: <https://doi.org/10.46824/megasains.v12i1.47>.
- [27] A. Sulistiyono, R. S. Davi, dan I. B. Arifin, "Profil Tingkat Kenyamanan Udara dan Hubungannya Dengan Hari Hujan di Bukit Kototabang Tahun 2010-2018," *Megasains*, vol. 11, no. 2, hal. 20–27, 2020, doi: <https://doi.org/10.46824/megasains.v11i2.27>.
- [28] R. Rana, B. Kusy, R. Jurdak, J. Wall, dan W. Hu, "Feasibility Analysis Of Using Humidex As An Indoor Thermal Comfort Predictor," *Energy Build.*, vol. 64, hal. 17–25, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.019>.

- [29] J. M. Masterton dan F. A. Richardson, *Humidex: A Method Of Quantifying Human Discomfort Due To Excessive Heat And Humidity*. Downsview, Ont. SE - 45 pages : illustrations ; 28 cm.: Environment Canada, Atmospheric Environment, 1979. doi: LK - <https://worldcat.org/title/6952677>.
- [30] D. P. O. Veanti dan M. A. Nurjani, "Tingkat Kenyamanan Iklim di Labuan Bajo Sebagai Salah Satu Destinasi Super Prioritas Indonesia," *J. Apl. Meteorol.*, vol. 2, no. 1, hal. 10–21, 2023, doi: <https://doi.org/10.36754/jam.v2i1.356>.
- [31] M. Ćurić, O. Zafirovski, dan V. Spiridonov, *Weather and Human Health*. Macedonian: COBISS MK, 2013.
- [32] C. R. de Freitas, "Tourism Climatology: Evaluating Environmental Information For Decision Making And Business Planning In The Recreation And Tourism Sector," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 48, no. 1, hal. 45–54, 2003, doi: 10.1007/s00484-003-0177-z.
- [33] A. B. S. Noor, D. I. Rakhmat, S. N. Khasanah, dan W. Kurniawan, "Pemanfaatan Informasi Holiday Climate Index (HCI) Dalam Sektor Pariwisata (Studi Kasus: Kota Banjarmasin)," in *Tantangan dan Peran Perguruan Tinggi dalam Menghadapi Disrupsi Teknologi*, Banjarmasin: Politeknik Negeri Banjarmasin, 2019, hal. 21–29.
- [34] Saif Akmal dan D. W. Muslihah, "Analisis Tingkat Kenyamanan Iklim Pariwisata Berdasarkan Holiday Climate Index (HCI) Di Kawasan Pantai Panjang Kota Bengkulu," *Bul. Meteorol. Klimatologi dan Geofis.*, vol. 3, no. 3 SE-Articles, hal. 23–30, Jun 2023, [Daring]. Tersedia pada: [https://www.balai2bmqg.id/index.php/buletin\\_mkg/article/view/53](https://www.balai2bmqg.id/index.php/buletin_mkg/article/view/53)
- [35] Randy, N. Yendri Sudiar, A. Fauzi, dan L. Dwiridal, "Analysis of the Comfort Level of Climate in the Padang Coastal Tourism Area Using the Holiday Climate Index (HCI) Method," *J. Clim. Chang. Soc.*, vol. 1, no. 1 SE-Articles, hal. 1–11, Jul 2023, doi: 10.24036/jccs/Vol1-iss1/3.
- [36] M. Tang, "Comparing the 'Tourism Climate Index' and 'Holiday Climate Index' in Major European Urban Destinations," 2013. [Daring]. Tersedia pada: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130783405>
- [37] N. A. I. Hasanah, D. Maryetnowati, F. N. Edelweis, F. Indriyani, dan Q. Nugrahayu, "The Climate Comfort Assessment For Tourism Purposes In Borobudur Temple Indonesia," *Heliyon*, vol. 6, no. 12, hal. e05828, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05828>.
- [38] O. C. Demiroglu, F. S. Saygili-Araci, A. Pacal, C. M. Hall, dan M. L. Kurnaz, "Future Holiday Climate Index (HCI) Performance of Urban and Beach Destinations in the Mediterranean," *Atmosphere*, vol. 11, no. 9. 2020. doi: 10.3390/atmos11090911.
- [39] J. T. Samarasinghe *et al.*, "Performances of Holiday Climate Index (HCI) for Urban and Beach Destinations in Sri Lanka under Changing Climate," *Climate*, vol. 11, no. 3. 2023. doi: 10.3390/cli11030048.
- [40] T. Ismayanti, B. Sasmito, dan N. Bashit, "Evaluasi Ruang Terbuka Hijau Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah)," *J. Geod. Undip*, vol. 9, no. 1, hal. 136–145, Des 2019, doi: <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26112>.
- [41] K. F. N. Isnoor, A. B. Putra, dan M. A. Firmantari, "Analisis Kenyamanan Termal Berdasarkan Temperature Humidity Index dan Pengaruhnya Terhadap Curah

- Hujan di Kota Tanjungpinang,” *Bul. GAW Bariri*, vol. 2, no. 1, hal. 1–6, 2021, doi: <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i1.32>.
- [42] W. G. Kurnia dan S. Widiyanto, “Analisis Tingkat Kenyamanan Di Kota Manado Dan Wilayah Penyangganya Berdasarkan Indeks THI (Temperature Humidity Index),” *Megasains*, vol. 11, no. 2, hal. 36–41, 2020, doi: <https://doi.org/10.46824/megasains.v11i2.26>.
- [43] Harsiti, Z. Muttaqin, dan E. Srihartini, “Penerapan Metode Regresi Linier Sederhana Untuk Prediksi Persediaan Obat Jenis Tablet,” *J. Sist. Inf.*, vol. 9, no. 1, hal. 12–16, 2022.
- [44] Y. Chandra, K. Kosdiana, dan M. Riastuti, “Aplikasi Perhitungan Statistik Koefisien Regresi Korelasi Linier Untuk Produksi Minyak dan Gas Bumi,” *J. Esensi Infokom J. Esensi Sist. Inf. dan Sist. Komput.*, vol. 6, no. 2 SE-Articles, Okt 2022, doi: [10.55886/infokom.v6i2.500](https://doi.org/10.55886/infokom.v6i2.500).
- [45] N. Hasibuan, Yurmaini, dan Erliyant, “Pengaruh Perubahan Lingkungan Terhadap Kinerja Karyawan Pada Bank Syariah Indonesia,” *J. Akunt.*, vol. 2, no. 1, hal. 136–148, 2023.
- [46] I. Indra, W. A. A. Pratiwi, dan Y. D. Putra, “Pengaruh Biaya Promosi Terhadap Penjualan,” *J. Ekon. Manaj. dan Akunt.*, vol. 24, no. 4, hal. 711–716, 2022, doi: <https://doi.org/10.30872/jfor.v24i4.11704>.
- [47] I. Athoillah, R. Sibarani, dan D. Doloksaribu, “Analisis Spasial Pengaruh Kejadian El Nino Kuat Tahun 2015 Dan La Nina Lemah Tahun 2016 Terhadap Kelembapan, Angin dan Curah Hujan di Indonesia,” *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 18, no. 1, hal. 33, Nov 2017, doi: [10.29122/jstmc.v18i1.2140](https://doi.org/10.29122/jstmc.v18i1.2140).

## Analisis Keputusan *Hedging* pada Bank Non-Syariah di Indonesia Menggunakan Model Regresi Logit Biner Data Panel dengan Efek Acak

Grace Lucyana Koesnadi<sup>1</sup>, Suliyanto<sup>2</sup>, M. Fariz Fadillah Mardianto<sup>3</sup>, Sediono<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Statistika, Universitas Airlangga  
Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya, Jawa Timur, 60115

Email: [grace.lucyana.koesnadi-2021@fst.unair.ac.id](mailto:grace.lucyana.koesnadi-2021@fst.unair.ac.id)<sup>1</sup>, [suliyanto@fst.unair.ac.id](mailto:suliyanto@fst.unair.ac.id)<sup>2</sup>,  
[m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id](mailto:m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id)<sup>3</sup>, [sediono101@gmail.com](mailto:sediono101@gmail.com)<sup>4</sup>

Korespondensi penulis : [suliyanto@fst.unair.ac.id](mailto:suliyanto@fst.unair.ac.id)

### Abstrak

Volatilitas pasar global yang semakin tinggi telah menjadi tantangan besar bagi sektor perbankan di Indonesia, khususnya dalam menghadapi fluktuasi nilai tukar rupiah. Dalam mengatasi risiko ini, strategi *hedging* menjadi langkah penting untuk menjaga stabilitas keuangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keputusan *hedging* pada bank non-syariah di Indonesia, seperti leverage, likuiditas, profitabilitas, ukuran perusahaan, dan peluang pertumbuhan. Dengan menggunakan regresi logit biner pada data panel dengan efek acak, penelitian ini memanfaatkan data sekunder dari laporan keuangan tahunan bank non-syariah yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) untuk periode 2020-2022. Hasil analisis menunjukkan bahwa leverage dan ukuran perusahaan memiliki pengaruh signifikan terhadap keputusan *hedging*, sedangkan likuiditas dan peluang pertumbuhan menunjukkan pengaruh yang bervariasi. Penelitian ini memberikan wawasan penting terkait pengelolaan risiko nilai tukar yang strategis untuk memperkuat stabilitas keuangan sektor perbankan non-syariah di Indonesia, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam mitigasi risiko keuangan.

**Kata Kunci:** Data Panel, Keputusan *Hedging*, Regresi Logit Biner, Risiko Nilai Tukar, Sektor Perbankan

### Abstract

*The increasing volatility of the global market has become a major challenge for the banking sector in Indonesia, especially in dealing with fluctuations in the rupiah exchange rate. To mitigate these risks, hedging strategies are crucial for maintaining financial stability. This study aims to analyze the factors influencing hedging decisions in Indonesia's non-Sharia banks, such as leverage, liquidity, profitability, firm size, and growth opportunities. Using a*

*binary logit regression model with random effects on panel data, this research utilizes secondary data from the annual financial reports of non-Sharia banks listed on the Indonesia Stock Exchange (IDX) for the 2020-2022 period. The analysis reveals that leverage and firm size significantly influence hedging decisions, while liquidity and growth opportunities exhibit varying impacts. This study provides important insights into strategic exchange rate risk management to strengthen the financial stability of Indonesia's non-Sharia banking sector and support more accurate decision-making in financial risk mitigation.*

**Keywords:** *Panel Data, Hedging Decision, Binary Logit Regression, Exchange Rate Risk, Banking Sector*

## 1. Pendahuluan

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam menjaga stabilitas ekonomi, terutama di sektor perbankan yang sangat dipengaruhi oleh volatilitas nilai tukar mata uang [1]. Nilai tukar Rupiah yang tidak stabil sejak pandemi COVID-19 telah menimbulkan risiko signifikan, terutama bagi perusahaan yang memiliki eksposur tinggi terhadap transaksi internasional. Dalam situasi ini, strategi hedging menjadi langkah penting untuk memitigasi risiko fluktuasi nilai tukar yang dapat berdampak pada stabilitas keuangan perusahaan [2].

*Hedging* atau lindung nilai merupakan salah satu strategi pengelolaan risiko yang umum digunakan oleh perusahaan untuk melindungi aset dan liabilitas dari perubahan nilai tukar [3]. Praktik ini telah banyak diterapkan oleh bank non-syariah di Indonesia melalui instrumen derivatif seperti kontrak forward, swap, dan opsi [4]. *Hedging* memberikan manfaat besar dalam pengelolaan risiko, namun pengambilan keputusan untuk melakukan *hedging* tidak hanya dipengaruhi oleh faktor internal seperti *leverage*, likuiditas, profitabilitas, ukuran perusahaan, dan peluang pertumbuhan, tetapi juga oleh regulasi yang berlaku.

Peraturan Bank Indonesia (PBI) No. 6 Tahun 2024 tentang Pasar Uang dan Pasar Valuta Asing mengatur bahwa transaksi derivatif nilai tukar harus dilakukan dengan tujuan utama untuk lindung nilai [5]. Selain itu, Peraturan Otoritas Jasa Keuangan (POJK) No. 13/POJK.03/2021 tentang Penyelenggaraan Produk Bank Umum mewajibkan bank untuk menyampaikan rencana penyelenggaraan produk bank, termasuk aktivitas *hedging*, kepada OJK untuk mendapatkan persetujuan [6]. Meskipun regulasi ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas keuangan, penerapannya menciptakan tantangan dalam bentuk biaya kepatuhan dan keterbatasan instrumen derivatif, yang dapat mempengaruhi keputusan bank dalam melakukan hedging. Dengan demikian, selain faktor keuangan internal, kebijakan regulasi juga memiliki peran penting dalam membentuk strategi lindung nilai di perbankan Indonesia.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan hasil yang bervariasi mengenai pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap keputusan hedging. Dalam beberapa penelitian, *leverage* menunjukkan pengaruh signifikan positif [7][8], sementara dalam penelitian lain tidak menunjukkan pengaruh yang konsisten [9]. Dalam menjembatani *gap* penelitian akibat ketidakkonsistenan ini, penelitian ini menggunakan regresi logit biner dengan pendekatan data panel yang memberikan analisis lebih akurat dengan mempertimbangkan dampak variabel dari waktu ke waktu serta perbedaan karakteristik antar bank serta memberikan landasan empiris yang lebih kuat dibandingkan penelitian terdahulu yang berbasis data *cross-section*.

Dalam penelitian ini, digunakan metode regresi logit biner dengan pendekatan data panel untuk menganalisis pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap keputusan *hedging* di bank non-syariah Indonesia. Pendekatan data panel memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif karena mempertimbangkan variasi antar waktu dan antar entitas [10]. Regresi logit biner dipilih karena mampu memberikan estimasi probabilitas atas keputusan biner, seperti *hedging* atau tidak *hedging*, dengan interpretasi hasil yang lebih intuitif dibandingkan metode lainnya [11]. Regresi logit sering digunakan dalam studi keuangan dibandingkan regresi probit karena hasilnya dapat diinterpretasikan dengan

mudah dalam bentuk *odds ratio* yang umum diterapkan pada analisis risiko dan pengambilan keputusan finansial [12]. Sementara itu, meskipun pendekatan *machine learning* dapat menghasilkan prediksi yang lebih fleksibel, metode ini cenderung kurang transparan dalam interpretasi variabel independen, yang menjadi aspek penting dalam penelitian berbasis teori ekonomi [13]. Dengan mempertimbangkan keunggulan tersebut, regresi logit biner dengan pendekatan data panel menjadi metode yang paling sesuai untuk memahami faktor determinan dalam keputusan *hedging* di sektor perbankan Indonesia.

Penelitian ini juga memiliki relevansi yang kuat terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) dan SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur). Pengelolaan risiko nilai tukar yang efektif melalui strategi *hedging* dapat meningkatkan stabilitas sektor perbankan non-syariah. Perusahaan yang menerapkan strategi *hedging* yang tepat dapat mengurangi risiko fluktuasi mata uang dalam transaksi lintas batas, sehingga meningkatkan kinerja keuangan dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan [14]. Selain itu, perusahaan yang terlibat dalam operasi internasional dan menggunakan *hedging* mata uang mampu mengelola risiko dengan lebih efektif, yang berkontribusi pada stabilitas keuangan dan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan [15]. Dengan demikian, implementasi *hedging* yang optimal tidak hanya berkontribusi pada stabilitas keuangan perbankan, tetapi juga mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan pembangunan infrastruktur keuangan yang tangguh, sejalan dengan agenda global SDGs.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Data dan Variabel Penelitian

Sumber data pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari laporan tahunan 34 perusahaan bank non-syariah yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) selama periode 2020-2022 [16]. Data yang digunakan mencakup variabel-variabel yang relevan untuk menganalisis keputusan *hedging*, yang mencakup faktor *leverage*, likuiditas, profitabilitas, ukuran perusahaan, dan peluang pertumbuhan. Variabel-variabel ini dipilih berdasarkan tinjauan pustaka yang menunjukkan hubungan potensial dengan keputusan *hedging*, serta relevansi dalam konteks sektor perbankan non-syariah di Indonesia. Setiap variabel penelitian dihitung menggunakan proksi tertentu yang sesuai dengan literatur sebelumnya. Adapun variabel penelitian dan definisi operasional masing-masing variabel disajikan pada Tabel 1.

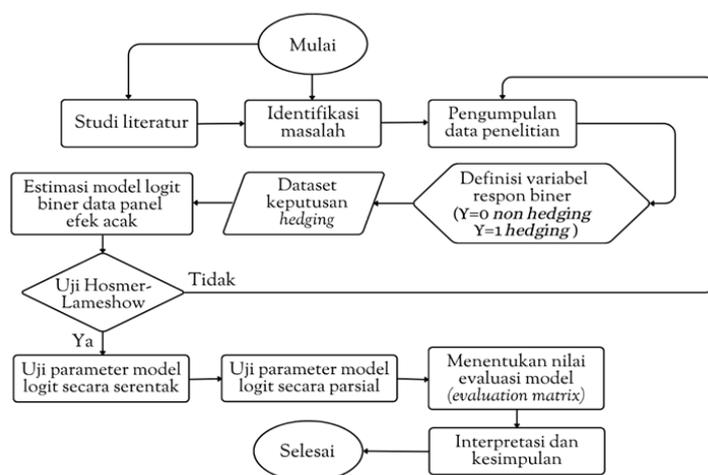
**Tabel 1. Variabel Penelitian**

Kode Variabel	Nama Variabel	Definisi Operasional	Skala
Y	Keputusan <i>Hedging</i>	Keputusan bank non-syariah untuk melakukan lindung nilai ( <i>hedging</i> ) menggunakan instrumen derivatif.	Nominal 0 : tidak <i>hedging</i> 1 : <i>hedging</i>
X <sub>1</sub>	Leverage	Rasio yang menunjukkan proporsi utang terhadap ekuitas perusahaan yang diukur menggunakan <i>Debt to Equity Ratio</i> (DER)	Rasio
X <sub>2</sub>	Likuiditas	Rasio yang mencerminkan kemampuan	Rasio

		perusahaan dalam memenuhi kewajiban jangka pendek yang diukur dengan <i>Current Ratio</i> (CR)	
X <sub>3</sub>	Profitabilitas	Tingkat kemampuan perusahaan menghasilkan keuntungan relatif terhadap aset yang dimiliki yang diukur dengan <i>Return on Assets</i> (ROA)	Rasio
X <sub>4</sub>	Ukuran Perusahaan	Ukuran perusahaan yang dihitung berdasarkan logaritma natural total aset perusahaan	Rasio
X <sub>5</sub>	Peluang Pertumbuhan	Peluang pertumbuhan perusahaan di masa depan yang diukur dengan rasio nilai pasar ekuitas dengan nilai buku ekuitas	Rasio

## 2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif yang melibatkan pengumpulan dan analisis data numerik untuk menguji hipotesis penelitian [17]. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah metode dokumentasi dan digunakan metode statistika yaitu regresi logit biner data panel dengan efek acak dengan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) dalam estimasi model keputusan *hedging* bank non-syariah di Indonesia. Tahapan analisis data menggunakan metode logit biner dengan efek acak dirancang secara runtut dan disajikan secara skematik pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

## 2.3 Keputusan Hedging

*Hedging* adalah strategi untuk melindungi nilai perusahaan dari risiko keuangan, khususnya risiko nilai tukar mata uang asing, suku bunga, dan harga komoditas yang fluktuatif [18]. *Hedging* dilakukan untuk mengurangi dampak buruk dari eksposur transaksi, seperti bahan baku impor, penjualan ekspor, serta hutang dan piutang dalam mata uang asing, yang biasanya menggunakan instrumen derivatif sebagai alat lindung nilai. Dalam penelitian ini, keputusan *hedging* dioperasionalkan sebagai variabel *dummy*, yaitu variabel kualitatif yang direpresentasikan secara kuantitatif untuk mempermudah analisis [19]. Variabel respon dikategorikan sebagai "*hedging*" ( $Y=1$ ) jika

bank secara jelas mencantumkan penggunaan instrumen derivatif dalam laporan keuangan dan "tidak *hedging*" ( $Y=0$ ) jika sebaliknya [20].

## 2.4 Model Regresi Logit Biner

Model regresi logit biner merupakan model regresi dengan variabel respon terdiri dari dua kategori, sedangkan variabel prediktor bersifat kategori maupun kontinu dan probabilitas sukses hasil percobaan didasarkan pada distribusi logistik. Model regresi logit biner dapat dinyatakan dalam persamaan (1) [21].

$$g(\pi_i) = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dengan  $g(\pi_i)$  adalah fungsi link logit dengan  $g(\pi_i) = \ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right)$ , variabel  $\mathbf{X}_i$  adalah vektor dari variabel prediktor ke-  $i$  dengan  $\mathbf{X}_i = (1, X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$  yang berukuran  $1 \times (p + 1)$ , dan parameter  $\boldsymbol{\beta}$  adalah vektor koefisien parameter yang bersesuaian dengan variabel prediktor  $\mathbf{X}_i$  dengan  $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)'$  yang berukuran  $(p + 1) \times 1$ , dan  $p$  adalah banyaknya variabel prediktor.

Berdasarkan persamaan (1), diperoleh probabilitas sukses pada percobaan ke- $i$  yang bersesuaian dengan variabel prediktor  $\mathbf{X}_i$  pada persamaan (2).

$$\pi_i = \frac{\exp(\mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta})}{1 + \exp(\mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta})} \quad ; \quad \pi_i = \Pr(Y = 1 | \mathbf{X}_i) \quad (2)$$

Estimasi parameter pada model regresi logit menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). MLE merupakan metode yang dapat digunakan untuk menaksir parameter suatu model yang diketahui distribusinya. Pada percobaan yang dilakukan sebanyak  $n$  kali diberikan variabel random  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  yang saling independen dari populasi distribusi Binomial  $Y_i \sim b(1, \pi_i)$ , dengan  $\pi_i = \pi(\mathbf{X}_i)$  pada persamaan (2) adalah probabilitas sukses ke-  $i$ , maka dapat diperoleh fungsi *likelihood* pada persamaan (3) [22].

$$L(\boldsymbol{\beta}) = \prod_{i=1}^n \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{1-y_i} = \pi_i^{\sum_{i=1}^n y_i} (1 - \pi_i)^{\sum_{i=1}^n (1-y_i)} \quad (3)$$

Dari persamaan (3) maka dapat diperoleh fungsi *log-likelihood* dalam persamaan (4).

$$\ln L(\boldsymbol{\beta} | \mathbf{y}) = \ell(\boldsymbol{\beta}) = \sum_{i=1}^n y_i \ln \pi_i + (\sum_{i=1}^n (1 - y_i)) \ln(1 - \pi_i) \quad (4)$$

Selanjutnya diperoleh estimasi parameter  $\boldsymbol{\beta}$  dengan memaksimumkan fungsi  $\ell(\boldsymbol{\beta})$  pada persamaan (4) dengan syarat cukup yaitu  $\frac{\partial \ell(\boldsymbol{\beta})}{\partial \boldsymbol{\beta}} = \mathbf{0}$  seperti pada persamaan (5).

$$\frac{\partial \ell(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta_j} = \sum_{i=1}^n X_{ij} (y_i - \pi_i) = 0; \quad j = 0, 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

dengan  $X_{i0} = 1$ . Persamaan (5) berbentuk implisit sehingga digunakan metode numerik *Newton-Raphson* untuk mengestimasi parameter  $\boldsymbol{\beta}$ .

## 2.5 Model Regresi Logit Biner Data Panel Efek Acak

Model regresi logit data panel adalah model regresi logit yang menggunakan struktur data panel dengan variabel respon mempunyai dua kategori (biner) serta dipengaruhi oleh variabel prediktor yang bersifat kategori maupun kontinu dengan efek acak. Model regresi logit biner data panel secara umum dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (6).

$$y_{it}^* = \mathbf{X}_{it} \boldsymbol{\beta} + u_i + v_{it}; \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (6)$$

dengan  $y_{it}^*$  adalah variabel respon laten,  $X_{it}$  adalah vektor variabel prediktor pada unit *cross-section* ke- $i$  dan waktu ke- $t$  dengan  $X_{it} = (1, X_{1it}, X_{2it}, \dots, X_{pit})$ , dan  $\beta$  adalah vektor parameter dengan  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)'$ .

Pembentukan kategori secara biner pada variabel respon  $Y_{it}$  didasarkan pada nilai variabel respon laten pada persamaan (6) dengan memberikan *threshold* sebagai berikut [23].

$$y_{it} = \begin{cases} 1, & \text{jika } y_{it}^* > 0 \\ 0, & \text{jika } y_{it}^* \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Estimasi parameter model regresi logistik biner pada data panel dengan efek acak dilakukan menggunakan metode MLE dengan probabilitas sukses pada persamaan (8).

$$\pi_{it} = \frac{\exp(X_{it}\beta + u_i)}{1 + \exp(X_{it}\beta + u_i)} \quad (8)$$

dengan  $\pi_{it}$  adalah probabilitas sukses yang bersesuaian dengan variabel prediktor  $X_{it}$  dan  $u_i$  adalah efek acak dari unit *cross-section* ke- $i$  yang berdistribusi *iid*  $N(0, \sigma_u^2)$ .

## 2.6 Pengujian Signifikansi Parameter

Pengujian parameter model regresi logit biner bertujuan untuk menguji signifikansi dari pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respon dalam model. Terdapat dua jenis pengujian yang dilakukan, yaitu uji parameter secara simultan dan parsial. Uji simultan menggunakan statistik *Likelihood Ratio (LR)* digunakan untuk mengidentifikasi apakah variabel prediktor secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon. Statistik uji *LR* disajikan melalui persamaan (9) [24].

$$LR = -2 \ln \left[ \frac{L(\hat{\omega})}{L(\hat{\Omega})} \right] \quad (9)$$

dengan  $L(\hat{\omega})$  adalah *Maximum likelihood* ketika parameter di bawah  $H_0$  dan  $L(\hat{\Omega})$  adalah *Maximum likelihood* ketika parameter di bawah populasi.

Berikutnya, dilakukan uji normal baku digunakan untuk menguji signifikansi parameter secara individu atau parsial dengan membandingkan taksiran  $\beta$  dengan taksiran standar *error*-nya. Statistik uji normal baku yang dirumuskan melalui persamaan (10) [25].

$$Z = \frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \quad (10)$$

dengan  $\hat{\beta}_j$  adalah estimator  $\beta_j$  dan  $SE(\hat{\beta}_j)$  adalah simpangan baku atau *standard error* dari estimator  $\beta_j$ .

## 2.7 Uji Kesesuaian Model

Uji kesesuaian model menggunakan uji *Hosmer Lemeshow* bertujuan untuk menguji apakah tidak ada perbedaan antara model dugaan dengan model sesungguhnya sehingga model dapat dikatakan *fit*. Statistik uji *Hosmer Lemeshow* disajikan pada persamaan (11) [26].

$$HL = \sum_{j=1}^J \frac{(y(j) - n_j \bar{p}(j))^2}{n_j \bar{p}(j)(1 - \bar{p}(j))} \quad (11)$$

dengan  $y(j)$  adalah variabel respon pada data yang dikelompokkan ke dalam  $j = 1, 2, \dots, J$  kelompok dengan  $y(j) = \sum_{i=1}^{n_j} y_i$ ,  $J$  adalah banyaknya kelompok,  $n_j$  adalah jumlah observasi atau data pada kelompok ke- $j$ ,  $\bar{p}(j)$  adalah rata-rata perkiraan probabilitas pada kelompok ke- $j$  dengan  $\bar{p}(j) = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{y_i}{n_j} = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(1 - P(-X_{it}\beta))}{n_j}$ .

## 2.8 Kriteria Pemilihan Model Terbaik

Kriteria pemilihan model terbaik digunakan untuk mendapatkan model yang terbaik yang mampu menjelaskan pola hubungan antara variabel prediktor dengan variabel respon dan mampu secara akurat melakukan prediksi. *Confusion matrix* merupakan alat untuk mengukur performa model klasifikasi dengan variabel respon kategori, di mana setiap elemen matriks memberikan jumlah observasi dalam kategori yang tepat atau salah klasifikasi [27]. Model *Confusion matrix* untuk kategori biner disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Confusion Matrix Biner**

Aktual	Prediksi	
	Y = 0	Y = 1
Y = 0	$n_{11}$	$n_{12}$
Y = 1	$n_{21}$	$n_{22}$

dengan  $n_{11}$  adalah banyak kejadian gagal hasil pengamatan yang tepat diklasifikasikan,  $n_{12}$  adalah banyak kejadian gagal hasil pengamatan yang salah diklasifikasikan,  $n_{21}$  adalah banyak kejadian sukses hasil pengamatan yang salah diklasifikasikan, dan  $n_{22}$  adalah banyak kejadian sukses hasil pengamatan yang tepat diklasifikasikan.

Akurasi adalah suatu metrik evaluasi yang melihat probabilitas kesalahan klasifikasi yang dilakukan oleh suatu fungsi klasifikasi. Ukuran akurasi diberikan melalui persamaan (12) [28].

$$Akurasi = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_{11} + n_{12} + n_{21} + n_{22}} \quad (12)$$

Terdapat juga ukuran *Akaike Information Criterion* (AIC) yang digunakan untuk mengukur deviasi antara model estimasi MLE dengan data yang dihasilkan dan *Schwarz Criterion* (SC) untuk menilai kecocokan model. Pemilihan model terbaik diperoleh berdasarkan kriteria AIC dan SC minimum karena lebih sederhana dan sesuai dengan data sebab memberikan penalti terhadap model yang menggunakan lebih banyak parameter. Ukuran AIC dan SC dirumuskan secara urut dalam persamaan (13) dan (14) [29].

$$AIC = -2 \log L(\hat{\theta}_k) + 2p \quad (13)$$

$$SC = -2 \log L(\hat{\theta}_k) + p \log(n) \quad (14)$$

dengan  $p$  adalah jumlah parameter pada model,  $\hat{\theta}_k$  adalah estimasi MLE dari model, dan  $n$  adalah jumlah pengamatan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini dijelaskan karakteristik variabel penelitian yang disajikan secara deskriptif serta analisis faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan *hedging* bank non-syariah di Indonesia secara signifikan, termasuk estimasi model keputusan *hedging* menggunakan metode logit biner data panel efek acak dengan pendekatan MLE.

### 3.1 Analisis Statistika Deskriptif

Penelitian ini berfokus pada keputusan *hedging* sebagai variabel respon terhadap beberapa variabel yang dianggap berpengaruh. Variabel-variabel tersebut mencakup lima variabel prediktor dengan gambaran umum disajikan dalam statistika deskriptif pada Tabel 3.

**Tabel 3. Statistika Deskriptif**

Variabel	Mean	Std. Deviasi	Min	Max
Leverage ( $X_1$ )	5,045	2,758	0,418	16,079
Likuiditas ( $X_2$ )	1,262	0,362	0,886	3,381
Profitabilitas ( $X_3$ )	0,005	0,027	-0,181	0,056
Ukuran Perusahaan ( $X_4$ )	20,972	4,564	14,595	32,520
Peluang Pertumbuhan ( $X_5$ )	15,220	51,080	-100,000	464,820

### 3.2 Pengujian Signifikansi Parameter

Pemodelan keputusan *hedging* dalam penelitian ini menggunakan pendekatan model regresi logit biner dengan efek acak, yang diawali dengan pengujian parameter regresi. Pengujian parameter bertujuan untuk menentukan signifikansi pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respon. Pengujian parameter dalam regresi logit biner data panel dilakukan dengan menguji parameter  $\beta$  secara simultan dan parsial. Uji LR digunakan untuk menguji pengaruh simultan variabel prediktor terhadap keputusan *hedging* yang disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Uji Simultan Parameter**

Likelihood Ratio test	Chi-Square Tabel	p-value	Keputusan
42,226	11,071	0,000	Tolak $H_0$

Daerah kritis penolakan  $H_0$  apabila nilai statistik LR  $> \chi^2_{(\alpha,5)}$  atau  $p - value < \alpha$  dengan  $\alpha = 5\%$ . Tabel 4 menunjukkan hasil uji statistik LR sebesar  $42,226 > 11,071$  dengan  $p - value < 0,05$ , sehingga  $H_0$  ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa secara simultan terdapat pengaruh signifikan antara variabel prediktor secara simultan terhadap keputusan *hedging* bank non-syariah di Indonesia.

Pengujian parameter secara simultan menunjukkan adanya pengaruh signifikan, sehingga dilanjutkan dengan pengujian parameter secara parsial menggunakan uji Z. Hasil pengujian parameter parsial regresi model logit biner disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5. Uji Parsial Parameter Full**

Variabel	Koefisien	Std. Error	Z-stat	p-value	Keputusan
Constant	6,5625	2,4026	2,731	0,0063	
$X_1$	0,1112	0,1484	0,749	0,4536	Gagal tolak $H_0$
$X_2$	-0,6787	1,0071	-0,674	0,5004	Gagal tolak $H_0$
$X_3$	28,2383	11,2923	2,501	0,0124	Tolak $H_0$
$X_4$	-0,2162	0,0631	-3,428	0,0006	Tolak $H_0$
$X_5$	-0,0567	0,0187	-3,028	0,0025	Tolak $H_0$

Tabel 5 menunjukkan bahwa dari lima variabel prediktor yang diuji, terdapat tiga variabel yang berpengaruh signifikan terhadap keputusan *hedging*, yaitu Profitabilitas ( $X_3$ ), Ukuran Perusahaan ( $X_4$ ), dan Peluang Pertumbuhan ( $X_5$ ), yang ditunjukkan dengan nilai  $p$ -value  $< 0,05$ , sedangkan *Leverage* ( $X_1$ ) dan Likuiditas ( $X_2$ ) tidak memiliki pengaruh signifikan secara statistik terhadap keputusan *hedging*. Dengan demikian, hanya terdapat tiga variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan secara statistik terhadap probabilitas bank non-syariah yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia termasuk dalam kategori yang menerapkan atau tidak menerapkan keputusan *hedging*.

Pengujian kesesuaian model selanjutnya dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara hasil observasi dengan hasil prediksi model. Berdasarkan uji Hosmer-Lemeshow, diperoleh nilai statistik uji sebesar  $12,5427 < \chi^2_{(0,05;8)}$  dan nilai  $p$ -value sebesar  $0,1286 > \alpha$  sehingga  $H_0$  gagal ditolak yang mengartikan bahwa model logit biner data panel dengan efek acak sesuai dengan data keputusan *hedging*.

Hasil pengujian parameter  $\beta$  pada Tabel 5 kemudian diuji ulang hanya dengan menggunakan parameter  $\beta$  yang signifikan yang disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Uji Parsial Parameter Signifikan**

Variabel	Koefisien	Std. Error	Z-stat	p-value	Keputusan
Constant	6,7733	1,4356	4,718	0,0000	
$X_3$	32,0183	12,4249	2,577	0,0100	Tolak $H_0$
$X_4$	-0,2399	0,0607	-3,951	0,0001	Tolak $H_0$
$X_5$	-0,0579	0,0181	-3,195	0,0014	Tolak $H_0$

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai koefisien variabel prediktor  $X_3$ ,  $X_4$ , dan  $X_5$  memiliki pengaruh signifikan yang konsisten terhadap keputusan *hedging*. Selanjutnya, model terbaik yang diperoleh melalui pendekatan regresi logit data panel dapat diukur menggunakan kriteria kelayakan model yaitu AIC dan SC. Perbandingan nilai AIC dan SC dari hasil pengolahan data uji parameter parsial menggunakan 5 variabel dan 3 variabel prediktor signifikan dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Perbandingan Nilai AIC dan SC**

Kriteria	$X_1$ $X_2$ $X_3$ $X_4$ $X_5$	$X_3$ $X_4$ $X_5$
AIC	0,89763	0,88117*
SC	1,05204	0,98411*

Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai AIC dan SC yang dihasilkan menggunakan pendekatan model logit biner dengan 3 variabel prediktor signifikan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan 5 variabel prediktor atau seluruh koefisien variabel dalam model. Dengan demikian, analisis regresi logit biner menggunakan 3 variabel signifikan lebih baik untuk memodelkan keputusan *hedging* pada bank non-syariah di Indonesia.

### 3.3 Pemodelan Keputusan *Hedging* dengan Model Logit Biner Efek Acak

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh model terbaik dengan pendekatan regresi logit biner data panel dengan efek acak untuk keputusan *hedging* bank non-syariah di Indonesia yang dirumuskan dalam persamaan (15) sebagai berikut.

$$y_{it}^* = 6,7733 + 32,0183X_{3it} - 0,2399X_{4it} - 0,0579X_{5it} \quad (15)$$

Persamaan (15) dapat diinterpretasikan apabila suatu bank non-syariah dengan kode AGRO pada tahun 2020 memiliki nilai ROA sebesar 0,00112, Ukuran Perusahaan sebesar 24,05602, dan Peluang Pertumbuhan sebesar 3,50071, maka nilai variabel laten  $y_{it}^*$  adalah 0,8359. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh  $y_{it} = 1$ , yang menunjukkan bahwa bank tersebut dapat diklasifikasikan sebagai bank yang menerapkan keputusan *hedging*, dengan probabilitas kategori keputusan *hedging* yang diperoleh  $y_{it}^* = \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + u_i$  dengan  $u_i = 0$  maka

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(0,8359)}{1 + \exp(0,8359)} = 0,6976 \quad (16)$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa bank non-syariah dengan kode AGRO pada tahun 2020 termasuk dalam kategori bank non-syariah di Indonesia yang menerapkan keputusan *hedging* dengan probabilitas sebesar 69,76%.

Model terbaik yang diperoleh melalui pendekatan regresi logit biner data panel dapat dievaluasi menggunakan ukuran akurasi. *Confusion matrix* yang digunakan untuk mengukur kebaikan model disajikan pada Tabel 8 berikut.

**Tabel 8. *Confusion Matrix* Model Logit Biner Efek Acak**

Aktual	Prediksi	
	$Y = 0$	$Y = 1$
$Y = 0$	17	12
$Y = 1$	5	68

Tabel 8 menunjukkan hasil klasifikasi keputusan *hedging* bank non-syariah di Indonesia menggunakan model regresi logit biner data panel dengan ukuran akurasi diperoleh pada persamaan (17).

$$Akurasi = \frac{17+68}{29+73} \times 100\% = 83,33\% \quad (17)$$

Berdasarkan persamaan (17), diperoleh akurasi klasifikasi yang dihasilkan melalui pendekatan regresi logit biner data panel dengan efek acak sebesar 83,33%.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa keputusan *hedging* pada bank non-syariah di Indonesia dipengaruhi secara signifikan oleh profitabilitas, ukuran perusahaan, dan peluang pertumbuhan. Model regresi logit biner dengan efek acak pada variabel yang signifikan menunjukkan tingkat akurasi klasifikasi sebesar 83,33%, dengan nilai AIC sebesar 0,88117 dan SC sebesar 0,98411, yang lebih baik dibandingkan model yang melibatkan semua variabel prediktor. Selain itu, hasil menunjukkan bahwa bank non-syariah dengan profitabilitas yang lebih tinggi, ukuran perusahaan yang lebih besar, dan peluang pertumbuhan yang lebih rendah cenderung menerapkan keputusan *hedging*. Analisis ini memberikan kontribusi penting bagi

pengelolaan risiko keuangan di sektor perbankan non-syariah di Indonesia, dengan implikasi pada pengambilan keputusan strategis terkait mitigasi risiko nilai tukar.

## Daftar Pustaka

- [1] R. D. Handoyo, S. M. Ilyas, A. R. Ridzuan, N. A. Z. M. Azhar, and M. S. Shaari, "Towards Achieving Sustainability in Financial Market: The Impact of Covid-19, Oil Price, Stock Price on Exchange Rate Volatility in Indonesia," *Int. J. Acad. Res. Bus. Soc. Sci.*, vol. 11, no. 5, pp. 842–861, 2021, doi: 10.6007/ijarbss/v11-i5/9764.
- [2] A. Condronegoro and H. T. Hasibuan, "Leverage , Firm Size , Likuiditas, Financial Distress , dan Aktivitas Hedging Dengan Instrumen Derivatif.," *E-Jurnal Akunt.*, vol. 33, no. 8, pp. 2102–2116, 2023.
- [3] R. S. P. Jiwandhana and N. Triaryati, "Pengaruh Leverage Dan Profitabilitas Terhadap Keputusan Hedging Perusahaan Manufaktur Indonesia," *E-Jurnal Manaj. Unud*, vol. 5, no. 1, pp. 31–58, 2016.
- [4] S. Rahayu, Zufrizal, W. Astuty, and H. Triastuti, "Hedging Decisions and It's Affecting Factors on Mining Companies Listed in The Indonesian Sharia Stock Index (ISSI)," *Budapest Int. Res. Critics Intitute-Journal*, pp. 2662–2676, 2020, [Online]. Available: <http://bircu-journal.com/index.php/birci/article/view/1277>.
- [5] Bank Indonesia, *Peraturan Bank Indonesia No. 6 Tahun 2024 tentang Pasar Uang dan Pasar Valuta Asing*, no. 1. Indonesia, 2024, pp. 1–23.
- [6] Otoritas Jasa Keuangan, *Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 13/POJK.03/2021 tentang Penyelenggaraan Produk Bank Umum*. 2021, pp. 1–172.
- [7] A. D. Pujiyanto, "Pengaruh Tingkat Liquidity, Leverage, Firm Size, Financial Distress dan Growth Opportunity terhadap Keputusan dengan Instrumen Derivatif (Studi pada Perusahaan Sektor Consumer Goods yang Terdaftar pada BEI)," *J. Ilm. Mhs. FEB*, vol. 6, no. 2, 2018.
- [8] M. P. B. Karlinda and S. A. M. Manunggal, "Pengaruh leverage, firm size, profitabilitas, dan likuiditas terhadap pengambilan keputusan hedging perusahaan manufaktur di BEI," *J. Manaj. Bisnis dan Kewirausahaan*, vol. 7, no. 2, pp. 467–480, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.24912/jmbk.v7i2.23104>.
- [9] F. Saragih and Musdholifa, "Pengaruh Growth Opportunity, Firm Size, dan Liquidity terhadap Keputusan Hedging pada Perusahaan Perbankan Indonesia," *J. Ilmu Manaj.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2017.
- [10] X. Liu, "Chapter 10 - Mixed-effects regression model for binary longitudinal data," in *Methods and Applications of Longitudinal Data Analysis*, Elsevier Inc., 2016, pp. 309–341.
- [11] R. Breen, K. B. Karlson, and A. Holm, "Interpreting and understanding logits, probits, and other nonlinear probability models," *Annu. Rev. Sociol.*, vol. 44, pp. 39–54, 2018, doi: 10.1146/annurev-soc-073117-041429.
- [12] J. M. Wooldridge, *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 7th Edition. India: Cengage Learning, 2020.
- [13] W. H. Greene, *Econometric Analysis*, 8th edition. 2020.
- [14] F. S. Zai and A. Mansur, "Hedging Strategy to Mitigate Exchange Rate Risk in Cross-Border Transactions: Literature Review," *J. Bus. Manag. Econ. Dev.*, vol. 2, no.

- 03, pp. 1155–1168, Jun. 2024, doi: 10.59653/jbmed.v2i03.908.
- [15] L. Alfaro, M. Calani, and L. Varela, “Granular Corporate Hedging Under Dominant Currency,” 2023.
- [16] Bursa Efek Indonesia, “Derivatif,” *IDX*, 2022. <https://www.idx.co.id/id/produk/derivatif%0A%0A> (accessed Sep. 18, 2023).
- [17] J. W. Creswell, “Desain penelitian,” in *Pendekatan Kualitatif & Kuantitatif*, Jaka: KIK, 2002, pp. 121–180.
- [18] R. E. Baker, T. E. Christensen, D. M. Cottrell, K. I. Rais, W. Astono, and E. R. Wulandari, *Akuntansi Keuangan Lanjutan Perspektif Indonesia (2 ed.)*. Salemba Empat. Salemba Empat, 2013.
- [19] Winarno, L. N. Hidayati, and A. Darmawati, “Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Profitabilitas Perusahaan Manufaktur yang Listed di BEI,” *J. Econ.*, vol. 11, no. 2, pp. 143–149, 2015.
- [20] M. H. Al Hakim, “Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keputusan Hedging pada Perusahaan Non-Financial yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Periode 2014–2017,” Bandar Lampung, 2020.
- [21] D. N. Gujarati and D. C. Porter, *Basic Econometrics*, Fifth Edit. New York: The McGraw–Hill Companies, 2009.
- [22] P. Sahoo, *Probability and mathematical Statistics*. Louisville: University of Louisville, 2008.
- [23] W. Greene, *Econometric Analysis*, 7th edition. New Jersey, 2012.
- [24] C. Gourieroux, A. Holly, and A. Monfort, “Likelihood Ratio Test, Wald Test, and Kuhn-Tucker Test in Linear Models with Inequality Constraints on the Regression Parameters,” *Econometrica*, vol. 50, pp. 63–80, 1982.
- [25] R. Davidson and J. G. MacKinnon, *Estimation and Inference in Econometrics*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- [26] D. W. J. Hosmer and S. Lemeshow, *Applied Logistic Regression*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [27] N. S. M. Huang, Z. Ibrahim, and N. M. Diah, “Machine Learning Techniques for Early Heart Failure Prediction,” *Malaysian J. Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 872–884, 2021.
- [28] R. A. Johnson and D. W. Wichern, *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Sixth Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [29] H. Akaike, “Factor Analysis and AIC,” *Psychometrika*, vol. 52, no. 3, pp. 317–332, 1987.

## Pemodelan dan Aplikasi *Single Depot mTSP* Berbasis *Fuzzy* untuk Efisiensi *Deposit Carrying*

Rahmawati<sup>1</sup>, Novi Hidayah<sup>2</sup>, Mohammad Soleh<sup>3</sup>, Aldi Suprianto<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Matematika, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293  
Jl. HR Soebrantas KM 12,5, Kampus Bina Widya Simpang Baru, Pekanbaru, 28293  
Email: [rahmawati@uin-suska.ac.id](mailto:rahmawati@uin-suska.ac.id)<sup>1</sup>, [12050426198@students.uin-suska.ac.id](mailto:12050426198@students.uin-suska.ac.id)<sup>2</sup>,  
[msoleh@uin-suska.ac.id](mailto:msoleh@uin-suska.ac.id)<sup>3</sup>, [affanaldi7@gmail.com](mailto:affanaldi7@gmail.com)  
Korespondensi penulis : [rahmawati@uin-suska.ac.id](mailto:rahmawati@uin-suska.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini membahas permasalahan *Multiple Traveling Salesman Problem* (mTSP) dengan pendekatan *single depot* berbasis penugasan, dengan biaya perjalanan antar node dinyatakan sebagai bilangan *fuzzy trapezoid*. Tujuan utama penelitian ini adalah meminimalkan biaya perjalanan dalam pengambilan deposit (*Deposit Carrying*) dari kantor pusat ke cabang-cabang Bank Mandiri di Pekanbaru. Formulasi yang disusun mencakup penyesuaian bobot biaya menjadi bilangan *fuzzy trapezoid*, yang kemudian dikonversi menjadi nilai *crisp* menggunakan *Ranking Score Method* (RSM). Kasus ini melibatkan 21 node (1 kantor pusat dan 20 cabang), dengan batas atas dan bawah kunjungan per node untuk memastikan efisiensi penjadwalan kru. Hasil optimasi menunjukkan bahwa biaya minimum yang diperlukan untuk menjangkau seluruh cabang adalah sebesar Rp192.943,5 menggunakan kendaraan operasional berbahan bakar pertamax. Penelitian ini menunjukkan efektivitas model mTSP berbasis *fuzzy* dalam meminimalkan biaya perjalanan dan memberikan solusi yang relevan bagi industri perbankan, khususnya dalam pengelolaan operasional yang melibatkan ketidakpastian biaya.

**Kata Kunci:** mTSP, fuzzy trapezoid, Ranking Score Method, Deposit carrying

### Abstract

*This study examines the Multiple Traveling Salesman Problem (mTSP) using a single-depot assignment-based approach, where travel costs between nodes are represented as trapezoidal fuzzy numbers. The primary objective is to minimize travel costs for deposit collection (Deposit*

Carrying) from the main office to the branches of Bank Mandiri in Pekanbaru. The proposed formulation incorporates the adjustment of cost weights into trapezoidal fuzzy numbers, which are subsequently converted into crisp values using the Ranking Score Method (RSM). The case involves 21 nodes (1 main office and 20 branches), with upper and lower bounds on node visits to ensure efficient crew scheduling. Optimization results reveal that the minimum cost required to serve all branches is Rp 192,943.5, utilizing operational vehicles fueled with Pertamina. This study highlights the effectiveness of the fuzzy-based mTSP model in reducing travel costs and offers a practical solution for the banking sector, particularly in managing operations with uncertain costs.

**Keywords:** mTSP, trapezoidal fuzzy number, Ranking Score Method, Deposit Carrying

## 1. Pendahuluan

Permasalahan mTSP memiliki banyak variasi, salah satunya adalah formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan yang dibahas oleh Kara dan Bektas pada [1] tahun 2005. Tujuan dari formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan dalam penelitian ini adalah meminimalkan jarak/biaya perjalanan yang ditempuh oleh para *salesman* sehingga dapat meminimalkan pengeluaran perusahaan. Salah satu penerapan dari formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan adalah pada kasus *Deposit Carrying*. Pada tahun 2016, [2] membahas formulasi *single depot* mTSP pada *Deposit Carrying* dalam dunia perbankan. Di tahun 2017, [3] juga mengembangkan sebuah algoritma *heuristic* baru yang dilandaskan kepada algoritma lintasan terpendek. Kemudian tahun 2018, [4] membahas penentuan solusi mTSP dengan *Permutation Invariant Pooling Network* yang menggabungkan elemen-elemen desain baru dalam suatu himpunan *graph network*. Pada tahun 2019, [5] membahas solusi dari masalah *single depot* mTSP dengan variasi baru *Open Close Multiple Traveling Salesman Problem* (OCMTSP) dengan seluruh *salesman* dikategorikan secara internal dalam hal ini disebut *permanent* dan eksternal dalam hal ini disebut *outsourcing* yang diposisikan pada satu depot.

Pengembangan *single depot* mTSP dibahas oleh [6] mengenai algoritma eksak untuk menyelesaikan mTSP dengan satu depot ditahun 2020. Pendekatan ini memastikan solusi optimal ditemukan untuk masalah tersebut. Selanjutnya, [7] membahas pengembangan penggunaan algoritma *Firefly* berbasis preferensi untuk menyelesaikan masalah mTSP dengan satu depot di tahun 2023. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam menemukan solusi optimal untuk mTSP. Di tahun 2024, [8] memperkenalkan varian baru dari mTSP yang disebut "*fair-MTSP*", dengan fokus pada distribusi beban kerja yang adil di antara para *salesman*. Pendekatan ini diformulasikan sebagai *Mixed-Integer Second Order Cone Program* (MISOCP) dan *Mixed Integer Linear Program* (MILP).

Dalam penelitian ini, peneliti tertarik untuk mengembangkan formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan tersebut dengan mengembangkan teori bahwa koefisien-koefisien dari fungsi tujuan dalam hal ini biaya perjalanan akan dinyatakan sebagai bilangan *fuzzy Trapezoid* (*Trapezoidal Fuzzy Number*). Ini berarti, biaya perjalanan yang awalnya *fixed* pada satu titik dinyatakan dalam interval empat titik. Hal ini dikarenakan bahwa dalam fenomena kehidupan, biaya perjalanan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi jalan, arus lalu lintas, kecepatan kendaraan, kondisi konsumsi bahan bakar, dan kondisi ban kendaraan. Biaya perjalanan yang dinyatakan sebagai bilangan *fuzzy trapezoid* tersebut akan dikonstruksi ke bilangan *crisp* dengan *Ranking*

*Score Method* (RSM). Selanjutnya, penelitian ini akan melahirkan model *single depot* mTSP terbaru dengan koefisien-koefisien variabel pada fungsi objektif berupa *Trapezoidal Fuzzy Number*. Selanjutnya, model diterapkan dalam studi kasus *Deposit Carrying* yang dilakukan pada Bank Mandiri Pekanbaru dengan menetapkan kantor pusat sebagai *single depot* (node asal) dan beberapa kantor-kantor cabang Bank Mandiri Pekanbaru lainnya dinyatakan sebagai node *intermediate* yang akan dikunjungi oleh para karyawan (*salesman*). Bank Mandiri Pekanbaru digunakan sebagai objek penelitian, dikarenakan memiliki beberapa kantor cabang yang tersebar merata di Pekanbaru dibandingkan dengan Bank-bank lain yang ada di Pekanbaru.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian studi literatur yang mengembangkan teori yang ada pada formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan yang dibahas Kara dan Bektas (2006) menjadi suatu teori baru yang menghasilkan sebuah formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan dengan biaya perjalanan *fuzzy* dengan langkah-langkah berikut:

1. Mengadaptasi formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan dari Kara dan Bektas [1].
2. Mengganti bobot biaya perjalanan antar node menjadi bilangan *fuzzy trapezoid*.
3. Menyusun formulasi *single depot* mTSP dengan biaya perjalanan *fuzzy*.
4. Menggunakan *Ranking Score Method* (RSM) untuk mengkonversi bilangan *fuzzy* menjadi nilai *crisp* dengan Pemrograman Matlab.
5. Menerapkan formulasi pada kasus nyata *Deposit Carrying* di Bank Mandiri Pekanbaru:
  - i. Mengumpulkan data biaya perjalanan dari kantor pusat ke cabang.
  - ii. Menggunakan software LINDO untuk menentukan solusi optimal.
6. Memodelkan dan menyelesaikan masalah dengan batas bawah dan atas kunjungan node setiap *salesman*.

Beberapa teori pendukung dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

### 2.1 Masalah Penugasan (*Assignment Problem*)

Taha [9] menjelaskan bahwa masalah penugasan (*assignment problem*) merupakan suatu masalah menentukan seseorang yang tepat untuk suatu pekerjaan tertentu. Masalah penugasan berhubungan dengan penugasan optimal dari bermacam-macam sumber yang produktif (seperti karyawan, mesin, alat transportasi, atau sumber daya lainnya) dari suatu perusahaan yang mempunyai tingkat efisiensi yang berbeda-beda untuk tugas-tugas yang berbeda-beda pula. Masalah penugasan juga dikatakan sebagai masalah transportasi yang seimbang yang mana semua persediaan dan permintaan sama dengan 1. Secara umum, masalah penugasan dengan  $n$  pekerja yang ditugaskan untuk  $n$  tugas dapat direpresentasikan sebagai model LP berikut. Misalkan  $c_{ij}$  adalah biaya penugasan pekerja ke- $i$  untuk pekerjaan ke- $j$  dan definisikan:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pekerja ke- } i \text{ ditugaskan untuk tugas ke- } j \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

Model LP untuk masalah penugasan adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

dengan kendala :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, & j &= 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, & i &= 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &= 0 \text{ atau } 1, & \forall i, j &. \end{aligned}$$

## 2.2 Teori Graf dan Network

Dalam menyelesaikan masalah jaringan, dapat direpresentasikan dengan teori graf yang dijelaskan pada Liu dan Kao (2004) [10]. Graf terdiri dari simpul-simpul (*vertices* atau *node*) yang dihubungkan dengan sisi (*edge*). Biasanya graf digambarkan sebagai sekumpulan titik (melambangkan simpul) yang dihubungkan oleh ruas garis (melambangkan sisi). Dalam penelitian ini graf yang digunakan adalah graf lengkap dengan setiap nodenya mempunyai sisi ke semua node lainnya disebut graf lengkap (*complete graph*).

### 2.3. Formulasi Single Depot mTSP Berbasis Penugasan

Persoalan mTSP merupakan generalisasi dari persoalan TSP. Pada mTSP harus terdapat  $m \geq 2$  *salesman* yang mengunjungi  $n$  kota (tempat) secara bebas ke seluruh kota (tempat) tersebut. Formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan dirujuk pada Kara dan Bektas [1], serta graf berarah (*directed graph*) oleh [11] yang didefinisikan sebagai berikut.

**Definisi 2.1.** Masalah *single depot* mTSP didefinisikan pada graf berarah lengkap (*complete digraph*)  $G = (V, A)$  dengan  $V = \{1, 2, \dots, n\}$  merupakan himpunan  $n$ -node, dan himpunan busur (*arcs*) dinyatakan dengan  $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ ,  $i \neq j$  dan  $C = c_{ij}$  merupakan matriks jarak yang berhubungan dengan setiap  $(i, j) \in A$ . Matriks biaya  $C$  dapat simetris, asimetris, ataupun euclidean. Misalkan terdapat  $m$ -*salesman* yang berada di satu depot kemudian akan dicari perjalanan (tur) sedemikian sehingga semua salesman berawal dan berakhir di depot, setiap node yang lain tepat dikunjungi sekali dalam satu tur, jumlah node yang dikunjungi oleh *salesman* telah ditentukan dalam suatu interval, dan biaya keseluruhan mengunjungi node diminimalkan.

Menurut [1], untuk menentukan batas atas node batas bawah  $K$  suatu pekerjaan atau minimal node yang harus dikunjungi oleh pekerja (*salesman*) dengan formula  $2 \leq K \leq \lfloor (n-1)/m \rfloor$  dan batas atas  $L$  suatu pekerjaan atau maksimal node yang boleh dikunjungi oleh *salesman* (pekerja) yakni  $L \geq K$  dan kaitannya dengan jumlah node yang harus dikunjungi *saleman* diberikan oleh definisi berikut.

**Definisi 2.2.**  $x_{ij}$  suatu variabel biner yang bernilai 1 jika  $(i, j) \in A$  solusi optimal dan bernilai 0 jika lainnya. Untuk sebarang tur,  $u_i$  adalah jumlah node yang dikunjungi pada lintasan pengunjung dari node asal ke node- $i$ ,  $L$  adalah jumlah maksimum node yang boleh dikunjungi oleh *salesman*, sehingga  $1 \leq u_i \leq L$  untuk  $i \geq 2$ . Selanjutnya, misalkan terdapat  $K$  yaitu jumlah minimum node yang harus dikunjungi oleh *salesman*, jika  $x_{i1} = 1$  maka syarat  $K \leq u_i \leq L$  harus dipenuhi.

**Proposisi 2.1.** Dua kendala batas (*bounding constraints*) yang dinyatakan sebagai

$$u_i + (L-2)x_{i1} - x_{i1} \leq L-1, \quad i = 2, 3, \dots, n$$

merupakan ketaksamaan yang berlaku untuk mTSP untuk  $K \geq 2$ .

## 2.4 Trapezoidal Fuzzy Number

Definisi mengenai bilangan *fuzzy trapezoid* dibahas oleh Pandian dan Natarajan [12] dan Thorani [13] dan [14].

**Definisi 2.3** Bilangan *fuzzy*  $\tilde{A}$  dikatakan bilangan *fuzzy trapezoid* ditulis  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$  dengan  $a_1, a_2, a_3$ , dan  $a_4$  adalah bilangan real dan fungsi keanggotaan  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  diberikan oleh :

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{untuk } a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & \text{untuk } a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & \text{untuk } a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & \text{untuk } x \geq a_4 \end{cases}$$

**Definisi 2.4** Bilangan *fuzzy trapezoid*  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  dikatakan bilangan *fuzzy trapezoid* non-negatif artinya  $\tilde{A} \geq 0$  jika dan hanya jika  $a_1 \geq 0$ . Bilangan *fuzzy trapezoid*  $\tilde{A}$  dikatakan bilangan *fuzzy trapezoid* positif artinya  $\tilde{A} > 0$  jika dan hanya jika  $a_1 > 0$ . Bilangan *fuzzy trapezoid*  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  dikatakan bilangan *fuzzy trapezoid* non-positif artinya  $\tilde{A} \leq 0$  jika dan hanya jika  $a_3 \leq 0$ . Bilangan *fuzzy trapezoid*  $\tilde{A}$  dikatakan bilangan *fuzzy trapezoid* negatif artinya  $\tilde{A} < 0$  jika dan hanya jika  $a_3 < 0$ .

## 2.5 Ranking Score Method (RSM)

*Ranking Score Method* (RSM) adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan *ranking* dari suatu bilangan *fuzzy* melalui suatu nilai yang disebut *score*. *Score* suatu bilangan *fuzzy* merupakan interpretasi bilangan *fuzzy* tersebut dalam bilangan bilangan *crisp* yang didefinisikan sebagai berikut [15].

**Definisi 2.14** *Score* dari bilangan *fuzzy*  $\tilde{A}_i$  didefinisikan sebagai berikut.

$$Score \tilde{A}_i = S_i * e^{U_i} * h_i * a$$

$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^r \int_{a_1}^{a_4} x_i f_{ki} dx}{\sum_{k=1}^r \int_{a_1}^{a_4} f_{ki} dx}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

$$T_i = \frac{\sum_{k=1}^r \int_{a_1}^{a_4} f_{ki} (x_i - S_i)^2 dx}{\sum_{k=1}^r \int_{a_1}^{a_4} f_{ki} dx}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

$$U_i = 1 - T_i e^{(-S_i)}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Dengan  $k$  adalah indeks dari polynomial yang berbeda yang mendefinisikan fungsi keanggotaan pada interval  $[a_1, a_4]$ ,  $h_i$  adalah *height* dari bilangan fuzzy  $\tilde{A}_i$ , dan  $\alpha \in (0, 1]$ . Bilangan fuzzy dengan *score* yang lebih tinggi akan memiliki ranking lebih tinggi.

Diberikan bilangan fuzzy  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  pada  $X$  dengan fungsi keanggotaan kontinu sepotong-sepotong  $f_{\tilde{A}_i} : X \rightarrow [0, 1]$  yang didefinisikan sebagai :

$$f_{\tilde{A}_i} = \begin{cases} f_{\tilde{A}_i}(t), & a \leq t \leq a' \\ 1, & a' \leq t \leq b' \\ f_{\tilde{A}_i}(t), & b' \leq t \leq b \end{cases}$$

Menentukan *ranking* bilangan fuzzy  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  dengan RSM dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

Tahap 1. Menghitung  $h_i$ , yaitu *height* dari masing-masing bilangan fuzzy  $\tilde{A}_i$ .

Tahap 2. Menghitung parameter rata-rata  $S_i$  pada Persamaan (1) untuk masing-masing bilangan fuzzy  $\tilde{A}_i$ .

Tahap 3. Jika  $S_i \neq 0$ , maka dilanjutkan ke tahap 4, selain itu jika  $S_i = 0$  untuk suatu  $i$ , maka tanpa mengurangi keumuman dihitung  $S_i^* = S_i + 1$  untuk setiap  $i$ , dan  $S_i$  diganti dengan  $S_i^*$ .

Tahap 4. Menghitung sebaran bilangan fuzzy  $\tilde{A}_i$ , yaitu  $T_i$  yang dihitung melalui persamaan pada Persamaan (2).

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur untuk mengembangkan formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan, dengan langkah-langkah berikut:

7. Mengadaptasi formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan dari Kara dan Bektas [1].
8. Mengganti bobot biaya perjalanan antar node menjadi bilangan fuzzy *trapezoid*.
9. Menyusun formulasi *single depot* mTSP dengan biaya perjalanan fuzzy.
10. Menggunakan *Ranking Score Method* (RSM) untuk mengkonversi bilangan fuzzy menjadi nilai *crisp* dengan Pemrograman Matlab.
11. Menerapkan formulasi pada kasus nyata *Deposit Carrying* di Bank Mandiri Pekanbaru:
  - i. Mengumpulkan data biaya perjalanan dari kantor pusat ke cabang.

- ii. Menggunakan software LINDO untuk menentukan solusi optimal.
12. Memodelkan dan menyelesaikan masalah dengan batas bawah dan atas kunjungan node setiap salesman.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini disusun mengenai formulasi *single depot* mTSP berbasis penugasan yang diadaptasi dari formulasi *single depot* mTSP yang disusun oleh Kara dan Bektaş. Dengan mengganti fungsi tujuan  $c_{ij}$  dengan bilangan *fuzzy trapezoid*  $\tilde{c}_{ij}$  yang sehingga diperoleh Model formulasi *single depot* mTSP dengan fungsi tujuan bilangan *fuzzy* sebagai berikut :

$$\text{Minimumkan } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \quad i \neq j, (i, j) \in A$$

dengan kendala

$$\sum_{j=2}^n x_{ij} = m,$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = m, \quad j = 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=i}^n x_{ij} = m, \quad i = 2, \dots, n$$

$$u_i + (L - 2) x_{li} - x_{i1} \leq L - 1, \quad i = 2, \dots, n \quad i = 2, \dots, n$$

$$u_i + x_{li} + (2 - K) x_{i1} \geq 2, \quad i = 2, \dots, n \quad i = 2, \dots, n$$

$$x_{li} + x_{i1} \leq 1, \quad i = 2, \dots, n \quad i = 2, \dots, n$$

$$u_i - u_j + Lx_{ij} + (L - 2) x_{ji} \leq L - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad i = 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A.$$

dengan  $\tilde{c}_{ij}$  : bobot perjalanan *fuzzy* dari node- $i$  ke node- $j$ .

$m$  : banyaknya salesman

$u_i$  : jumlah node yang dikunjungi pada lintasan pengunjung dari node asal ke node- $i$ .

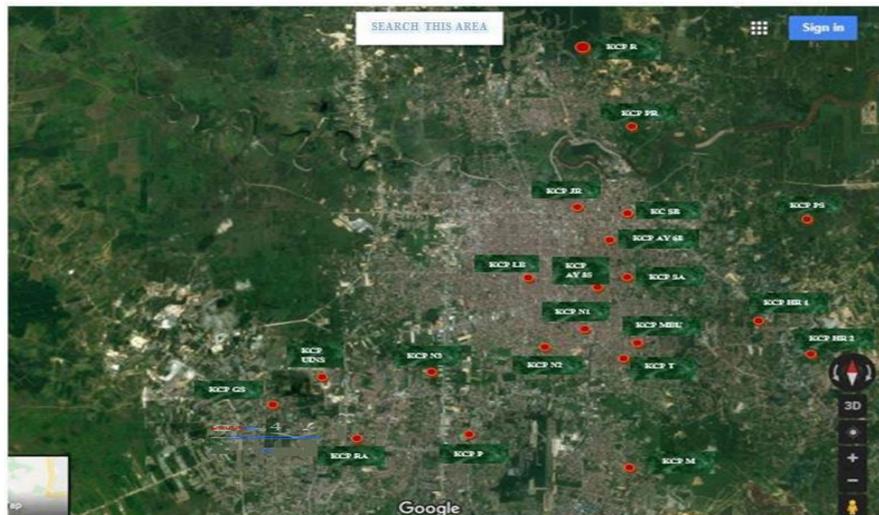
$u_j$  : jumlah node yang dikunjungi pada lintasan pengunjung dari node asal ke node- $j$ .

$L$  : Batas atas suatu pekerjaan/maksimal node yang harus dikunjungi

$K$  : Batas bawah suatu pekerjaan/minimal node yang harus dikunjungi.

Selanjutnya formulasi yang terbentuk diterapkan pada kasus *Deposit Cayying* pada Bank Mandiri Pekanbaru.

Dalam dunia perbankan terdapat banyak produk dan jenis pelayanan jasa yang diberikan pihak bank kepada nasabah. Tujuan dari pemberian jasa-jasa bank adalah untuk mendukung dan memperlancar kegiatan usaha menghimpun dana dan menyalurkan dana dari dan kepada masyarakat. Dana-dana nasabah yang terkumpul di setiap kantor cabang bank harus dihimpun dan dilakukan proses pengelolaannya di kantor pusat bank tersebut. Langkah yang dilakukan untuk dapat menghimpun dana nasabah di kantor bank pusat adalah dengan mengatur penjadwalan kru/pekerja yang akan ditugaskan dari kantor bank pusat untuk mengambil deposit yang dalam hal ini disebut dengan *Deposit Carrying* ke berbagai kantor cabangnya. Perencanaan penjadwalan kru yang efisien untuk mengambil deposit merupakan langkah penting dalam proses perencanaan operasional perusahaan bank tersebut. Penjadwalan kru yang mengunjungi kantor-kantor cabang bank diharapkan dapat mengambil lintasan-lintasan perjalanan yang tepat sehingga dapat meminimalkan biaya perjalanan yang dikeluarkan perusahaan bank tersebut. Pembahasan ini melibatkan beberapa kru yang ditugaskan dari kantor pusat Bank Mandiri Pekanbaru ke berbagai kantor cabangnya. Dalam hal ini terdapat 21 kantor Bank Mandiri dengan rincian 1 kantor pusat dan 20 kantor cabang. Selanjutnya peta node-node kantor Bank Mandiri Pekanbaru diambil melalui *Google Satelit* atau *Google Maps*.



Gambar 1. Persebaran bank-bank Mandiri Pekanbaru.

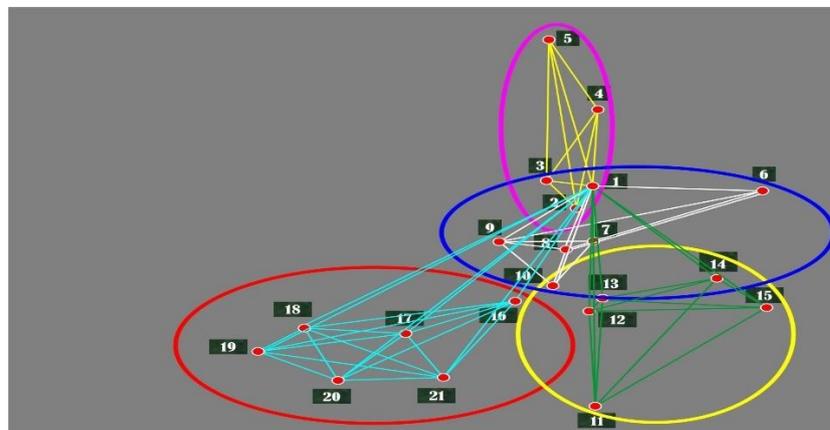
Himpunan node  $V$  (berisi sejumlah  $n$ -node tertentu) yang dalam hal ini berupa sebuah kantor pusat beserta kantor-kantor cabangnya dan himpunan busur  $A$  yang berisi busur-busur yang menghubungkan dua buah node yakni dua buah kantor yang berbeda dengan masing-masing memiliki bobot jarak pada tiap sisinya. Node-node dalam himpunan  $V$  terlebih dahulu diberi nomor dari 1 hingga  $n$ , dengan  $n \in \mathbb{N}$ . Dalam kasus ini kantor-kantor Bank mandiri Pekanbaru dinyatakan sebagai  $V = \{1, 2, 3, \dots, 21\}$  dengan  $n = 1, 2, \dots, 21 \in \mathbb{N}$ . Node pusat atau depot ditetapkan KC SB (Node 1). Sedangkan kantor-kantor cabangnya (*node intermediate*) diberi nomor dengan node 1, node 2 hingga node 21. Dalam hal ini ditetapkan  $m = 4$ , dan ditetapkan  $2 < K < 5$ . Pilih  $K = 4$  artinya node minimal yang harus dikunjungi kru adalah minimal 4 node. Tetapkan batas atas  $L$  suatu pekerjaan atau maksimal node yang boleh dikunjungi kru yakni  $L \geq K$ , dalam hal ini

$L = 6$ . Selanjutnya *Cover* node-node dengan membagi node-node *intermediate* sesuai batas atas an batas bawah node yang boleh dikunjungi salesman seperti terlihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Node-node tercluster.

Selanjutnya bentuk digraf setiap cluster yang terbentuk dan susun formulasi *single depot* mTSP dengan bilangan fuzzy dalam hal ini menyatakan biaya yang diasumsikan dalam bilangan *fuzzy trapezoid*. Dalam hal ini, diasumsikan para karyawan dari bank Mandiri Pekanbaru menggunakan mobil Xenia 1000cc yang dapat menempuh jarak 15km/liter dan mobil tersebut menggunakan bahan bakar Pertamina (Rp. 9000,/liter), maka besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan Bank Mandiri Pekanbaru untuk mengunjungi semua kantor cabangnya yang merupakan bobot node-node *intermediate* yang dikunjungi diasumsikan sebagai bilangan *fuzzy trapezoid* dan selanjutnya setiap bobot biaya perjalanan tersebut score biaya perjalanan menggunakan metode RSM untuk tiap cluster dengan rincian data pada cluster-1 sebanyak 20 data, cluster-2 sebanyak 30 data, cluster-3 sebanyak 30 data dan cluster-4 sebanyak 42 data) sehingga pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Program Matlab. Untuk digraf lengkap dengan Matriks C simetris dari persoalan ini disajikan pada gambar berikut.



Gambar 3. Digraf Lengkap

Tahap selanjutnya diberikan nilai variabel  $u_i$  yaitu jumlah node yang dikunjungi pada lintasan pengunjung dari node asal ke node  $i$  sebagai berikut:

$$u_{02} = 4, u_{03} = 3, u_{04} = 2, u_{05} = 1, u_{06} = 5, u_{07} = 4, u_{08} = 3, u_{09} = 2, u_{10} = 1, \\ u_{11} = 1, u_{12} = 4, u_{13} = 2, u_{14} = 3, u_{15} = 5, u_{16} = 6, u_{17} = 2, u_{18} = 4, u_{19} = 5, \\ u_{20} = 3, u_{21} = 1.$$

Model matematika *single depot* mTSP berbasis penugasan dengan biaya perjalanan fuzzy dimodelkan sebagai berikut:

$$\text{Didefinisikan : } x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{arc}(i, j) \text{ solusi optimal} \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

Minimumkan

$$\sum_{i=1}^{21} \sum_{j=1}^{21} c_{ij} x_{ij} = 1794,07x_{01,02} + 2120,26x_{01,03} + 8154,85x_{01,04} + 13700,10x_{01,05} \\ + 3914,33x_{01,06} + 2446,45x_{01,07} + 2935,47x_{01,08} + 6523,88x_{01,09} \\ + 6034,59x_{01,10} + 13210,8x_{01,11} + 11090,60x_{01,12} + 7013,17x_{01,13} \\ + 10438,20x_{01,14} + 11906,10x_{01,15} + 831794x_{01,16} + 9785,81x_{01,17} \\ + 20224x_{01,18} + 21691,90x_{01,19} + 23322,90x_{01,20} + 17940,70x_{01,21} \\ + 1630,97x_{02,01} + 2283,36x_{02,03} + 7828,65x_{02,04} + 13700,10x_{02,05} \\ + 4077,42x_{03,01} + 2446,45x_{03,02} + 6360,78x_{03,04} + 11743x_{03,05} \\ + 9948,91x_{04,01} + 8481,04x_{04,02} + 6686,94x_{04,03} + 4403,62x_{04,05} \\ + 15168x_{05,01} + 13863,20x_{05,02} + 11906,10x_{05,03} + 4403,62x_{05,04} \\ + 3914,33x_{06,01} + 4729,81x_{06,07} + 4892,91x_{06,08} + 8644,14x_{06,09} \\ + 7828,65x_{06,10} + 2446,45x_{07,01} + 4729,81x_{07,06} + 652,29x_{07,08} \\ + 44566,71x_{07,09} + 3588,13x_{07,10} + 2935,74x_{08,01} + 5708,39x_{08,06} \\ + 652,39x_{08,07} + 4077,42x_{08,09} + 3098,84x_{08,10} + 6686,97x_{09,01} \\ + 9785,81x_{09,06} + 4892,91x_{09,07} + 4403,62x_{09,08} + 5708,39x_{09,10} \\ + 6850,07x_{10,01} + 7828,65x_{10,06} + 4566,71x_{10,07} + 4077,42x_{10,08} \\ + 5219,10x_{10,09} + 15004,90x_{11,01} + 7828,65x_{11,12} + 6523,88x_{11,13} \\ + 12558,50x_{11,14} + 12069,20x_{11,15} + 7176,26x_{12,01} + 7339,36x_{12,11} \\ + 29,35x_{12,13} + 6034,59x_{12,14} + 6034,59x_{12,15} + 7828,65x_{13,01} \\ + 6523,88x_{13,11} + 29,35x_{13,12} + 8644,14x_{13,14} + 6034,59x_{13,15} \\ + 10438,20x_{14,01} + 10601,30x_{14,11} + 10112x_{14,12} + 8644,14x_{14,13} \\ + 1467,87x_{14,15} + 11906,10x_{15,01} + 12069,20x_{15,11} + 10112x_{15,12} \\ + 6034,59x_{15,13} + 1467,87x_{15,14} + 8317,94x_{16,01} + 2935,47x_{16,17} \\ + 15820,40x_{16,18} + 19408,50x_{16,19} + 19082,30x_{16,20} + 11570,90x_{16,21} \\ + 8317,94x_{17,01} + 1794,07x_{17,16} + 12884,70x_{17,18} + 16635,90x_{17,19} \\ + 13373,90x_{17,20} + 13863,20x_{17,21} + 20224x_{18,01} + 15657,30x_{18,16} \\ + 14189,40x_{18,17} + 3751,23x_{18,19} + 7502,46x_{18,20} + 12232,30x_{18,21} \\ + 21691,90x_{19,01} + 18756,10x_{19,16} + 17451,40x_{19,17} + 3914,33x_{19,18} \\ + 7013,17x_{19,20} + 11743x_{19,21} + 26095,50x_{20,01} + 19082,30x_{20,16} \\ + 19245,40x_{20,17} + 6686,97x_{20,18} + 6360,78x_{20,19} + 4892,91x_{20,21} \\ + 20387,10x_{21,01} + 13700,10x_{21,16} + 13863,20x_{21,17} + 10438,20x_{21,18} \\ + 10601,30x_{21,19} + 4892,91x_{21,20}$$

dengan kendala

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=2}^{21} x_{1j} &= 4 \\
 \sum_{j=2}^{21} x_{j1} &= 4 \\
 \sum_{i=1}^{21} x_{ij} &= 1, & j = 2, \dots, 21 \\
 \sum_{j=1}^{21} x_{ij} &= 1, & i = 2, \dots, 21 \\
 u_i + (L - 2)x_{1i} - x_{i1} &\leq L - 1, & L = 5, \quad i = 2, \dots, 21 \\
 u_i + x_{1i} - (2 - K)x_{i1} &\geq 2, & K = 4, \quad i = 2, \dots, 21 \\
 x_{1i} + x_{i1} &\leq 1, & i = 2, \dots, 21 \\
 u_i - u_j + Lx_{ij} + (L - 2)x_{ji} &\leq L - 1, & L = 6, \quad 2 \leq i \neq j \leq 21 \\
 x_{ij} &\in \{0,1\}, & \forall (i,j) \in A.
 \end{aligned}$$

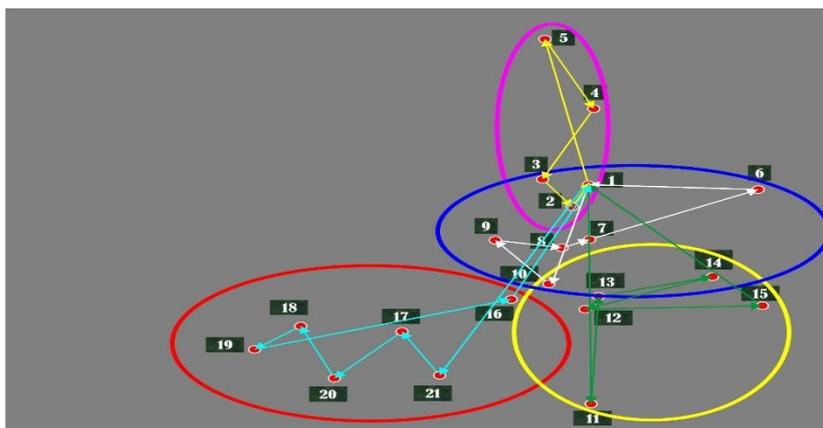
Dengan menggunakan *software* LINDO diperoleh penyelesaian optimal dari formulasi tersebut dengan fungsi tujuan sebesar Rp192.943,5- dengan

$$\begin{aligned}
 x_{01,05} = x_{01,10} = x_{01,11} = x_{01,21} = x_{02,01} = x_{03,02} = x_{04,03} = x_{05,04} = x_{06,01} = x_{07,06} = x_{08,07} = x_{09,08} \\
 = x_{10,09} = x_{11,13} = x_{12,15} = x_{13,14} = x_{14,12} = x_{15,01} = x_{16,01} = x_{17,20} = x_{18,19} = x_{19,16} \\
 = x_{20,18} = x_{21,17} = 1.
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 x_{01,02} = x_{01,03} = x_{01,04} = x_{01,06} = x_{01,07} = x_{01,08} = x_{01,09} = x_{01,12} = x_{01,13} = x_{01,14} = x_{01,15} = x_{01,16} \\
 = x_{01,17} = x_{01,18} = x_{01,19} = x_{01,20} = x_{02,03} = x_{02,04} = x_{02,05} = x_{03,01} = x_{03,04} = x_{03,05} \\
 = x_{04,01} = x_{04,02} = x_{04,05} = x_{05,01} = x_{05,02} = x_{05,03} = x_{06,07} = x_{06,08} = x_{06,09} = x_{06,10} \\
 = x_{07,01} = x_{07,08} = x_{07,09} = x_{07,10} = x_{08,01} = x_{08,06} = x_{08,09} = x_{08,10} = x_{09,01} = x_{09,06} \\
 = x_{09,07} = x_{09,10} = x_{10,01} = x_{10,06} = x_{10,07} = x_{10,08} = x_{11,01} = x_{11,12} = x_{11,14} = x_{11,15} \\
 = x_{12,01} = x_{12,11} = x_{12,13} = x_{12,14} = x_{13,01} = x_{13,11} = x_{13,12} = x_{13,15} = x_{14,01} = x_{14,11} \\
 = x_{14,13} = x_{14,15} = x_{15,11} = x_{15,12} = x_{15,13} = x_{15,14} = x_{16,17} = x_{16,18} = x_{16,19} = x_{16,20} \\
 = x_{16,21} = x_{17,01} = x_{17,16} = x_{17,18} = x_{17,19} = x_{17,21} = x_{18,01} = x_{18,16} = x_{18,17} = x_{18,20} \\
 = x_{18,21} = x_{19,01} = x_{19,17} = x_{19,18} = x_{19,20} = x_{19,21} = x_{20,01} = x_{20,16} = x_{20,17} = x_{20,19} \\
 = x_{20,21} = x_{21,01} = x_{21,16} = x_{21,18} = x_{21,19} = x_{21,20} = 0
 \end{aligned}$$

Digraf solusi dari persoalan ini disajikan sebagai berikut



Gambar 4. Digraf Solusi

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini diberikan Model formulasi *single* depot mTSP berbasis penugasan biaya perjalanan fuzzy yang telah diterapkan untuk aplikasi *deposit carrying* pada Kantor pusat Bank Mandiri Pekanbaru ke kantor-kantor cabangnya (sebanyak 20 kantor cabang) dengan mengambil  $L = 5$  dan  $K = 4$ . Hasil optimasi menunjukkan bahwa biaya minimum yang diperlukan untuk menjangkau seluruh cabang adalah sebesar Rp 192.943,5. Penelitian ini menunjukkan efektivitas model mTSP berbasis fuzzy dalam meminimalkan biaya perjalanan dan memberikan solusi yang relevan bagi industri perbankan, khususnya dalam pengelolaan operasional yang melibatkan ketidakpastian biaya.

## Daftar Pustaka

- [1] I. Kara and T. Bektas, "Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations," *European Journal of Operational Research*, vol. 174, no. 3, pp. 1449–1458, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.03.008.
- [2] Rahmawati and Indrayanto A., I. M. Society, *Prosiding Konferensi Nasional Matematika XVIII Diterbitkan oleh Indonesian Mathematical Society ( IndoMS )*, 2016.
- [3] F. Nuriyeva and G. Kizilates, "a New Heuristic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem," *Twms Journal of Applied and Engineering Mathematics*, vol. 7, no. 1, pp. 101–109, 2017.
- [4] Y. Kaempfer and L. Wolf, "Learning the Multiple Traveling Salesmen Problem with Permutation Invariant Pooling Networks," no. i, pp. 1–22, 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1803.09621>
- [5] J. K. Thenepalle and P. Singamsetty, "An open close multiple travelling salesman problem with single depot," *Decision Science Letters*, vol. 8, no. 2, pp. 121–136, 2019, doi: 10.5267/j.dsl.2018.8.002.
- [6] Z. H. Ahmed, "An exact algorithm for the clustered travelling salesman problem," *Opsearch*, vol. 50, no. 2, pp. 215–228, 2013, doi: 10.1007/s12597-012-0107-0.
- [7] R. Nand, K. Chaudhary, and B. Sharma, "Single Depot Multiple Travelling Salesman Problem Solved With Preference-Based Stepping Ahead Firefly Algorithm," *IEEE Access*, vol. 12, no. February, pp. 26655–26666, 2024, doi:

- 10.1109/ACCESS.2024.3366183.
- [8] A. S. Bhadoriya, D. Deka, and K. Sundar, "Equitable Routing -- Rethinking the Multiple Traveling Salesman Problem," no. March, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2404.08157>
- [9] Taha, H.A. *Operation Research: An Introduction, Eight Editions, Pearson Education, Inc.* United States of America. 2007.
- [10] S. Liu and C. Kao, "Network Flow Problems With Fuzzy Arc Lengths," vol. 34, no. 1, pp. 765–769, 2004.
- [11] A. V. Aho, M. R. Garey, and J. D. Ullman, "The Transitive Reduction of a Directed Graph," *SIAM Journal on Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 131–137, 1972, doi: 10.1137/0201008.
- [12] P. Pandian and G. Natarajan, "A new algorithm for finding a fuzzy optimal solution for fuzzy transportation problems," *Applied Mathematical Sciences*, vol. 4, no. 1–4, pp. 79–90, 2010.
- [13] Y. L. P. Thorani, P. Phani, B. Rao, and N. R. Shankar, "Ordering Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers," *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, vol. 7, no. 12, pp. 555–573, 2012.
- [14] Y. J. Wang, "Ranking triangle and trapezoidal fuzzy numbers based on the relative preference relation," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 39, no. 2, pp. 586–599, 2015, doi: 10.1016/j.apm.2014.06.011.
- [15] S. Chandran and G. Kandaswamy, "A fuzzy approach to transport optimization problem," *Optimization and Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 965–980, 2016, doi: 10.1007/s11081-012-9202-6.

## Analisis Sistem Antrean di Puskesmas Dago dengan Simulasi

Monika Krismayanti<sup>1</sup>, Dharma Lesmono<sup>2</sup>, Daniel Salim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Pusat Studi Matematika dan Masyarakat

Jurusan Matematika, Universitas Katolik Parahyangan

Jalan Ciumbeuleuit No 94, Bandung 40141, Indonesia

Email: [monikakrismayantii19@gmail.com](mailto:monikakrismayantii19@gmail.com)<sup>1</sup>, [jdharma@unpar.ac.id](mailto:jdharma@unpar.ac.id)<sup>2</sup>, [daniel.salim@unpar.ac.id](mailto:daniel.salim@unpar.ac.id)<sup>3</sup>

Korespondensi penulis : [jdharma@unpar.ac.id](mailto:jdharma@unpar.ac.id)

### Abstrak

Pemerintah memberikan kemudahan bagi masyarakat untuk mendapatkan pelayanan kesehatan melalui program BPJS (Badan Penyelenggara Jaminan Sosial) Kesehatan. Salah satu fasilitas kesehatan yang dapat menerima pengguna BPJS Kesehatan adalah Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas). Tingginya minat masyarakat untuk mendapatkan layanan kesehatan di Puskesmas dapat mengakibatkan antrean yang panjang di Puskesmas dan dapat menimbulkan kerugian untuk Puskesmas ataupun masyarakat. Untuk mempelajari sistem antrean di Puskesmas, akan digunakan suatu model antrean yaitu model antrean tandem. Dengan model ini diharapkan pelayanan dapat menjadi optimal dengan beberapa tindakan misalnya menambah unit layanan agar tidak terjadi penumpukan antrean. Dari model yang dikembangkan, akan digunakan simulasi untuk mengetahui kondisi dari sistem antrean. Hasil simulasi yang diperoleh, akan dibandingkan dengan solusi analitik dari model, terkait besaran-besaran fundamental pada sistem antrean. Penerapan dari hasil analitik dan simulasi akan dilakukan di Puskesmas Dago. Dari data yang dikumpulkan diperoleh model antrean yang cocok pada unit-unit layanan di Puskesmas Dago.

**Kata Kunci:** Besaran-besaran fundamental, distribusi, model antrean tandem, simulasi.

### Abstract

*The government facilitates public access to healthcare services through the BPJS (Badan Penyelenggara Jaminan Sosial) Kesehatan program. One of the healthcare facilities accepting BPJS Health users is Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas). High public interest in receiving healthcare services at Puskesmas can lead to long queues and potential losses for both the community and puskesmas. To address this issue, queuing theory is employed, specifically the tandem queuing model. Using this model, the service can be expected to be optimal using action such as adding additional services to prevent queue congestion. From the model,*

*simulation is conducted to understand the queueing system condition. The study compares fundamental quantities of interest between analytical solutions and simulations. Analytical results and simulation is then applied to Puskesmas Dago. From the collected data, the suitable queueing model for outpatient services at Puskesmas Dago is obtained.*

**Keywords:** *Distribution, tandem queue model, simulation, fundamental quantities of interest*

## 1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, mengantre merupakan salah satu kegiatan yang sering dihadapi oleh setiap orang dan bisa terjadi di mana saja. Antrean dapat terjadi karena banyaknya orang yang datang melebihi kapasitas unit layanan [1], atau waktu antar kedatangan yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu pelayanan di unit layanan. Sering kali pelanggan menunggu dalam waktu yang cukup lama untuk memperoleh layanan. Waktu tunggu yang lama tentunya menyebabkan ketidaknyamanan dan pelayanan menjadi tidak efektif [2].

Pemerintah pusat bersama dengan pemerintah daerah memiliki tanggung jawab untuk menyediakan fasilitas pelayanan kesehatan dengan tujuan mencapai tingkat kesehatan yang optimal [3]. Program BPJS Kesehatan merupakan program yang diwajibkan oleh pemerintah yang memberikan kemudahan bagi masyarakat untuk memperoleh pelayanan kesehatan dengan membayar premi yang terjangkau. Masyarakat dapat memperoleh pelayanan kesehatan dengan menggunakan BPJS Kesehatan di Puskesmas. Puskesmas adalah instansi yang bergerak pada bidang pelayanan kesehatan masyarakat [4]. Pada penelitian ini dilakukan analisis sistem antrean di Puskesmas Dago Kota Bandung pada poli umum yang memiliki empat unit layanan (*server*) yang terurut (*serial*). Keempat unit layanan tersebut secara terurut adalah pendaftaran, cek tekanan darah, dokter, dan farmasi. Waktu tunggu yang cukup lama merupakan masalah dalam layanan kesehatan yang mengakibatkan ketidakpuasan pasien [5]. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi hal itu adalah menggunakan teori antrean.

Teori antrean adalah ilmu yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem antrean. Antrean terjadi ketika banyaknya permintaan pada suatu pelayanan melebihi kapasitas pelayanan. Pada sistem antrean yang memiliki beberapa *server* terurut, model antrean tandem merupakan model yang cocok untuk digunakan. Informasi yang diperoleh dari teori antrean dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk optimalisasi layanan [6].

Proses antrean diawali dengan kedatangan pelanggan pada sistem antrean, lalu pelanggan dilayani, dan diakhiri dengan pelanggan meninggalkan sistem antrean. Untuk memprediksi waktu dan banyaknya orang yang mengantre pada suatu unit pelayanan, dapat digunakan simulasi. Simulasi adalah suatu cara untuk menggambarkan ciri, tampilan, dan komponen dari suatu sistem nyata [7]. Simulasi juga merupakan kumpulan metode dan aplikasi yang digunakan untuk mereplikasi perilaku suatu sistem, dengan menggunakan komputer dan perangkat lunak yang sesuai [8] untuk mengatasi keterbatasan pada model analitik [9]. Biasanya, simulasi digunakan untuk merepresentasikan model dari sistem yang sebenarnya. Model didefinisikan sebagai proses penggambaran operasi dan relasi pada sistem nyata yang akan digunakan [7]. Pada [6] dilakukan simulasi dan analisis sistem antrean di Puskesmas Cebongan. Simulasi ini digunakan untuk mengetahui model antrean, komponen dasar dari sistem antrean,

dan hasil analisis untuk masing-masing unit layanan. Hasil simulasi dapat digunakan untuk membuat keputusan untuk meminimalkan tingkat antrean.

Telah banyak penerapan dari model antrian ini di dalam dunia nyata. Pada penelitian [10] dilakukan analisis sistem antrian dengan banyak saluran (multiple channel) pada Alfamart di Purworejo. Analisis yang serupa juga dilakukan pada industry perakitan mobil di [11] dan konsumen mie Gacoan di Medan [12], semesntara untuk antrian tiket bioskop di Cinema XXI di Cilegon digunakan sistem antrian saluran tunggal [13]. Pada penelitian [14] dibahas antrean tandem dengan tiga tahap pelayanan pembuatan Surat Izin Mengemudi (SIM). Penelitian yang dilakukan pada [7] membahas analisis sistem antrean dengan empat unit layanan dan simulasi menggunakan perangkat lunak Promodel. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini membahas model antrean tandem empat unit *server* dengan aplikasi di Puskesmas Dago. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *EasyFit* dan *Arena 16*. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dengan observasi secara langsung di Puskesmas Dago Kota Bandung.

Pada penelitian ini, akan ditentukan distribusi yang paling cocok di masing-masing *server* berdasarkan data yang diperoleh di unit layanan poli umum Puskesmas Dago. Selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk model antrean tandem empat *server* dengan asumsi waktu kedatangan berdistribusi eksponensial. Hasil simulasi ini kemudian akan dibandingkan dengan solusi analitik untuk model antrean tandem empat *server*. Jika hasil simulasi dan solusi analitik tidak berbeda secara signifikan, maka simulasi dilakukan untuk model antrean tandem empat *server* dengan distribusi *general*. Simulasi digunakan untuk model antrian tandem dengan distribusi *general* mengingat solusi analitik yang relatif sulit diperoleh untuk model antrian tandem dengan distribusi *general*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan distribusi yang cocok di layanan poli umum di Puskesmas Dago dan menentukan besaran-besaran fundamental di model antrian yang diperoleh.

## 2. Metode Penelitian

Teori antrean adalah ilmu digunakan untuk memahami dan menganalisis cara kerja sistem antrean dengan menggunakan model antrean [15]. Antrean adalah kondisi yang menggambarkan kumpulan orang yang menunggu giliran untuk dilayani [7]. Sistem antrean dimulai dengan pelanggan datang, lalu pelanggan akan dilayani. Jika masih terdapat pelanggan lain pada layanan, maka pelanggan tersebut akan menunggu untuk dilayani sebelum meninggalkan sistem antrean. Sistem dikatakan sibuk apabila terdapat minimal satu orang pada sistem. Ketika banyaknya pelanggan melebihi kapasitas pelayanan atau tingkat kedatangan lebih besar daripada tingkat pelayanan, maka akan terjadi antrean.

### Komponen Dasar pada Antrean

Pada proses antrean terdapat tiga komponen dasar, yaitu kedatangan, pelayanan, dan antrean [7].

#### 1. Kedatangan

Umumnya, masalah pada antrean melibatkan unsur kedatangan yang meliputi sumber kedatangan dan bagaimana cara terjadinya antrean.

#### 2. Pelayanan

Komponen pelayanan yaitu bagaimana pelayanan pada sistem. Pada proses pelayanan bisa terdapat satu atau lebih dari satu fasilitas pelayanan. Contohnya, pada proses pelayanan di supermarket, pada satu unit layanan bisa terdapat dua pelayan. Banyaknya fasilitas pelayanan dapat memengaruhi sistem antrean [7].

### 3. Antrean

Antrean berkaitan dengan kedatangan dan bagaimana pelayanan dilakukan. Disiplin antrean merupakan penentu bagaimana suatu antrean dilayani. Terdapat empat macam disiplin antrean, yaitu FIFO (*First In First Out*), LIFO (*Last In First Out*), PS (*Priority Service*), dan SIRO (*Service In Random Order*).

### Notasi Kendall-Lee

Suatu model antrean dapat digambarkan melalui notasi yang disebut Notasi Kendall. Notasi ini awalnya dikenalkan oleh Kendall pada tahun 1951, kemudian dikembangkan oleh A.M Lee [16], sehingga disebut sebagai notasi Kendall-Lee, yaitu

$$(a/b/c) : (d/e/f)$$

di mana

$a$  : Distribusi waktu antar kedatangan ( $M, D, E_k, G$ ).

$b$  : Distribusi pelayanan ( $M, D, E_k, G$ ).

$c$  : Jumlah *server* atau unit layanan (1, 2, 3, ...).

$d$  : Disiplin antrean.

$e$  : Kapasitas sistem antrean (1, 2, 3, ...).

$f$  : Kapasitas dari sumber kedatangan (terbatas atau tidak terbatas).

Simbol  $a$  dan  $b$  pada notasi Kendall-Lee menyatakan distribusi waktu antar kedatangan dan pelayanan pada sistem antrean terdiri dari:

$M$  : Waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada sistem antrean berdistribusi eksponensial.

$D$  : Waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada sistem antrean adalah deterministik atau konstan.

$E_k$  : Waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada sistem antrean berdistribusi Erlang.

$G$  : Waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada sistem antrean berdistribusi *general*

### Besaran Fundamental

Pada sistem antrean, terdapat empat besaran fundamental. Berikut adalah besaran fundamental pada sistem antrean [16], yaitu

$L$  : Rata-rata banyaknya pelanggan di dalam sistem antrean.

$L_q$  : Rata-rata banyaknya pelanggan di dalam antrean.

$W$  : Rata-rata waktu tunggu seorang pelanggan di dalam sistem antrean.

$W_q$  : Rata-rata waktu tunggu seorang pelanggan di dalam antrean

### Ukuran *Steady State*

Ukuran *steady state* atau stabil pada sistem antrean yaitu suatu ukuran yang menunjukkan kondisi di mana tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) lebih kecil dari tingkat pelayanan

( $\mu$ ) dan dapat menyatakan tingkat kesibukan dari pelayanan. Dalam sistem antrean, ukuran *steady state* dinyatakan dalam notasi  $\rho$  dan didefinisikan sebagai

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \lambda, \mu > 0. \quad (1)$$

Suatu sistem antrean dikatakan *steady state* atau stabil jika  $\rho < 1$ . Jika  $\rho = 1$ , maka tingkat kedatangan sama dengan tingkat pelayanan. Namun, jika nilai dari  $\rho > 1$ , maka tingkat kedatangan pelanggan lebih cepat dibandingkan tingkat pelayanan pelanggan [6].

Pada penelitian ini, data yang akan dianalisis diambil dari UPTD (Unit Pelaksana Teknis Dinas) Puskesmas Dago, Kota Bandung. Pengambilan data dilaksanakan selama 3 hari, dimulai dari hari Rabu, 3 Mei 2023 sampai Jumat, 5 Mei 2023 pada pukul 07.30 sampai 11.00. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dan sumber data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh melalui observasi. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *stopwatch* untuk mencatat waktu kedatangan dan waktu pelayanan setiap pasien. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengambilan data.

1. Mencatat waktu kedatangan pasien (saat pasien mendapatkan tiket antrean).
2. Mencatat waktu saat pasien mulai dilayani dan selesai dilayani di pelayanan pendaftaran.
3. Mencatat waktu saat pasien mulai dilayani dan selesai dilayani di pelayanan cek tekanan darah.
4. Mencatat waktu mulai dilayani dan selesai dilayani pasien di pelayanan dokter.
5. Mencatat waktu saat pasien mulai dilayani dan selesai dilayani pasien di pelayanan farmasi.

Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh 79 data dengan tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1. Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan pada setiap Server**

Tingkat	Detik/pasien	Pasien/detik
Kedatangan	406,4082	0,0025
Pendaftaran	352,6835	0,0028
Cek Tekanan Darah	287,1772	0,0034
Dokter	292,4430	0,0034
Farmasi	307,2785	0,0033

### Menentukan Distribusi untuk setiap Pelayanan

Pada penelitian ini, distribusi yang digunakan adalah distribusi eksponensial, Lognormal, dan Weibull.

1. Distribusi Eksponensial

Berdasarkan [17], suatu peubah acak kontinu  $X$  disebut berdistribusi eksponensial dengan parameter  $\lambda$ , jika memiliki fungsi kepadatan peluang sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (2)$$

dengan  $\lambda > 0$ . Ekspektasi dari distribusi eksponensial, yaitu

$$E[X] = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

## 2. Distribusi Lognormal

Berdasarkan [18], suatu peubah acak  $X$  dengan parameter *log mean* (*LogMean*) dan log standar deviasi (*LogStd*) berdistribusi Lognormal jika memiliki fungsi kepadatan probabilitas sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln(x)-\mu)^2}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Ekspektasi untuk distribusi Lognormal, yaitu

$$\text{LogMean} = e^{\frac{\mu+\sigma^2}{2}} \quad (5)$$

dan variansi untuk distribusi Lognormal, yaitu

$$(\text{LogStd})^2 = e^{2\mu+\sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1). \quad (6)$$

## 3. Distribusi Weibull

Berdasarkan [18], suatu peubah acak  $X$  berdistribusi Weibull dengan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  jika memiliki fungsi kepadatan probabilitas sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (7)$$

dengan  $\alpha, \beta > 0$ . Ekspektasi untuk distribusi Weibull, yaitu

$$\mu = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (8)$$

dan variansi untuk distribusi Weibull adalah

$$\sigma^2 = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right]. \quad (9)$$

## Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov adalah suatu uji non parametrik yang dapat digunakan untuk menentukan distribusi dari suatu data. Jika  $F(x)$  adalah fungsi distribusi kumulatif yang dihipotesiskan, maka dapat ditulis hipotesis berikut:

$H_0$  : Data berasal dari distribusi yang dihipotesiskan

$H_1$  : Data bukan berasal dari distribusi yang dihipotesiskan

Berdasarkan [19], statistik uji dapat didefinisikan sebagai

$$D = \sup_x |S(x) - F(x)| \quad (10)$$

dengan  $S(x)$  adalah fungsi distribusi kumulatif dari data dan  $F(x)$  adalah fungsi distribusi kumulatif dari distribusi yang dihipotesiskan. Jika nilai  $D$  lebih kecil dari nilai kritis  $\alpha$  maka  $H_0$  diterima. Namun, jika nilai  $D$  lebih besar dari nilai kritis  $\alpha$  maka  $H_0$  ditolak atau  $H_1$  diterima. Nilai kritis adalah nilai yang dijadikan acuan pada pengambilan keputusan pada uji statistik dan diperoleh dari tabel yang menyajikan nilai kritis berdasarkan besarnya  $\alpha$ . Selain itu,  $H_0$  akan diterima jika nilai *p-value* lebih besar dari nilai  $\alpha$ . Pada uji statistik, *p-value* digunakan untuk mengetahui apakah distribusi dari data sesuai dengan distribusi yang dihipotesiskan.

## Uji Chi Square

Uji Chi Square adalah uji non parametrik untuk menentukan distribusi dari suatu data. Pada uji ini, ukuran data yang dapat digunakan, yaitu sekurang-kurangnya 30 data dan skala pengukuran yang digunakan adalah skala nominal. Berdasarkan [19], uji Chi Square memiliki dua hipotesis, yaitu

$H_0$  : Data berasal dari distribusi yang dihipotesiskan

$H_1$  : Data bukan berasal dari distribusi yang dihipotesiskan

dan uji untuk uji Chi Square dapat didefinisikan sebagai

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (11)$$

dengan  $O_i$  adalah adalah nilai observasi atau pengamatan dan  $E_i$  adalah nilai ekspektasi. Jika nilai  $\chi^2$  lebih besar daripada nilai kritis  $\alpha$ , maka  $H_0$  ditolak. Namun, jika nilai  $\chi^2$  lebih kecil daripada nilai kritis  $\alpha$ , maka  $H_0$  diterima. Nilai kritis diperoleh dari tabel Chi Square berdasarkan derajat kebebasan dan nilai  $\alpha$ . Derajat kebebasan pada uji ini dapat dihitung dengan  $r - 1$ , di mana  $r$  adalah banyaknya kelas.

Data yang sudah diperoleh dari Puskesmas Dago diolah menggunakan perangkat lunak *EasyFit* dan *Arena 16*. Perangkat lunak *EasyFit* digunakan untuk melakukan uji distribusi tingkat pelayanan atau waktu pelayanan dan perangkat lunak *Arena 16* untuk melakukan simulasi. Kemudian, data tersebut akan diuji menggunakan uji Chi Square dan uji Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui distribusi yang paling cocok untuk sistem antrean Puskesmas Dago. Selanjutnya, parameter dari distribusi yang terpilih akan di input di perangkat lunak *Arena 16* untuk disimulasikan.

### Model Antrean M/M/1

Model antrean *M/M/1* adalah model antrean yang menyatakan waktu antar kedatangan dan pelayanannya berdistribusi eksponensial dengan satu unit *server*. Tingkat kedatangan dinyatakan dengan  $\lambda$  dan tingkat pelayanan dinyatakan dengan  $\mu$ . Berikut adalah formula untuk model antrean *M/M/1*, dengan  $P_n$  menyatakan peluang terdapat  $n$  orang di dalam sistem.

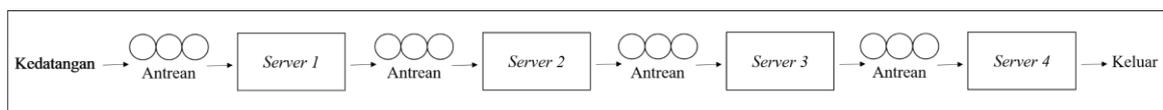
$$P_n = \rho \cdot P_0 = \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_0, \quad P_0 = 1 - \rho = 1 - \frac{\lambda}{\mu}, \quad (120)$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}, \quad (21)$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}. \quad (22)$$

### Model Antrean Tandem Empat Unit Server Berdistribusi Eksponensial

Model antrean tandem adalah model antrean yang terjadi pada sistem antrean dengan minimal dua tahap pelayanan atau dua unit *server* dan alurnya harus diikuti secara berurutan. Model antrean tandem yang berdistribusi eksponensial proses kedatangannya mengikuti proses Poisson, sehingga antar unit *server* saling bebas. Berikut adalah ilustrasi untuk model antrean ini, dengan empat unit *server*.



Gambar 1. Model Antrean Tandem Empat Unit Server

Formula untuk model antrian tandem empat unit *server* dengan waktu anatar kedatangan berdistribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

$$P_{n,m,t,u} = \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^n \left(\frac{\lambda}{\mu_2}\right)^m \left(\frac{\lambda}{\mu_3}\right)^t \left(\frac{\lambda}{\mu_4}\right)^u \prod_{i=1}^4 \left(1 - \frac{\lambda}{\mu_i}\right), \quad (23)$$

$$L = \sum_{n,m,t,u \in \mathbb{N}} (n + m + t + u) P_{n,m,t,u} = \lambda \left(\frac{1}{\mu_1 - \lambda} + \frac{1}{\mu_2 - \lambda} + \frac{1}{\mu_3 - \lambda} + \frac{1}{\mu_4 - \lambda}\right), \quad (24)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu_1 - \lambda} + \frac{1}{\mu_2 - \lambda} + \frac{1}{\mu_3 - \lambda} + \frac{1}{\mu_4 - \lambda}, \quad (25)$$

$$W_q = \lambda - \frac{1}{\mu} = \left(\frac{1}{\mu_1(\mu_1 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_2(\mu_2 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_3(\mu_3 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_4(\mu_4 - \lambda)}\right), \quad (26)$$

$$L_q = \lambda \cdot W_q = \lambda^2 \left(\frac{1}{\mu_1(\mu_1 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_2(\mu_2 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_3(\mu_3 - \lambda)} + \frac{1}{\mu_4(\mu_4 - \lambda)}\right). \quad (27)$$

Dari data yang telah diambil dari pelayanan poli umum di Puskesmas Dago (Tabel 1), besaran-besaran fundamental untuk sistem antrian empat unit *server* diberikan di Tabel 2.

**Tabel 2. Solusi Analitik untuk Model Antrian Tandem Berdistribusi Eksponensial**

Besaran Fundamental	$L$	$L_q$	$W$	$W_q$
Hasil	14,639	11,589	5.949	4.709

### Simulasi Model Antrian Tandem Berdistribusi Eksponensial

Data antrian poli umum di Puskesmas Dago, akan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak Arena 16. Perbandingan besaran-besaran fundamental untuk hasil simulasi selama 9.000.000 detik atau 2.500 jam (disiplin antrian FIFO) dan hasil analitik diberikan di Tabel 3.

**Tabel 3. Perbandingan Besaran Fundamental untuk Solusi Analitik dan Hasil Simulasi untuk Model Antrian Tandem Berdistribusi Eksponensial**

Besaran Fundamental	$L$	$L_q$	$W$	$W_q$
Hasil Simulasi	14,654	11,595	5.973	4.710
Solusi Analitik	14,639	11,589	5.949	4.709
Perbedaan (%)	0,10207	0,05033	0,40115	0,34711

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa perbedaan hasil simulasi dan solusi analitik sangat kecil dan tidak cukup signifikan. Dengan demikian, simulasi memberikan hasil yang cukup baik dalam menghampiri solusi analitik. Metode simulasi kemudian akan digunakan untuk besaran-besaran fundamental untuk model antrian tandem empat unit *server* dengan distribusi general.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari data pada Tabel 1, dapat diidentifikasi distribusi untuk waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada masing-masing *server* dengan menggunakan perangkat lunak *EasyFit* dan Arena 16. Berikut adalah distribusi dan parameter dari waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan.

**Tabel 4. Distribusi dan Parameter untuk Waktu Antar Kedatangan dan Waktu Pelayanan Masing-Masing Server**

Data	Distribusi	Parameter
Waktu antar kedatangan	Lognormal	LogMean = 393, LogStd = 482
Pelayanan pendaftaran	Lognormal	LogMean = 353, LogStd = 378
Pelayanan cek tekanan darah	Lognormal	LogMean = 281, LogStd = 281
Pelayanan dokter	Weibull	$\beta = 331, \alpha = 1,83$
Pelayanan farmasi	Weibull	$\beta = 335, \alpha = 1,27$

### Simulasi Model Antrean Tandem Berdistribusi General

Setelah diketahui distribusi dan parameter untuk waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada masing-masing server, akan dilakukan simulasi antrean selama 9.000.000 detik atau 2.500 jam dengan menggunakan perangkat lunak Arena 16. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh besaran fundamental seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Simulasi untuk Besaran Fundamental Model Antrean Tandem Berdistribusi General**

Besaran Fundamental	$L$	$L_q$	$W$	$W_q$
Hasil	5,300	2,214	.147	.907

Kemudian, dari hasil simulasi diperoleh ukuran *steady state* sebagai berikut:

**Tabel 6. Hasil Simulasi untuk Ukuran Steady State Model Antrean Tandem Berdistribusi General**

Pelayanan	Pendaftaran	Cek Tekanan Darah	Dokter	Farmasi
Hasil	0,8733	0,7001	0,7337	0,7789

Pada Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai *steady state* untuk masing-masing pelayanan adalah kurang dari satu, sehingga dapat dikatakan bahwa layanan poli umum di Puskesmas Dago cukup stabil. Pelayanan yang memiliki tingkat kesibukan paling tinggi adalah pelayanan pendaftaran dan farmasi. Pelayanan dengan tingkat kesibukan yang paling rendah adalah pelayanan cek tekanan darah dan dokter, sehingga pada pelayanan ini pasien tidak menunggu terlalu lama. Konsekuensinya, banyaknya pasien yang mengantre lebih sedikit dibandingkan pelayanan lain.

### Usulan Penambahan Server

Dari Tabel 6 terlihat bahwa layanan poli umum di Puskesmas Dago cukup stabil, tetapi nilai *steady state* untuk masing-masing pelayanan mendekati satu. Pelayanan yang memiliki nilai paling mendekati satu, yaitu pelayanan pendaftaran dan farmasi. Oleh karena itu, akan dilakukan simulasi dengan penambahan *server* di pelayanan pendaftaran atau farmasi untuk mengoptimalkan pelayanan poli umum di Puskesmas Dago.

Setelah dilakukan simulasi dengan melakukan penambahan *server* di pelayanan pendaftaran dan penambahan *server* di pelayanan farmasi, hasil simulasi tersebut akan dibandingkan dengan pelayanan awal tanpa penambahan *server*. Berikut adalah perbandingan antara hasil simulasi penambahan *server* di pelayanan pendaftaran dan penambahan *server* di pelayanan farmasi dan tanpa penambahan *server*.

**Tabel 7. Perbandingan Hasil Simulasi Tanpa Penambahan Server dan Penambahan Server untuk Besaran Fundamental**

Besaran Fundamental	$L$	$L_q$	$W$	$W_q$
Penambahan <i>server</i> di pelayanan pendaftaran	10,475	7,283	4.087	2.841
Penambahan <i>server</i> di pelayanan farmasi	13,586	10,474	5.417	4.176
Tanpa penambahan <i>server</i>	15,300	12,214	6.147	4.907

Pada Tabel 7, dapat dilihat secara umum bahwa nilai besaran fundamental untuk penambahan *server* memiliki nilai yang kecil. Nilai besaran fundamental untuk penambahan *server* di pelayanan pendaftaran lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan *server*, artinya penambahan *server* pada pelayanan pendaftaran dapat mengoptimalkan pelayanan. Hal ini ditandai dengan menurunnya rata-rata banyaknya pasien di dalam sistem antrean ( $L$ ), rata-rata banyaknya pasien di dalam antrean ( $L_q$ ), rata-rata waktu tunggu seorang pasien di dalam sistem antrean ( $W$ ) dan waktu tunggu seorang pasien di dalam antrean ( $W_q$ ). Besaran fundamental untuk penambahan *server* di pelayanan farmasi memberikan nilai yang lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan *server*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan *server* di pelayanan farmasi dapat mengoptimalkan pelayanan.

Selanjutnya, akan dilakukan simulasi untuk ukuran *steady state*. Berikut adalah hasil simulasi untuk penambahan *server* di pelayanan pendaftaran dan penambahan *server* di pelayanan farmasi. Hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi tanpa penambahan *server*.

**Tabel 8. Perbandingan Hasil Simulasi Penambahan Server dan Tanpa Penambahan Server untuk Ukuran Steady State**

Pelayanan	Pendaftaran	Cek Tekanan Darah	Dokter	Farmasi
Penambahan <i>server</i> di pelayanan pendaftaran	Petugas 1: 0,4658 Petugas 2: 0,4429	0,7257	0,7550	0,8028

Penambahan <i>server</i> di pelayanan farmasi	0,8773	0,7117	0,7415	Apoteker 1: 0,3901 Apoteker 2: 0,3919
Tanpa penambahan <i>server</i>	0,8733	0,7001	0,7337	0,7789

Tabel 8 menunjukkan bahwa penambahan *server* di pelayanan pendaftaran memberikan nilai *steady state* lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan *server*, sedangkan nilai *steady state* untuk pelayanan lainnya mengalami peningkatan yang tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kesibukan di pelayanan pendaftaran berkurang. Nilai *steady state* untuk penambahan di pelayanan farmasi lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan *server*, sedangkan nilai *steady state* untuk pelayanan lainnya mengalami peningkatan yang tidak signifikan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem antrean layanan poli umum di Puskesmas Dago dapat dimodelkan dengan model antrean tandem empat unit *server*. Dengan asumsi bahwa waktu antar kedatangan berdistribusi eksponensial, metode simulasi memberikan hasil yang tidak terlalu berbeda dengan solusi analitiknya. Hasil ini menunjukkan bahwa metode simulasi dapat digunakan untuk distribusi *general* pada keempat unit server pada layanan poli umum di Puskesmas Dago. Hasil uji distribusi menunjukkan bahwa distribusi yang sesuai untuk waktu antar kedatangan, pelayanan pendaftaran, dan pelayanan cek tekanan darah layanan poli umum di Puskesmas Dago adalah distribusi Lognormal, sementara untuk waktu pelayanan dokter dan pelayanan farmasi berdistribusi Weibull.

Dari hasil simulasi selama 2.500 jam, diperoleh bahwa rata-rata banyaknya pasien di dalam sistem antrean adalah 15,300, rata-rata banyaknya pasien di dalam antrean adalah 12,214 pasien, rata-rata waktu tunggu seorang pasien di dalam sistem antrean adalah 6.147 detik, dan rata-rata waktu tunggu seorang pasien di dalam antrean adalah 4.907 detik. Pelayanan dengan tingkat kesibukan yang paling tinggi yaitu pelayanan dokter dan tingkat kesibukan yang paling rendah adalah pelayanan farmasi. Antrean di bagian pendaftaran dan farmasi juga cukup banyak, sehingga dirasakan perlu untuk melakukan simulasi dengan menambah *server* di kedua layanan tersebut. Setelah dilakukan simulasi, diperoleh hasil bahwa penambahan *server* pada pelayanan pendaftaran lebih optimal dibandingkan penambahan *server* pada pelayanan farmasi karena menghasilkan besaran fundamental yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa antrean pada pelayanan pendaftaran memengaruhi lamanya waktu pelayanan pasien keseluruhan [20].

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Artiguna, Purina Pakurnia, Sugito, dan Hoyyi, "Analisis Sistem Antrian pada Layanan Pengurusan Paspor di Kantor Imigrasi Kelas I Semarang," *Jurnal Gaussian*, vol. 3, no. 4, hal. 801–810, 2014.
- [2] M. Soleh, "Gambaran Penerapan Sistem Antrian Pasien JKN di Loker Pendaftaran

- BPJS Rawat Jalan Rumah Sakit Prikasih Tahun 2021," *Indoneian. Scholar Journal of Medical Health Science.*, vol. 2, no. 5, hal. 649–656, 2023.
- [3] H. M. Fitri, M. Hidayati, P. Piksi, dan G. Bandung, "Pengaruh Lama Waktu Tunggu Pendaftaran terhadap Kepuasan Pasien di Puskesmas Waringinkurung," *Cerdika Jurnal Ilmiah Indonesia.*, vol. 1, no. 12, hal. 1789–1795, 2021.
- [4] Y. Y. Nabuasa, "Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Rekam sebagai Sarana Pelayanan Kesehatan pada Puskesmas Oesapa Kota Kupang," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 2, no. 1, hal. 150–160, 2021.
- [5] N. Laeliah dan H. Subekti, "Waktu Tunggu Pelayanan Rawat Jalan dengan Kepuasan Pasien terhadap Pelayanan di Rawat Jalan RSUD Kabupaten Indramayu," *Jurnal Kesehatan Vokasional*, vol. 1, no. 2, p. 102, 2017, doi: 10.22146/jkesvo.27576.
- [6] P. R. Muningsar, L. Linawati, dan H. A. Parhusip, "Analisis Sistem Antrian dengan Simulasi di Puskesmas Cebongan Kota Salatiga," *Jurnal Fourier*, vol. 8, no. 2, hal. 57–64, 2019, doi: 10.14421/fourier.2019.82.57-64.
- [7] H. MZ, I. Pratiwi, T. Tolu, dan I. Husin, "Analisis Sistem Antrian dengan Metode Simulasi," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 51–59, 2019.
- [8] F. A. Ekoanindiyo, "Pemodelan Sistem Antrian dengan Menggunakan Simulasi," *Dinamika Teknik*, vol. 5, no. 1, hal. 72–85, 2011.
- [9] N. Arini, Ratih Windu, dan Suhartini, "Analisis Sistem Antrian Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Kesehatan : Studi Kasus Puskesmas Margadadi," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 1, hal. 23–37, 2022, doi: 10.55606/jurritek.v1i1.104.
- [10] G.D. Arafah, Wijayanti, dan D. Runanto, "Analisis Sistem Antrian pada Alfamart Ahmad Yani Purwokerto," *Jurnal Volatilitas*, vol. 6, no 1, hal. 137-151, 2024.
- [11] A. Fitra, Suhendra, dan T. Ngudi, "Analisis Sistem Antrian Gudang Cross-dock Menggunakan Sistem Antrian (M/M/S) pada Industri Perakitan Mobil," *Journal of Industrial View*, vol. 06., no. 1, hal. 32-42, 2024.
- [12] Y. Sitorus, S.D. Saragih, W.S.S. Berasa, dan S.N. Amalia, "Analisis Model Sistem Antrian pada Pelayanan Konsumen Mie Gacoan Cabang Pancing Kota Medan," *Konstanta: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, vol. 2, no. 2, hal. 293-308, 2024.
- [13] A. Sundari, Mujibburohman, E. Purwanda, dan M. Mukhsin, "Implementasi Model Antrian Tiket Bioskop di Cinema XXI Cilegon Center Mall," *Indonesian Journal of Economics, Management, and Accounting*, vol. 1, no 3., hal. 126-134, 2024.
- [14] T. P. Kaloka, "Analisa Model Antrian Pelayanan Pembuatan Surat Izin Mengemudi (SIM)," 2016.
- [15] R. Listiyani, L. Linawati, dan L. R. Sasongko, "Analisis Proses Produksi Menggunakan Teori Antrian secara Analitik dan Simulasi," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 8, no. 1, hal. 9–18, 2019, doi: 10.26593/jrsi.v8i1.3154.9-18.
- [16] W. L. Winston, *Operations Research Applications and Algorithms*, 4th ed. Toronto: Curt Hinrichs, 2004.
- [17] S. M. Ross, *Introduction to Probability Models*, 11th ed. Oxford: Academic Press, 2014.
- [18] S. L. Walpole, Ronald E., Myers, Raymond H., Myers, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 9th ed. Boston: Pearson Education, 2012.

- [19] W. W. Daniel, *Applied Nonparametric Statistics*, 2nd ed. Pacific Grove: Duxbury Press, 2000.
- [20] S. Dewi, R. Machmud, dan Y. Lestari, "Analisis Waktu Tunggu Rawat Jalan di Rumah Sakit Umum Daerah Dr Achmad Darwis Suliki Tahun 2019," *Jurnal Kesehatan Andalas*, vol. 8, no. 4, hal. 175–184, 2020, doi: 10.25077/jka.v8i4.1137

## **Analisis Korespondensi Hasil Produksi Budidaya Perikanan Berdasarkan Jenis Budidaya dan Pembagian Wilayah di Indonesia**

**Adrian Wahyu Abdillah<sup>1</sup>, Citrawani Marthabakti<sup>2</sup>, Gabriella Agnes Budijono<sup>3</sup>, Indana Zulfa Wulandari<sup>4</sup>, Dita Amelia<sup>5</sup>, M. Fariz Fadillah Mardianto<sup>6</sup>, Elly Ana<sup>7</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Program Studi S1 Statistika, Universitas Airlangga

Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya, Jawa Timur, 60115

Email: [adrian.wahyu.abdillah-2022@fst.unair.ac.id](mailto:adrian.wahyu.abdillah-2022@fst.unair.ac.id)<sup>1</sup>, [citrawani.marthabakti-2022@fst.unair.ac.id](mailto:citrawani.marthabakti-2022@fst.unair.ac.id)<sup>2</sup>, [gabriella.agnes.budijono-2022@fst.unair.ac.id](mailto:gabriella.agnes.budijono-2022@fst.unair.ac.id)<sup>3</sup>, [indana.zulfa.wulandari-2022@fst.unair.ac.id](mailto:indana.zulfa.wulandari-2022@fst.unair.ac.id)<sup>4</sup>, [dita.amelia@fst.unair.ac.id](mailto:dita.amelia@fst.unair.ac.id)<sup>5</sup>, [m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id](mailto:m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id)<sup>6</sup>, [elly-a@fst.unair.ac.id](mailto:elly-a@fst.unair.ac.id)<sup>7</sup>

Korespondensi penulis : [dita.amelia@fst.unair.ac.id](mailto:dita.amelia@fst.unair.ac.id)

### **Abstrak**

Indonesia dikenal sebagai negara maritim karena mayoritas wilayahnya terdiri dari perairan sehingga sektor perikanan menjadi bagian integral dari kehidupan dan ekonomi masyarakat Indonesia. Produk perikanan menjadi salah satu komoditas ekspor utama Indonesia. Adanya perbedaan faktor geografis dan topografis di berbagai wilayah Indonesia berpengaruh terhadap jenis budidaya yang paling cocok pada keberhasilan budidaya perikanan. Oleh karena itu, penelitian menganalisis kecenderungan dari jenis budidaya perikanan dengan wilayah Indonesia secara geografis. Hasil pencatatan dari produksi budidaya perikanan menurut provinsi dan jenis budidaya pada tahun 2021 digunakan sebagai data sekunder yang akan dianalisis. Pendekatan statistika yang dipilih yaitu analisis korespondensi dengan jenis budidaya perikanan dan pembagian wilayah Indonesia sebagai variabel analisis. Sebelum dilakukan analisis korespondensi, diperlukan uji independensi yang hasilnya adalah terdapat keterkaitan yang nyata antar kedua variabel. Dari hasil analisis korespondensi diperoleh bahwa jenis budidaya jaring apung tawar, jaring apung laut, tambak intensif, tambak semi intensif, kolam air tenang, kolam air deras, dan minapadi sawah lebih cenderung dikembangkan di wilayah barat. Sedangkan jenis budidaya jaring tancap tawar, tambak sederhana, karamba, dan rumput laut lebih cenderung dikembangkan di wilayah tengah. Jenis budidaya laut lainnya lebih cenderung dikembangkan di wilayah timur Indonesia. Berdasarkan hasil ini, para pelaku produksi perikanan budidaya dapat menggunakannya sebagai acuan dalam memilih jenis budidaya yang tepat sehingga hasil produksi dapat lebih maksimal.

**Kata Kunci:** Analisis korespondensi, jenis budidaya, pembagian wilayah di Indonesia, produksi budidaya perikanan

## Abstract

Indonesia is recognized as a maritime nation due to the majority of its territory comprising water bodies, making the fisheries sector an integral part of Indonesian life and economy. Fisheries products are among Indonesia's key export commodities. The diverse geographical and topographical factors across Indonesia influence the most suitable types of aquaculture for successful fish farming. Therefore, this research analyzes the trends in fisheries aquaculture types across Indonesia's geographic regions. Data from the 2021 Production of Aquaculture Fisheries by Province and Aquaculture Type were utilized as secondary data for analysis. The chosen statistical approach is correspondence analysis, with aquaculture types and the division of Indonesian regions as the variables for analysis. Before conducting correspondence analysis, an independence test is required, and the results shows that there is a real relationship between the two variables. The correspondence analysis results reveal that aquaculture types such as freshwater floating net cages, offshore floating net cages, intensive ponds, semi-intensive ponds, calm water ponds, fast-flowing water ponds, and paddy fields are more likely to be developed in the western region. In contrast, types like freshwater stake nets, simple ponds, cages, and seaweed are more likely to be developed in the central region. Lastly, other marine aquaculture types are more likely to be developed in the eastern region of Indonesia. So that aquaculture producers can selecting the appropriate aquaculture types to maximize production outcomes.

**Keywords:** Correspondence analysis, types of aquaculture, regional division in Indonesia, aquaculture Production.

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim yang dikenal dengan kekayaan hasil lautnya. Mengutip dari [1] berdasarkan Laporan Kinerja KKP 1028, Indonesia terdiri dari perairan yang memiliki luas 5,8 juta kilometer persegi. Fenomena tersebut menyebabkan mayoritas masyarakat di Indonesia mengandalkan sektor perikanan sebagai mata pencarian. Produksi budidaya perikanan dipengaruhi oleh jenis budidaya dan perbedaan kondisi alam di berbagai wilayah Indonesia. Pada dasarnya, menurut letak astronomisnya Indonesia berada di antara 6°LU-11°LS dan 95°BT-141°BT [2]. Mengutip [3], Indonesia memiliki tiga wilayah dengan waktu yang berbeda-beda yaitu wilayah barat, timur, dan tengah. Ketiga wilayah tersebut memiliki kondisi alam yang berbeda mengingat adanya perbedaan iklim, suhu, dan bentang alam di setiap wilayahnya yang menyebabkan hasil produksi perikanan cenderung fluktuatif, sebab kondisi alam secara langsung akan berpengaruh terhadap kemampuan reproduksi pada ikan. Agar hasil produksi budidaya perikanan memperoleh hasil yang maksimal diperlukan sarana pemeliharaan ikan yang sesuai dengan kondisi alam di berbagai wilayah Indonesia.

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaruh keadaan alam terhadap budidaya perikanan dengan analisis regresi berganda memperoleh hasil bahwa tingkat gelombang, intensitas hujan, dan laju angin secara bersamaan berdampak pada hasil budidaya perikanan [4]. Penelitian lainnya yang mengulas pengaruh iklim terhadap produksi perikanan di Laut Jawa dengan menggunakan uji *F* diperoleh bahwa variabel yang mencakup suhu, intensitas hujan, kelembapan, dan pemancaran matahari secara bersamaan berpengaruh nyata berpengaruh nyata pada variabel terikat. Adapun penelitian yang mengelompokkan provinsi berdasarkan sektor perikanan di Indonesia

menggunakan analisis *cluster* dengan metode *k-means*, *elbow*, dan *silhouette* sebagai uji kelayakan model [5]. Dari penelitian tersebut diperoleh pengelompokan 30 provinsi di Indonesia menurut variabel sektor hasil perikanan dari yang terendah hingga terbesar.

Selain itu, mengenai analisis korespondensi terdapat penelitian yang membandingkan ukuran ikan lemuru di perairan selat Bali. Adapun penelitian lain dengan analisis korespondensi yaitu untuk melihat kecenderungan keadaan terumbu karang dan letaknya terhadap kondisi hidrodinamika perairan [6]. Analisis korespondensi berguna untuk mencari hubungan dua atau lebih variabel menggunakan pendekatan secara grafik dari tabel kontingensi. Analisis korespondensi ini dimulai dengan menyusun tabel kontingensi. Uji *chi-square* atau model *log-linear*, dapat digunakan untuk menguji signifikansi hubungan antara dua variabel kategorikal dalam tabel kontingensi. Uji *chi-square* atau model *log-linear* mencerminkan pendekatan asimptotik.

Tercatat terdapat beberapa jenis budidaya perikanan yang mengacu pada hasil pencatatan dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021. Salah satunya yaitu kolam air deras dan rumput laut yang memiliki jumlah produksi berturut-turut sebesar 69.761 dan 7.245.731. Hal ini menandakan adanya ketimpangan jumlah produksi budidaya perikanan sehingga produktivitas perikanan di Indonesia masih belum merata. Berdasarkan kondisi tersebut, maka analisis korespondensi perlu dilakukan agar pola kecenderungan hasil produksi budidaya perikanan berdasarkan jenis budidaya dan pembagian wilayah Indonesia dapat diketahui. Dengan begitu, hasil produksi budidaya perikanan dapat melimpah dan kebutuhan ikan masyarakat dari setiap wilayah di Indonesia dapat terpenuhi dengan baik.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Data dan Variabel

Analisis ini memilih data sekunder dari BPS yaitu produksi perikanan budidaya menurut provinsi dan jenis budidaya tahun 2021. Data diklasifikasikan berdasarkan tiga wilayah astronomis Indonesia yaitu barat, tengah, dan timur. Variabel penelitian terdiri dari variabel wilayah yang mencakup barat, tengah, dan timur serta variabel jenis budidaya yang mencakup jaring apung laut, jaring apung tawar, jaring tancap tawar, karamba, kolam air deras, kolam air tenang, laut lainnya, manipadi sawah, rumput laut, tambak intensif, tambak sederhana, dan tambak semi-intensif.

**Tabel 1. Variabel Penelitian**

Variabel	Wilayah	Variabel	Jenis Budidaya
<i>x</i> 1	Barat	<i>y</i> 1	Jaring apung laut
<i>x</i> 2	Tengah	<i>y</i> 2	Jaring apung tawar
<i>x</i> 3	Timur	<i>y</i> 3	Jaring tancap tawar
		<i>y</i> 4	Karamba
		<i>y</i> 5	Kolam air deras
		<i>y</i> 6	Kolam air tenang
		<i>y</i> 7	Laut lainnya
		<i>y</i> 8	Manipadi sawah
		<i>y</i> 9	Rumput laut
		<i>y</i> 10	Tambak intensif
		<i>y</i> 11	Tambak sederhana

Variabel	Wilayah	Variabel	Jenis Budidaya
		y12	Tambak semi-intensif

## 2.2 Budidaya Perikanan

Budidaya perikanan merupakan kegiatan yang menghasilkan organisme (biota) akuatik secara terkendali guna memperoleh keuntungan/profit [7]. Pada budidaya perikanan terdapat beberapa jenis budidaya perikanan, yaitu jaring apung laut dan jaring apung tawar yang merupakan jenis budidaya yang bersahabat dengan lingkungan dan memiliki potensi sebagai teknologi budidaya dimasa depan. Selain itu, terdapat pula jaring tancap tawar yang merupakan salah satu usaha pemeliharaan ikan diperairan tawar [8]. Ada pula karamba, yang merupakan struktur kurungan yang berasal dari bambu yang telah diuntai dan diletakkan di perairan sungai, danau, atau tepi laut sebagai wadah untuk berkembang biak ikan, udang, dan sejenisnya [9]. Sementara itu, kolam air deras adalah kolam atau sarana budidaya ikan yang memiliki aliran air yang kuat dan terus-menerus. Sedangkan kolam air tenang adalah tempat budidaya ikan yang memiliki aliran air tenang atau mengalir seperti biasa [10].

Budidaya lainnya adalah minapadi sawah yang merupakan budidaya yang digunakan oleh para petani dengan mengombinasikan budidaya padi dan budidaya ikan secara bersamaan di lahan sawah. Kemudian terdapat rumput laut atau alga, yang dikenal karena penyebarannya yang dipengaruhi oleh faktor *oseanologi* (fisika, kimia, dan aktivitas air laut) dan menurut kategori substratnya [11]. Selain itu, budidaya tambak intensif merujuk pada tambak yang semua komponennya ditutupi dengan plastik termasuk pompa air, kincir air, *aerator*, memiliki intensitas pemancara yang tinggi, dan menggunakan pakan berupa 100% pelet [12]. Sementara tambak sederhana adalah tambak yang menggunakan teknologi yang sangat sederhana dan masih menggunakan sekat air dari kayu dan penebaran yang padat. Dan tambak semi intensif adalah tambak yang menggunakan tambahan pakan karena hidup dan tumbuh budidaya semi intensif ini memerlukan pakan yang cukup kuantitas maupun kualitas, tetapi masih memiliki penebaran yang padat. Budidaya laut lainnya ini melibatkan metode peningkatan sumber daya laut selain jenis budidaya lainnya [13].

## 2.3 Pembagian Wilayah di Indonesia

Kondisi cuaca yang umumnya berlangsung dengan rentang waktu berkepanjangan. Menurut *Word Climate Conference*, iklim sebagai hasil perpaduan dari berbagai kejadian cuaca dalam rentang waktu jangka waktu yang panjang dan secara statistik cukup untuk mencerminkan keadaan saat ini [14]. Indonesia terletak di antara garis lintang 23,5° di bagian utara dan selatan. Kondisi tersebut menyebabkan negara ini beriklim tropis yang berpengaruh pada penerimaan sinar matahari sepanjang tahun, sehingga Indonesia memiliki tiga wilayah dengan waktu yang berbeda-beda yaitu wilayah timur, tengah, dan barat [3].

## 2.4 Uji Independensi

Uji independensi diterapkan guna menentukan adanya keterkaitan antar variabel. Jumlah variabel yang diperlukan berkaitan dengan jumlah sampel yang diperlukan [15]. Hipotesis yang digunakan yaitu:

$H_0$  : Tidak ada keterkaitan yang nyata antar kedua variabel

$H_1$  : Terdapat keterkaitan yang nyata antar kedua variabel

Statistik yang digunakan adalah:

$$X^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(n_{ij}-e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (1)$$

dengan,  $e_{ij} = \frac{n_i \times n_j}{n}$ ;  $n_{ij}$  = nilai observasi baris ke- $i$  dan kolom ke- $j$ ;  $n_i$  = jumlah nilai observasi baris ke- $i$ ;  $n_j$  = jumlah nilai observasi kolom ke- $j$ ;  $e_{ij}$  = nilai ekspektasi baris ke- $i$ , kolom ke- $j$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  (banyak baris);  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  (banyak kolom). Daerah kritis pada pengujian ini adalah  $H_0$  ditolak apabila  $X^2 > X^2_{\alpha(i-1)(j-1)}$  atau apabila  $p$ -value mempunyai angka  $< \alpha$ .

## 2.5 Analisis Korespondensi

Analisis korespondensi merupakan metode yang berguna untuk memvisualisasikan hubungan antar variabel pada tabel kontingensi [16]. Langkah-langkah untuk menghitung analisis korespondensi dimulai dengan mempertimbangkan matriks  $X$  yang terdiri dari elemen-elemen  $n_{ij}$  yang disusun dalam tabel kontingensi dua dimensi  $I \times J$ . Tabel kontingensi merepresentasikan tabulasi silang antara dua atau lebih variabel, dengan jumlah responden dari masing-masing sel. Pertama-tama, matriks proporsi  $P = \{P_{ij}\}$  yang merupakan matriks korespondensi disusun dari pembagian masing-masing elemen  $X$  dengan  $n$ , dimana  $n$  merupakan total frekuensi data matriks  $X$ . Matriks proporsi  $P_{ij}$  dituliskan pada Persamaan (2).

**Tabel 2. Tabel Kontingensi Proporsi Dua Dimensi**

Variabel 1	Variabel 2				Total
	1	2	...	$j$	
1	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1j}$	$P_{1.}$
2	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2j}$	$P_{2.}$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
$I$	$P_{I1}$	$P_{I2}$	...	$P_{Ij}$	$P_{I.}$
<b>Total</b>	$P_{.1}$	$P_{.2}$	...	$n_{.j}$	1

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n}, i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J \quad (2)$$

dari Tabel 2 didapatkan matriks  $P$ :

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{I1} & P_{I2} & \dots & P_{Ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

guna mendapatkan vektor baris ( $r$ ) dan kolom ( $c$ ) digunakan Persamaan (4).

$$r_i > 0 (i = 1, 2, \dots, I), c_j > 0 (j = 1, 2, \dots, J) \quad (4)$$

$$r_i = \sum_{j=1}^J P_{ij} = \sum_{j=1}^J \frac{n_{ij}}{n}, i = 1, 2, \dots, I; c_j = \sum_{i=1}^I P_{ij} = \sum_{i=1}^I \frac{n_{ij}}{n}, j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

$r_i$  dan  $c_j$  berturut-turut yaitu baris dan massa kolom adalah seperti berikut:

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_I \end{bmatrix}; \mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_J \end{bmatrix} \quad (6)$$

Persamaan matriks diagonal yang merupakan jumlahan dari baris dan kolom matriks korespondensi yaitu seperti berikut:

$$\mathbf{D}_r = \begin{pmatrix} r_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & r_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & r_I \end{pmatrix}; \mathbf{D}_c = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_J \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$D_r^{1/2} = \text{diag}(\sqrt{r_1}, \dots, \sqrt{r_I}); D_c^{1/2} = \text{diag}(\sqrt{c_1}, \dots, \sqrt{c_J}) \quad (8)$$

berfungsi menentukan nilai dimensi dan inersia yang menerapkan Persamaan (9) berikut:

$$k = \min(I - 1, J - 1); |P - \lambda I| = 0 \quad (9)$$

$k$  = banyaknya dimensi ;  $P$  = matriks korespondensi ;  $I$  = matriks identitas

Di matriks proporsi  $P$ , profil vektor baris dan kolom dapat dihitung melalui pembagian antara elemen vektor baris dan kolom dengan frekuensi total. Matriks profil baris dan kolom berfungsi menentukan proporsi variabel yang sedang dianalisis. Profil baris sebanyak  $r$  vektor anggota dari ruang berdimensi  $r$ , dan profil kolom sebanyak  $c$  vektor anggota dari ruang berdimensi  $c$  yaitu,

$$R = D_r^{-1}P = \begin{bmatrix} \tilde{r}_1^T \\ \vdots \\ \tilde{r}_I^T \end{bmatrix}; C = D_c^{-1}P = \begin{bmatrix} \tilde{c}_1^T \\ \vdots \\ \tilde{c}_J^T \end{bmatrix} \quad (10)$$

## 2.6 Singular Value Decomposition (SVD)

SVD digunakan untuk mengurangi dimensi data dengan mempertahankan keragaman (nilai eigen/inersia) dan meminimalkan jumlah data untuk memudahkan representasi grafis dalam analisis korespondensi. Persamaan 11 mencerminkan pendekatan ini. Berikut adalah persamaan SVD.

$$P - rc^T = \sum_{k=1}^K \lambda_k \left( D_r^{1/2} u_k \right) \left( D_c^{1/2} v_k \right)^T \quad (11)$$

## 2.7 Nilai Dekomposisi Inersia

Total inersia merupakan besarnya variasi data yang diukur dari total kuadrat terboboti (persamaan 12), inersia baris dan kolom ditentukan dengan Persamaan (13) dan (14) [17].

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(p_{ij} - r_i c_j)^2}{r_i c_j} \quad (12)$$

$$\text{in}(I) = \sum_{i=1}^I p_i (r_i - c)' D_c^{-1} (r_i c) \quad (13)$$

$$\text{in}(J) = \sum_{j=1}^J p_j (c_j - r)' D_r^{-1} (c_j r) \quad (14)$$

## 2.8 Matriks Data

Matriks  $N$  dengan elemen  $n_{ij}$  merupakan frekuensi untuk masing-masing gabungan baris dan kolom dua arah dalam tabel kontingensi. Jumlah marjinal ditunjukkan dengan notasi titik seperti persamaan di bawah ini :

$$n_i = \sum_{j=1}^b n_{ij}; n_j = \sum_{i=1}^a n_{ij}; n = \sum_{ij} n_{ij} \quad (15)$$

Frekuensi  $n_{ij}$  di tabel kontingensi dikonversikan ke frekuensi relative  $p_{ij}$ . Matriks frekuensi relatif disebut matriks korespondensi yang diidentifikasi sebagai  $P$ . Matriks profil kolom didefinisikan dengan  $C$  dan matriks profil baris diidentifikasi sebagai  $R$ .

$$N_{(I \times J)} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1j} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{i1} & n_{i2} & \dots & n_{ij} \end{pmatrix}; P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{..}}; r_{(i \times 1)} = P_{(I \times J)} \mathbf{1}_{(J \times 1)}; c_{(j \times 1)} = P^T_{(J \times 1)} \mathbf{1}_{(I \times 1)}$$

$$D_r = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_i); D_c = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_j); R = D_r^{-1} P; C = D_c^{-1} P^T \quad (16)$$

dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots, J$

## 2.9 Langkah Analisis

Dalam penelitian ini dilakukan langkah-langkah analisis yang meliputi :

- a. Penyusunan tabel kontingensi
- b. Pemakaian uji independensi
- c. Pemakaian analisis korespondensi guna mengetahui kecenderungan antara variabel wilayah dan variabel jenis budidaya dengan langkah-langkah seperti berikut:
  - 1) Memformulasikan matriks profil baris dan matriks kolom (Persamaan (10)).
  - 2) Menetapkan nilai SVD (persamaan 11).
  - 3) Mengukur profil baris dan kolom (Persamaan (13)- (14)).
  - 4) Menetapkan nilai inersia, nilai kontribusi relatif, dan kontribusi mutlak (sub-nilai dekomposisi inersia).
  - 5) Memvisualisasi dan menginterpretasi plot korespondensi plot yang terbentuk berdasarkan titik-titik yang berdekatan.
- d. Menarik kesimpulan dan memberi saran.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Informasi hasil perikanan budidaya yang disajikan dalam tabel berikut merupakan data yang diperoleh dari seluruh provinsi di Indonesia pada tahun 2021.

Tabel 3. Tabel Kontingensi

Wilayah	Jenis Budidaya					
	Jaring Apung Laut	Jaring Apung Tawar	Jaring Tancap Tawar	Karamba	Kolam Air Deras	Kolam Air Tenang
Barat	8453	367791	16019	112275	65717	2350335
Tengah	17951	64860	6710	91117	4044	285379
Timur	1799	182	365	355	0	20901
<b>Total</b>	<b>28203</b>	<b>432833</b>	<b>23094</b>	<b>203747</b>	<b>69761</b>	<b>2656615</b>

Wilayah	Jenis Budidaya						Total
	Laut Lainnya	Minapadi Sawah	Rumput Laut	Tambak Intensif	Tambak Sederhana	Tambak Semi Intensif	
Barat	34506	250967	763532	196865	807840	155782	5130082
Tengah	220	47863	6101043	101733	2177463	195239	9093622
Timur	8207	148	381156	9277	1557	709	424656
<b>Total</b>	<b>42933</b>	<b>298978</b>	<b>7245731</b>	<b>307875</b>	<b>2986860</b>	<b>351730</b>	<b>14648360</b>

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa jumlah seluruh produksi perikanan budidaya di Indonesia mencapai 14.648.360 ton pada tahun 2021. Produksi perikanan budidaya terbanyak dihasilkan dari jenis budidaya rumput laut sebesar 7.245.731 ton. Sedangkan wilayah terbanyak penghasil produksi perikanan budidaya di Indonesia ada di wilayah tengah Indonesia yaitu sebesar 9.093.622 ton. Selain itu, dari jumlah produksi perikanan budidaya terbesar pada tahun 2021 di seluruh Indonesia ada pada jenis budidaya rumput laut di wilayah tengah yaitu sebesar 6.101.043 ton. Selanjutnya, untuk mengetahui keterkaitan antara wilayah-wilayah di Indonesia dengan jenis budidaya perikanan pada tahun 2021 perlu dilakukan uji independensi (uji *Chi-Square*) dengan hipotesis:

$H_0$  : Tidak ada keterkaitan antara wilayah-wilayah di Indonesia dengan jenis budidaya perikanan pada tahun 2021.

$H_1$  : Ada keterkaitan antara wilayah-wilayah di Indonesia dengan jenis budidaya perikanan pada tahun 2021.

**Tabel 4. Uji Chi-Square**

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
<i>Pearson Chi-Square</i>	6655818,11 <sup>a</sup>	22	0,000

Pada Tabel 4 diketahui bahwa nilai hitung *Chi-Square* yaitu 6655818,11 Sedangkan nilai tabel *Chi-Square* yang mempunyai derajat kebebasan ( $df$ )=22 serta taraf signifikansi ( $\alpha$ )=0,05 adalah 33,924. Maka dari itu,  $H_0$  ditolak karena nilai hitung *Chi-Square* (6655818,11) lebih besar dibandingkan nilai tabel *Chi-Square* (33,924) atau karena nilai signifikansi 0,000 (pada kolom *asymptotic significance (2-sided)*) kurang dari ( $\alpha$ ) = 0,05. Didapatkan bahwa ada keterkaitan nyata antara wilayah-wilayah di Indonesia dengan jenis budidaya perikanan pada tahun 2021. Kemudian mereduksi wilayah-wilayah di Indonesia dengan membaginya menjadi beberapa dimensi dengan hasil seperti berikut:

**Tabel 5. Reduksi Dimensi Data**

Dimension	Singular Value	Inertia	Proportion of Inertia	
			Accounted for	Cumulative
1	0,663	0,440	0,968	0,968
2	0,121	0,015	0,032	1
<b>Total</b>		0,454	1	1

Tabel 5 menunjukkan bahwa dimensi satu memiliki nilai singular 0,663 nilai inersia 0,440, serta nilai proporsi inersia 0,968. Ini berarti dimensi satu mampu menjelaskan variasi data sebesar 96,8%, atau satu vektor baris dan kolom dapat menjelaskan 96,8% dari inersia total. Selain itu, dimensi dua memiliki nilai singular 0,121 nilai inersia 0,015 serta nilai proporsi inersia 0,032. Artinya, dimensi dua mampu menjelaskan variasi data sebesar 3,2%. Apabila kedua dimensi digabungkan, maka variasi data yang dapat direpresentasikan mencapai 100%. Ringkasan poin baris berperan dalam penyusunan kedua dimensi yang didasarkan pada nilai kontribusi mutlak dan relatif, yang hasilnya seperti berikut.

**Tabel 6. Nilai Kontribusi Relatif dan Mutlak untuk Wilayah di Indonesia**

Iklim	Mass	Inertia	Kontribusi				Total
			Mutlak		Relatif		
			1	2	1	2	
Barat	0,350	0,286	0,650	0,000	1	0,000	1
Tengah	0,621	0,146	0,329	0,050	0,995	0,005	1
Timur	0,029	0,023	0,021	0,950	0,398	0,602	1
<b>Active Total</b>	1	0,454	1	1			

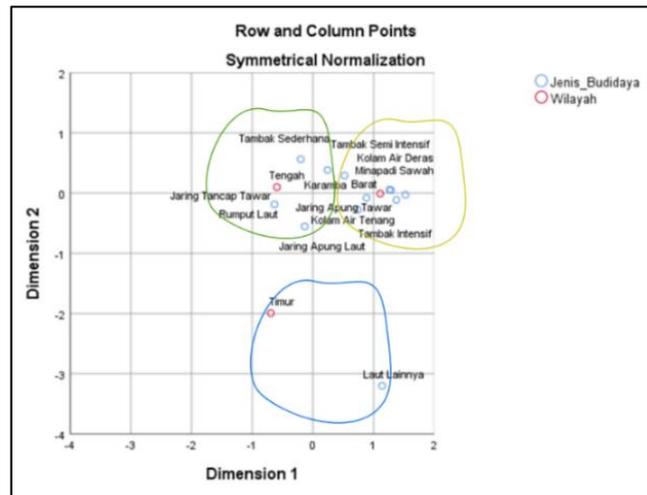
Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa penyumbang kontribusi terbanyak pada pembentukan dimensi satu yaitu wilayah barat dengan kontribusi mutlak dan kontribusi relatif berturut-turut yaitu sebesar 65% dan 100%. Sedangkan pada pembentukan dimensi dua yang memberikan kontribusi terbanyak adalah wilayah timur dengan kontribusi mutlak dan relatif berturut-turut adalah 95% dan 60,2%.

Ringkasan poin kolom memiliki peran penting dalam penyusunan kedua dimensi yang didasarkan pada nilai kontribusi mutlak dan kontribusi relatif. Ringkasan poin kolom dari analisis korespondensi jenis budidaya dan wilayah-wilayah di Indonesia adalah seperti di bawah ini:

**Tabel 7. Nilai Kontribusi Relatif dan Mutlak untuk Jenis Budidaya**

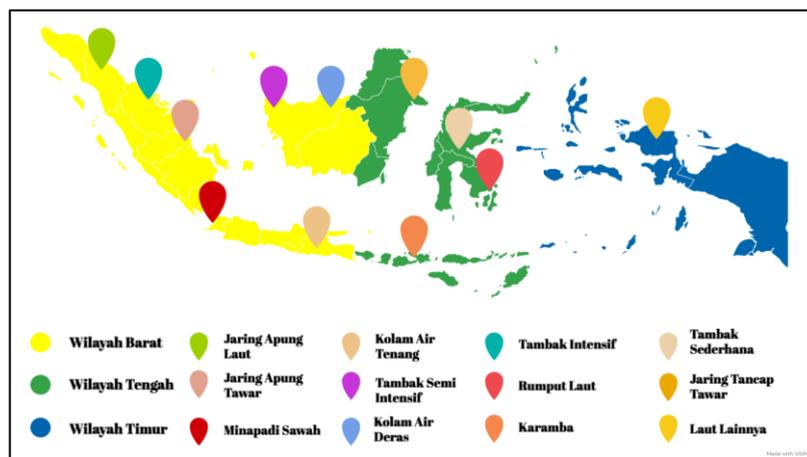
Jenis Budidaya	Mass	Inertia	Kontribusi				Total
			Mutlak		Relatif		
			1	2	1	2	
Jaring Apung Laut	0,002	0,000	0,000	0,005	0,244	0,756	1
Jaring Apung Tawar	0,030	0,032	0,074	0,001	1	0,000	1
Jaring Tancap Tawar	0,002	0,001	0,002	0,000	0,999	0,001	1
Karamba	0,014	0,003	0,006	0,010	0,946	0,054	1
Kolam Air Deras	0,005	0,007	0,017	0,000	1	0,000	1
Kolam Air Tenang	0,181	0,228	0,517	0,019	0,999	0,001	1
Laut Lainnya	0,003	0,006	0,006	0,247	0,409	0,591	1
Minapadi Sawah	0,020	0,021	0,049	0,000	1	0,000	1
Rumput Laut	0,495	0,133	0,298	0,145	0,984	0,016	1
Tambak Intensif	0,021	0,008	0,017	0,013	0,975	0,025	1
Tambak Sederhana	0,204	0,013	0,012	0,531	0,410	0,590	1
Tambak Semi Intensif	0,024	0,001	0,002	0,029	0,686	0,314	1
<b>Active Total</b>	1	0,454	1	1			

Tabel 7 menunjukkan bahwa penyumbang kontribusi terbanyak dalam pembentukan dimensi satu yaitu kolam air tenang dengan kontribusi mutlak dan kontribusi relatif berturut-turut sebesar 51,7% dan 99,9%. Selain itu, pada pembentukan dimensi dua yang memberikan kontribusi terbanyak adalah tambak sederhana dengan kontribusi mutlak dan kontribusi relatif berturut-turut sebesar 53,1% dan 59%. Grafik korespondensi menggambarkan pola kecenderungan wilayah-wilayah di Indonesia terhadap jenis budidaya perikanan pada tahun 2021 dalam bentuk dua dimensi terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot Korespondensi

Pada Gambar 1 diperoleh pola kecenderungan atau kedekatan wilayah-wilayah di Indonesia terhadap jenis budidaya yang dapat dilihat dari jarak terdekat di antara koordinat-koordinatnya. Dengan sumbu horizontal (dimensi 1) menunjukkan keterkaitan antara baris dan kolom. Sumbu vertikal (dimensi 2) menunjukkan variasi lain yang tidak ditafsirkan oleh sumbu horizontal. Wilayah barat memiliki kedekatan dengan jenis budidaya jaring apung tawar, jaring apung laut, tambak intensif, tambak semi intensif, kolam air tenang, kolam air deras, dan minapadi sawah. Wilayah tengah memiliki kedekatan dengan jenis budidaya jaring tancap tawar, tambak sederhana, karamba, dan rumput laut. Sementara itu, wilayah timur memiliki kedekatan dengan jenis budidaya laut lainnya.



Gambar 2. Kecenderungan Jenis Budidaya Perikanan di Indonesia

Pada Gambar 2 diperoleh pola kedekatan atau kecenderungan dari berbagai jenis budidaya perikanan dengan wilayah-wilayah di Indonesia, yaitu seperti berikut:

- a. Pada wilayah barat Indonesia jenis budidaya jaring apung tawar, jaring apung laut, tambak intensif, tambak semi intensif, kolam air tenang, kolam air deras, dan minapadi

sawah lebih cenderung dikembangkan. Hal tersebut diperkuat oleh Kepala Pusat Data Statistik dan Informasi, KKP, Indra Sakti, SE, MM yang mengungkapkan bahwa Jawa memiliki sumber daya perikanan sebesar 2,96 juta hektare. Provinsi yang ada di wilayah barat meliputi Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kepulauan Riau, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, dan Lampung, Banten, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan barat, dan Kalimantan Tengah. Provinsi-provinsi ini memiliki pembagian waktu yang sama dan kondisi alam yang cenderung sama.

- b. Pada wilayah tengah Indonesia, jenis budidaya jaring tancap tawar, tambak sederhana, karamba, dan rumput laut lebih cenderung dikembangkan. Hal tersebut diperkuat dengan kajian pengembangan industri oleh IPB, bahwa budidaya perikanan sangat berkembang khususnya di wilayah Kepulauan Sulawesi yang memberdayakan tambak udang. Provinsi-provinsi yang masuk ke wilayah tengah Indonesia antara lain Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT), Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Barat yang memiliki kondisi dan bentang alam yang cenderung sama.
- c. Pada wilayah timur Indonesia, jenis budidaya laut lainnya lebih cenderung dikembangkan. Provinsi-provinsi yang termasuk ke dalam wilayah barat antara lain Papua, Papua Barat, Maluku, dan Maluku Utara. Keempat provinsi ini memiliki iklim dan suhu yang cenderung sama.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis di atas, didapatkan bahwa jumlah produksi perikanan budidaya terbesar adalah jenis budidaya rumput laut, dengan total produksi sebesar 7.245.731 ton pada tahun 2021. Sedangkan kategori wilayah dengan jumlah produksi perikanan budidaya terbesar pada tahun 2021 ada pada wilayah tengah, dengan jumlah produksi sebesar 9.093.622 ton. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan kedua dimensi sudah mampu menjelaskan variasi data sebesar 100% dengan nilai inersia pada kedua dimensi berturut-turut yakni 0,440 dan 0,015. Jenis budidaya jaring apung tawar, jaring apung laut, tambak intensif, tambak semi intensif, kolam air tenang, kolam air deras, dan minapadi sawah cenderung di budidayakan di wilayah barat Indonesia. Jenis budidaya jaring tancap tawar, tambak sederhana, karamba, dan rumput laut cenderung dibudidayakan di wilayah timur Indonesia. Sementara itu, jenis budidaya laut lainnya cenderung dibudidayakan di wilayah timur Indonesia.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. A. Sinulingga, S. Asri, dan S. Trisni, "The Thought of Developing Halal Maritime Tourism Destination Towards Indonesia's Vision as a World Maritime Axis," *Jurnal PIR: Power in International Relations*, vol. 2, no. 2, hlm. 103, Des 2018, doi: 10.22303/pir.2.2.2018.103-113.
- [2] H. M. Putri, R. Pramoda, dan M. Firdaus, "Kebijakan Penenggelaman Kapal Pencuri Ikan di Wilayah Perairan Indonesia dalam Perspektif Hukum," *Jurnal*

- Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, vol. 7, no. 2, hlm. 91, Apr 2018, doi: 10.15578/jksekp.v7i2.6095.
- [3] M. S. Indraswara dan H. I. Alghifary, "Kajian Faktor Iklim Tropis pada Pasar Tradisional (Studi Kasus: Pasar Wonodri Semarang)," *MODUL*, vol. 19, no. 2, hlm. 62, Des 2019, doi: 10.14710/mdl.19.2.2019.62-67.
- [4] F. Jabnabillah dan W. Reza, "Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi Perikanan Tangkap di Kota Batam Menggunakan Analisis Regresi Time Series" *Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, vol. 5, no. 1, hlm. 244–251, Apr 2024, doi: 10.46306/lb.v5i1.551.
- [5] R. Hablum, A. Khairan, dan R. Rosihan, "Clustering Hasil Tangkap Ikan di Pelabuhan Perikanan Nusantara (Ppn) Ternate Menggunakan Algoritma K-Means" *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 2, no. 1, hlm. 26–33, Apr 2019, doi: 10.33387/jiko.v2i1.1053.
- [6] Wudianto Wudianto dan Arief Wujdi, "Variasi Ukuran Ikan Lemuru (*Sardinella Lemuru Bleeker, 1853*) Secara Temporal dan Spasial di Perairan Selat Bali Size Variation Of Bali *Sardinella (Sardinella Lemuru Bleeker, 1853)* Based On Temporal And Spatial In Bali Strait Waters," *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, vol. 1, no. Size variation, hlm. 9–17, Mar 2014.
- [7] Juwarin Pancawati, "Potensi Pengembangan Kegiatan Budidaya Ikan di Perairan Situ Cipondoh," *Jurnal Penelitian Agrosamudra*, vol. 6, no. 2, hlm. 16–25, Nov 2019, doi: 10.33059/jupas.v6i2.1759.
- [8] J. Rulianto dkk., "Keramba Jaring Apung Sebagai Alternatif Budidaya Ikan Nelayan di Desa," *Madaniya*, vol. 5, no. 1, hlm. 66–76, Feb 2024, doi: 10.53696/27214834.693.
- [9] A. Warsa dan L. P. Astuti, "Keramba Jaring Apung SMART sebagai Inovasi Sistem Budidaya Ramah Lingkungan di Perairan Danau dan Waduk," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 23, no. 2, hlm. 229–239, Jul 2022, doi: 10.29122/jtl.v23i2.4723.
- [10] R. M. Firdaus, M. Mulyono, dan M. Farchan, "Technical Study and Financial Analysis of Red Tilapia Cultivation (*Oreochromis niloticus*) in Running Water System Using Different Feeds at PT Ikan Bangun Indonesia (IWAKE) Bogor, West Java," *Journal of Aquaculture Science*, vol. 5, no. 2, hlm. 88–98, Okt 2020, doi: 10.31093/joas.v5i2.97.
- [11] D. F. Widhiningsih, "Model Inovasi Minapadi dan Peran Aktor yang Mendukung Diseminasi Inovasi Minapadi di Kabupaten Sleman," *Interdisciplinary Journal On Law, Social Sciences and Humanities*, vol. 2, no. 1, hlm. 67, Mei 2021, doi: 10.19184/ijl.v2i1.23769.
- [12] Muh. A. Mahendra, T. Tarisah, N. I. Iswanti, R. Risnawati, T. P. Astuti, dan A. Andriani, "Aplikasi Kincir untuk Menjaga Kebutuhan Oksigen dan Meningkatkan Produktivitas pada Budidaya Udang Vaname Secara Intensif," *Agrokompleks*, vol. 23, no. 1, hlm. 78–83, Feb 2023, doi: 10.51978/japp.v23i1.514.
- [13] I. M. Farionita, J. M. M. Aji, dan A. Supriono, "Analisis Komparatif Usaha Budidaya Udang Vaname Tambak Tradisional dengan Tambak Intensif di Kabupaten Situbondo," *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, vol. 2, no. 4, hlm. 255–266, Jul 2018, doi: 10.21776/ub.jepa.2018.002.04.1.

- [14] A. Fadholi, "Uji Perubahan Rata-Rata Suhu Udara dan Curah Hujan di Kota Pangkalpinang," *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, vol. 14, no. 1, hlm. 11–25, Agu 2013, doi: 10.33830/jmst.v14i1.309.2013.
- [15] P. Candra Susanto, D. Ulfah Arini, L. Yuntina, J. Panatap Soehaditama, dan N. Nuraeni, "Konsep Penelitian Kuantitatif: Populasi, Sampel, dan Analisis Data (Sebuah Tinjauan Pustaka)," *Jurnal Ilmu Multidisplin*, vol. 3, no. 1, hlm. 1–12, Apr 2024, doi: 10.38035/jim.v3i1.504.
- [16] N. Sourial *dkk.*, "Correspondence Analysis is a Useful Tool to Uncover The Relationships Among Categorical Variables," *J Clin Epidemiol*, vol. 63, no. 6, hlm. 638–646, Jun 2010, doi: 10.1016/j.jclinepi.2009.08.008.
- [17] P. M. Kroonenberg dan M. J. Greenacre, "Correspondence Analysis," dalam *Encyclopedia of Statistical Sciences*, Wiley, 2004. doi: 10.1002/0471667196.ess6018.

## Pemodelan *Generalized Poisson Regression* (GPR) terhadap Jumlah Kasus Penyakit *Tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur

Joseph F. Seran Berek<sup>1</sup>, Robertus Dole Guntur<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Matematika, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adisucipto Penfui, PO BOX 104, Kupang, 85001, NTT

Email: [fberek08@gmail.com](mailto:fberek08@gmail.com); [robertus\\_guntur@staf.undana.ac.id](mailto:robertus_guntur@staf.undana.ac.id)

Korespondensi penulis : [robertus\\_guntur@staf.undana.ac.id](mailto:robertus_guntur@staf.undana.ac.id)

### Abstrak

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan salah satu wilayah dengan jumlah kasus tuberkulosis (TBC) yang cukup tinggi pada tahun 2022. Jumlah kasus TBC merupakan contoh variabel diskrit yang umumnya dianalisis menggunakan Regresi Poisson. Model ini mengasumsikan bahwa nilai mean dan variansi dari variabel respon adalah sama. Namun, dalam banyak kasus, asumsi ini tidak terpenuhi karena variansi variabel respon sering kali lebih besar daripada mean (overdispersi). Untuk mengatasi masalah ini, digunakan model *Generalized Poisson Regression* (GPR) yang lebih fleksibel dalam menangani overdispersi. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan jumlah kasus tuberkulosis di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan menggunakan model *Generalized Poisson Regression* (GPR). Variabel dependen dalam penelitian ini adalah jumlah kasus TBC Paru per kabupaten/kota pada tahun 2023. Sementara itu, variabel independen terdiri dari beberapa faktor yang diduga berpengaruh, yaitu: jumlah penduduk miskin, persentase perokok aktif, jumlah balita kurang gizi, jumlah puskesmas, persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak, Persentase penggunaan air bersih dan jumlah kasus HIV AIDS. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 31 model yang mungkin terbentuk, dan model optimal dengan 5 variabel prediktor menghasilkan nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) sebesar 1413.285. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus tuberkulosis adalah jumlah penduduk miskin, jumlah puskesmas, persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak, persentase air bersih, dan jumlah penderita HIV/AIDS.

**Kata Kunci:** *Generalized Poisson Regression*, kriteria informasi Akaike, overdispersi, Provinsi NTT, tuberkulosis.

## Abstract

East Nusa Tenggara Province (NTT) is one of the provinces with a fairly high number of tuberculosis cases in 2022. The number of the cases is an example of a discrete variable which is usually analyzed using Poisson regression model assuming that the mean and variance of the response variable must be the same. However, this condition is often violated where the variance of the response variable is greater than the mean (overdispersion). To overcome this, the Generalized Poisson Regression (GPR) model is applied. This study aims to model the number of tuberculosis cases in ENTP and investigate the variables influencing it using the GPR model. The dependent variable is the number of pulmonary tuberculosis cases, with eight independent variables. The study shows that data on the distribution of the number of tuberculosis cases in ENTP is over-dispersed. The results of the analysis using the GPR model show that there are 31 possible models to be formed and modeling involving 5 predictor variables produces an optimal GPR model with an Akaike Information Criterion value is 1413.285. The five independent variables that have a significant influence on the number of tuberculosis cases in ENTP in 2023 are the number of poor people, the number of community health centers, the percentage of households with access to proper sanitation, the percentage of clean water and the number of HIV and AIDS sufferers.

**Keywords:** Akaike Information Criterion, East Nusa Tenggara Province, Generalized Poisson Regression Model, Overdispersion, tuberculosis.

## 1. Pendahuluan

Tuberkulosis (TBC) merupakan masalah kesehatan masyarakat yang menyerang paru-paru dan *Mycobacterium Tuberculosis* adalah patogennya[1]. Kemungkinan terjangkit penyakit ini biasanya tersebar melalui air liur atau dahak penderita yang mengandung bakteri *Mycobacterium Tuberculosis*. Penyakit ini ditemukan oleh Robert Koch pada tanggal 24 Maret 1882 di Berlin, Jerman [2].

Tuberkulosis masih menjadi masalah kesehatan di berbagai negara. Penyakit ini merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia. Menurut *World Health Organization* ditahun 2020, sekitar 10 juta orang di seluruh dunia terindikasi terkena penyakit tuberkulosis [3]. Berdasarkan data pada *Global Tuberculosis Report*, Indonesia menduduki peringkat kedua tertinggi jumlah kasus TBC pada tahun 2022 setelah India dengan 969.000 kasus, setara dengan 11 kematian per jam [4]. Jumlah ini terus tumbuh sebesar 17% pada tahun 2020, dengan jumlah kasus sebanyak 824.000 kasus, dimana 430.667 kasus diantaranya tidak terdeteksi [5]. Persebaran jumlah kasus TBC ditemukan pada semua provinsi di Indonesia dengan penyumbang terbanyak berasal dari Provinsi Jawa Barat dengan 184.406 kasus dan terendah dari Provinsi Kalimantan Utara dengan 1738 kasus pada tahun 2022 [6].

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) juga berkontribusi pada tingginya kasus TBC di Indonesia dengan jumlah kasus sebanyak 8.802 di tahun 2022 [6]. Jumlah ini menunjukkan kenaikan yang signifikan yang hanya mencapai 5.361 kasus di tahun 2020. Persebaran jumlah kasus ini tidak sama disetiap kabupaten dengan jumlah yang terbanyak di Kota Kupang sebanyak 806 kasus dan jumlah yang terendah di Kabupaten Sabu Raijua sebanyak 82 kasus [7].

Jumlah kasus tuberkulosis di Provinsi NTT ini adalah jenis data hitungan (*count data*) yang merupakan karakteristik distribusi Poisson [8]. Apabila rata-rata dan variansnya sama (distribusi yang sama), regresi Poisson sangat cocok untuk digunakan untuk

menganalisis data hitungan. Namun, situasi ini sebenarnya jarang terjadi. Data *count* biasanya memiliki *overdispersion* atau nilai varians lebih besar dari *mean*. Dalam kondisi ini model regresi Poisson tidak bisa digunakan lagi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan metode *Generalized Poisson Regression (GPR)* [9]. Penggunaan model GPR sudah digunakan sebelumnya untuk mengatasi masalah overdispersi pada jumlah kasus stunting tahun 2022 di Provinsi NTT [9], jumlah kematian balita [10], jumlah kasus AIDS [11], jumlah kasus pneumonia [12], dan jumlah kasus berat badan lahir rendah pada balita di Indonesia tahun 2021 [13]. Penerapan model GPR pada penelitian ini digunakan untuk mengatasi masalah overdispersi pada data jumlah kasus *tuberculosis* di Provinsi NTT pada tahun 2022. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan baru tentang faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah kasus tuberkulosis di NTT, serta memberikan rekomendasi kebijakan yang dapat membantu pemerintah dalam merumuskan strategi pengendalian penyakit ini.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan analisis *Generalized Poisson Regression (GPR)* untuk mengatasi masalah overdispersion. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari website resmi Badan Pusat Statistik Provinsi NTT dengan jumlah kasus *tuberculosis* pada setiap kabupaten di Provinsi NTT pada tahun 2023 sebagai variable respon(Y). Kemudian variable bebasnya adalah jumlah penduduk miskin( $X_1$ ), persentase perokok aktif( $X_2$ ), jumlah balita kurang gizi( $X_3$ ), jumlah puskesmas( $X_4$ ), persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak ( $X_5$ ), persentase air bersih (mata air terlindungi)( $X_6$ ) dan jumlah kasus HIV/AIDS( $X_7$ ). Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* statistic SPSS untuk menguji hipotesis dan menentukan signifikansi hubungan antar variabel. Tahapan Analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data terkait jumlah kasus TBC Paru serta faktor-faktor yang berpengaruh dari sumber sekunder.
2. Visualisasi Persebaran  
Menampilkan distribusi geografis kasus TBC Paru dalam bentuk peta.
3. Uji Multikolinearitas  
Menganalisis hubungan antar variabel independen menggunakan *Variance Inflation Factor (VIF)*.
4. Estimasi Model Regresi Poisson  
Menghitung parameter model dengan metode *Maximum Likelihood Estimation (MLE)*.
5. Deteksi Overdispersi  
Mengevaluasi kemungkinan overdispersi pada data dengan uji *Pearson chi-square/df* atau *likelihood ratio test*.
6. Pemodelan dengan *Generalized Poisson Regression (GPR)*  
Jika ditemukan overdispersi, maka digunakan model GPR sebagai solusi alternatif.
7. Pemilihan Model Terbaik  
Menentukan model optimal berdasarkan nilai *Akaike Information Criterion (AIC)*.
8. Interpretasi Model

Menafsirkan hasil estimasi parameter untuk memahami pengaruh variabel independen terhadap jumlah kasus TBC.

## 2.1 Statistika Deskriptif

Dengan menggunakan metode statistik sederhana seperti minimum, rata-rata, maksimum, dan standar deviasi, analisis deskriptif bertujuan untuk memberikan gambaran tentang karakteristik data. Analisis juga dilakukan dengan menggunakan visualisasi data, seperti peta dan grafik.

## 2.2 Multikolinearitas

Multikolinearitas merupakan suatu kondisi dimana dua atau lebih variabel bebas dalam model regresi berkorelasi tinggi satu sama lain. Saat membentuk model regresi dengan beberapa variabel independen (bebas), penting untuk memastikan bahwa tidak adanya multikolinearitas antar variabel-variabel tersebut. Untuk mendeteksi multikolinearitas, digunakan kriteria nilai VIF (*Variance Inflation Factor*). Jika nilai VIF lebih besar 10, artinya terdapat multikolinearitas [14].

Nilai VIF dihitung dengan rumus:

$$VIF = \frac{1}{1-R_j^2}; j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

Dimana  $R_j^2$  adalah koefisien determinasi antara variabel-variabel bebas lainnya.

## 2.3 Poisson Regression

*Poisson Regression* (PR) adalah suatu model regresi non-linear yang digunakan untuk menganalisis data berdistribusi Poisson dimana variabel respon berbentuk data *count* dan nilainya adalah *integer* tidak negative [13]. Regresi Poisson merupakan salah satu aplikasi dari *Generalized Linear Model* (GLM), yang merupakan perluasan dari model regresi umum untuk variabel respon yang memiliki sebaran eksponensial. Dalam regresi Poisson, masing-masing variabel prediktor tidak memiliki multikolinearitas dan variabel respon Y diasumsikan berdistribusi Poisson. Secara sistematis distribusi Poisson memiliki fungsi peluang sebagai berikut:

$$P(Y = y) = \frac{\lambda^y e^{-\lambda}}{y!}, \quad y = 0, 1, 2, \dots$$

Keterangan:

$Y$  : Variabel acak dengan distribusi Poisson

$y$  : Nilai relisasi dari variabel acak  $Y$

$\lambda$  : Parameter rata-rata

$e$  : Bilangan euler ( $\approx 2,718$ )

$y!$  : Faktorial dari  $y$

## 2.4 Penaksiran Parameter Model Regresi Poisson

Saat menaksir parameter model regresi Poisson kita dapat menggunakan metode *maximum likelihood estimator* (MLE) dengan melibatkan asumsi bahwa variabel terikat dengan mengikuti distribusi Poisson dan bahwa hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat bersifat linear dalam logaritma.

Fungsi *log-likelihood* pada model regresi Poisson dirumuskan dengan persamaan, sebagai berikut:

$$\ln \mathcal{L}(\beta) = \sum_{i=1}^n Y_i \ln[\lambda(x, \beta)] - \sum_{i=1}^n \lambda(x, \beta) - \sum_{i=1}^n \ln(Y_i) \quad (2)$$

Selanjutnya, memaksimalkan fungsi dalam Persamaan (2) untuk mendapatkan estimasi parameter yang optimal dengan menggunakan algoritma *Fisher Scoring* [15]. Untuk menguji parameter model regresi Poisson dilakukan dengan pengujian sebagai berikut

1. Uji Simultan

Hipotesis yang digunakan adalah:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0,$$

Artinya tidak ada variabel bebas yang berpengaruh pada variabel terikat.

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots \neq \beta_p \neq 0,$$

Artinya setidaknya ada satu variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat.

Statistik uji:

$$D(\hat{\beta}) = -2 \ln \quad (3)$$

Kriteria uji adalah tolak  $H_0$  apabila  $D(\hat{\beta}) > \chi^2_{(i, \alpha)}$  dengan  $i$  adalah banyaknya variabel bebas atau nilai  $p - value < \alpha$ .

2. Uji Parsial

Hipotesis Uji Wald yaitu:

$$H_0 : \beta_i = 0,$$

variabel bebas tidak mempengaruhi variabel terikat.

$$H_1 : \beta_i \neq 0,$$

variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat.

Statistik Uji Wald yaitu:

$$Z_{Hitung} = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \quad (4)$$

Kriteria uji adalah tolak  $H_0$  apabila  $|Z_{Hit}| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$  atau nilai  $p - value < \alpha$ .

## 2.5 Pengujian Overdispersi

Secara umum, regresi Poisson memiliki varians dan rata-rata yang sama, tetapi terkadang terjadi overdispersi, di mana variansnya lebih besar dari rata-rata. Untuk memeriksa overdispersi digunakan rasio dispersi ( $\phi$ ) yang didefinisikan sebagai ratio antara nilai *Chi-squared* ( $\chi^2$ ) dan derajat bebasnya ( $df$ ), yaitu:

$$\phi = \frac{\chi^2}{df} \quad (5)$$

$$\phi = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - E(Y))^2}{Var(Y)}}{N - p} \quad (6)$$

Dimana,  $y_i$  merupakan nilai pengamatan ke- $i$  dari variabel terikat, jumlah pengamatan ( $N$ ) dan jumlah parameter ( $p$ ). Jika nilai  $\phi > 1$  menunjukkan adanya overdispersi dalam model [16].

## 2.6 Pemodelan dengan *Generalized Poisson Regression*

Untuk menghitung jumlah data saat terjadi overdispersi dan underdispersi, model GPR mengambil distribusi Generalized Poisson (GP) untuk setiap variabel random. Berikut adalah model distribusi model GPR [17].

$$f(y; \mu; \theta) = \left(\frac{\mu}{1+\mu}\right)^y \frac{(1+\theta y)^{y-1}}{y!} \exp\left(\frac{-\mu(1+\theta y)}{1+\theta \mu}\right) \quad (7)$$

Dengan mean dan variansnya :

$$E(y) = \mu \text{ dan } Var(y) = \mu(1 + \theta \mu)^2 \quad (8)$$

Keterangan :

$\theta = 0$  ; Model GPR menjadi regresi Poisson biasa

$\theta > 0$  ; Model GPR menjelaskan data *count* yang overdispersi

$\theta < 0$  ; Model GPR menjelaskan data *count* yang underdispersi

Penaksir parameter model GPR dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) sebagai berikut:

$$L(\beta, \theta) = \prod_{i=1}^n f(\beta, \theta) \quad (9)$$

$$L(\beta, \theta) = \prod_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{\mu_i}{1+\theta \mu_i}\right)^{y_i} \frac{(1+\theta y_i)^{(y_i-1)}}{y_i!} \exp\left(\frac{-\mu_i(1+\theta \mu_i)}{1+\theta \mu_i}\right) \right\} \quad (10)$$

Jika, diubah dalam bentuk fungsi logaritma natural menjadi :

$$\ln L(\beta, \theta) = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln(\mu_i) - y_i \ln(1 + \theta \mu_i) + \Delta\} \quad (11)$$

Dimana

$$\Delta = (y_i - 1) \ln(1 + \theta y_i) - \ln(y_i!) - \mu_i \left(\frac{1+\theta y_i}{1+\theta \mu_i}\right) \quad (12)$$

Untuk mendapatkan taksiran parameter  $\beta$  dan  $\theta$  maka Persamaan (11) diturunkan terhadap  $\beta$  dan  $\theta$  menggunakan metode numerik iterasi *Newton-Raphson* sehingga diperoleh penaksir parameter yang konvergen.

Pengujian Parameter *Generalized Poisson Regression* (GPR) dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Ratio Test* (MLRT). Dengan hipotesis sebagai berikut :

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j$$

$$H_1: \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, s$$

Statistik uji:

$$D(\hat{\beta}) = -2 \ln \left( \frac{L(\hat{\omega})}{L(\hat{\Omega})} \right) = 2 \left( \ln(\hat{\Omega}) - \ln L(\hat{\omega}) \right) \quad (13)$$

Tolak  $H_0$  jika  $D(\hat{\beta}) > \chi^2_{(s;\alpha)}$  sehingga terdapat paling sedikit  $\beta_j \neq 0$  yang menunjukkan pengaruh bahwa  $X_j$  berpengaruh secara signifikan terhadap model. Pengujian dilanjutkan menggunakan uji parsial dengan hipotesis berikut :

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ ( Pengaruh variabel ke-} j \text{ tidak signifikan )}$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ (Pengaruh variabel ke-} j \text{ signifikan )}$$

Statistik uji yang digunakan mengikuti distribusi z yaitu :

$$t = \frac{\hat{\beta}_j}{se(\hat{\beta}_j)} \quad (14)$$

$se(\hat{\beta}_j)$  adalah nilai *standard error* dari parameter  $\hat{\beta}_j$ .  $se(\hat{\beta}_j)$  diperoleh dari elemen diagonal ke (j+1) dari  $[-H^{-1}(\hat{\beta})]$ . Tolak  $H_0$  jika  $|t_{hit}| > t_{\frac{\alpha}{2},df}$ , dimana  $\alpha$  adalah taraf signifikansi.

## 2.7 Pemilihan Model Terbaik

Nilai Kriteria Informasi Akaike (AIC) dihitung untuk memilih model terbaik. Ini dilakukan dengan menghitung nilai *log-likelihood* dari setiap model yang ingin dibandingkan dan kemudian menghitung jumlah parameter prediktor (k). Nilai AIC dihitung menggunakan persamaan berikut.

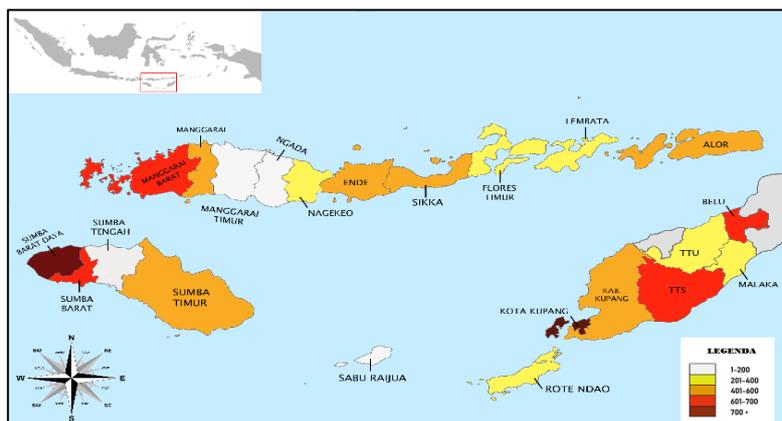
$$AIC = -2\mathcal{L} + 2k \quad (15)$$

Pemilihan model terbaik diperoleh pada nilai AIC terkecil [18].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Statistika Deskriptif

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh bahwa pada tahun 2023, peta penyebaran penyakit TBC dengan jumlah kasus terendah yakni 85 kasus terjadi di Kabupaten Sabu Raijua dan kasus terbanyak yakni 702 kasus di Kabupaten Sumba Barat Daya dan 1.253 kasus terjadi di Kota Kupang.



Gambar 1. Peta Penyebaran TBC di Provinsi NTT tahun 2022

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Variabel	N	Min	Max	Mean	Standar Deviasi	Varians
Tuberkulosis(Y)	22	85	1253	433.41	265.290	70378.825
Jumlah Penduduk Miskin( $X_1$ )	22	18.57	119.51	51.8691	27.10003	734.412

Persentase Perokok Akif( $X_2$ )	22	11.16	24.8	17.0341	3.78328	14.313
Jumlah Balita Kurang Gizi( $X_3$ )	22	549	9762	2900.18	2376.732	5648853.489
Jumlah Puskesmas( $X_4$ )	22	6	37	19.82	8.110	65.775
Persentase Akses Sanitasi Layak( $X_5$ )	22	48.22	93.03	74.7755	13.39193	179.344
Persentase Air Bersih( $X_6$ )	22	0.63	59.98	30.7409	17.31589	299.840
Jumlah Kasus HIV/AIDS( $X_7$ )	22	3	113	34.18	27.719	768.346

Pada Tabel 1. ditampilkan nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi dan variansi dari setiap variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Rata-rata jumlah kasus *Tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur selama tahun 2023 sebesar 433.41 atau 433 kasus dengan variansinya sebesar 70378.825.

### 3.2 Uji Multikolinearitas

**Tabel 2. Nilai VIF Variabel Predictor**

Variabel	VIF
Jumlah Penduduk Miskin ( $X_1$ )	5.351
Persentase Perokok Aktif( $X_2$ )	1.718
Jumlah Balita Kurang gizi( $X_3$ )	4.111
Jumlah Puskesmas( $X_4$ )	2.907
Persentasi Rumah Tangga sanitasi layak( $X_5$ )	1.768
Persentase Air Bersih( $X_6$ )	2.274
Jumlah Kasus HIV/AIDS( $X_7$ )	1.898

Berdasarkan nilai VIF untuk masing-masing variabel tidak lebih dari 10 hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadinya multikolinieritas diantara ke tujuh variabel bebas, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Oleh karena itu, analisis dapat dilanjutkan pada tahap berikutnya.

### 3.3 Uji *Overdispersion*

**Tabel 3. Uji *Overdispersi***

Tuberkulosis	Value	Df	Value/Df
Deviance	1230.915	14	87.923
Pearson Chi-Square	1287.930	14	91.995

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa nilai deviance dari model regresi Poisson adalah 1230,915 dan jika dibagi dengan nilai derajat bebasnya 14 maka didapat 87,923 yang lebih dari 1. Maka dapat disimpulkan bahwa terjadi *overdispersi* pada data yang diamati. Oleh karena itu untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan model *Generalized Regresi Poisson*.

### 3.4 Model Estimasi Regresi Poisson

Regresi Poisson, model regresi non linier yang sering digunakan untuk menganalisis data count, digunakan untuk memodelkan faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah kasus penyakit tuberkulosis di Provinsi NTT tahun 2023. Model regresi poisson untuk jumlah kasus Tuberkulosis pada di Provinsi NTT tahun 2023 umumnya berbentuk seperti berikut:

Model umum regresi Poisson:

$$\mu = \exp (\beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k) \quad (16)$$

Karena diketahui variable predictor berjumlah 7 variabel maka model regresi poissonnya berbentuk seperti berikut:

$$\mu = \exp (\beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6 + \beta_7x_7) \quad (17)$$

### 3.5 Uji Serentak

**Tabel 4. Uji serentak**

$D(\hat{\beta})$	$\chi^2(7; 0.05)$	P-value
1980.914	14.071	0.0001

Berdasarkan Tabel 4. Karena nilai  $D(\hat{\beta}) > \chi^2(7; 0,05) = 1980.914 > 14.017$  dan nilai  $p - value (0,0001) < \alpha(0,05)$ . Keputusan yang dihasilkan yaitu tolak  $H_0$ , sehingga kesimpulannya variabel predictor menunjukkan hubungan yang tepat atau dengan kata lain berpengaruh secara bersama(simultan) terhadap jumlah kasus *Tuberculosis* di Provinsi NTT tahun 2023.

### 3.6 Uji Parsial

**Tabel 5. Uji Parsial**

Parameter	Estimasi	Standar Error	Wald	t-hitung	P-value	Keputusan
Jumlah Penduduk Miskin ( $X_1$ )	0.011	0.001	124.855	1.180	0.0001	Signifikan
Persentase Perokok Aktif( $X_2$ )	0.002	0.0035	0.365	-0.453	0.546	Tidak Signifikan
Jumlah Balita Kurang gizi( $X_3$ )	-6.824	8.764	0.006	-0.3	0.938	Tidak Signifikan
Jumlah Puskesmas( $X_4$ )	-0.025	0.0024	109.176	-1.331	0.00001	Signifikan
Persentasi Rumah Tangga sanitasi layak( $X_5$ )	0.007	0.0013	28.457	0.432	<0.001	Signifikan
Persentase Air Bersih( $X_6$ )	0.007	0.001	47.985	0.827	<0.001	Signifikan
Jumlah Kasus HIV/ AIDS( $X_7$ )	0.015	0.0005	852.854	3.631	0.0001	Signifikan

Berdasarkan hasil seperti yang dinyatakan pada Tabel 5, dengan tingkat signifikansi 0.05 maka dapat diputuskan bahwa variabel predictor yang berpengaruh secara individu (parsial) terhadap jumlah kasus *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur tahun 2023

adalah jumlah penduduk miskin( $X_1$ ), jumlah puskesmas( $X_4$ ), persentase rumah tangga dengan akses sanitasi yang layak( $X_5$ ), persentase air bersih( $X_6$ ), dan jumlah HIV dan AIDS( $X_7$ ). Dengan demikian diperoleh persamaan yang melibatkan variabel yang signifikan adalah :

$$\mu = \exp(4.639 - 0.011X_1 - 0.025X_4 + 0.007X_5 + 0.007X_6 + 0.015X_7) \quad (18)$$

### 3.7 Pemodelan Kasus dengan Metode GPR

Untuk pemodelan dengan GPR, beberapa model regresi Poisson akan dipilih berdasarkan nilai *Akaike Information Criteria* (AIC). AIC merupakan alat ukur statistik yang dapat digunakan untuk mengukur kesesuaian model. Model dengan nilai AIC terkecil akan dianggap sebagai model terbaik. Semakin rendah nilai AIC, semakin baik model menjelaskan data prediksi dengan data aktual. Dari 5 variabel prediktor yang berpengaruh signifikan, model GPR yang dapat dibentuk berjumlah 31 model. Dari 31 model GPR yang dibentuk akan diambil model dengan nilai AIC terkecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut ini.

**Tabel 6. Model GPR untuk Data Jumlah Kasus TC di Provinsi NTT Tahun 2023**

Variabel	Model	AIC
$X_7$	$\mu = \exp(5.530 + 0.014X_7)$	1704.258
$X_1X_7$	$\mu = \exp(5.263 + 0.005X_1 + 0.014X_7)$	1537.838
$X_1X_4X_7$	$\mu = \exp(5.379 + 0.007X_1 - 0.010X_4 + 0.013X_7)$	1498.922
$X_1X_4X_6X_7$	$\mu = \exp(5.194 + 0.009X_1 - 0.021X_4 + 0.007X_6 + 0.015X_7)$	1446.976
$X_1X_4X_5X_6X_7$	$\mu = \exp(4.704 + 0.011X_1 - 0.025X_4 + 0.006X_5 + 0.007X_6 + 0.015X_7)$	1413.285

### 3.8 Pemilihan Model Terbaik

Berdasarkan Tabel 6 dapat dijelaskan bahwa model terbaik yang dipilih berdasarkan kriteria nilai AIC terkecil adalah model yang melibatkan variabel  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$  sebagai variabel predictor dalam model yang mana menghasilkan nilai AIC yang paling kecil dari 31 model GPR yang terbentuk. Dengan demikian model *Generalized Poisson Regression* untuk kasus TBC di Provinsi Nusa Tenggara Timur tahun 2023 sebagai berikut :

$$\mu = \exp(4.704 + 0.011X_1 - 0.025X_4 + 0.006X_5 + 0.007X_6 + 0.015X_7) \quad (19)$$

### 3.9 Interpretasi Model

Berdasarkan model yang diperoleh maka dapat dikatakan bahwa variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap model penyebaran jumlah kasus TBC di Provinsi NTT tahun 2023 adalah jumlah penduduk miskin ( $X_1$ ), jumlah puskesmas ( $X_4$ ), persentase rumah tangga dengan akses sanitasi yang layak ( $X_5$ ), persentase air bersih ( $X_6$ ), dan jumlah HIV dan AIDS ( $X_7$ ). Dari model yang diperoleh dapat dikatakan bahwa setiap penambahan seribu jiwa penduduk Miskin ( $X_1$ ) akan menyebabkan kenaikan rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* sebesar  $\exp(0.011)$  atau 1.01106 dari rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* semula. Semakin banyak jumlah penduduk miskin maka akan meningkatkan

jumlah *tuberculosis* di setiap wilayah kabupaten/kota sebanyak 1 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa faktor ekonomi berperan penting dalam peningkatan kasus TBC

Jumlah puskesmas ( $X_4$ ) memberi kontribusi yang signifikan terhadap jumlah *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur, dimana setiap penambahan 1 puskesmas akan menyebabkan penurunan rata-rata jumlah *tuberculosis* sebesar  $\exp(-0.025)$  atau 0.97531 dari rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* semula. Semakin banyak jumlah puskesmas akan mengurangi jumlah kasus *tuberculosis* di setiap wilayah kabupaten/kota sebanyak 1 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah puskesmas berkontribusi terhadap penurunan kasus *tuberculosis*.

Persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak ( $X_5$ ) memberi kontribusi yang signifikan terhadap jumlah *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur, dimana setiap penambahan 1 rumah tangga dengan akses sanitasi layak akan menyebabkan kenaikan rata-rata jumlah *tuberculosis* sebesar  $\exp(0.006)$  atau 1.00602 dari rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* semula. Semakin banyak rumah tangga dengan akses sanitasi layak akan meningkatkan jumlah kasus *tuberculosis* di setiap wilayah kabupaten/kota sebanyak 1 kasus. Secara teori, sanitasi yang baik seharusnya mengurangi penyebaran *tuberculosis*. Namun, hubungan positif ini bisa terjadi karena daerah dengan sanitasi lebih baik juga memiliki pencatatan kesehatan yang lebih akurat, sehingga lebih banyak kasus terdeteksi.

Persentase air bersih (mata air terlindungi) ( $X_6$ ) memberi kontribusi yang signifikan terhadap jumlah *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur, dimana setiap penambahan 1% air bersih (mata air terlindungi) akan menyebabkan kenaikan rata-rata jumlah *tuberculosis* sebesar  $\exp(0.007)$  atau 1,00702 dari rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* semula. Semakin banyak persentase air bersih (mata air terlindungi) akan meningkatkan jumlah kasus *tuberculosis* di setiap wilayah kabupaten/kota sebanyak 1 kasus. Secara statistik, hubungan positif ini bisa disebabkan oleh kondisi di mana daerah dengan akses air bersih yang lebih baik juga memiliki populasi yang lebih padat, sehingga potensi penularan penyakit lebih tinggi.

Jumlah HIV/AIDS ( $X_7$ ) memberi kontribusi yang signifikan terhadap jumlah *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur, dimana setiap penambahan 1 puskesmas akan menyebabkan kenaikan rata-rata jumlah *tuberculosis* sebesar  $\exp(0.015)$  atau 1,01511 dari rata-rata jumlah kasus *tuberculosis* semula. Semakin banyak jumlah kasus HIV/AIDS akan meningkatkan jumlah *tuberculosis* di setiap wilayah kabupaten/kota sebanyak 1 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa *tuberculosis* lebih rentan menyerang individu dengan HIV/AIDS karena daya tahan tubuh mereka yang lemah.

#### 4 Kesimpulan

Hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model *Generalized Poisson Regression (GPR)* pada kasus *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur pada Tahun 2023 yaitu sebagai berikut:  
$$\mu = \exp(4.704 + 0.011X_1 - 0.025X_4 + 0.006X_5 + 0.007X_6 + 0.015X_7)$$
2. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus *tuberculosis* di Provinsi Nusa Tenggara Timur pada Tahun 2023 berdasarkan model *Generalized Poisson Regression (GPR)* adalah jumlah penduduk miskin ( $X_1$ ), jumlah puskesmas

( $X_4$ ), persentase rumah tangga dengan akses sanitasi yang layak ( $X_5$ ), persentase air bersih ( $X_6$ ), dan jumlah HIV dan AIDS( $X_7$ )

## Daftar Pustaka

- [1] Getu, H. F. Wolde, Y. Animut, and A. A. Kibret, "Incidence and Predictors of Tuberculosis among Patients enrolled in Anti-Retroviral Therapy after Universal Test and Treat Program, Addis Ababa, Ethiopia. A Retrospective follow -up Study," *PLoS ONE*, vol. 17, no. 8, p. e0272358, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0272358.
- [2] R. Syakur, J. Usman, and H. Asyng, "Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Tuberkulosis ( TBC ) di Balai Besar Kesehatan Paru Masyarakat Kota Makassar," *JKKM*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2019, doi: 10.36090/jkkm.v1i1.284.
- [3] H. Helmy, M. T. Kamaluddin, I. Iskandar, S. Suheryanto, I. Irfannuddin, and N. Novrikasari, "Spatial Modelling of Pulmonary TB Distribution in Indonesia using on Environmental and Socio-economic Variables," in *Proceedings of the 3rd Sriwijaya International Conference on Environmental Issues, SRICOENV 2022, October 5th, 2022, Palembang, South Sumatera, Indonesia*, Palembang, Indonesia: EAI, 2023. doi: 10.4108/eai.5-10-2022.2328785.
- [4] WHO. 2022. Global Tuberculosis Report 2022. Geneva: World Health Organization, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2023.
- [5] Sulistya, A., Kurniawan, B. and Pramesona, B.A., Factors Related to the Incidence of Pulmonary TB in Rural Communities in South Lampung, Indonesia: A Case-Control Study. *International Journal of Current Science Research and Review*. Vol.6(12) pp 7457-7463, 2023.
- [6] Kementerian Kesehatan RI., Profil Kesehatan Indonesia. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI. 2023.
- [7] Dinkes NTT, Profil Kesehatan Provinsi NTT, Dinas Kesehatan Provinsi NTT. 2022.
- [8] Hayati, M., Sadik, K. and Kurnia, A, Conway-Maxwell Poisson Distribution: Approach for Over-and-Under-Dispersed Count Data Modelling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 187(1) : 012039, 2018. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012039>
- [9] M. F. Lais, A. Atti, R. M. Pangaribuan, and R. D. Guntur, "Model Generalized Poisson Regression (GPR) pada Kasus Stunting di Provinsi Nusa Tenggara Timur," *JD*, vol. 5, no. 2, pp. 68–75, Aug. 2023, doi: 10.35508/jd.v5i2.11562.
- [10] Guntur, R. D., & Da Rato, M. R., Generalized Poisson Regression Modeling on the Number of Infant Deaths in East Nusa Tenggara Province in 2022. *J Statistika: Jurnal Ilmiah Teori dan Aplikasi Statistika*, 17(2), 779–788, 2024, <https://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/jstatistika/article/view/9318>
- [11] Guntur, R. D., & Dappa, J. S. B., Pemodelan Generalized Poisson Regression pada Kasus AIDS di Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2023. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 6(2), 95–104, 2024. <https://jurnalvariansi.unm.ac.id/index.php/variansi/article/view/168>

- [12] Guntur, R. D., & Njudang, C. C. I. A., Pemodelan Generalized Poisson Regression (GPR) untuk Mengatasi Pelanggaran Equidisersi pada Regresi Poisson Kasus Pneumonia di Provinsi NTT. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(1), 2025. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/mathunesa/article/view/62516>
- [13] Esra, R., Nohe, D. A. dan Fathurahman, M. Pemilihan Model Terbaik pada Generalized Poisson Regression menggunakan Akaike Information Criterion. *Statistika*. 23(1) : 73-87, 2023. <https://doi.org/10.29313/statistika.v23i1.1925>
- [14] Y. Tiara, M. N. Aidi, E. Erfiani, and R. Rachmawati, "Overdispersion Handling in Poisson Regression Model by Applying Negative Binomial Regression," *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Applications.*, vol. 17, no. 1, pp. 0417–0426, 2023, doi: 10.30598/barekengvol17iss1pp0417-0426.
- [15] M. P. Putri and P. Purhadi, "Analisis Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Jumlah Kematian Ibu dan Jumlah Kematian Bayi di Provinsi Jawa Tengah dengan Bivariate Generalized Poisson Regression," *JSSITS*, vol. 6, no. 1, pp. 101–107, 2017, doi: 10.12962/j23373520.v6i1.22467.
- [16] M. Majore, D. T. Salaki, and J. D. Prang, "Penerapan Regresi Binomial Negatif dalam Mengatasi Overdispersi Regresi Poisson pada Kasus Jumlah Kematian Ibu," *dC*, vol. 9, no. 2, p. 133, 2021, doi: 10.35799/dc.9.2.2020.29150.
- [17] W. Wang and F. Famoye, "Modeling Household Fertility Decisions with Generalized Poisson regression," *Journal of Population Economics*, vol. 10, no. 3, pp. 273–283, 1997, doi: 10.1007/s001480050043.
- [18] K. Kristy, J. Jajang, and N. Nurhayati, "Analisis Regresi Count Data untuk Pemodelan Jumlah Kasus Penyakit Tuberkulosis di Kabupaten Banyumas," *JMP*, vol. 13, no. 2, p. 57, 2021, doi: 10.20884/1.jmp.2021.13.2.4919.

## Mencari Alternatif Strategi Pemberantasan Korupsi di Indonesia dengan Model Matematika

Pipit Pratiwi Rahayu<sup>1</sup>, Muhammad Wakhid Musthofa<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Matematika, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
Jl. Marsda Adisucipto No. 1 Yogyakarta 55241

Email: pipit.rahayu@uin-suka.ac.id<sup>1</sup>, muhammad.musthofa@uin-suka.ac.id<sup>2</sup>,

Korespondensi penulis: pipit.rahayu@uin-suka.ac.id

### Abstrak

Korupsi di Indonesia telah menjadi tantangan besar yang menghambat pembangunan berkelanjutan dan kepercayaan publik terhadap pemerintah. Meskipun berbagai upaya telah dilakukan, tingkat korupsi tetap tinggi dan bahkan cenderung meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk menawarkan alternatif strategi pemberantasan korupsi di Indonesia melalui pendekatan model matematika. Model ini mempertimbangkan faktor utama dalam pemberantasan korupsi seperti partisipasi aktif masyarakat, perbaikan regulasi, dan penguatan lembaga penegak hukum. Dalam model tersebut, populasi dibagi ke dalam beberapa kelompok, yaitu kelompok rentan, kebal, koruptor, narapidana, dan reformis. Analisis yang dilakukan meliputi penentuan titik ekuilibrium dan bilangan reproduksi dasar untuk memahami dinamika penyebaran korupsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi holistik yang mencakup pengurangan interaksi korupsi, peningkatan kesadaran publik, dan penguatan penegakan hukum dapat efektif dalam menekan laju korupsi. Dengan penerapan strategi ini, diharapkan tercipta lingkungan yang bebas korupsi dan mendukung pembangunan yang adil dan berkelanjutan di Indonesia.

**Kata Kunci:** korupsi di Indonesia; model matematika; titik ekuilibrium; bilangan reproduksi dasar.

### Abstract

*Corruption is a persistent issue in Indonesia, negatively impacting economic growth, public trust, and social stability. Corruption levels remain high despite numerous efforts through legal, social, economic, political, and religious strategies. This research introduces a mathematical model to analyze and propose alternative strategies for combating corruption in Indonesia. The model focuses on the interactions between various societal groups, including vulnerable individuals, immune individuals, corruptors, prisoners, and reformers. The study examines fundamental dynamics such as equilibrium points and the primary reproduction number to understand the spread of corrupt behavior within the population. The findings*

*suggest that reducing the effective contact rate of corruption, increasing transparency and law enforcement, and enhancing public awareness can significantly decrease the spread of corruption. The research offers a holistic approach involving active community participation, regulatory improvements, and strengthening enforcement institutions, aiming to create an environment that curbs corrupt practices. These results provide a strategic foundation for sustainable and equitable development in Indonesia.*

**Keywords:** *corruption in Indonesia; mathematical model; equilibrium point; basic reproduction number.*

## 1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara yang kaya sumber daya alam dan memiliki potensi pembangunan yang besar, masih dihadapkan pada tantangan serius dalam bentuk tindak pidana korupsi [1]. Korupsi menjadi ancaman nyata terhadap pembangunan berkelanjutan, pemerataan ekonomi, dan penguatan lembaga-lembaga negara. Dalam beberapa dekade terakhir, masalah korupsi di Indonesia telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan dan merugikan masyarakat secara luas [2].

Pentingnya memberantas tindak pidana korupsi tidak hanya berkaitan dengan aspek moral dan etika, namun juga secara langsung dikarenakan korupsi telah mempengaruhi perkembangan ekonomi, investasi, dan stabilitas sosial [3]. Lembaga survei dan indeks internasional Transparency International menunjukkan bahwa Indonesia masih memiliki tingkat korupsi yang signifikan yang dampaknya terasa di berbagai sektor, termasuk pelayanan publik, pengelolaan keuangan negara, dan investasi [4].

Salah satu dampak serius dari korupsi adalah merosotnya kepercayaan masyarakat terhadap pemerintah dan institusi publik [5]. Hal ini dapat menghambat partisipasi masyarakat dalam pembangunan dan meningkatkan tingkat ketidaksetaraan sosial. Oleh karena itu, perlunya upaya serius untuk memberantas tindak pidana korupsi tidak hanya untuk memenuhi tuntutan hukum, tetapi juga sebagai langkah strategis untuk membangun negara yang bersih, transparan, dan akuntabel.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan dampak negatif tindak pidana korupsi, sejumlah peneliti telah menawarkan berbagai strategi serta pendekatan guna memberantas korupsi di Indonesia. Strategi dan pendekatan yang ditawarkan dalam penelitian tersebut mencakup aspek hukum, sosial, ekonomi, politik, dan agama [6]-[9]. Berbagai dimensi, mulai dari perbaikan regulasi hingga penguatan lembaga penegak hukum dan pemberdayaan masyarakat juga telah ditawarkan. Namun, meskipun berbagai strategi dan pendekatan telah dilakukan dalam rangka memberantas korupsi di Indonesia, realitas empiris menunjukkan bahwa tingkat korupsi di negara ini masih tetap tinggi dan bahkan cenderung meningkat [10]. Fenomena ini di satu sisi menunjukkan bahwa semua tawaran yang telah diajukan guna memberantas korupsi di Indonesia belumlah sepenuhnya tepat maupun efektif dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pendekatan yang lebih komprehensif dalam memberantas korupsi di Indonesia.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji strategi pemberantasan korupsi melalui berbagai pendekatan non-matematis, mencakup aspek hukum, sosial, ekonomi, dan budaya. Dalam bidang hukum, [11] menyoroti efektivitas operasi tangkap tangan sebagai strategi penegakan hukum yang diterapkan oleh Komisi Pemberantasan Korupsi

(KPK). Studi ini menekankan bahwa pendekatan represif dapat memberikan efek jera, tetapi perlu diimbangi dengan reformasi hukum yang lebih luas untuk memastikan keberlanjutan upaya pemberantasan korupsi.

Pendekatan sosial juga telah menjadi fokus penelitian dalam upaya pemberantasan korupsi. Selanjutnya [12] meneliti peran lembaga keagamaan dan nilai-nilai Pancasila dalam membangun kesadaran antikorupsi di masyarakat. Studi ini menunjukkan bahwa internalisasi nilai-nilai etika dan moral dapat mengurangi kecenderungan individu untuk terlibat dalam praktik korupsi. Selain itu, [13] menyoroti penerapan hukum Islam dalam pemberantasan korupsi, yang menekankan pentingnya sanksi berbasis syariah dan edukasi moral sebagai strategi preventif.

Dalam perspektif ekonomi, [14] mengusulkan akuntansi forensik sebagai instrumen strategis dalam mendeteksi dan mencegah tindak pidana korupsi, khususnya dalam kasus suap. Studi ini mengungkapkan bahwa penerapan akuntansi forensik dapat meningkatkan transparansi keuangan serta mempersempit ruang bagi praktik koruptif dalam institusi publik maupun swasta.

Meskipun pendekatan-pendekatan tersebut telah berkontribusi dalam memahami dan menangani korupsi, penelitian ini berusaha menawarkan alternatif strategi lain dalam pemberantasan korupsi di Indonesia, yaitu dengan pendekatan model matematika. Model matematika adalah salah satu konsentrasi dalam ilmu matematika yang berusaha mendekati dan menerjemahkan suatu fenomena dalam kehidupan (dalam hal ini adalah perilaku korupsi di Indonesia) ke dalam bentuk persamaan matematika yang menggambarkan fenomena tersebut [15]. Penyusunan model matematika dalam penelitian ini akan mempertimbangkan faktor utama dalam pemberantasan korupsi, yaitu partisipasi aktif masyarakat, perbaikan regulasi, dan penguatan lembaga penegak hukum. Bagian-bagian penting dari model seperti kondisi titik ekuilibrium dan bilangan reproduksi dasar akan ditentukan dan dianalisis. Selanjutnya, analisis kestabilan model dilakukan dalam rangka mengetahui apakah sistem yang merepresentasikan dinamika korupsi stabil atau tidak ketika individu-individu yang terlibat dalam praktik korupsi saling berinteraksi. Dengan menyelesaikan model matematika yang telah dikonstruksikan akan dihasilkan analisis kualitatif dari perilaku korupsi di Indonesia dan diperoleh strategi holistik pemberantasan korupsi.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan strategi holistik yang melibatkan partisipasi aktif masyarakat, perbaikan regulasi, dan penguatan lembaga penegak hukum guna menciptakan lingkungan yang tidak memberi ruang bagi tindak pidana korupsi. Kesuksesan penelitian ini akan memberikan kontribusi positif terhadap pembangunan Indonesia yang berkelanjutan, adil, dan berkualitas.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan model matematika untuk memahami dinamika penyebaran korupsi di Indonesia dan mengevaluasi strategi pemberantasannya. Model yang dikembangkan mengelompokkan populasi ke dalam lima kategori: Kelompok Rentan (S), Kelompok Kebal (I), Kelompok Koruptor (C), Kelompok Narapidana (J), dan Kelompok Reformis (R) [16]. Pendekatan ini dilakukan dengan menyusun sistem persamaan diferensial untuk menggambarkan interaksi antar

kelompok serta menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi peralihan individu dari satu kelompok ke kelompok lainnya.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari literatur dan studi kasus sebelumnya yang mengamati fenomena korupsi di Indonesia. Faktor-faktor seperti tingkat kontak korupsi, keberhasilan individu untuk berpindah antar kelompok, dan tingkat penegakan hukum dimodelkan ke dalam persamaan matematika. Untuk memudahkan analisis, sistem ini disederhanakan menjadi sistem fraksi, artinya setiap variabel mewakili proporsi populasi dalam masing-masing kelompok pada waktu tertentu [17].

Analisis dilakukan dengan menentukan titik ekuilibrium sistem dan menghitung bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) sebagai parameter kunci untuk mengevaluasi potensi penyebaran korupsi. Nilai  $R_0$  menunjukkan apakah korupsi dapat menyebar dalam populasi atau tidak [18]. Metode nilai eigen digunakan untuk memeriksa kestabilan titik ekuilibrium, baik secara lokal maupun global [19]. Hasil dari model ini diharapkan dapat memberikan panduan strategis dalam memberantas korupsi melalui pendekatan holistik, yang mencakup partisipasi masyarakat, perbaikan regulasi, dan penguatan institusi hukum.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Model matematika dinamika perilaku korupsi dalam artikel ini dituliskan ke dalam lima kelompok yaitu kelompok rentan, kebal, koruptor, narapidana, dan reformis. Perhitungan titik ekuilibrium dan bilangan reproduksi dasar dilakukan untuk melihat kestabilan dari model matematika. Kestabilan tersebut nantinya digunakan untuk menganalisis dinamika korupsi. Dengan kata lain, muncul cara atau pendekatan agar mengurangi hal-hal yang menyebabkan penyebaran korupsi sehingga kasus korupsi di Indonesia dapat berkurang.

#### 3.1 Model Matematika

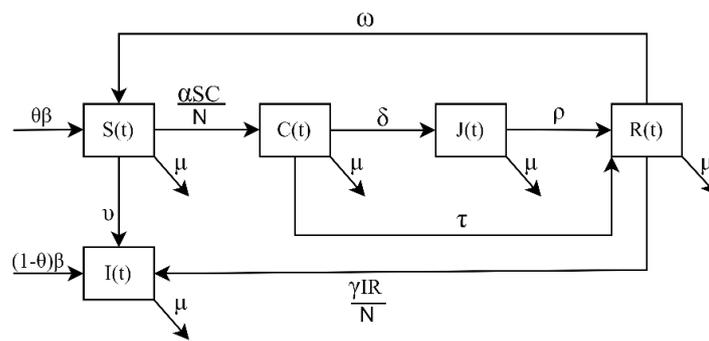
Dalam artikel ini, total populasi penduduk ( $N$ ) dikelompokkan lagi menjadi lima yaitu Kelompok Rentan ( $S$ ), Kelompok Kebal ( $I$ ), Kelompok Koruptor ( $C$ ), Kelompok Narapidana ( $J$ ), dan Kelompok Reformis ( $R$ ). Kelompok Rentan ( $S$ ) adalah kelompok yang terdiri dari individu-individu yang tidak pernah terlibat dalam praktik korupsi, namun rentan terjerat praktik-praktik korupsi di masyarakat. Kelompok rentan dihasilkan dari kelahiran individu dengan standar moral yang baik. Individu yang rentan terhadap korupsi memiliki dua kemungkinan yaitu bisa berpindah ke kelompok koruptor atau masuk ke kelompok kebal. Mereka akan berpindah ke kelompok koruptor jika dirinya berhasil dipengaruhi akibat interaksinya dengan individu koruptor. Sebaliknya akan masuk ke kelompok kebal jika dirinya tidak dapat terpengaruh akibat interaksinya dengan individu koruptor. Demikian juga jika mereka memiliki keimanan yang tinggi sehingga mereka bisa mengambil hikmah dari setiap peristiwa korupsi, yang akan menguatkan diri mereka untuk tidak melakukan korupsi. Sedangkan kelompok Kebal ( $I$ ) adalah kelompok ini terdiri dari individu-individu yang memiliki standar moral dan tidak akan pernah terlibat dalam praktik korupsi, apa pun yang terjadi dengan keadaan di sekitar mereka.

Kelompok Koruptor ( $C$ ) adalah kelompok ini terdiri dari individu yang sering terlibat dalam praktik korupsi dan mampu mempengaruhi pihak yang rentan untuk

menjadi pelaku korupsi. Individu yang korupsi setelah mendapatkan orientasi yang benar melalui pencerahan publik meninggalkan kelompok koruptor menuju kelompok reformis. Individu yang korupsi yang dituntut dan dipenjarakan meninggalkan kelompok koruptor menuju kelompok yang dipenjarakan.

Kelompok Narapidana (J) adalah kelompok kelas individu yang dipenjarakan untuk jangka waktu tertentu dikarenakan telah melakukan korupsi. Selama berada di dalam penjara kelompok ini tidak dapat terlibat dalam tindakan korupsi dan tidak dapat mempengaruhi orang lain untuk melakukan korupsi. Individu yang dipenjarakan akan menjadi individu yang reformis setelah mendapatkan orientasi yang benar melalui pencerahan publik. Sedangkan kelompok Reformis (R) adalah kelompok yang terdiri dari para mantan narapidana yang telah direformasi saat menjalani masa hukuman penjara, namun tetap menjadi rentan terhadap korupsi. Disisi lain kelompok Reformis (R) masih memungkinkan untuk berinteraksi dengan kelompok kebal (I). Jika demikian maka diharapkan kelompok Reformis (R) akan menjadi kebal selamanya.

Model matematika dari dinamika perilaku korupsi di atas dapat digambarkan dalam sebuah diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1: Diagram dinamik perilaku korupsi**

Parameter-parameter yang terlibat dalam diagram di atas didefinisikan dalam Tabel 1 berikut. Parameter-parameter tersebut dihasilkan dari asumsi teoritis dinamika perilaku korupsi di Indonesia.

**Tabel 1: Definisi Parameter**

No	Parameter	Deskripsi
1	$\theta$	Proporsi individu yang tidak memiliki kekebalan tubuh, yaitu kemampuan dari diri seseorang agar dapat mempertahankan dirinya untuk tidak melakukan korupsi.
2	$\beta$	Tingkat kelahiran individu yang masuk ke dalam populasi
3	$\alpha$	Efektivitas interaksi individu yang rentan dengan individu yang korupsi
4	$\gamma$	Efektivitas interaksi individu yang reformis dengan individu yang kebal
5	$\omega$	Tingkat keberhasilan individu yang reformis berubah menjadi individu yang rentan terhadap korupsi
6	$\nu$	Tingkat di mana individu yang rentan menjadi kebal terhadap korupsi

7	$\delta$	Tingkat penuntutan dan pemenjaraan terhadap koruptor
8	$\tau$	Tingkat keberhasilan individu yang korupsi menjadi reformis karena pencerahan publik
9	$\rho$	Tingkat keberhasilan individu yang dipenjara menjadi individu yang reformis
10	$\mu$	Tingkat kematian alami

Selanjutnya, diagram pada Gambar 1 tersebut dapat dinyatakan dalam model matematika yang dinyatakan sebagai sistem nonlinier berikut.

$$S'(t) = \theta\beta - \frac{\alpha S(t)C(t)}{N(t)} - (\mu + v)S(t) + \omega R(t) \quad (1)$$

$$I'(t) = (1 - \theta)\beta + vS(t) - \mu I(t) + \frac{\gamma I(t)R(t)}{N(t)} \quad (2)$$

$$C'(t) = \frac{\alpha S(t)C(t)}{N(t)} - (\mu + \tau + \delta)C(t) \quad (3)$$

$$J'(t) = \delta C(t) - (\mu + \rho)J(t) \quad (4)$$

$$R'(t) = \tau C(t) + \rho J(t) - \frac{\gamma I(t)R(t)}{N(t)} - (\mu + \omega)R(t) \quad (5)$$

Sistem fraksi dari persamaan (1)-(5) di atas dinyatakan dalam sistem persamaan berikut.

$$s'(t) = \theta\beta - \alpha s(t)c(t) - (\mu + v)s(t) + \omega r(t) \quad (6)$$

$$i'(t) = (1 - \theta)\beta + vs(t) - \mu i(t) + \gamma i(t)r(t) \quad (7)$$

$$c'(t) = \alpha s(t)c(t) - (\mu + \tau + \delta)c(t) \quad (8)$$

$$j'(t) = \delta c(t) - (\mu + \rho)j(t) \quad (9)$$

$$r'(t) = \tau c(t) + \rho j(t) - \gamma i(t)r(t) - (\mu + \omega)r(t) \quad (10)$$

Dalam sistem fraksi (6)-(10) di atas, variabel-variabel dalam sistem persamaan diferensial (1)-(5) diubah menjadi fraksi (persentase) dari total populasi pada waktu tertentu. Fraksi pada persamaan (6)-(10) di atas mengacu pada persentase atau proporsi individu dalam populasi yang termasuk dalam kelompok tertentu. Dalam konteks sistem fraksi, variabel fraksi  $[s(t), i(t), c(t), j(t), r(t)]$  menggambarkan persentase individu dalam populasi pada waktu tertentu yang termasuk dalam kelompok rentan, kebal, koruptor, narapidana, atau reformis. Penghilangan parameter  $N$  dalam sistem fraksi (6)-(10) dimaksudkan dalam rangka mempermudah analisis dan perhitungan. Hal ini dikarenakan analisis model dapat fokus pada fraksi individu dalam setiap kelompok dan perubahan fraksi seiring waktu, tanpa harus mempertimbangkan jumlah total populasi secara terpisah [20]. Dengan menggunakan fraksi individu, dapat dilihat proporsi individu dalam setiap kelompok terhadap populasi secara langsung. Misalnya, jika fraksi individu yang rentan  $s(t)$  adalah 0.6, itu berarti 60% dari populasi saat itu rentan terhadap korupsi.

### 3.2 Titik Ekulibrium Model

Titik equilibrium terjadi pada saat sistem persamaan (6)–(10) memenuhi kondisi berikut

$$\frac{ds}{dt} = \frac{di}{dt} = \frac{dc}{dt} = \frac{dj}{dt} = \frac{dr}{dt} = 0.$$

Dari persamaan (6) diperoleh

$$\begin{aligned}\theta\beta - \alpha s(t)c(t) - (\mu + v)s(t) + \omega r(t) &= 0 \\ \theta\beta + \omega r(t) &= \alpha s(t)c(t) + (\mu + v)s(t) \\ \theta\beta + \omega r(t) &= s(t)(\alpha c(t) + (\mu + v)) \\ \frac{\theta\beta + \omega r(t)}{\alpha c(t) + (\mu + v)} &= s(t).\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh titik

$$s^*(t) = \frac{\theta\beta + \omega r^*(t)}{\alpha c^*(t) + (\mu + v)} \quad (11)$$

Selanjutnya, dari persamaan (7) diperoleh

$$\begin{aligned}(1 - \theta)\beta + vs(t) - (\mu - \gamma r(t))i(t) &= 0 \\ (1 - \theta)\beta + vs(t) &= (\mu - \gamma r(t))i(t) \\ \frac{(1 - \theta)\beta + vs(t)}{(\mu - \gamma r(t))} &= i(t)\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh titik

$$i^*(t) = \frac{(1 - \theta)\beta + vs^*(t)}{(\mu - \gamma r^*(t))} \quad (12)$$

Dari persamaan (8) diperoleh

$$\begin{aligned}\alpha s(t)c(t) - (\mu + \tau + \delta)c(t) &= 0 \\ (\alpha s(t) - (\mu + \tau + \delta))c(t) &= 0 \\ c^*(t) &= 0\end{aligned} \quad (13)$$

Dan dari persamaan (9) diperoleh

$$\begin{aligned}\delta c(t) - (\mu + \rho)j(t) &= 0 \\ \delta c(t) &= (\mu + \rho)j(t).\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh titik

$$j^*(t) = \frac{\delta c^*(t)}{\mu + \rho}$$

(14)

Dari persamaan (10) diperoleh

$$\begin{aligned}\tau c(t) + \rho j(t) - \gamma i r(t) - (\mu + \omega)r(t) &= 0 \\ \tau c(t) + \rho j(t) - (\gamma i + \mu + \omega)r(t) &= 0\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh titik

$$r^*(t) = \frac{\tau c^*(t) + \rho j^*(t)}{\gamma i^*(t) + \mu + \omega}$$

(15)

Berdasarkan persamaan (11)–(15) diperoleh titik kesetimbangan

$$(s^*, i^*, c^*, j^*, r^*) = \left( \frac{\theta\beta + \omega r^*}{\alpha c^* + (\mu + v)}, \frac{(1 - \theta)\beta + vs^*}{(\mu - \gamma r^*)}, 0, \frac{\delta c^*}{\mu + \rho}, \frac{\tau c^* + \rho j^*}{\gamma i^* + (\mu + \omega)} \right).$$

### 3.3 Matriks Jacobian dari Sistem

Untuk menyelidiki keseimbangan sistem persamaan (6)–(10), dibentuk matriks Jacobian [20]

$$J(s, i, c, j, r) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial s} & \frac{\partial f_1}{\partial i} & \frac{\partial f_1}{\partial c} & \frac{\partial f_1}{\partial j} & \frac{\partial f_1}{\partial r} \\ \frac{\partial f_2}{\partial s} & \frac{\partial f_2}{\partial i} & \frac{\partial f_2}{\partial c} & \frac{\partial f_2}{\partial j} & \frac{\partial f_2}{\partial r} \\ \frac{\partial f_3}{\partial s} & \frac{\partial f_3}{\partial i} & \frac{\partial f_3}{\partial c} & \frac{\partial f_3}{\partial j} & \frac{\partial f_3}{\partial r} \\ \frac{\partial f_4}{\partial s} & \frac{\partial f_4}{\partial i} & \frac{\partial f_4}{\partial c} & \frac{\partial f_4}{\partial j} & \frac{\partial f_4}{\partial r} \\ \frac{\partial f_5}{\partial s} & \frac{\partial f_5}{\partial i} & \frac{\partial f_5}{\partial c} & \frac{\partial f_5}{\partial j} & \frac{\partial f_5}{\partial r} \end{bmatrix}$$

dengan

$$f_1 = \theta\beta - \alpha s(t)c(t) - (\mu + v)s(t) + \omega r(t) \quad (16)$$

$$f_2 = (1 - \theta)\beta + vs(t) - \mu i(t) + \gamma i(t)r(t) \quad (17)$$

$$f_3 = \alpha s(t)c(t) - (\mu + \tau + \delta)c(t) \quad (18)$$

$$f_4 = \delta c(t) - (\mu + \rho)j(t) \quad (19)$$

$$f_5 = \tau c(t) + \rho j(t) - \gamma i(t)r(t) - (\mu + \omega)r(t). \quad (20)$$

Perhitungan turunan-turunan parsial dalam matriks Jacobian di atas menghasilkan bentuk matriks berikut

$$J(s, i, c, j, r) = \begin{bmatrix} -\alpha c^* - (\mu + v) & 0 & -\alpha s^* & 0 & \omega \\ v & -\mu + \gamma r^* & 0 & 0 & \gamma i^* \\ \alpha c^* & 0 & \alpha s^* - (\mu + \tau + \delta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -(\mu + \rho) & 0 \\ 0 & -\gamma r^* & \tau & \rho & -\gamma i^* - (\mu + \omega) \end{bmatrix}. \quad (21)$$

### 3.4 Titik Ekuilibrium Bebas Korupsi

Titik ekuilibrium bebas korupsi merupakan kondisi tidak ada individu yang melakukan korupsi, sehingga nilai narapidana korupsi akan menjadi nol, yaitu

$$c_0^*(t) = j_0^*(t) = 0. \quad (22)$$

Substitusikan persamaan (22) ke kelas yang lain, maka diperoleh persamaan-persamaan berikut.

Pertama, substitusikan (22) ke (15) diperoleh

$$r_0^*(t) = \frac{\tau c_0^*(t) + \rho j_0^*(t)}{\gamma i^* + \mu + \omega} = 0. \quad (23)$$

Berikutnya, substitusikan persamaan (22) dan (23) ke persamaan (11) diperoleh

$$\begin{aligned} s_0^*(t) &= \frac{\theta\beta + \omega \cdot 0}{\alpha \cdot 0 + (\mu + v)} \\ s_0^*(t) &= \frac{\theta\beta + 0}{0 + (\mu + v)} \\ s_0^*(t) &= \frac{\theta\beta}{\mu + v} \end{aligned} \quad (24)$$

Selanjutnya substitusikan (23) dan (24) ke persamaan (12) diperoleh

$$\begin{aligned} i_0^*(t) &= \frac{(1 - \theta)\beta + vs_0^*(t)}{\mu - \gamma r_0^*(t)} \\ i_0^*(t) &= \frac{(1 - \theta)\beta + v \left( \frac{\theta\beta}{\mu + v} \right)}{\mu} \end{aligned}$$

$$i_0^*(t) = \frac{\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)}. \quad (25)$$

Menurut persamaan (23)–(25) diperoleh titik ekuilibrium bebas korupsi adalah

$$H_0 = (s_0^*, i_0^*, c_0^*, j_0^*, r_0^*) = \left( \frac{\theta\beta}{\mu+v}, \frac{\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)}, 0, 0, 0 \right) \quad (26)$$

sehingga diperoleh

$$J(H_0) = \begin{bmatrix} -(\mu+v) & 0 & \frac{-\alpha\theta\beta}{\mu+v} & 0 & \frac{\omega}{\mu(\mu+v)} \\ v & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} - (\mu + \tau + \delta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -(\mu + \rho) & 0 \\ 0 & 0 & \tau & \rho & \frac{-\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} - (\mu + \omega) \end{bmatrix}. \quad (27)$$

### 3.5 Bilangan Reproduksi Dasar ( $R_0$ )

Bilangan reproduksi dasar (*basic reproduction number*) biasanya dilambangkan dengan  $R_0$  adalah parameter ambang batas yang didefinisikan sebagai jumlah rata-rata infeksi sekunder (individu yang pernah terjerat korupsi, kemudian menjadi reformis lalu rentan, dan kembali menjadi koruptor) yang dihasilkan ketika satu individu yang terjerat korupsi dimasukkan ke dalam suatu populasi yang seluruhnya rentan [21].

Jika  $R_0 > 1$ , maka individu yang terjerat korupsi akan menulari lebih dari satu orang, sehingga jumlah orang yang terjerat korupsi akan meningkat secara eksponensial dan terjadilah epidemi korupsi. Namun jika  $R_0 < 1$ , maka individu yang terjerat korupsi tidak akan menularkan korupsi ke cukup banyak orang untuk menggantikan dirinya sendiri, sehingga jumlah kasus korupsi di masyarakat akan mereda dan seiring dengan berjalannya waktu dan pada akhirnya korupsi tersebut akan punah. Sedangkan untuk  $R_0 \approx 1$ , maka kasus korupsi hampir tidak berhasil berkembang dan akan ada jumlah kasus serupa di kemudian hari [22]. Semakin besar bilangan  $R_0$  bermakna semakin cepat penyebaran korupsi dan semakin sulit pengendaliannya.

Dalam artikel ini, bilangan reproduksi dasar untuk model korupsi pada persamaan (6)–(10) diperoleh dengan menggunakan metode pendekatan operator matriks *Next Generation*. Metode ini diusulkan oleh [21] dengan mengkonstruksikan formula berikut

$$R_0 = \rho(FV^{-1}). \quad (28)$$

dengan  $R_0$  menunjukkan bilangan reproduksi dasar,  $F$  merepresentasikan matriks turunan parsial dari tingkat terjadinya infeksi sekunder yang dihasilkan, dan  $V$  mewakili matriks perkiraan waktu seorang individu yang pertama kali masuk ke kelompok koruptor. Notasi  $\rho$  menyatakan radius spektral dari matriks  $FV^{-1}$  [23].

Selanjutnya, didefinisikan matriks  $A = \begin{bmatrix} c'(t) \\ j'(t) \end{bmatrix}$ ,  $F_{cj} = \begin{bmatrix} F_c \\ F_j \end{bmatrix}$ , dan  $V_{cj} = \begin{bmatrix} V_c \\ V_j \end{bmatrix}$ . Jika matriks  $A$  ditulis sebagai  $A = F_{cj} - V_{cj}$  maka diperoleh

$$F_c = \alpha sc, F_j = 0, V_c = (\mu + \delta + \tau)c, \text{ dan } V_j = -\delta c + (\mu + \rho)j. \quad (29)$$

Didefinisikan matriks Jacobian

$$F = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_c}{\partial c} & \frac{\partial F_c}{\partial j} \\ \frac{\partial F_j}{\partial c} & \frac{\partial F_j}{\partial j} \end{bmatrix} \text{ dan } V = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_c}{\partial c} & \frac{\partial V_c}{\partial j} \\ \frac{\partial V_j}{\partial c} & \frac{\partial V_j}{\partial j} \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Substitusikan hasil-hasil pada persamaan (29) ke dalam matriks Jacobian (30) diperoleh

$$F = \begin{bmatrix} \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ dan } V = \begin{bmatrix} \mu + \delta + \tau & 0 \\ -\delta & \mu + \rho \end{bmatrix}.$$

$$\text{Sehingga } V^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu+\delta+\tau} & 0 \\ \frac{\delta}{(\mu+\rho)(\mu+\delta+\tau)} & \frac{1}{\mu+\rho} \end{bmatrix}.$$

Jika didefinisikan matriks *Next Generation*  $K$  dengan  $K = F \cdot V^{-1}$  maka

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu+v)(\mu+\delta+\tau)} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Persamaan karakteristik dari matriks  $K$  adalah

$$\begin{aligned} |\lambda I - K| &= 0 \\ \left| \begin{pmatrix} \left( \lambda - \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu+v)(\mu+\delta+\tau)} \right) & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \right| &= 0 \\ \lambda \left( \lambda - \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu+v)(\mu+\delta+\tau)} \right) &= 0. \end{aligned}$$

Berdasarkan bentuk dari persamaan karakteristik dari matriks  $K$ , maka matriks  $K$  hanya memiliki satu nilai eigen yang tak nol, yaitu  $\frac{\alpha\theta\beta}{(\mu+v)(\mu+\delta+\tau)}$ . Dengan demikian, diperoleh bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) yang disajikan sebagai radius spektral ( $\rho$ ) dari  $K = FV^{-1}$ , yaitu

$$R_0 = \rho(FV^{-1}) = \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu+v)(\mu+\delta+\tau)}. \quad (31)$$

### 3.6 Analisis Kestabilan Lokal Titik Ekuilibrium Bebas Korupsi

Diketahui matriks Jacobian ekuilibrium bebas korupsi pada persamaan (27) adalah

$$J(H_0) = \begin{bmatrix} -(\mu+v) & 0 & \frac{-\alpha\theta\beta}{\mu+v} & 0 & \frac{\omega}{\mu(\mu+v)} \\ v & -\mu & 0 & 0 & \frac{\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} \\ 0 & 0 & \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} - (\mu+\tau+\delta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -(\mu+\rho) & 0 \\ 0 & 0 & \tau & \rho & \frac{-\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} - (\mu+\omega) \end{bmatrix}.$$

Maka, persamaan karakteristik dari matriks  $J(H_0)$  adalah

$$|\lambda I - J(H_0)| = 0$$

$$\left| \begin{pmatrix} (\lambda + \mu + v) & 0 & \left( \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} \right) & 0 & -\left( \frac{\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} \right) \\ -v & (\lambda + \mu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left( \lambda - \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} + \mu + \tau + \delta \right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\delta & (\lambda + \mu + \rho) & 0 \\ 0 & 0 & -\tau & -\rho & \left( \lambda + \frac{\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} + (\mu + \omega) \right) \end{pmatrix} \right| = 0$$

Diperoleh persamaan karakteristik

$$(\lambda + \mu + \rho)(\lambda + \mu)(\lambda + \mu + v)(\lambda + P_1)(\lambda + P_2) = 0 \quad (32)$$

dengan

$$P_1 = \frac{\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} + (\mu + \omega) \text{ dan } P_2 = -\frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} + (\mu + \tau + \delta).$$

Berdasarkan persamaan karakteristik (32), diperoleh nilai-nilai eigen

$$\lambda_1 = -(\mu + \rho)$$

$$\lambda_2 = -\mu$$

$$\lambda_3 = -(\mu + v)$$

$$\lambda_4 = -P_1 = \frac{-\gamma\beta(v+(1-\theta)\mu)}{\mu(\mu+v)} - (\mu + \omega)$$

$$\lambda_5 = -P_2 = \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} - (\mu + \tau + \delta).$$

Nilai eigen  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$  dan  $\lambda_4$  jelas bernilai negatif, sedangkan untuk nilai eigen  $\lambda_5$  terdapat kondisi yang harus dipenuhi agar  $\lambda_5$  juga bernilai negatif, yaitu

$$\begin{aligned} \lambda_5 &< 0 \\ \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} - (\mu + \tau + \delta) &< 0 \\ \frac{\alpha\theta\beta}{\mu+v} &< (\mu + \tau + \delta) \\ R_0(\mu + \tau + \delta) &< (\mu + \tau + \delta) \\ R_0 &< 1. \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai eigen  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$  dan  $\lambda_4$  bernilai negatif dan nilai eigen  $\lambda_5$  bernilai negatif jika  $R_0 < 1$ , maka dapat disimpulkan bahwa titik ekuilibrium bebas korupsi

$$(s_0^*, i_0^*, c_0^*, j_0^*, r_0^*) = \left( \frac{\theta\beta}{\mu + v}, \frac{\beta(v + (1 - \theta)\mu)}{\mu(\mu + v)}, 0, 0, 0 \right)$$

bersifat stabil asimtotik lokal jika  $R_0 < 1$ , dan bersifat tidak stabil ketika  $R_0 > 1$ .

### 3.7 Analisis Kestabilan Global Titik Ekuilibrium Bebas Korupsi

Berikut ini dibentuk fungsi Lyapunov

$$\begin{aligned} V: \Gamma CR^5 &\rightarrow R \\ V(s, i, c, j, r) &= c_1c + c_2j \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= c_1 \frac{dc}{dt} + c_2 \frac{dj}{dt} \\ &= c_1(\alpha s(t)c(t) - (\mu + \tau + \delta)c(t)) + c_2(\delta c(t) - (\mu + \rho)j(t)) \end{aligned}$$

Ambil  $c_1 = \frac{1}{\mu + \tau + \delta} c_2$  maka

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{\alpha s(t)c(t)}{\mu + \tau + \delta} c_2 - c_2c(t) + \delta c_2c(t) - (\mu + \rho)c_2j(t) \\ &= \frac{\alpha}{\mu + \tau + \delta} \cdot \frac{\theta\beta}{\mu + v} \cdot c_2c(t) - c_2c(t) + \delta c_2c(t) - (\mu + \rho)c_2j(t) \\ &= \left( \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu + v)(\mu + \tau + \delta)} - 1 + \delta \right) c_2c(t) - (\mu + \rho)c_2j(t) \\ &= \left( \frac{\alpha\theta\beta}{(\mu + v)(\mu + \tau + \delta)} - 1 + \delta \right) c_2c(t) \\ &= (R_0 - 1 + \delta)c_2c(t). \end{aligned}$$

Terlihat bahwa nilai  $\frac{dV}{dt} < 0$  berlaku jika

$$\begin{aligned} (R_0 - 1 + \delta) &< 0 \\ R_0 &< 1 - \delta \\ R_0 &< 1. \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan bahwa titik ekuilibrium bebas korupsi

$$(s_0^*, i_0^*, c_0^*, j_0^*, r_0^*) = \left( \frac{\theta\beta}{\mu + v}, \frac{\beta(v + (1 - \theta)\mu)}{\mu(\mu + v)}, 0, 0, 0 \right)$$

bersifat stabil asimtotik global jika  $R_0 < 1$  dan tidak stabil ketika  $R_0 > 1$ .

### 3.8 Diskusi dan Rekomendasi

Pada pembahasan sebelumnya telah terbukti bahwa titik ekuilibrium bebas korupsi stabil asimtotik lokal sekaligus stabil asimtotik global jika  $R_0 < 1$  atau  $\frac{\alpha\theta\beta}{(\mu + v)(\mu + \tau + \delta)} < 1$ . Agar nilai  $R_0$  tersebut kurang dari satu, maka bagian pembilang yaitu  $\alpha\theta\beta$  harus bernilai

kecil, dan bagian penyebut yaitu  $(\mu + \nu) \times (\mu + \tau + \delta)$  harus bernilai besar agar didapatkan nilai  $R_0$  tersebut kurang dari satu atau bahkan mendekati nol. Sehingga nilai  $\alpha\theta\beta$  kurang dari nilai  $(\mu + \nu) \times (\mu + \tau + \delta)$ .

Untuk memenuhi nilai tersebut, maka tingkat kontak korupsi yang efektif ( $\alpha$ ), proporsi individu yang rentan korupsi ( $\theta$ ), dan tingkat kelahiran individu yang masuk ke dalam populasi ( $\beta$ ) harus sangat kecil agar korupsi dapat diberantas di Indonesia. Sedangkan jumlah kematian alami ( $\mu$ ), laju dimana individu yang korupsi menjadi reformis karena pencerahan publik ( $\tau$ ), laju penuntutan, pemenjaraan terhadap koruptor ( $\delta$ ), dan laju di mana individu yang rentan menjadi kebal terhadap korupsi ( $\nu$ ) harus ditingkatkan secara besar besaran agar perang antikorupsi dapat dimenangkan.

Berdasarkan fakta di atas, pengendalian korupsi di Indonesia dapat dilakukan dengan usaha-usaha sebagai berikut.

- 1) Menurunkan efektifitas kontak korupsi ( $\alpha$ )
  - a. Meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam pemerintahan dan sektor swasta.
  - b. Mendorong keterbukaan keuangan publik dan swasta untuk mengurangi peluang korupsi (transparansi keuangan).
  - c. Menerapkan dan menguatkan sistem pengawasan dan pengendalian terhadap pejabat publik. Memperkuat lembaga-lembaga pengawasan dengan memberikan pengawasan insentif kepada pelapor korupsi [24].
- 2) Menurunkan proporsi individu rentan korupsi ( $\theta$ )

Melakukan penyuluhan mengenai korupsi kepada masyarakat, sehingga masyarakat mempunyai sikap antikorupsi, artinya kekebalan terhadap korupsi dapat terealisasikan di masyarakat [25].
- 3) Tingkat kelahiran ( $\beta$ ) yang sangat kecil
  - a. Meningkatkan akses dan kualitas layanan kesehatan reproduksi dan keluarga berencana (KB).
  - b. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang (manfaat) pentingnya keluarga berencana dan pengendalian populasi.
  - c. Mengkampanyekan nilai-nilai pendidikan keluarga dan dampaknya terhadap pembangunan berkelanjutan.
- 4) Peningkatan reformis korupsi melalui pencerahan publik ( $\tau$ )
  - a. Menggelar kampanye pencerahan publik melalui media massa dan jejaring sosial untuk meningkatkan kesadaran tentang bahaya korupsi.
  - b. Mendukung media independen untuk memberikan informasi yang objektif dan mendorong dialog antikorupsi.
  - c. Mengintegrasikan materi pendidikan antikorupsi ke dalam kurikulum sekolah [26].
- 5) Peningkatan penuntutan dan pemenjaraan terhadap koruptor ( $\delta$ )
  - a. Meningkatkan independensi dan efektivitas lembaga penegak hukum.
  - b. Meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam sistem peradilan (proses hukum).
  - c. Meningkatkan kapasitas dan efisiensi sistem peradilan untuk memastikan penuntutan dan hukuman yang efektif terhadap pelaku korupsi [27].
- 6) Peningkatan ketahanan terhadap korupsi ( $\nu$ )

- a. Kampanye publik tentang bahaya korupsi dan pentingnya integritas.
- b. Mengimplementasikan program pendidikan etika di sekolah dan tempat kerja untuk membentuk nilai-nilai anti-korupsi.
- c. Menerapkan sanksi yang tegas terhadap individu yang terlibat dalam korupsi dan berikan peluang untuk pembinaan agar dapat kembali ke masyarakat sebagai warga yang bertanggung jawab [28].

Dengan implementasi rekomendasi-rekomendasi tersebut, diharapkan dapat membantu dalam pencegahan dan pemberantasan korupsi di masyarakat.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan model matematika yang menggambarkan dinamika penyebaran korupsi di Indonesia dengan membagi populasi menjadi beberapa kompartemen, yaitu kelompok rentan, kebal, koruptor, narapidana, dan reformis. Hasil analisis menunjukkan bahwa bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) dan titik ekuilibrium dari model ini memainkan peran penting dalam memahami penyebaran korupsi. Nilai  $R_0$  yang lebih dari satu menunjukkan bahwa korupsi dapat menyebar dengan cepat, sementara nilai  $R_0$  yang kurang dari satu menunjukkan potensi untuk menekan penyebaran korupsi.

Strategi yang paling efektif untuk mengurangi korupsi adalah dengan mengurangi tingkat interaksi antara koruptor dan kelompok rentan, meningkatkan partisipasi aktif masyarakat, memperbaiki regulasi, serta memperkuat lembaga penegak hukum. Peningkatan transparansi dan pencerahan publik juga sangat penting dalam membentuk individu-individu reformis yang lebih kebal terhadap korupsi di masa depan. Dengan penerapan strategi-strategi ini, diharapkan dapat tercipta lingkungan yang kondusif untuk pemberantasan korupsi secara menyeluruh di Indonesia.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam menyediakan panduan berbasis model matematika untuk mengatasi tantangan korupsi yang dihadapi Indonesia saat ini dan di masa depan. Strategi holistik yang dihasilkan tidak hanya memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam memberantas korupsi, tetapi juga mendukung pembangunan yang berkelanjutan, adil, dan berkualitas di Indonesia.

Salah satu masalah terbuka yang muncul dari penelitian ini adalah pengembangan lebih lanjut dari model matematika yang dapat memperhitungkan faktor-faktor tambahan seperti dinamika politik, ekonomi, dan budaya yang juga mempengaruhi penyebaran korupsi di Indonesia. Model yang ada saat ini, meskipun sudah cukup komprehensif dalam membagi populasi ke dalam berbagai kompartemen, masih perlu disempurnakan untuk mengakomodasi kompleksitas perilaku manusia dan institusi yang tidak dapat dijelaskan sepenuhnya melalui model deterministik sederhana. Selain itu, model ini belum sepenuhnya memodelkan dampak reformasi hukum dan kebijakan antikorupsi jangka panjang, serta interaksi yang lebih kompleks antar individu di dalam jaringan sosial. Pengembangan model yang mampu memprediksi efek jangka panjang dari berbagai strategi intervensi, serta memperhitungkan ketidakpastian dan variabilitas dalam parameter-parameter sosial, masih menjadi tantangan yang menarik untuk penelitian di masa depan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) UIN Sunan Kalijaga yang telah memfasilitasi pendanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para reviewer yang telah membantu penulis memperbaiki kualitas dan penyajian artikel ini. Semoga Allah swt memberikan balasan yang terbaik.

## Daftar Pustaka

- [1] N. Gurning and D. Tambun, "Peran Kejaksaan Dalam Penanganan Tindak Pidana Korupsi Dan Implikasinya Terhadap Kepercayaan Publik," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 6, pp. 9032–9044, 2024.
- [2] E. F. Saputra and H. Firmansyah, "Politik Hukum dalam Upaya Pemberantasan Tindak Pidana Korupsi melalui Pembaharuan Pengaturan Tindak Pidana Korupsi sebagai Extraordinary Crime dalam KUHP Nasional," *UNES Law Review*, vol. 6, no. 2, pp. 4493–4504, 2023.
- [3] A. F. Rachmawati, "Dampak korupsi dalam perkembangan ekonomi dan penegakan hukum di Indonesia," *Eksaminasi: Jurnal Hukum*, vol. 1, no. 2, pp. 45–58, 2022.
- [4] Transparency International, "Corruption Perceptions Index 2021," <https://www.transparency.org/country/IDN>.
- [5] A. F. Azmii, A. Tika, D. S. Fitri, and M. Septiyar, "Dampak Dan Upaya Memberantas Tindak Pidana Korupsi Di Lingkungan Perguruan Tinggi," *Aliansi: Jurnal Hukum, Pendidikan dan Sosial Humaniora*, vol. 1, no. 3, pp. 155–162, 2024.
- [6] D. K. Wibisono, P. Pujiyono, and A. E. S. Astuti, "Operasi Tangkap Tangan Sebagai Strategi Pemberantasan Tindak Pidana Korupsi Oleh Komisi Pemberantasan Korupsi," *Diponegoro Law Journal*, vol. 10, no. 4, 2021.
- [7] I. Marzuki, "Lembaga Keagamaan, Pancasila dan Strategi Pemberantasan Korupsi," *Jurnal Yuridis*, vol. 5, no. 2, pp. 210–227, 2018.
- [8] A. Saron, "Pemberantasan Korupsi Dengan Pendekatan Hukum Islam," *Diponegoro Private Law Review*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [9] B. Arianto, "Akuntansi Forensik Sebagai Strategi Pemberantasan Korupsi Suap," *Progress: Jurnal Pendidikan, Akuntansi Dan Keuangan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2021.
- [10] H. E. Sung, "Corporate Governance and Corruption: A Cross-Country Analysis," *J Financ Crime*, vol. 25, no. 1, pp. 182–199, 2018.
- [11] D. K. Wibisono, Pujiyono, and A. E. S. Astuti, "Operasi tangkap tangan sebagai strategi pemberantasan tindak pidana korupsi oleh Komisi Pemberantasan Korupsi," *Diponegoro Law Journal*, vol. 10, no. 4, 2021.
- [12] I. Marzuki, "Lembaga keagamaan, Pancasila dan strategi pemberantasan korupsi," *Jurnal Yuridis*, vol. 5, no. 2, pp. 210–227, 2018.
- [13] A. Saron, "Pemberantasan korupsi dengan pendekatan hukum Islam," *Diponegoro Private Law Review*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [14] B. Arianto, "Akuntansi forensik sebagai strategi pemberantasan korupsi suap," *Progress: Jurnal Pendidikan, Akuntansi dan Keuangan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2021.
- [15] M. Niss and W. Blum, *The learning and teaching of mathematical modelling*. Routledge, 2020.
- [16] W. P. T. M. Wickramaarachchi and S. S. N. Perera, "An SIER model to estimate optimal transmission rate and initial parameters of COVID-19 dynamic in Sri Lanka," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 1, pp. 1557–1563, 2021.
- [17] P. Kumar, V. S. Erturk, and M. Murillo-Arcila, "A new fractional mathematical modelling of COVID-19 with the availability of vaccine," *Results Phys*, vol. 24, pp. 104–213, 2021.
- [18] P. Van den Driessche and J. Watmough, "Further notes on the basic reproduction number," *Mathematical epidemiology*, pp. 159–178, 2008.
- [19] G. J. Olsder and J. W. van der Woude, *Mathematical Systems Theory*. Delft: VVSD, 2004.
- [20] L. Hearne and D. Wessels, "Learners developing understanding of fractions via modelling," in *Mathematical modelling education in east and west*, Springer International Publishing, 2021, pp. 165–176.

- [21] J. A. P. Heesterbeck, "Sejarah singkat R0 dan resep untuk perhitungannya," *Acta Biotheor*, vol. 50, no. 3, pp. 189–204, 2002.
- [22] A. Binuyo, "Model deterministik untuk dinamika penularan penyakit menular di antara bayi," *Elixir Appl. Maths*, vol. 78, pp. 29761–29764, 2015.
- [23] P. van den Driessche and P. Watmough, "Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission," *Math Biosci*, vol. 120, no. 1–2, pp. 29–48, 2002.
- [24] I. Rosidah, P. Kesumah, and R. B. Rizka, "Transparansi Dan Akuntabilitas Dalam Pencegahan Fraud Diinstansi Pemerintah (Studi Kasus Kantor Kec. Ciwidey)," *Jurnal Ekonomi Manajemen Bisnis Dan Akuntansi*, vol. 2, no. 1, pp. 137–15, 2023.
- [25] D. Ambarwati and D. U. Assiddiq, "Penguatan Integritas Anti Korupsi Bagi Anak Melalui Mainan Edukasi Terajana Di Desa Balesari," *Jurnal Dedikasi Hukum*, vol. 1, no. 1, pp. 1–18, 2021.
- [26] N. Nurudin, M. A. N. Fauzi, and C. Barory, "Pendidikan Anti Korupsi: Konsep Pendidikan Karakter Dan Tantangannya," *Educatus*, vol. 2, no. 1, pp. 19–26, 2024.
- [27] E. R. Itasari and E. Erwin, "Reformasi Hukum dalam Mewujudkan Keadilan Sosial: Tantangan dan Prospek Pengembangan Sistem Peradilan di Indonesia," *Jurnal Cahaya Mandalika*, pp. 1657–1664, 2024.
- [28] G. Syahputra, N. Purba, and M. Marzuki, "Relevansi hukuman mati bagi pelaku korupsi dalam keadaan negara berstatus darurat covid-19 dalam perspektif kitab undang-undang acara pidana," *Jurnal Ilmiah Metadata*, vol. 4, no. 1, pp. 108–130, 2022.