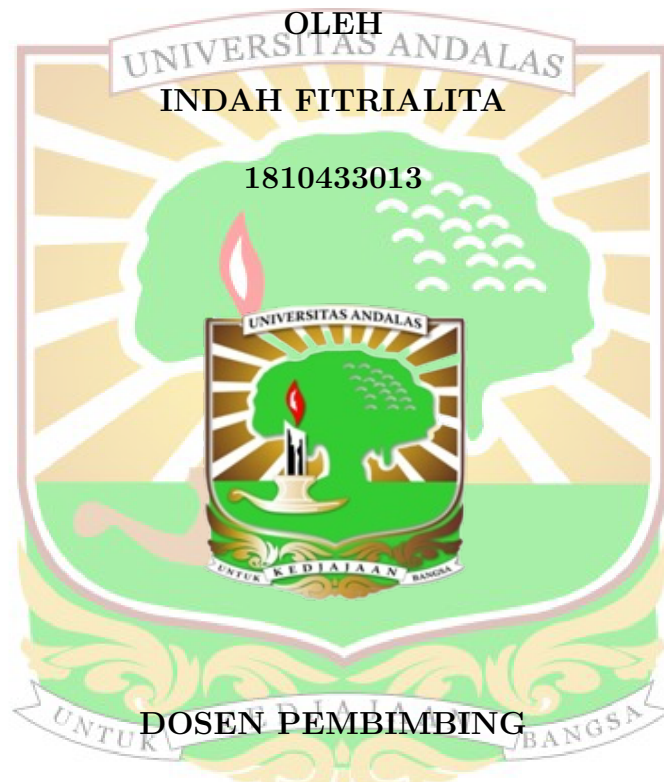


**DINAMIKA PENYEBARAN OMICRON
DENGAN FAKTOR PELAKU PERJALANAN LUAR NEGERI
DAN IMIGRASI DI INDONESIA**

SKRIPSI SARJANA MATEMATIKA



- 1. Dr. SUSILA BAHRI**
- 2. RIRI LESTARI, M.Si**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS**

PADANG

2022

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

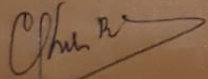
Dengan ini dinyatakan bahwa

Nama : Indah Fitriallita
No. Buku Pokok : 1810433013
Jurusan : Matematika
Bidang : Matematika Terapan
Judul Skripsi : **Dinamika Penyebaran Omicron dengan Faktor
Pelaku Perjalanan Luar Negeri dan Imigrasi
di Indonesia**


telah diuji dan disetujui skripsinya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) melalui ujian sarjana yang diadakan pada tanggal **8 Juni 2022** berdasarkan ketentuan yang berlaku.

Pembimbing,

1.

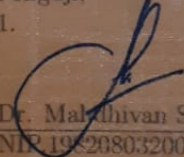

Dr. Susila Bahri
NIP.196803031993022001

2.

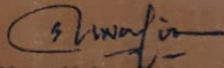

Riri Lestari, M.Si
NIP.198112302009122002

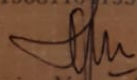
Penguji,

1.

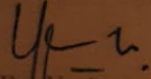

Dr. Mahdihan Syafwan
NIP.198208032006041001

2.


Nova Noliza Bakar, M.Si
NIP.196311011992032002

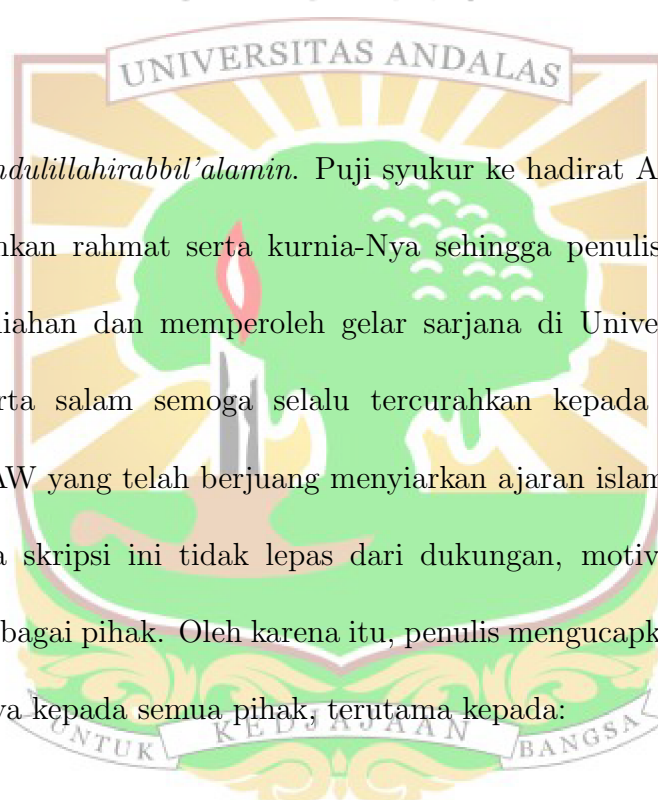

Hazmira Yelza, M.Si
NIP.196903081994032002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika FMIPA UNAND


Dr. Yanita
NIP. 197210302003122001

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta kurnia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dan memperoleh gelar sarjana di Universitas Andalas. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah berjuang menyiarkan ajaran islam di muka bumi ini. Selesaiannya skripsi ini tidak lepas dari dukungan, motivasi, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak, terutama kepada:

Keluarga tercinta

Skripsi ini saya persembahkan kepada orang-orang hebat di hidup saya, terutama **ayahanda Damanhuri** dan **ibunda Deswita**. Terima kasih atas segala perjuangan, dukungan, dan doa kalian selama ini. Terima kasih sudah menjadi orang tua terbaik bagi saya. Begitu banyak suka duka yang telah dilalui dan terima kasih akan ketegarannya selama ini. Terima kasih juga kepada adik saya tersayang, **Muhammad Rifqi** yang telah menjadi tempat saya berbagi tawa

canda, tangis, serta penyemangat dalam hidup saya. Kemudian, terima kasih saya sampaikan kepada seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan dukungan selama ini.

Dosen Pembimbing

Terima kasih saya ucapkan kepada ibu **Dr. Susila Bahri** dan ibu **Riri Lestari, M.Si** yang telah bersedia mejadi pembimbing tugas akhir saya dan meluangkan waktu untuk membimbing, membantu, memotivasi, serta memberi nasihat kepada saya dalam mengerjakan skripsi ini. Terima kasih telah meyakini dan memberi semangat kepada saya untuk menyelesaikan skripsi hingga mendapatkan gelar sarjana.

Dosen Penguji dan Pembimbing Akademik

Terima kasih kepada bapak **Dr. Mahdhivan Syafwan**, ibu **Nova Noliza Bakar, M.Si**, dan ibu **Hazmira Yozza, M.Si** selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan, tanggapan, serta saran sehingga skripsi saya menjadi lebih baik. Terima kasih juga saya ucapkan kepada bapak **Dr. Dodi Devianto** yang telah menjadi pembimbing akademik saya selama perkuliahan.

Keluarga BP 013

Terima kasih saya ucapkan kepada **keluarga BP 013** terutama sobep saya, **Nabilah Jahroo Prawiti**, yang telah membantu, mendukung, dan mengajarkan banyak hal. Terima kasih juga kepada uda, uni, seta adik-adik BP yang telah menjadi keluarga bagi saya selama kuliah di Universitas Andalas. Kompak selalu, 013!

Anak Onang

Terima kasih sebesar-besarnya saya sampaikan kepada **Anak Onang** yaitu **Uda Asob, Uda Ridha, Uda Bowo, Uda Kelson Uda Randa, Uda Fakhri, Uda Eldi, Uda Aldi, Uda Ogi, dan Dasa** yang telah menjadi tempat saya bercerita, belajar dan menjadi rumah bagi saya selama perkuliahan.



Geometri'18 dan HIMATIKA FMIPA UNAND

Terima kasih saya ucapkan sebesar-besarnya kepada semua elemen **Geometri'18 UNAND dan HIMATIKA FMIPA UNAND** yang telah memberi banyak warna dan kenangan selama perkuliahan.

Orang-orang Hebat dalam Hidup Saya

Terima kasih kepada **Mellany**, teman seperjuangan dan sepermainan saya dari awal kuliah. Terima kasih juga kepada **Ibrahim Taufiqurrahman** yang telah menemani, mendukung, menjadi penyemangat, serta menjadi pendengar untuk segala keluh-kesah yang saya rasakan hingga saya bisa mendapatkan gelar sarjana.

*"Kesempatan tidak datang dua kali,
tapi kesempatan datang kepada orang yang tidak pernah berhenti mencoba"*

(Indah Fitrialita)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi 'alamin, puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT yang memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "**Dinamika Penyebaran Omicron dengan Faktor Pelaku Perjalanan Luar Negeri dan Imigrasi di Indonesia**" ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas. Shalawat beriringan salam kita curahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa nikmatnya ilmu pengetahuan kepada umat manusia.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, dorongan, kerja sama, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini, terutama kepada:

1. Keluarga saya, yaitu ayahanda Damanhuri, ibunda Deswita, dan adik saya, Muhammad Rifqi yang tanpa mengenal lelah dan letih memberikan doa serta dukungannya dalam hidup saya selama ini.
2. Ibu Dr. Susila Bahri dan ibu Riri Lestari, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi saya yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, membantu, dan memotivasi saya sampai akhirnya saya da-

pat menyelesaikan pendidikan dengan baik dan meraih gelar Sarjana Sains (S.Si).

3. Bapak Dr. Mahdhivan Syafwan, ibu Nova Noliza Bakar, M.Si dan ibu Hazmira Yoza, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan maksimal.
4. Bapak Dr. Dodi Devianto selaku dosen Pembimbing Akademik, bapak ibu dosen selingkup Jurusan Matematika FMIPA UNAND yang telah memberikan ilmu, nasehat, dan pengajaran dengan penuh kesabaran dan pengorbanan, serta keluarga besar Jurusan Matematika FMIPA Universitas Andalas yang telah membantu selama penulis melaksanakan studi.
5. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran agar kelak diperoleh hasil yang baik. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya. *Aamin ya rabbal 'alamin.*

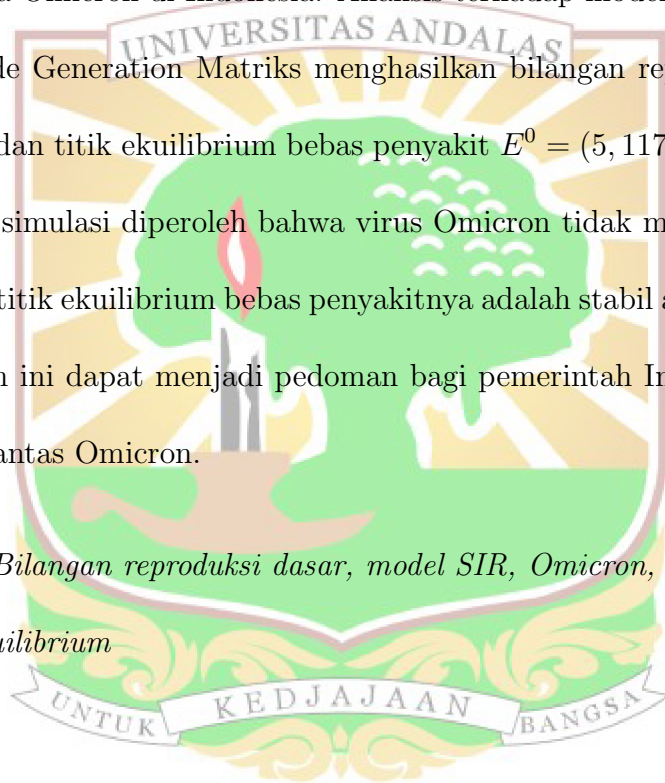
Padang, Juni 2022

Indah Fitrialita, S.Si

ABSTRAK

Pada penelitian ini, dengan menggunakan data riil, model SIR dikonstruksi untuk melihat pengaruh pelaku perjalanan luar negeri dan imigran terhadap dinamika Omicron di Indonesia. Analisis terhadap model dengan menggunakan metode Generation Matriks menghasilkan bilangan reproduksi dasar $R_0 = 1 \times 10^{-6}$ dan titik ekuilibrium bebas penyakit $E^0 = (5, 1176, 0, 0)$. Kemudian dari hasil simulasi diperoleh bahwa virus Omicron tidak menyebar dalam populasi maka titik ekuilibrium bebas penyakitnya adalah stabil asimtotik lokal. Hasil penelitian ini dapat menjadi pedoman bagi pemerintah Indonesia dalam usaha memberantas Omicron.

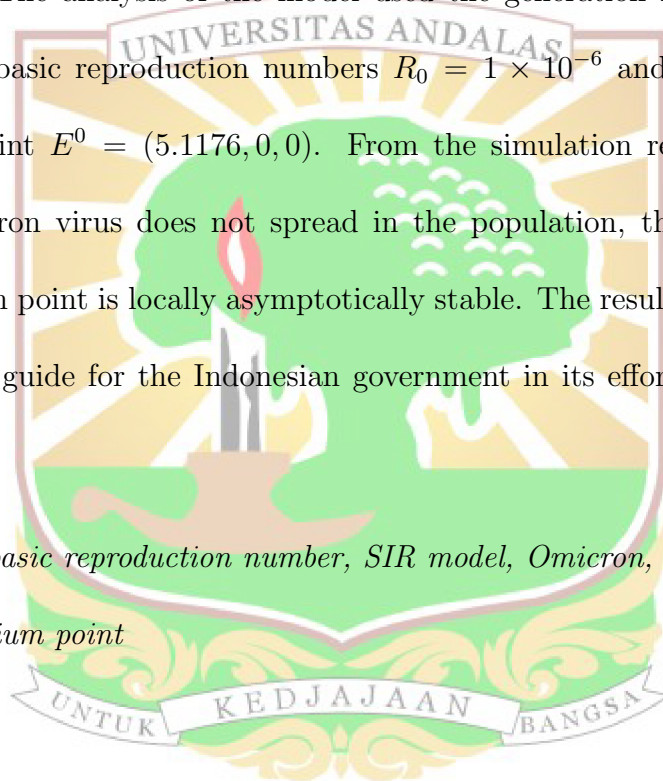
Kata kunci: *Bilangan reproduksi dasar, model SIR, Omicron, simulasi model, titik ekuilibrium*



ABSTRACT

In this study, using real data, the SIR model is constructed to see the influence of foreign travelers and immigrants on the dynamics of Omicron in Indonesia. The analysis of the model used the generation matrix method to obtain the basic reproduction numbers $R_0 = 1 \times 10^{-6}$ and a disease free equilibrium point $E^0 = (5.1176, 0, 0)$. From the simulation results obtained that the Omicron virus does not spread in the population, then the disease free equilibrium point is locally asymptotically stable. The results of this study can serve as a guide for the Indonesian government in its efforts to eradicate Omicron.

Keywords: *basic reproduction number, SIR model, Omicron, simulation model, equilibrium point*



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK. | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI. | ix |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | 1 |
| BAB I PENDAHULUAN. | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penulisan | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1 Persamaan Diferensial | 5 |
| 2.2 Model Dasar Penyebaran Penyakit | 8 |
| 2.2.1 Istilah dalam Epidemiologi | 8 |
| 2.2.2 Model SIR (<i>Susceptible, Infected, Recovered</i>) | 9 |
| 2.3 Analisis Kestabilan Lokal Model SIR | 11 |
| 2.3.1 Kestabilan Polinomial | 15 |

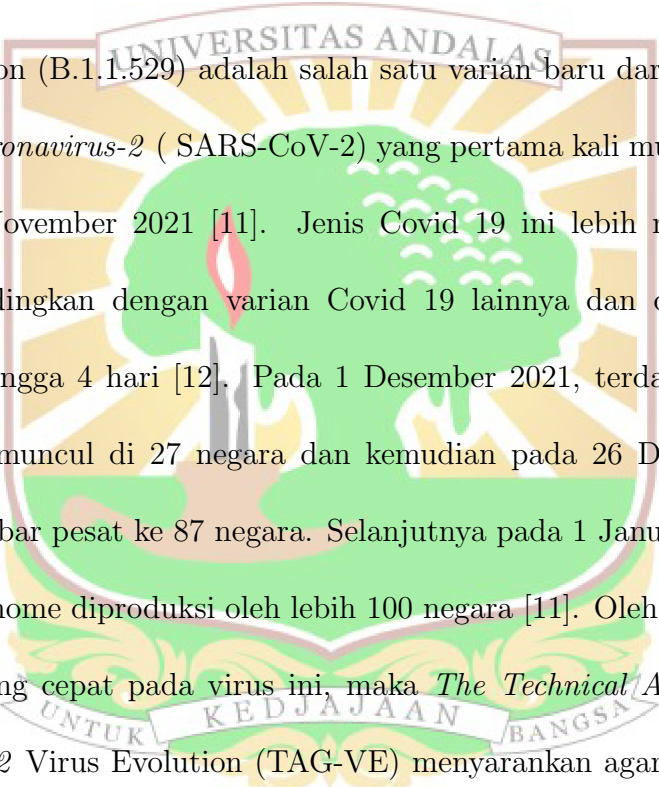
| | | |
|------------------------------------|---|-----------|
| 2.3.2 | Bilangan Reproduksi Dasar (R_0) | 15 |
| BAB III PEMBAHASAN. | | 18 |
| 3.1 | Model SIR Virus Omicron dengan Pengaruh PPLN dan Imigrasi | 18 |
| 3.2 | Analisis Kestabilan Lokal Sistem | 20 |
| 3.3 | Simulasi Numerik | 31 |
| 3.3.1 | Simulasi Model SIR dengan Faktor PPLN dan Imigrasi . | 34 |
| BAB IV KESIMPULAN | | 37 |
| DAFTAR PUSTAKA. | | 38 |
| LAMPIRAN | | 42 |
| RIWAYAT HIDUP | | 43 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang



Omicron (B.1.1.529) adalah salah satu varian baru dari *Severe Acute Respiratory Coronavirus-2* (SARS-CoV-2) yang pertama kali muncul di Afrika Selatan pada November 2021 [11]. Jenis Covid 19 ini lebih mudah menyebar bila dibandingkan dengan varian Covid 19 lainnya dan dapat menjadi ganda tiap 2 hingga 4 hari [12]. Pada 1 Desember 2021, terdapat 352 kasus Omicron yang muncul di 27 negara dan kemudian pada 26 Desember 2021, Omicron menyebar pesat ke 87 negara. Selanjutnya pada 1 Januari 2022, lebih dari 100.000 genome diproduksi oleh lebih 100 negara [11]. Oleh karena terjadi peningkatan yang cepat pada virus ini, maka *The Technical Advisory Group on SARS-CoV-2 Virus Evolution* (TAG-VE) menyarankan agar *World Health Organization* (WHO) menetapkan Omicron sebagai *Variant of Concern* [25].

Virus Omicron pertama kali menjangkiti 3 orang pekerja wisma atlet yang tertular dari seorang warga Nigeria di Indonesia pada tanggal 8 Desember 2021. Setelah itu, para pelaku perjalanan luar negeri dari berbagai negara seperti Amerika, Kongo dan Malaysia yang kembali ke Indonesia, melengkap 8 kasus penderita virus itu. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia melalui Menteri Kesehatan mengumumkan secara resmi tentang masuknya Omicron ke

Indonesia pada tanggal 16 Desember 2021 [23]. Dari kronologi masuknya Omicron ke Indonesia ini, maka pemerintah Indonesia perlu memfokuskan perhatiannya terhadap para Pelaku Perjalanan Luar Negeri (PPLN) maupun pendatang yang masuk ke Indonesia dalam rangka meminimumkan kasus Omicron tersebut. Untuk itu, sebagai upaya pencegahan penyebaran virus Omicron di Indonesia, maka perlu sementara waktu dilakukan penutupan akses masyarakat dari dan ke luar negeri. Kasus Omicron saat ini kebanyakan berasal dari PPLN dan imigran.

Para matematikawan telah banyak melakukan penelitian tentang Omicron. Diederik Jan, dkk melakukan, penelitian tentang dampak Omicron dan langkah-langkah mitigasi terhadap kebutuhan rawat inap dengan menggunakan model SIR [18]. Selanjutnya, Andi Wibowo melakukan penelitian tentang konstruksi model SIR untuk mengetahui dampak ganda dari Omicron dan bencana alam terhadap simulasi sistem kesehatan [24]. Berbeda dengan para peneliti tersebut, dengan menggunakan data riil, tugas akhir ini mengkonstruksi model matematika SIR dengan pengaruh pelaku perjalanan luar negeri dan imigran untuk meneliti seberapa besar akibat peningkatan pelaku perjalanan luar negeri dan imigran terhadap penyebaran dan peningkatan Omicron di Indonesia. Selain itu, dianalisis kestabilan model untuk mengetahui apakah virus Omicron menyebar atau menghilang dari populasi. Selanjutnya, simulasi dilakukan untuk melihat perilaku solusi sistem secara numerik menggunakan *software* MATLAB.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji pada tugas akhir ini adalah:

1. bagaimana mengkonstruksi model SIR penyebaran Omicron di Indonesia dengan mempertimbangkan faktor PPLN dan imigrasi,
2. bagaimana analisis kestabilan lokal model SIR penyebaran Omicron di Indonesia dengan mempertimbangkan faktor PPLN dan imigrasi,
3. bagaimana dinamika model SIR penyebaran Omicron di Indonesia dengan mempertimbangkan faktor PPLN dan imigrasi.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, kestabilan yang dikaji hanyalah kestabilan lokal.

1.4 Tujuan Penulisan

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. mengkonstruksi model matematika SIR Omicron di Indonesia dengan faktor PPLN dan imigrasi,
2. mengetahui kondisi bebas penyakit dan kondisi endemik virus Omicron di Indonesia,
3. mengetahui dinamika penyebaran Omicron di Indonesia.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir terdiri dari tiga bab. Bab I memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan. Bab II berisi tentang materi dasar dan materi pendukung yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini. Pada Bab III dijelaskan mengenai model SIR virus Omicron dengan pengaruh PPLN dan imigrasi di Indonesia. Hasil-hasil yang diperoleh kemudian disimpulkan pada Bab IV.



BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini disajikan teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu persamaan diferensial, analisis kestabilan lokal titik ekuilibrium, model penyebaran virus Omicron (SIR) dan bilangan reproduksi dasar.

2.1 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat turunan dari satu atau beberapa fungsi yang tidak diketahui [3]. Misal diberikan contoh :

$$\frac{d^2y}{dx^2} - xy = \cos(x) \quad (2.1.1)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} + x\left(\frac{dy}{dx}\right) + y = 0 \quad (2.1.2)$$

$$\frac{dy}{dx} + 2\sin(x) = 0 \quad (2.1.3)$$

$$\frac{\partial^2y}{\partial x^2} + 3\frac{\partial^2y}{\partial u^2} = 0 \quad (2.1.4)$$

Pada persamaan (2.1.1)-(2.1.3), y merupakan fungsi yang nilainya ditentukan oleh satu peubah bebas x , yaitu $y = y(x)$. Lambang $\frac{dy}{dx}$ dan $\frac{d^2y}{dx^2}$ pada persamaan (2.1.1),(2.1.2),(2.1.3) berturut-turut menyatakan turunan pertama dan kedua dari fungsi y atau bisa ditulis dengan y' dan y'' . Pada persamaan (2.1.4), y merupakan suatu fungsi dengan dua peubah bebas x dan u yaitu $y(x, u)$, sedangkan $\frac{\partial^2y}{\partial x^2}$ dan $\frac{\partial^2y}{\partial u^2}$ berturut-turut menyatakan turunan parsial kedua dari fungsi $y(x, u)$ terhadap x dan u .

Persamaan diferensial dapat diklasifikasikan berdasarkan banyaknya peubah bebas, orde, kelinieran, kehomogenan, dan kemandirian.

1. Banyaknya Peubah Bebas [17]

- (a) Persamaan Diferensial Biasa (PDB), yaitu persamaan diferensial yang hanya memuat satu peubah bebas dalam persamaannya. Persamaan diferensial biasa mempunyai bentuk umum sebagai berikut

$$F(x, y', y'', \dots, y^{(n)}) = 0, \quad (2.1.5)$$

dimana x adalah peubah bebas, y adalah peubah tak bebas, dan $y', y'', \dots, y^{(n)}$ adalah turunan - turunan dari y .

- (b) Persamaan Diferensial Parsial (PDP), yaitu persamaan yang memuat lebih dari satu peubah bebas.

2. Orde [17]

Orde suatu persamaan diferensial adalah turunan tertinggi yang muncul pada persamaan diferensial tersebut.

3. Kelinieran [4]

Berdasarkan kelinierannya, persamaan diferensial dibedakan menjadi dua, yaitu :

- (a) Persamaan diferensial linier, yaitu jika peubah tak bebas atau turunannya muncul dalam berpangkat satu atau tidak ada perkalian antara peubah tak bebas dan turunannya.

- (b) Persamaan diferensial nonlinier, yaitu jika peubah tak bebas atau turunannya muncul dalam berpangkat selain satu atau terdapat perkalian antara peubah tak bebas dan turunannya.

4. Kehomogenan [4]

Persamaan diferensial dikatakan homogen jika setiap suku persamaan diferensial tersebut memuat peubah tak bebas atau turunannya. Sebaliknya, persamaan diferensial dikatakan nonhomogen jika ada suku pada persamaannya yang tidak memuat peubah tak bebas atau turunannya.

5. Kemandirian (*Autonomous*)[3]

Berdasarkan kemandirian, persamaan diferensial dibedakan menjadi dua, yaitu:

- (a) Dikatakan mandiri (*autonomous*) jika semua koefisien yang menyertai peubah tak bebas atau turunannya bernilai konstan.
- (b) Dikatakan tak-mandiri (*nonautonomous*) jika ada koefisien yang menyertai peubah tak bebas atau turunannya tidak bernilai konstan.

Berikut ini beberapa contoh persamaan diferensial berdasarkan klasifikasinya:

1. $\frac{dy}{dx} + 2xy = \sin(x)$ adalah persamaan diferensial biasa orde 1, linier, nonhomogen, dan tak-mandiri.
2. $\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + t \left(\frac{\partial x}{\partial u} \right)^2 + x = 0$ adalah persamaan diferensial parsial orde 2, nonlinier, homogen dan tak-mandiri.

3. $\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{dy}{dx} + y = 0$ adalah persamaan diferensial biasa orde 2, linier, homogen, dan mandiri.

2.2 Model Dasar Penyebaran Penyakit

2.2.1 Istilah dalam Epidemiologi

Epidemiologi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari 3 kata dasar yaitu *epi* yang berarti, pada, atau tentang, *demos* yang berarti penduduk dan *logos* yang berarti ilmu pengetahuan. Dalam pengertian modern, epidemiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang frekuensi dan distribusi (penyebaran) masalah kesehatan pada sekelompok masyarakat serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dalam epidemiologi, ada tiga faktor yang dapat menerangkan penyebaran penyakit atau masalah kesehatan yaitu orang, tempat dan waktu yang sering dianalisis. Berikut ini beberapa istilah penting dalam epidemiologi [2]:

1. Wabah

Kondisi terjadinya suatu penyakit pada musim tertentu dalam suatu populasi, dimana jumlah individu yang terjangkit lebih banyak daripada biasanya.

2. Endemi

Kondisi wabah penyakit yang muncul pada satu daerah. Penyakit ini akan selalu ada di daerah tersebut, namun dengan jumlah kasus yang rendah. Contohnya Demam Berdarah Dengue (DBD).

3. Epidemi

Kondisi ini hampir sama dengan wabah tetapi waktu penyebaran penyakitnya terjadi sangat cepat. Contohnya SARS (2002-2003), flu burung (H5N1) pada tahun 2005 dan virus Ebola di Kongo.

4. Pandemi

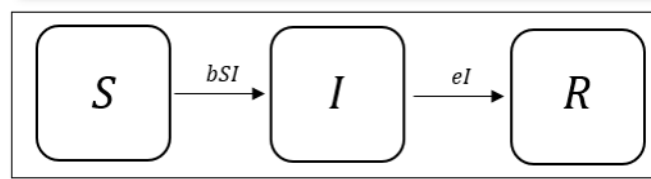
Kondisi wabah penyakit dimana penyebarannya dalam ruang lingkup yang sangat luas, bahkan hampir di seluruh negara. Contohnya Covid-19 dan HIV/AIDS.

2.2.2 Model SIR (*Susceptible, Infected, Recovered*)

Model dasar matematika tentang penyebaran penyakit pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan bernama Kermack dan McKendrick pada tahun 1927. Model dasar ini dikenal sebagai model SIR yang berlaku untuk epidemi dengan durasi yang relatif singkat (dibandingkan dengan durasi kehidupan), yaitu wabah penyakit yang tiba-tiba menginfeksi (dan berkemungkinan membunuh) sebagian besar dari populasi sebelum menghilang pada suatu wilayah [1].

Model dasar SIR untuk penyebaran penyakit terbagi menjadi tiga kelompok (kompartemen), yaitu kelas rentan, (*Susceptible*), kelas terinfeksi (*Infected*), dan kelas sembuh/ pulih (*Recovered*). Model ini dibangun berdasarkan beberapa asumsi, yaitu sistem tertutup (tidak ada kelahiran, kematian, dan migrasi), populasi homogen, dan penyebaran penyakit terjadi karena adanya kontak antara individu rentan dan individu yang terinfeksi [1]. Diagram kom-

partemen model dasar SIR dapat dilihat pada Gambar 2.2.1.



Gambar 2.2.1: Diagram Kompartemen Model dasar SIR [1]

Secara matematika, perubahan jumlah populasi rentan, infeksi dan pulih dapat diungkapkan dalam model berikut,



$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -bSI, \\ \frac{dI}{dt} &= bSI - eI, \\ \frac{dR}{dt} &= eI, \end{aligned} \tag{2.2.1}$$

dimana

S : jumlah individu kelas rentan (*susceptible*) pada waktu t ,

I : jumlah individu kelas terinfeksi (*infected*) pada waktu t ,

R : jumlah individu kelas pulih (*recovered*) pada waktu t ,

b : tingkat penularan penyakit,

e : tingkat kesembuhan penyakit.

Total populasi dapat dinyatakan dengan

$$N = S + I + R \tag{2.2.2}$$

yang bernilai konstan karena

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0. \tag{2.2.3}$$

Pada model (2.2.1), kelompok individu rentan berkontak langsung dengan kelompok individu terinfeksi dengan laju sebesar b . Terjadinya inter-

aksi antara kelompok individu S dan I tersebut mengakibatkan laju populasi S berkurang sebesar bSI , dan laju populasi terinfeksi menjadi bertambah sebesar bSI . Laju populasi terinfeksi menjadi berkurang karena individu yang terinfeksi akan pulih dari penyakit sebesar eI . Laju populasi pulih akan bertambah sebesar eI karena adanya perpindahan individu terinfeksi menjadi pulih [1].

2.3 Analisis Kestabilan Lokal Model SIR

Perhatikan sistem persamaan diferensial nonlinier berikut,

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}). \quad (2.3.1)$$

Pada bagian ini akan dianalisis bagaimana perilaku solusi dari sistem pada (2.3.1). Dalam menganalisis kestabilan dari sistem nonlinier (2.3.1), perlu diketahui perilaku sistem di sekitar titik ekuilibrium [13].

Terdapat dua jenis titik ekuilibrium yang menggambarkan keadaan dari suatu sistem, yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit (*disease free equilibrium*) dan titik ekuilibrium endemik (*endemic equilibrium*). Titik ekuilibrium bebas penyakit menyatakan kondisi populasi yang bebas dari penyakit, sedangkan titik ekuilibrium endemik menyatakan bahwa terdapat individu terinfeksi dalam suatu populasi [20].

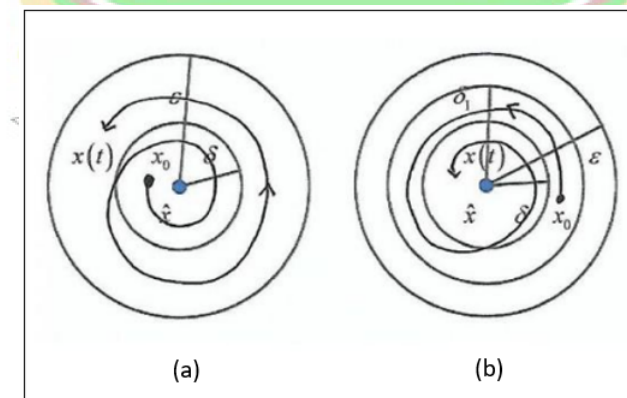
Definisi 2.1. [14] *Titik ekuilibrium (titik kesetimbangan, titik tetap, atau titik stasioner) adalah titik yang memenuhi persamaan $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$.*

Kestabilan titik ekuilibrium dijelaskan pada Definisi 2.2 dan 2.3 berikut.

Definisi 2.2. [14] Titik ekuilibrium \mathbf{x}^* dari sistem (2.3.1) dikatakan stabil jika untuk setiap $\epsilon > 0$ ada $\delta > 0$ sedemikian sehingga untuk setiap $t \geq t_0$, $\|\mathbf{x}(t_0) - \mathbf{x}^*\| < \delta$ berlaku $\|\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}^*\| < \epsilon$, dimana $\mathbf{x}(t)$ adalah solusi dari sistem (2.3.1).

Definisi 2.3. [14] Titik ekuilibrium \mathbf{x}^* dari sistem (2.3.1) dikatakan stabil asimtotik jika titik ekuilibrium \mathbf{x}^* stabil dan terdapat $\delta_1 > 0$ sedemikian sehingga $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}^*\| = 0$ asalkan $\|\mathbf{x}(t_0) - \mathbf{x}^*\| < \delta_1$.

Berdasarkan definisi, titik ekuilibrium dikatakan stabil lokal jika untuk suatu nilai awal yang dekat dengan titik ekuilibrium, maka solusi dari $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ akan tetap dekat terhadap titik ekuilibrium tersebut. Titik ekuilibrium dikatakan stabil asimtotik lokal jika untuk suatu nilai awal yang dekat dengan titik ekuilibrium, maka solusi akan konvergen ke titik ekuilibrium. Gambar 2.3.2 mengilustrasikan kurva solusi yang stabil lokal dan stabil asimtotik lokal.



Gambar 2.3.2: (a) Stabil, (b) Stabil Asimtotik

Pada persamaan (2.3.1) yang merupakan sistem nonlinier, kestabilan titik ekuilibrium \mathbf{x}^* dapat diperiksa dengan melinierkan sistem nonlinier di se-

kitar titik ekuilibrium \mathbf{x}^* menggunakan ekspansi Deret Taylor. Perhatikan persamaan nonlinier (2.3.1) di \mathbb{R}^2 , yaitu

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(\mathbf{x}), \\ \dot{x}_2 &= f_2(\mathbf{x}). \end{aligned} \tag{2.3.2}$$

Misalkan fungsi $f_i(\mathbf{x}), i = 1, 2$ mempunyai turunan yang kontinu di sekitar titik ekuilibrium $\mathbf{x}^* = (u, v)$. Sistem $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ akan diekspansi menggunakan Deret Taylor dari $f_i(x, y), i = 1, 2$ menjadi

$$\begin{aligned} f_1(\mathbf{x}) &= f_1(\mathbf{x}^*) + (x_1 - u) \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) + (x_2 - v) \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*) + \text{suku orde tinggi}, \\ f_2(\mathbf{x}) &= f_2(\mathbf{x}^*) + (x_1 - u) \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) + (x_2 - v) \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*) + \text{suku orde tinggi}. \end{aligned}$$

Perhatikan bahwa nilai suku orde tinggi mendekati nol ketika $\|x_1 - u\|$ dan $\|x_2 - v\|$ mendekati nol, sehingga nilainya dapat diabaikan. Karena \mathbf{x}^* merupakan titik ekuilibrium dari persamaan (2.3.2), maka $f_i(\mathbf{x}^*) = 0$, untuk $i = 1, 2$. Misalkan $y_1 = x_1 - u$ dan $y_2 = x_2 - v$, maka sistem (2.3.2) dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) + y_2 \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*), \\ \dot{y}_2 &= y_1 \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) + y_2 \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*). \end{aligned} \tag{2.3.3}$$

Sistem (2.3.3) dapat dituliskan dalam notasi matriks yaitu

$$\begin{pmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}^*) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}^*) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix},$$

atau dapat ditulis sebagai

$$\dot{\mathbf{y}} = J_{\mathbf{x}^*} \mathbf{y}, \mathbf{y} \in \mathbb{R}^2. \tag{2.3.4}$$

Sistem (2.3.4) disebut pelinieran sistem nonlinier (2.3.2) di sekitar titik ekuilibrium $\mathbf{x}^* = (u, v)$ dengan matriks $J_{\mathbf{x}^*}$ disebut sebagai matriks Jacobian

dari \mathbf{f} pada titik ekuilibrium \mathbf{x}^* [14]. Secara umum matriks Jacobian di \mathbb{R}^n berlaku

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}.$$

Perhatikan kembali sistem (2.3.4) yang merupakan sistem linier. Solusi dari sistem tersebut dapat ditulis dalam bentuk

$$\mathbf{y} = \mathbf{w}e^{\lambda t}, \quad (2.3.5)$$

dimana λ merupakan suatu skalar dan \mathbf{w} suatu vektor tak nol. Dengan mensubstitusikan \mathbf{y} ke dalam sistem (2.3.4), diperoleh

$$(J - \lambda \mathbf{I})\mathbf{w} = \mathbf{0}, \quad (2.3.6)$$

dimana λ adalah nilai eigen dari matriks J dan \mathbf{w} adalah vektor eigen yang bersesuaian dengan nilai eigen λ . Persamaan (2.3.6) memiliki solusi tak nol, sehingga diperoleh persamaan karakteristik

$$\det(J - \lambda \mathbf{I}) = 0. \quad (2.3.7)$$

Persamaan (2.3.7) disebut persamaan karakteristik dari matriks J [14]. Perilaku solusi $\mathbf{y} = \mathbf{w}e^{\lambda t}$ hanya bergantung pada nilai eigen λ , sehingga kestabilan sistem (2.3.1) di sekitar titik ekuilibrium ditentukan oleh nilai-nilai eigen dari matriks Jacobiannya, sebagaimana diberikan oleh teorema kestabilan berikut.

Teorema 2.4. [13] *Pandang sistem (2.3.4), dimana J merupakan matriks Jacobian berukuran $n \times n$*

- (i) *Jika semua nilai eigen dari matriks J mempunyai bagian riil negatif, maka titik ekuilibrium \mathbf{x}^* stabil asimtotik,*
- (ii) *Jika ada nilai eigen dari matriks J mempunyai bagian riil positif, maka \mathbf{x}^* tidak stabil.*

2.3.1 Kestabilan Polinomial

Kestabilan polinomial digunakan untuk menentukan kestabilan sistem dengan cara memperhatikan koefisien dari persamaan karakteristik tanpa perlu menghitung akar-akarnya.

Proposisi 2.5. [9] *Misalkan A, B dan C adalah bilangan riil. Bagian riil dari tiap akar polinomial kubik*

$$z^3 + Az^2 + Bz + C = 0$$

adalah negatif jika dan hanya jika A, B dan C semua positif dan $AB > C$

Berdasarkan Teorema 2.4, suatu polinomial dengan bentuk yang di nyatakan pada Proposisi 2.5 dan akar-akarnya merupakan nilai eigen akan stabil jika bagian riil dari akarnya negatif dan sebaliknya tak stabil.

2.3.2 Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

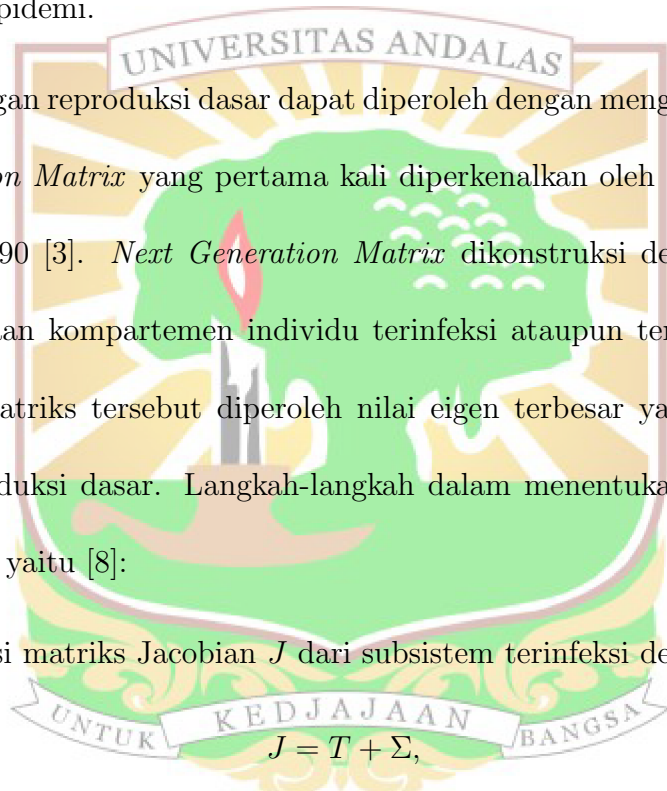
Bilangan reproduksi dasar (R_0) merupakan bilangan yang menyatakan rata-rata banyak individu terinfeksi akibat tertular satu individu terinfeksi [8].

Kondisi penyebaran atau peningkatan penyakit berdasarkan nilai R_0 adalah sebagai berikut [18]:

1. jika $R_0 < 1$ maka penyakit tidak menyebar dan pada akhirnya menghilang,
2. jika $R_0 > 1$ maka penyakit akan menyebar dan menjadi epidemi,
3. jika $R_0 = 1$ maka penyakit akan tetap ada di masyarakat tapi tidak menyebabkan epidemi.

Bilangan reproduksi dasar dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Next Generation Matrix* yang pertama kali diperkenalkan oleh Diekmann dkk pada tahun 1990 [3]. *Next Generation Matrix* dikonstruksi dengan menggunakan persamaan kompartemen individu terinfeksi ataupun terpapar. Selanjutnya, dari matriks tersebut diperoleh nilai eigen terbesar yang merupakan bilangan reproduksi dasar. Langkah-langkah dalam menentukan bilangan reproduksi dasar yaitu [8]:

1. konstruksi matriks Jacobian J dari subsistem terinfeksi dengan



$$J = T + \Sigma, \quad (2.3.8)$$

dimana T merupakan matriks transmisi dan Σ merupakan matriks transisi. Matriks transmisi T yaitu matriks dengan entri-entri yang menggambarkan munculnya infeksi baru dan matriks transisi Σ merupakan matriks dengan entri-entri yang menggambarkan perubahan dari keadaan terinfeksi ke keadaan pulih, termasuk kematian. Subsistem terinfeksi dapat ditulis

$$\dot{\mathbf{x}} = [T + \Sigma]\mathbf{x}, \quad (2.3.9)$$

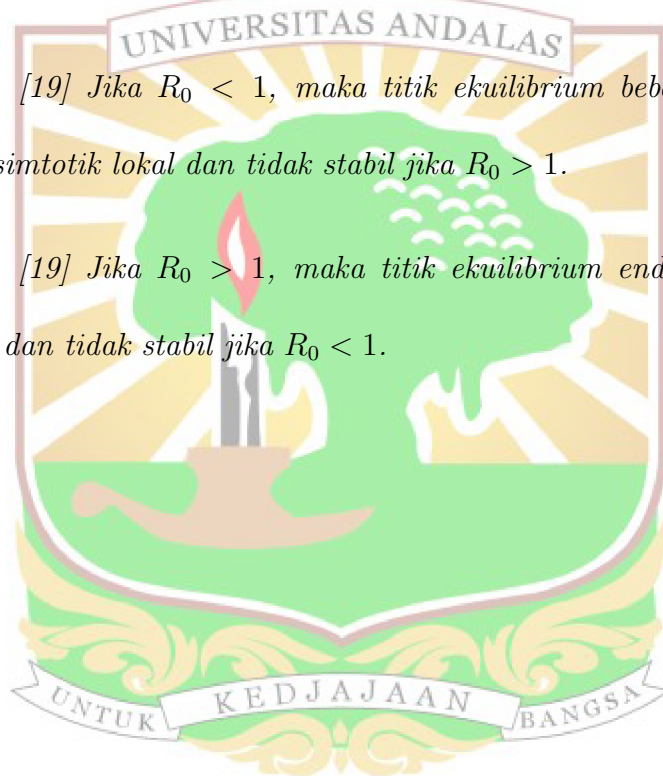
dengan $\dot{\mathbf{x}}$ merupakan laju terinfeksi, $[T + \Sigma]$ merupakan matriks Jacobian J dan \mathbf{x} merupakan matriks transpose dari subsistem terinfeksi.

2. konstruksi *Next Generation Matrix* yaitu $K = -T\Sigma^{-1}$ untuk memperoleh nilai eigen terbesar yang merupakan bilangan reproduksi dasar.

Teorema tentang hubungan bilangan reproduksi dasar dengan kestabilan titik ekuilibrium dinyatakan dalam Teorema 2.6 dan 2.7 berikut

Teorema 2.6. [19] Jika $R_0 < 1$, maka titik ekuilibrium bebas penyakit E^0 adalah stabil asimtotik lokal dan tidak stabil jika $R_0 > 1$.

Teorema 2.7. [19] Jika $R_0 > 1$, maka titik ekuilibrium endemik E^* stabil asimtotik lokal dan tidak stabil jika $R_0 < 1$.



BAB III

PEMBAHASAN

Pada bab ini, model SIR virus Omicron dikonstruksi dengan mempertimbangkan pengaruh Pelaku Perjalanan Luar Negeri (PPLN) dan imigran yang masuk ke Indonesia. Perilaku model di sekitar titik ekuilibrium dianalisis berdasarkan nilai eigen dari matriks Jacobian. Selanjutnya, solusi numerik disimulasikan menggunakan *software* MATLAB.

3.1 Model SIR Virus Omicron dengan Pengaruh PPLN dan Imigrasi

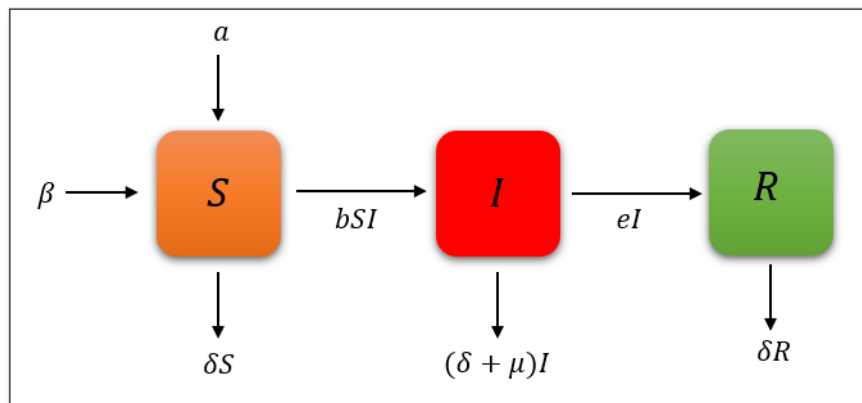
Model SIR menggambarkan penyakit menular berdasarkan tiga kelompok populasi, yaitu *susceptible* atau rentan, *infected* atau terinfeksi, dan *recovered* atau pulih. Model dikonstruksi berdasarkan asumsi sebagai berikut:

1. Jumlah populasi tidak konstan dan terjadi proses migrasi,
2. Adanya kematian akibat virus Omicron,
3. Individu yang pulih akan kebal terhadap virus Omicron. Dengan kata lain individu yang pulih tidak masuk ke kelompok rentan kembali,
4. Kelompok individu rentan yang melakukan kontak langsung dengan kelompok individu terinfeksi akan masuk ke dalam kelompok populasi yang

terinfeksi,

- Setiap PPLN dan imigran yang masuk ke populasi N , langsung masuk ke dalam populasi rentan.

Gambar 3.1.1 berikut menunjukkan bahwa diagram kompartemen model SIR yang memuat parameter pengaruh PPLN dan imigrasi.



Gambar 3.1.1: Diagram Kompartemen Model SIR dengan PPLN dan Imigrasi

Model SIR yang memuat pengaruh PPLN dan imigrasi dapat dinyatakan ke dalam sistem persamaan diferensial biasa berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \beta + a - \delta S - bSI, \\
 \frac{dI}{dt} &= bSI - (\mu + \delta + e)I, \\
 \frac{dR}{dt} &= eI - \delta R,
 \end{aligned}
 \tag{3.1.1}$$

dengan parameter $\beta, a, c, b, \delta, e, \mu$ adalah konstanta positif, sedangkan variabel S, I dan R berturut-turut menyatakan jumlah individu rentan, terinfeksi dan pulih. Keterangan setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 3.1.1 berikut ini.

Tabel 3.1.1 : Deskripsi Parameter pada Model SIR

| Parameter | Deskripsi |
|-----------|------------------------------|
| β | Laju kelahiran |
| a | Laju imigran dan PPLN |
| b | Laju penularan Omicron |
| δ | Laju kematian alami |
| e | Laju kesembuhan Omicron |
| μ | Laju kematian akibat Omicron |

Pada sistem (3.1.1),
$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= \frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt}, \\ &= \beta + a - \delta S - \delta I - \delta R - \mu I, \\ &= \beta + a - \delta N - \mu I. \end{aligned}$$

Karena $\frac{dN}{dt} \neq 0$, akibatnya populasi $N(t)$ tidak konstan.

3.2 Analisis Kestabilan Lokal Sistem

Pada subbab ini, kestabilan lokal dari sistem (3.1.1) dianalisis dengan terlebih dahulu menentukan titik ekuilibrium, kemudian sistem dilinierisasikan menggunakan matriks Jacobian. Kestabilan lokal titik ekuilibrium ditentukan dari nilai eigen matriks Jacobiannya.

1. Titik Ekuilibrium

Dari sistem (3.1.1), analisis kestabilan lokal dilakukan untuk menentukan solusi model berupa titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik penyakit. Berdasarkan Definisi 2.1, tiap persamaan

pada sistem (3.1.1) menjadi

$$\frac{dS}{dt} = 0, \frac{dI}{dt} = 0, \frac{dR}{dt} = 0. \quad (3.2.1)$$

Persamaan (3.2.1) berturut-turut dapat dinyatakan kembali dengan

$$\beta + a - \delta S - bSI = 0, \quad (3.2.2)$$

$$bSI - (\delta + \mu + e)I = 0, \quad (3.2.3)$$

$$eI - \delta R = 0. \quad (3.2.4)$$

(a) Titik Ekuilibrium Bebas Penyakit (*free disease equilibrium*)

Titik ekuilibrium bebas penyakit menyatakan kondisi dimana tidak ada paparan dan kasus infeksi yang terjadi dalam populasi ($I = 0$). Dengan mensubstitusi $I = 0$ ke persamaan (3.2.2) diperoleh

$$\beta + a - \delta S - bS(0) = 0,$$

$$\beta + a - \delta S = 0,$$

$$\beta + a = \delta S,$$

$$S = \frac{\beta + a}{\delta} = S^0.$$

Dengan cara yang sama pada persamaan (3.2.4) diperoleh

$$e(0) - \delta R = 0,$$

$$0 = \delta R,$$

$$R = 0 = R^0.$$

Oleh karena itu, diperoleh titik equilibrium bebas penyakit

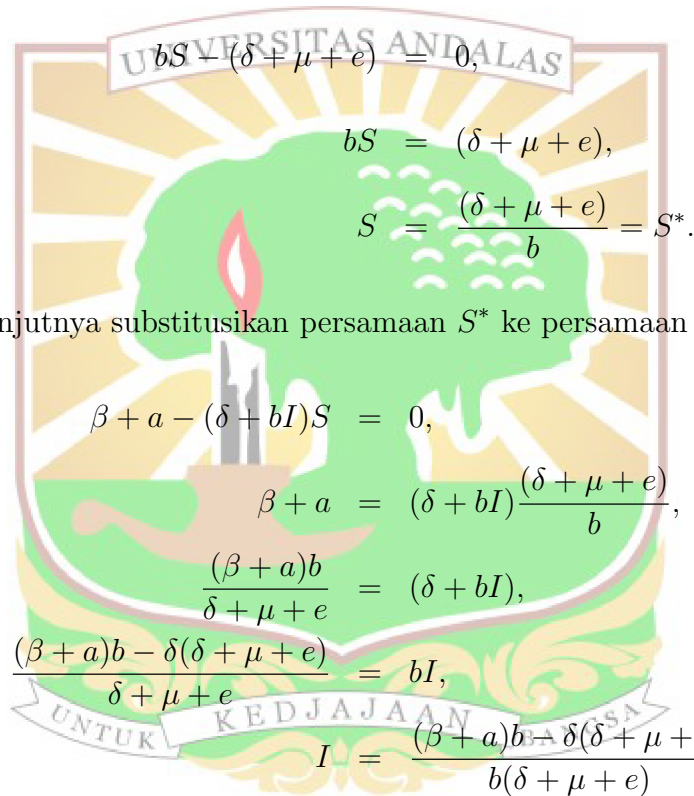
$$E^0 = (S^0, I^0, R^0) = \left(\frac{\beta + a}{\delta}, 0, 0 \right). \quad (3.2.5)$$

(b) Titik Ekuilibrium Endemik (*endemic equilibrium*)

Titik ekuilibrium endemik menyatakan kondisi dimana terdapat individu yang terinfeksi dalam populasi, ($I \neq 0$). Untuk menentukan titik ekuilibrium endemik, misalkan $S = S^*$, $I = I^*$, $R = R^*$.

Dari persamaan (3.2.3) dapat ditulis :

$$(bS - (\delta + \mu + e))I = 0,$$



$$bS - (\delta + \mu + e) = 0,$$

$$bS = (\delta + \mu + e),$$

$$S = \frac{(\delta + \mu + e)}{b} = S^*.$$

Selanjutnya substitusikan persamaan S^* ke persamaan (3.2.2)

$$\beta + a - (\delta + bI)S = 0,$$

$$\beta + a = (\delta + bI) \frac{(\delta + \mu + e)}{b},$$

$$\frac{(\beta + a)b}{\delta + \mu + e} = (\delta + bI),$$

$$\frac{(\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{\delta + \mu + e} = bI,$$

$$I = \frac{(\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{b(\delta + \mu + e)} = I^*.$$

Dari persamaan (3.2.4), persamaan R^* diperoleh sebagai berikut

$$eI = \delta R,$$

$$R = \frac{eI^*}{\delta} = R^*.$$

Diperoleh titik ekuilibrium endemik E^* yaitu

$$E^* = (S^*, I^*, R^*),$$

$$E^* = \left(\frac{(\delta + \mu + e)}{b}, \frac{(\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{b(\delta + \mu + e)}, \frac{eI^*}{\delta} \right). \quad (3.2.6)$$

2. Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

Bilangan reproduksi dasar (R_0) untuk sistem (3.1.1) ditentukan dengan menggunakan metode *Next Generation Matrix* pada persamaan kompartemen terinfeksi berikut

$$\frac{dI}{dt} = bSI - (\delta + \mu + e)I. \quad (3.2.7)$$

Misalkan $\mathbf{x} = [I]'$ menyatakan matriks transpose dari persamaan kompartemen yang terlibat dalam penyebaran penyakit. Berdasarkan (2.3.9), persamaan (3.2.7) dapat ditulis ke dalam bentuk

$$\dot{\mathbf{x}} = [bS - (\delta + \mu + e)]\mathbf{x}. \quad (3.2.8)$$

Dari persamaan (3.2.8), diperoleh matriks Jacobian J yaitu

$$J = [bS - (\delta + \mu + e)]. \quad (3.2.9)$$

Berdasarkan persamaan (2.3.8) diperoleh

$$J = \begin{bmatrix} bS \\ -(\delta + \mu + e) \end{bmatrix}.$$

Selanjutnya, untuk titik ekuilibrium bebas penyakit $E^0 = (S^0, I^0, R^0)$ pada persamaan (3.2.7), maka matriks Jacobian J dapat ditulis sebagai

$$\begin{aligned} J_{E^0} &= \begin{bmatrix} bS^0 \\ -(\delta + \mu + e) \end{bmatrix}, \\ &= \begin{bmatrix} \frac{b(\beta + a)}{\delta} \\ -(\delta + \mu + e) \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Karena $\Sigma = [-(\delta + \mu + e)]$ maka $\Sigma^{-1} = \left[-\frac{1}{\mu + \delta + e} \right]$, sehingga diper-

oleh *Next Generation Matrix* K :

$$\begin{aligned} K &= -T\Sigma^{-1}, \\ &= -\left[\frac{b(\beta + a)}{\delta}\right] \left[-\frac{1}{(\delta + \mu + e)}\right], \\ &= \left[\frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)}\right]. \end{aligned}$$

Karena *Next Generation Matrix* K merupakan matriks berukuran 1×1 maka bilangan reproduksi dasar dapat diperoleh langsung dari elemen matriks tersebut yaitu

$$R_0 = \frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)}. \quad (3.2.10)$$

3. Kestabilan Titik Ekuilibrium

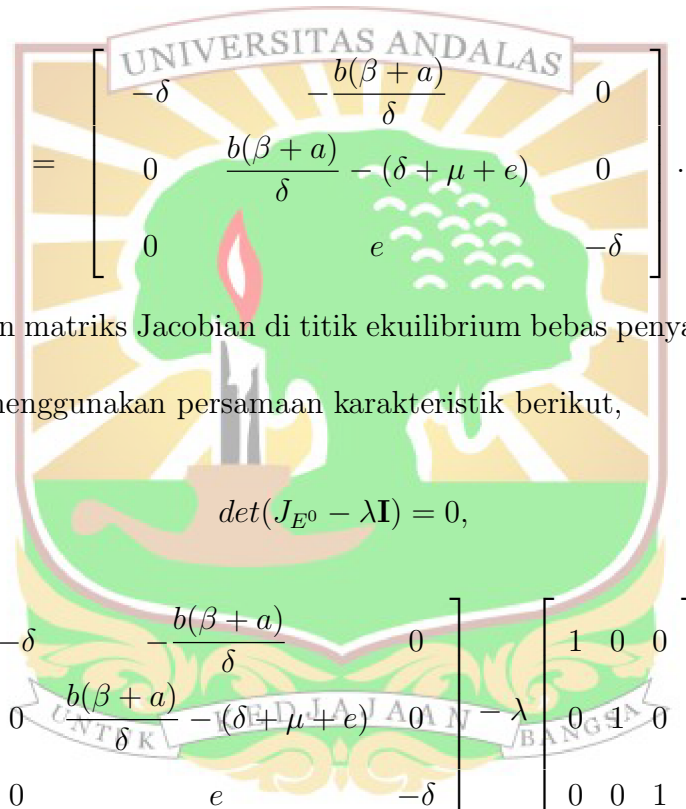
Model (3.1.1) merupakan sistem persamaan diferensial nonlinier. Oleh karena itu sistem tersebut dapat dilinierisasikan dengan menggunakan matriks Jacobian. Berdasarkan persamaan (2.3.5) matriks Jacobian dari sistem (3.1.1) adalah

$$J = \begin{bmatrix} -\delta - bI & -bS & 0 \\ bI & bS - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix}.$$

Berdasarkan Teorema 2.4, kestabilan lokal sistem pada titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik penyakit, ditentukan dengan menggunakan nilai eigen dari matriks Jacobian. Untuk titik ekuilibrium bebas penyakit E^0 maka matriks Jacobiannya

adalah,

$$\begin{aligned}
 J_{E^0} &= J_{\left(\frac{\beta+a}{\delta}, 0, 0\right)}, \\
 &= \begin{bmatrix} -\delta - b(0) & -\frac{b(\beta+a)}{\delta} & 0 \\ b(0) & \frac{b(\beta+a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix},
 \end{aligned}$$



$$= \begin{bmatrix} -\delta & -\frac{b(\beta+a)}{\delta} & 0 \\ 0 & \frac{b(\beta+a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix}.$$

Nilai eigen matriks Jacobian di titik ekuilibrium bebas penyakit diperoleh dengan menggunakan persamaan karakteristik berikut,

$$\det(J_{E^0} - \lambda \mathbf{I}) = 0,$$

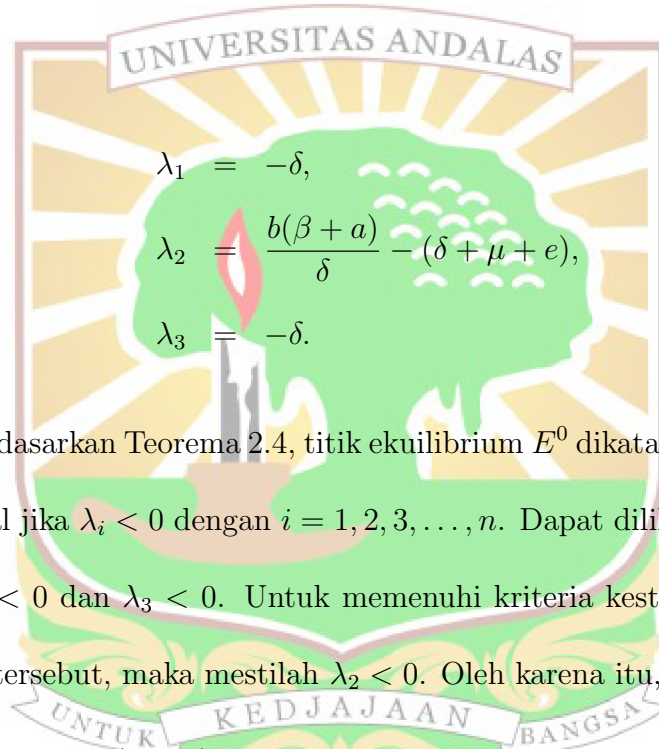
$$\det \left(\begin{bmatrix} -\delta & -\frac{b(\beta+a)}{\delta} & 0 \\ 0 & \frac{b(\beta+a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) = 0,$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\delta & -\frac{b(\beta+a)}{\delta} & 0 \\ 0 & \frac{b(\beta+a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \right) = 0,$$

$$\begin{vmatrix} -\delta - \lambda & -\frac{b(\beta + a)}{\delta} & 0 \\ 0 & \frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) - \lambda & 0 \\ 0 & e & -\delta - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

$$(-\delta - \lambda)\left(\frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) - \lambda\right)(-\delta - \lambda) = 0.$$

Oleh karena itu, nilai eigen dari matriks Jacobian J_{E^0} adalah sebagai berikut



$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -\delta, \\ \lambda_2 &= \frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e), \\ \lambda_3 &= -\delta. \end{aligned}$$

Berdasarkan Teorema 2.4, titik ekuilibrium E^0 dikatakan stabil asimtotik lokal jika $\lambda_i < 0$ dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Dapat dilihat bahwa nilai eigen $\lambda_1 < 0$ dan $\lambda_3 < 0$. Untuk memenuhi kriteria kestabilan (i) pada teorema tersebut, maka mestilah $\lambda_2 < 0$. Oleh karena itu,

$$\begin{aligned} \frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) &< 0, \\ \frac{b(\beta + a)}{\delta} &< (\delta + \mu + e), \\ \frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)} &< 1. \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (3.2.10), maka

$$R_0 < 1.$$

Untuk memenuhi kriteria kestabilan (ii) pada Teorema 2.4, maka $\lambda_2 > 0$.

Oleh karena itu,

$$\begin{aligned}
 \frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e) &> 0, \\
 \frac{b(\beta + a)}{\delta} &> (\delta + \mu + e), \\
 \frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)} &> 1, \\
 R_0 &> 1.
 \end{aligned} \tag{3.2.11}$$

Berdasarkan Teorema 2.4 dan Teorema 2.6 dapat disimpulkan bahwa, titik ekuilibrium bebas penyakit E^0 stabil asimtotik lokal jika $R_0 < 1$ dan tidak stabil jika $R_0 > 1$.

Selanjutnya, akan dianalisis kestabilan lokal titik ekuilibrium endemik E^* . Matriks Jacobian pada titik ekuilibrium endemik E^* adalah

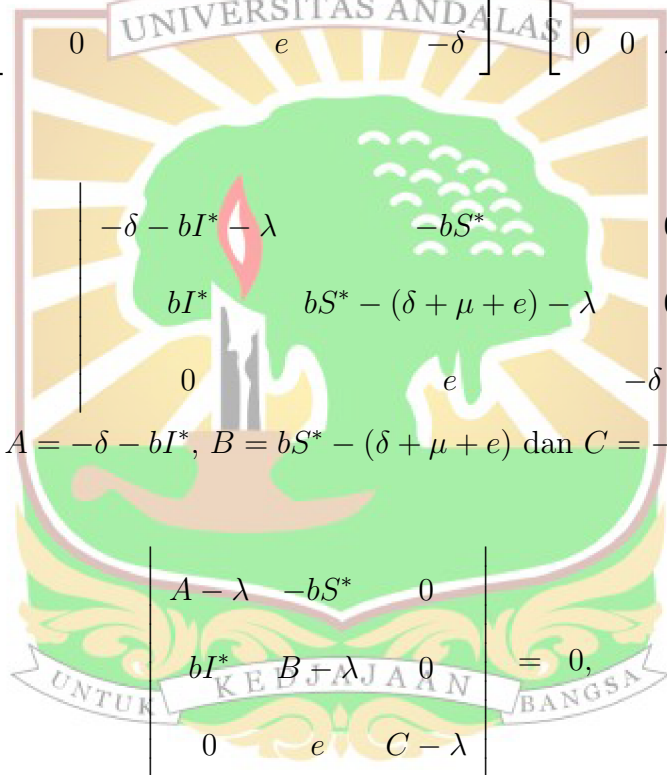
$$\begin{aligned}
 J_{E^*} &= J_{(S^*, I^*, R^*)}, \\
 &= \begin{bmatrix} -\delta - bI^* & -bS^* & 0 \\ bI^* & bS^* - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Sebagaimana langkah sebelumnya, nilai eigen dari matriks Jacobian di titik ekuilibrium endemik diperoleh dengan menggunakan persamaan karakteristik, yaitu

$$\det(J_{E^*} - \lambda \mathbf{I}) = 0,$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\delta - bI^* & -bS^* & 0 \\ bI^* & bS^* - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) = 0,$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\delta - bI^* & -bS^* & 0 \\ bI^* & bS^* - (\delta + \mu + e) & 0 \\ 0 & e & -\delta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \right) = 0,$$



$$\begin{vmatrix} -\delta - bI^* - \lambda & -bS^* & 0 \\ bI^* & bS^* - (\delta + \mu + e) - \lambda & 0 \\ 0 & e & -\delta - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Misalkan $A = -\delta - bI^*$, $B = bS^* - (\delta + \mu + e)$ dan $C = -\delta$, maka

$$\begin{vmatrix} A - \lambda & -bS^* & 0 \\ bI^* & B - \lambda & 0 \\ 0 & e & C - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

$$(C - \lambda) \begin{vmatrix} A - \lambda & -bS^* \\ bI^* & B - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

$$(C - \lambda) \left[(A - \lambda)(B - \lambda) - bI^*(-bS^*) \right] = 0,$$

$$(C - \lambda) \left[\lambda^2 + (-A - B)\lambda + AB + b^2 I^* S^* \right] = 0,$$

Pada ruas kiri, dengan mengalikan $(C - \lambda)$ ke persamaan

$[\lambda^2 + (-A - B)\lambda + AB + b^2 I^* S^*]$ diperoleh

$$\begin{aligned}
 & -[\lambda^3 - (A + B + C)\lambda^2 + (C(A + B) + AB + b^2 I^* S^*)\lambda \\
 & \qquad \qquad \qquad - ABC - Cb^2 I^* S^*] = 0,
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 & \lambda^3 + (-A - B - C)\lambda^2 + (C(A + B) + AB + b^2 I^* S^*)\lambda \\
 & \qquad \qquad \qquad - ABC - Cb^2 I^* S^* = 0.
 \end{aligned}$$

Kemudian persamaan karakteristik dari matriks J_{E^*} adalah,

$$\lambda^3 + X\lambda^2 + Y\lambda + Z = 0 \tag{3.2.12}$$

dimana

$$\begin{aligned}
 X &= -A - B - C, \\
 &= -(-\delta - bI^*) - (bS^* - (\delta + \mu + e)) - (-\delta), \\
 &= \delta + b \left(\frac{(\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{b(\delta + \mu + e)} \right) - b \left(\frac{(\delta + \mu + e)}{b} \right) + (\delta + \mu + e) + \delta, \\
 &= 2\delta + \left(\frac{(\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{(\delta + \mu + e)} \right) - (\delta + \mu + e) + (\delta + \mu + e), \\
 &= \left(\frac{2\delta(\delta + \mu + e) + (\beta + a)b - \delta(\delta + \mu + e)}{(\delta + \mu + e)} \right), \\
 &= \left(\frac{\delta(\delta + \mu + e) + (\beta + a)b}{(\delta + \mu + e)} \right),
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
Y &= (A + B)C + AB + b^2 S^* I^*, \\
&= (\delta^2 + \delta b I^* - \delta b S^* + \delta(\delta + \mu + e)) \\
&\quad + (-\delta - b I^*)(b S^* - (\delta + \mu + e)) + b^2 S^* I^*, \\
&= \delta^2 + \frac{\delta b(\beta + a) - \delta^2(\delta + \mu + e)}{(\delta + \mu + e)} + b(\beta + a) - \delta(\delta + \mu + e), \\
&= \frac{\delta b(\beta + a) + (\beta + a)(\delta + \mu + e)b - \delta(\delta + \mu + e)^2}{(\delta + \mu + e)},
\end{aligned}$$

serta

$$\begin{aligned}
Z &= -ABC - C b^2 I^* S^* \\
&= -(-\delta)(-\delta - b I^*)(b S^* - (\delta + \mu + e)) + \delta b^2 I^* S^*, \\
&= \delta(-\delta - b I^*) \left(\frac{b(\delta + \mu + e)}{b} - (\delta + \mu + e) \right) + \delta b^2 I^* S^*, \\
&= \delta (b(\beta + a) - \delta(\delta + \mu + e)).
\end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan Proposisi 2.5, maka kestabilan lokal di sekitar titik ekuilibrium endemik E^* dapat ditentukan dari persamaan karakteristik matriks Jacobian J_{E^*} . Berdasarkan proposisi tersebut, titik ekuilibrium endemik E^* juga stabil jika :

- (i). $X = \left(\frac{\delta(\delta + \mu + e) + (\beta + a)b}{(\delta + \mu + e)} \right) > 0$,
- (ii). $Y = \frac{\delta b(\beta + a) + (\beta + a)(\delta + \mu + e)b - \delta(\delta + \mu + e)^2}{(\delta + \mu + e)} > 0$,
- (iii). $Z = \delta (b(\beta + a) - \delta(\delta + \mu + e)) > 0$,
- (iv). $XY - Z > 0$,

dan tidak stabil jika sebaliknya. Pada (iii), jika $Z > 0$, maka

$$\delta(b(\beta + a) - \delta(\delta + \mu + e)) > 0,$$

$$b(\beta + a) > \delta(\delta + \mu + e),$$

$$\frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)} > 1,$$

$$R_0 > 1.$$

Berdasarkan Teorema 2.7, titik ekuilibrium endemik E^* stabil asimtotik lokal jika $R_0 > 1$ dan tidak stabil jika $Z < 0$ yang mengakibatkan $R_0 < 1$.

3.3 Simulasi Numerik

Pada subbab ini, model SIR dengan pengaruh PPLN dan imigrasi disimulasikan pada data kasus virus Omicron di Indonesia. Nilai parameter dan variabel ditetapkan sebagai berikut:

1. Nilai Variabel

Berdasarkan data Kependudukan Semester II tahun 2021, Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kementerian Dalam Negeri mencatat jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2021 mencapai 273.879.750 jiwa, sehingga $N = 273.879.750$. Jumlah kasus Omicron di Indonesia berdasarkan Databoks dari 1 Januari 2022 hingga 31 Maret 2022 sebanyak 9.466 kasus [5], maka $I = 9.466$. Jumlah individu pulih dari Omicron diasumsikan setengah yang terinfeksi semuanya sudah pulih, sehingga diperoleh $R = 4.000$ jiwa. Jumlah individu rentan dapat diperoleh dengan $N - I - R = S = 273.866.284$ jiwa.

2. Laju Kelahiran (β)

Laju kelahiran di Indonesia tahun 2021 sebesar $\beta = 17,3 \times 10^{-3}$ /tahun atau 17,3 per 1000 penduduk/tahun. Karena data simulasi dikonversi ke dalam satuan hari, maka

$$\beta = \frac{0,0173}{365} \approx 0,000047/\text{hari}.$$

3. Laju Kematian Alami (δ)

Laju kematian di Indonesia tahun 2021 menurut *Macrotrends Data* sebesar $\delta = 6,25 \times 10^{-3}$ /tahun atau 6,25 per 1000 penduduk [15]. Laju kematian perhari menjadi

$$\delta = \frac{0,00625}{365} \approx 0,000017/\text{hari}.$$

4. Laju Imigran dan PPLN (a)

Pada awal tahun 2022, Direktur Kemenkumham RI mencatat imigran yang melintas masuk Indonesia pada tanggal 1 sampai 15 Januari 2022 mencapai 39.269 orang, dan menurut juru bicara Satuan Tugas Covid-19 pelaku perjalanan luar negeri yang masuk ke Indonesia pada 1 sampai 15 Januari 2022 mencapai 123.313 orang, sehingga $a = 39.269 + 123.313 = 162.582$ [21]. Laju imigran dan PPLN yang masuk ke Indonesia dalam satuan hari adalah

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{jumlah imigran dan PPLN}}{\text{jumlah populasi rentan} \times 15 \text{ hari}}, \\ &= \frac{162.582}{273.866.284 \times 15} \approx 4 \times 10^{-5}/\text{hari}. \end{aligned}$$

5. Laju Penularan Omicron (b)

Laju penularan virus Omicron dapat ditentukan dengan rasio jumlah kasus yang terinfeksi dengan jumlah individu yang rentan dalam rentang waktu 90 hari. Laju penularan selama periode waktu tersebut adalah

$$b = \frac{\text{jumlah kasus 31 Maret 2022} - \text{jumlah kasus 1 Januari 2022}}{\text{jumlah kasus 1 Januari 2022} \times \text{jumlah rentan} \times 90},$$
$$= \frac{9.466 - 258}{258 \times 273.866.284 \times 90} \approx 1,4 \times 10^{-10} / \text{hari}.$$

6. Laju Kesembuhan Omicron (e)

Data laju kesembuhan virus Omicron di Indonesia masih sangat minim dan sulit ditemukan. Oleh karena itu pada penelitian ini, penulis mengasumsikan laju kesembuhan virus Omicron sama dengan laju kesembuhan virus Covid-19 yaitu sebesar $e = 0,0006667$ /hari [20].

7. Laju Kematian Omicron (μ)

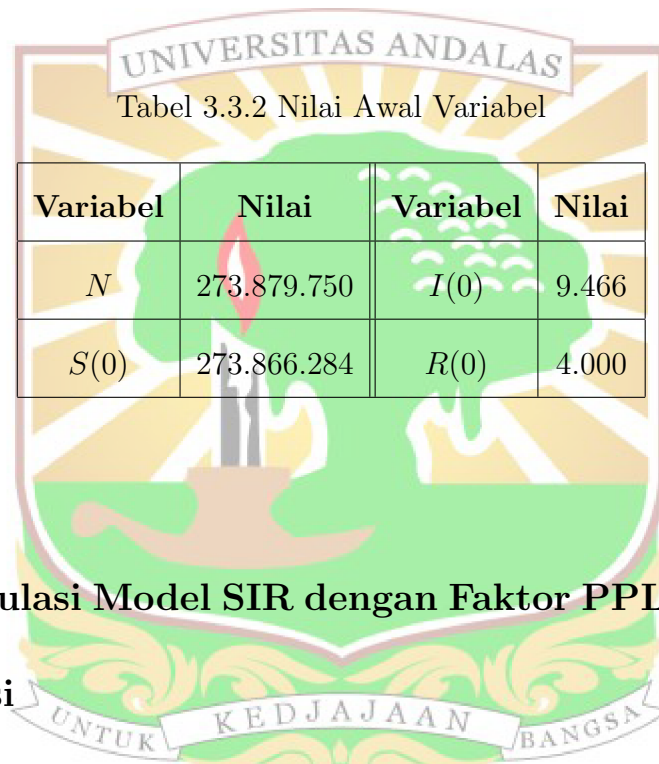
Banyaknya kematian yang disebabkan oleh virus Omicron adalah 3 orang dalam rentang waktu 3 bulan, sehingga laju kematiannya diperoleh dari perbandingan antara banyak kasus kematian/hari dengan banyak kasus terinfeksi, yaitu

$$\mu = \frac{3}{9.028 \times 90} \approx 3.7 \times 10^{-6}.$$

Nilai-nilai parameter serta nilai awal variabel dinyatakan kembali dalam Tabel 3.3.1 dan Tabel 3.3.2.

Tabel 3.3.1 Nilai Parameter

| Parameter | Nilai | Parameter | Nilai |
|-----------|-----------------------------|-----------|----------------|
| β | 0,000047/hari | μ | 0,0000037/hari |
| b | $1,4 \times 10^{-10}$ /hari | δ | 0,000017/hari |
| a | 0,00004/hari | e | 0,0006667/hari |



Tabel 3.3.2 Nilai Awal Variabel

| Variabel | Nilai | Variabel | Nilai |
|----------|-------------|----------|-------|
| N | 273.879.750 | $I(0)$ | 9.466 |
| $S(0)$ | 273.866.284 | $R(0)$ | 4.000 |

3.3.1 Simulasi Model SIR dengan Faktor PPLN dan Imigrasi

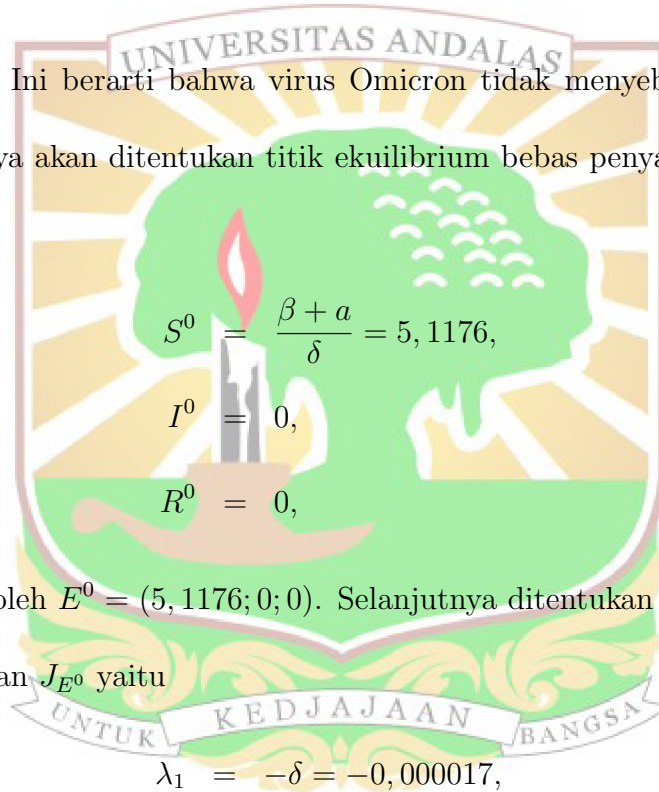
Pada subbab 3.3.1, telah diperoleh nilai masing-masing parameter dan variabel. Selanjutnya, substitusikan nilai-nilai tersebut ke sistem (3.1.1), sehingga model SIR virus Omicron dengan pengaruh PPLN dan imigrasi di Indonesia menjadi

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= 0,87 \times 10^{-4} - 17 \times 10^{-6}S - 1,4 \times 10^{-10}SI, \\
 \frac{dI}{dt} &= 1,4 \times 10^{-10}SI - 0.0006874I, \\
 \frac{dR}{dt} &= 0,0006667I - 17 \times 10^{-6}R,
 \end{aligned}
 \tag{3.3.1}$$

dengan nilai awal $S(0) = 273.866.284$, $I(0) = 9.466$ dan $R(0) = 4.000$. Bilangan reproduksi dasar ditentukan dengan mensubstitusikan parameter ke persamaan (3.2.10) diperoleh

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{b(\beta + a)}{\delta(\delta + \mu + e)}, \\ &= \frac{1,4 \times 10^{-10}(0,000047 + 0,00004)}{0,000017(0,000017 + 0,0000037 + 0,0006667)}, \\ &= 1 \times 10^{-6}. \end{aligned}$$

Nilai $R_0 < 1$. Ini berarti bahwa virus Omicron tidak menyebar pada populasi. Selanjutnya akan ditentukan titik ekuilibrium bebas penyakit dari sistem (3.3.1), yaitu



sehingga diperoleh $E^0 = (5,1176; 0; 0)$. Selanjutnya ditentukan nilai eigen dari matriks Jacobian J_{E^0} yaitu

$$\lambda_1 = -\delta = -0,000017,$$

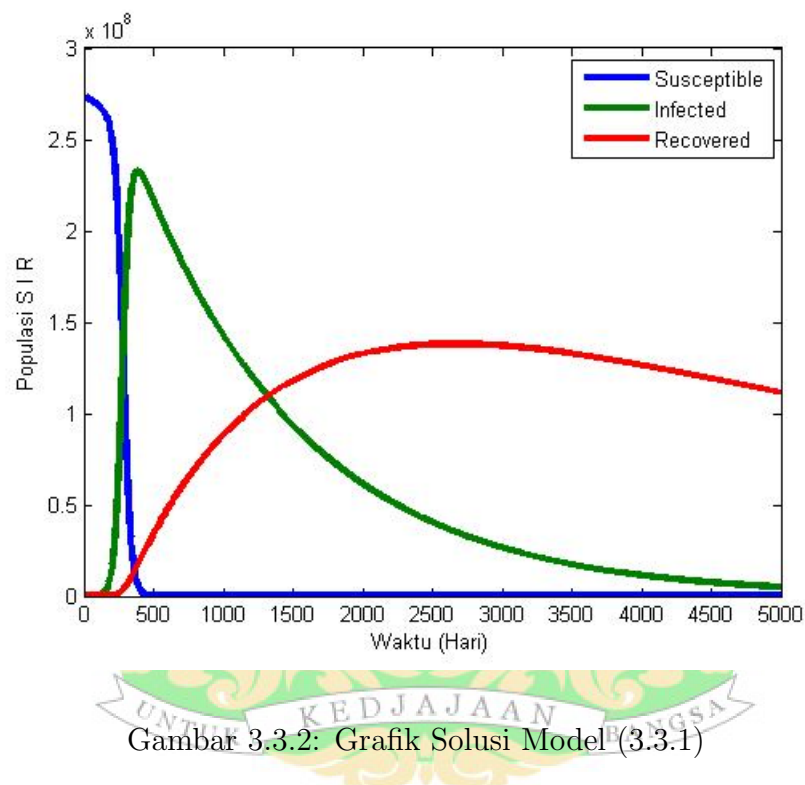
$$\lambda_3 = -\delta = -0,000017,$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{b(\beta + a)}{\delta} - (\delta + \mu + e), \\ &= \frac{1,4 \times 10^{-10}(0,000047 + 0,00004)}{0,000017} - (0,000017 + 0,0000037 + 0,0006667), \\ &= -1.16 \times 10^{-8}. \end{aligned}$$

Pada titik ekuilibrium bebas penyakit $E^0 = (5,1176; 0; 0)$, semua nilai eigen bernilai negatif. Oleh karena itu, titik ekuilibrium bebas penyakit E^0

stabil asimtotik.

Simulasi untuk kelompok rentan, terinfeksi dan pulih ditunjukkan pada gambar berikut. Gambar 3.3.2 menunjukkan bahwa populasi S menurun dan jumlah individu yang rentan tersebut menuju titik ekuilibrium bebas penyakitnya. Populasi I akan mengalami peningkatan seiring dengan populasi R yang juga lama-kelamaan akan mengalami peningkatan.



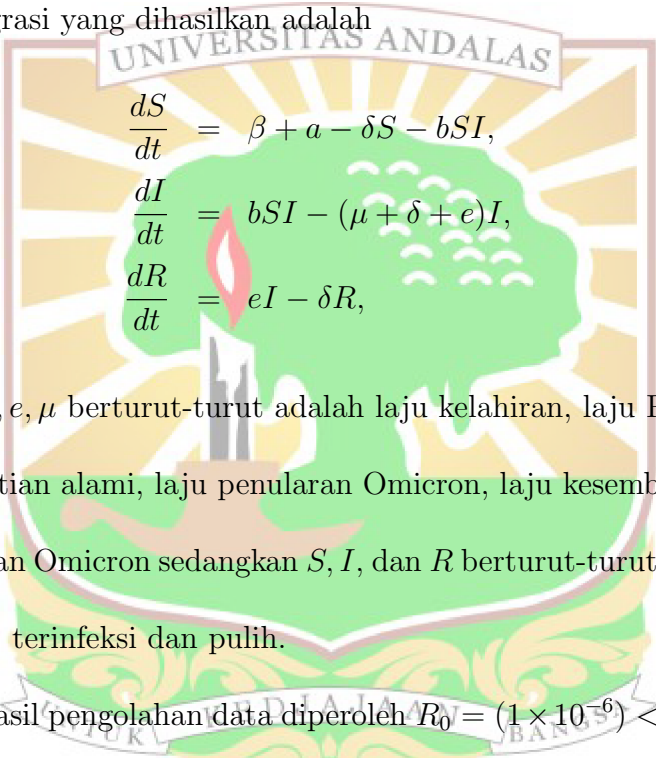
Gambar 3.3.2: Grafik Solusi Model (3.3.1)

Grafik solusi Gambar 3.3.2, memperlihatkan bahwa titik ekuilibrium bebas penyakit dari sistem (3.3.1), $E^0 = (5,1176; 0; 0)$, stabil asimtotik lokal dengan bilangan reproduksi dasarnya adalah $R_0 = (1 \times 10^{-6}) < 1$ yang berarti bahwa virus Omicron belum menyebar dalam populasi.

BAB IV

KESIMPULAN

Model *SIR* penyebaran virus Omicron di Indonesia dengan pengaruh PPLN dan Imigrasi yang dihasilkan adalah


$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \beta + a - \delta S - bSI, \\ \frac{dI}{dt} &= bSI - (\mu + \delta + e)I, \\ \frac{dR}{dt} &= eI - \delta R,\end{aligned}\tag{4.0.1}$$

dengan $\beta, a, \delta, b, e, \mu$ berturut-turut adalah laju kelahiran, laju PPLN dan imigran, laju kematian alami, laju penularan Omicron, laju kesembuhan Omicron dan laju kematian Omicron sedangkan $S, I,$ dan R berturut-turut adalah jumlah individu rentan, terinfeksi dan pulih.

Dari hasil pengolahan data diperoleh $R_0 = (1 \times 10^{-6}) < 1$ dengan titik ekuilibrium bebas penyakit $E^0 = (5, 1176; 0; 0)$. Oleh karena itu secara matematik dapat disimpulkan bahwa virus Omicron tidak menyebar dalam populasi. Kemudian berdasarkan analisis model, disimpulkan bahwa jika $R_0 < 1$, maka titik ekuilibrium bebas penyakit E^0 untuk model *SIR* (4.0.1) adalah stabil asimtotik lokal dan tidak stabil jika $R_0 > 1$. Selain itu jika $R_0 > 1$, maka titik ekuilibrium endemik E^* stabil asimtotik lokal dan tidak stabil jika $R_0 < 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bastin, G. 2018. *Lectures on Mathematical Modeling of Biological Systems*
- [2] Bonita, R., R. Beaglehole dan T. Kjellstrom. 2006. *Basic Epidemiology*.
World Health Organization, China
- [3] Boyce, E. W. dan R.C. DiPrima. 2001. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems* Seventh Edition. John Wiley and Sons, New York
- [4] Campbell, S. L. dan R. Haberman. 2008. *Introduction of Differential Equations with Dynamical System*. Princeton University Press, New Jersey
- [5] Databoks. 2022. Update : Omicron Total di Indonesia Ada 9786 Kasus pada Selasa, 05 April 2022.
<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/04/05/update-omicron-total-di-indonesia-ada-9786-kasus-selasa-05-april-2022>,.
- [6] Diederik, J. dkk. 2021. SIR Model for Assessing the Impact of the Advent of Omicron and Mitigating Measures on Infection Pressure and Hospitalization Needs. *Journal of medRxiv*
- [7] Diekmann, O., J. A. P. Heesterbeek dan J.A.J. Metz. 1990. On The Definition and The Computation of The Basic Reproductive Ratio R_0 in Models

for Infectious Disease in Heterogeneous Populations. *Journal of Mathematical Biology*. Vol. **28** : 365-382

[8] Diekmann, O., J.A.P. Heesterbeek dan M.G. Roberts. 2010. The Construction of Next Generation Matrices for Compartmental Epidemic Models. *J. R. Soc. Interface*. Vol **7**: 873-885

[9] Fisher, S.D. 1990. *Complex Variables Second Edition*. Dover Publications Inc, New York

[10] Grass, D., dkk. 2008. *Optimal Control of Nonlinear Processes with Applications in Drugs, Corruption and Terror*. Springer, Berlin

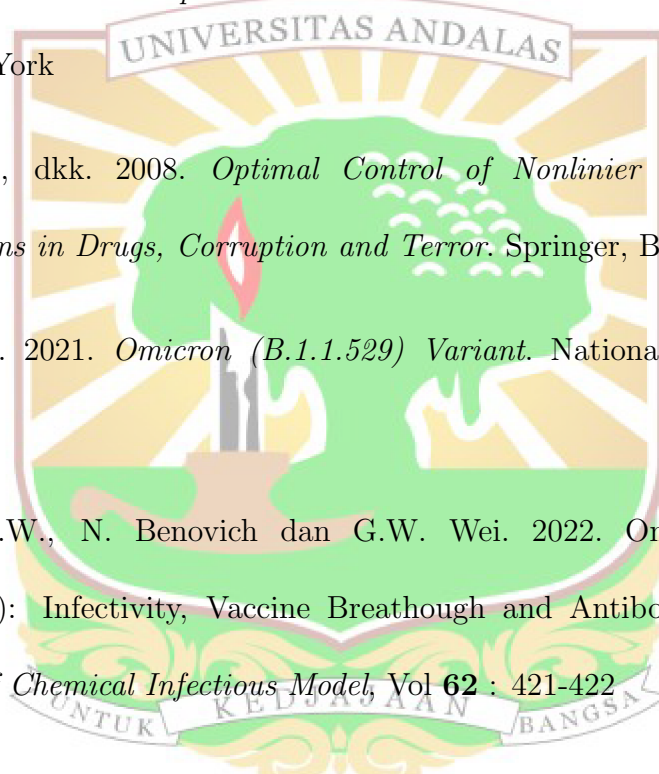
[11] Hock, S.S. 2021. *Omicron (B.1.1.529) Variant*. National University of Singapore

[12] Jiahui, R.W., N. Benovich dan G.W. Wei. 2022. Omicron Variant (B.1.1.529): Infectivity, Vaccine Breathough and Antibody Resistance. *Journal of Chemical Infectious Model*, Vol **62** : 421-422

[13] Kelley, W. G. dan A. C. Peterson. 2010. *The Theory of Differential Equations Classical and Qualitative* Second Edition. Springer, New York

[14] Lynch, S. 2017. *Dynamical System with Applications Using Mathematics*. Birkhauser, Boston

[15] Macrotrends. Tanpa tahun. Indonesia Death Rate 1950-2022. <https://www.macrotrends.net/countries/IDN/indonesia/death-rate>

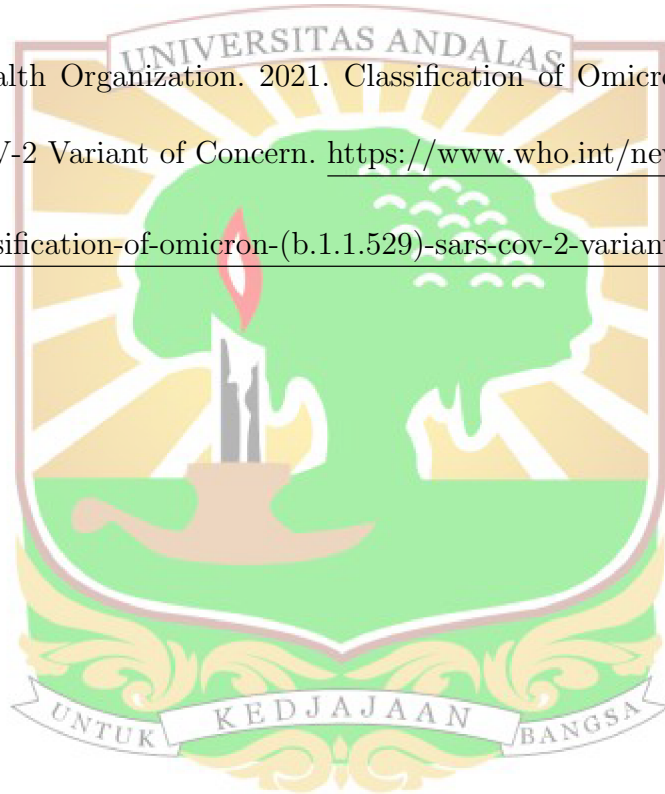


- [16] Perko, L. 1991. *Differential Equations and Dynamical Systems*. Springer-Verlag, New York
- [17] Redjeki, S. 2009. *Diklat Kuliah Metode Matematika*. ITB, Bandung
- [18] Robertson, L., E. Nancy and O. JoAnn. 2022. *COVID-19 Pandemic: World in Turmoil*. Train Education, California
- [19] Rost, G. dan W. Jianhong, 2008. SEIR Epidemiological Model with Varying Infectivity and Infinite Delay. *Mathematical Biosciences and Engineering*. Vol. 5: 389-402
- [20] Side, S., dkk. 2022. Stability Analysis and Numerical Simulation of Seir Model for Pandemic Covid19 Spread in Indonesia. *J. Chaos, Soliton and Frac*. Vol 139
- [21] Tondi, A. 2022. 14,5 Persen Pelaku Perjalanan Luar Negeri Masuk Jakarta Positif Omicron. <https://mediaindonesia.com/humaniora/465176/145-pelaku-perjalanan-luar-negeri-masuk-jakarta-positif-omikron>
- [22] Tu, P. N. V. 1994. *Dynamical Systems an Introduction With Applications in Economics and Biology Second Revised and Enlarged Edition*. Springer Verlag, Berlin
- [23] VOI. 2021. The First Case Of Omicron In Indonesia Allegedly Of Indonesian Citizens Returning From Nigeria.

<https://voi.id/en/news/115433/kasus-pertama-omicron-di-indonesia13>
[diduga-dari-wni-kembali-dari-nigeria](#)

[24] Wibowo, A. 2021. SIR Modeling the Dual Disaster Impacts of Omicron B.1.1.529 and Natural Disaster Events on Simulated 6 Months (December 2021 – May 2022) Healthcare System Resiliences in Fragile SE Asia Ring of Fire Ecosystems. *Journal of medRxiv*

[25] World Health Organization. 2021. Classification of Omicron (B.1.1.529): SARS-CoV-2 Variant of Concern. [https://www.who.int/news/item/26-11-2021-classification-of-omicron-\(b.1.1.529\)-sars-cov-2-variant-of-concern](https://www.who.int/news/item/26-11-2021-classification-of-omicron-(b.1.1.529)-sars-cov-2-variant-of-concern)



LAMPIRAN

Lampiran 1. Bahasa Program MATHLAB untuk Gambar 3.3.2

```
function dy = omicron(t0,y,b,d,be,a,e,mu)

dy = zeros(3,1); dy(1) = (be+a) - d*y(1) - b*y(1)*y(2);

dy(2) = b*y(1)*y(2)-(e+d+mu)*y(2);

dy(3) = e*y(2) - d*y(3);

end

clear close clc

be = 0.000047; d = 0.000017; b = 1.4 * 10-10; e = 0.0006667; a=0.00004;

mu=0.0000037;

t0 = [0:0.1:5000];

y0(1) = 273866976;

y0(2) = 9466;

y0(3) = 4000;

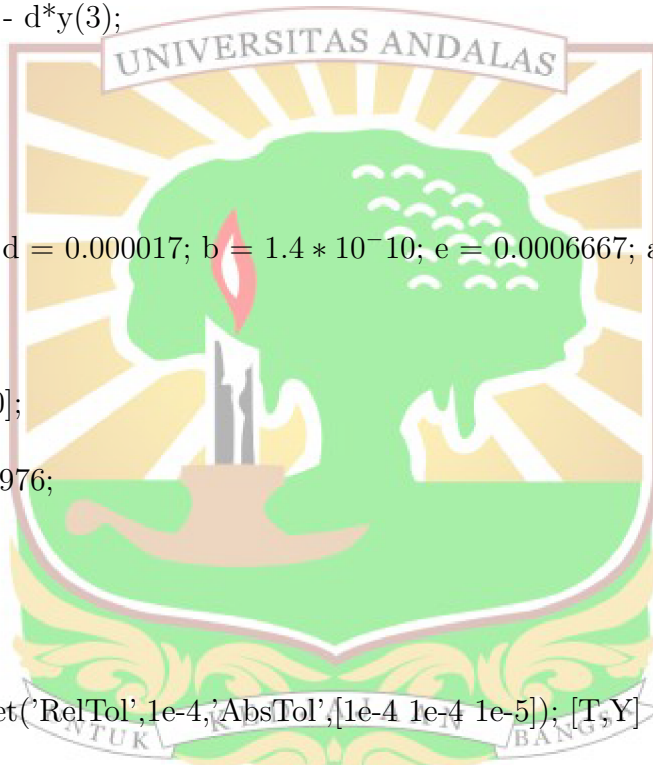
options = odeset('RelTol',1e-4,'AbsTol',[1e-4 1e-4 1e-5]); [T,Y] =

ode45(@(t,y)omicron(t,y,b,d,be,a,e,mu),t0,y0,options);

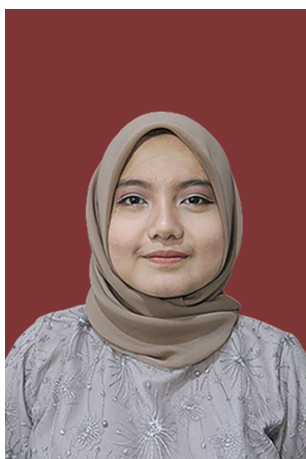
plot(T,Y(:,1),T,Y(:,2),T,Y(:,3),'LineWidth',3);

legend('Susceptible','Infected','Recovered'); title('Model SIR '); xlabel('Waktu

(Bulan)'),ylabel('Kasus');
```



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Indah Fitrialita, lahir di Jambi pada 15 Januari 2000. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara dari pasangan ayahanda Damanhuri dan ibunda Deswita. Penulis menamatkan pendidikan di SD Negeri 66 Kota Jambi tahun 2012, SMP Negeri 17 Kota Jambi tahun 2015, dan SMA Negeri 1 Kota Jambi tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Mate-

matika Fakultas MIPA Universitas Andalas melalui jalur Mandiri. Selama berkuliah di FMIPA Universitas Andalas, penulis aktif sebagai Koordinator Informasi dan Komunikasi IMKJ UNAND pada tahun 2019-2020 dan anggota HIMATIKA UNAND pada tahun 2019-2022. Pada pertengahan 2021, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata Tematik (KKN-T) di Andalas, Kecamatan Padang Timur, Padang selama kurang lebih 40 hari.

Berkat kurnia dan ridho Allah Yang Maha Kuasa, penulis dapat menyelesaikan studi di Universitas Andalas selama kurang lebih 3 tahun 11 bulan dan meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada tanggal 8 Juni 2022.