

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

KENDALI OPTIMAL PENYEBARAN COVID-19 MODEL SEIR DI INDONESIA

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Matematika

Oleh:

NOVELA QURRATA AINI
11850422205



UIN SUSKA RIAU

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2023



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

LEMBAR PERSETUJUAN

KENDALI OPTIMAL PENYEBARAN COVID-19 MODEL SEIR DI INDONESIA

TUGAS AKHIR

oleh:

NOVELA QURRATA AINI
11850422205

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan tugas akhir
di Pekanbaru, pada tanggal 17 Juli 2023

Ketua Program Studi

Wartono, M.Sc.
NIP. 19730818 200604 1 003

Pembimbing

Nilwan Andiraja, M.Sc.
NIP. 19840803 201101 1 005

UIN SUSKA RIAU



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PENGESAHAN

KENDALI OPTIMAL PENYEBARAN COVID-19 MODEL SEIR DI INDONESIA

TUGAS AKHIR

oleh:

NOVELA QURRATA AINI
11850422205

Telah dipertahankan di depan sidang dewan penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 17 Juli 2023

Pekanbaru, 17 Juli 2023

Mengesahkan

Ketua Program Studi

Wartono, M.Sc.

NIP. 19730818 200604 1 003

Dekan

Dr. Hartono, M.Pd.

NIP. 19640301 199203 1 003

DEWAN PENGUJI

Ketua : Corry Corazon Marzuki, M.Si.

Sekretaris : Nilwan Andiraja, M.Sc.

Anggota I : Wartono, M.Sc.

Anggota II : Irma Suryani, M.Sc.



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperbolehkan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya bisa dilakukan atas izin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah yaitu menyebutkan sumbernya.

Penambahan atau penerbitan sebagian atau seluruh tugas akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan tugas akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal peminjaman.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Novela Qurrata Aini
NIM : 11850422205
Tempat/Tgl. Lahir : Sarik Alahan Tigo/24 November 1999
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Tugas Akhir : Kendali Optimal Peyebaran Covid-19 Model SEIR
di Indonesia

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan Skripsi ini dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Skripsi saya ini, saya menyatakan bebas plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 25 Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Novela Qurrata Aini
NIM.11850422204

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



LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Setiap perjalanan dalam kehidupan bagaikan serpihan-serpihan yang digabung menjadi satu. Salah satu serpihan yang telah diambil lalu dirangkai, entah itu takdir atau pilihan yang telah dijalankan harus diselesaikan. Penyelesaian bisa berbentuk baik atau buruk, apapun yang dialami yakinlah bahwa perjalanan itu akan selesai pada waktunya. Setiap perjalanan yang dilalui oleh setiap orang pasti berbeda-beda. Namun tanpa kehendak Allah SWT diri ini bukanlah apa-apa. Seringkali diri ini terlalu sombong menganggap segala hasil pencapaian berkat kerja keras diri sendiri. Padahal jika dicabut salah satu nikmat yang diberikan-Nya diri ini bukanlah apa-apa.

Sebuah karya kecilku ini ku persembahkan untuk

•• Orang Tua Tercinta ••

Terima kasih ayah, telah berjuang dan mendoakan kakak hingga kakak bisa menggapai gelar sarjana. Terima kasih untuk ibu yang telah membesarkan dan mendidik kakak hingga menjadi pribadi yang bertanggung jawab, serta membentuk kakak menjadi sosok manusia yang tidak mudah menyerah.

•• Keluarga Tersayang ••

Teruntuk adik-adik ku (Septian, Sania, Akila) terima kasih telah menjadi salah satu alasan kakak untuk menyelesaikan perkuliahan ini. Dan teruntuk Keluarga besar ibu serta ayah, terima kasih atas semangat dan dukungan yang diberikan.

•• Dosen Pembimbing Tugas Akhir ••

Terima kasih kepada Bapak Nilwan yang telah bersedia meluangkan waktunya serta membimbing saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

•• Diri Sendiri dan Sahabat Tersayang ••

Teruntuk diriku terima kasih telah berjuang dan bertahan dalam menyelesaikan tahap akhir perkuliahan ini meski diguncang dengan kebimbangan dan kekhawatiran. Kepada Rifa Salafina yang terus mendorongku untuk menyelesaikan perkuliahan serta menjadi tempat pulang yang hangat, ku ucapkan terima kasih.

Alhamdulillahirobbil'alamin

–NOVEA QURRATA AINI–

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

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

KENDALI OPTIMAL PENYEBARAN COVID-19 MODEL SEIR DI INDONESIA

NOVELA QURRATA AINI
NIM : 11850422205

Tanggal sidang : 17 Juli 2023

Tanggal wisuda :

Program Studi Matematika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Covid-19 (*Coronavirus Disease*) merupakan penyakit yang menyerang sistem pernafasan akibat infeksi SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome 2*). Upaya mengatasi pandemi Covid-19, ilmuwan matematika mengembangkan berbagai model matematika untuk mempelajari karakteristik epidemi wabah, memprediksi penyebaran virus serta menawarkan berbagai langkah intervensi. Model matematika dapat membantu mempengaruhi sistem dinamik penyebaran penyakit maupun virus Covid-19. Penelitian ini menerapkan model dinamik SEIR pada penyebaran Covid-19 dengan langkah pertamanya membentuk fungsi hamilton serta fungsi tujuan, untuk mendapatkan kontrol optimal, dan menentukan kontrol optimal menggunakan prinsip minimum Pontryagin dan diselesaikan secara numerik menggunakan program Matlab berdasarkan metode *sweep forward-backward Runge Kutta* orde 4. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan kontrol optimal dari model SEIR penyebaran Covid-19 dengan menerapkan strategi kontrol berupa vaksinasi individu rentan dan tes swab untuk kelas terinfeksi. Subjek penelitian ini adalah penduduk Indonesia. Dari hasil analisis simulasi, didapat bahwa dengan melakukan tes swab pada populasi *infected* yang mengakibatkan berkurangnya jumlah populasi yang terinfeksi sehingga dapat mengurangi penyebaran Covid-19 di Indonesia.

Kata Kunci: *infected, Kontrol Optimal, Model SEIR, Covid-19*

OPTIMAL CONTROL OF THE SPREAD OF COVID-19 WITH THE SEIR MODEL IN INDONESIA

NOVELA QURRATA AINI
NIM : 11850422205

Date of Final Exam: July 17th 2023
Date of Graduation:

Department of Mathematics
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru - Indonesia

ABSTRACT

Covid-19 (Coronavirus Disease) is a disease that attacks the respiratory system due to infection with SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome 2). Effort to overcome the Covid-19 pandemic, mathematical scientists have developed various mathematical models to study the characteristics of epidemic outbreaks, predict the spread of the virus and offer various intervention steps. Mathematical models can help influence the dynamics of the spread of disease and the Covid-19 virus. The research applies the SEIR dynamic model to the spread of Covid-19 with the first step forming the Hamilton function and the objective function, to obtain optimal control, and determine the optimal control using the Pontryagin minimum principle and solved numerically using the Matlab program based on the Kutta Range four sweep forward-backward method. This study aims to analyze and optimally control the SEIR model for the spread of Covid-19 by implementing control strategies in the form of vaccinating susceptible individuals and swab tests for infected classes. The subject of this research is a resident of Indonesia. From the results of the simulation analysis, it was found that carrying out a swab test on the infected population resulted in a reduction in the number of infected pupils so that it could reduce the spread of Covid-19 in Indonesia.

Keywords: *infected, Optimal Control, SEIR Model, Covid-19*

UIN SUSKA RIAU



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur Alhamdulillah tercurahkan limpahan karunia Allah Subhanahu Wata'ala atas segala anugerah dan rahmat yang diberikan-Nya. Tidak lupa shalawat serta salam kepada Rasulullah Muhammad Shalallaahu Alaihi Wassalam, sehingga penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir sebagai pemenuhan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sultan Syarif Kasim Riau dengan judul **“Kendali Optimal Penyebaran Covid-19 Model SEIR di Indonesia”**.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Hairunas, M.Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Wartono, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi sekaligus sebagai Penguji I yang telah memberikan kritikan dan saran dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Nilwan Andiraja, S.Pd., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau sekaligus sebagai Pembimbing yang telah meluangkan waktu kepada penulis, mengarahkan, mendukung dan membimbing penulis dengan penuh kesabarannya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Ibuk Elfira Safitri, S.Si., M.Mat selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan dukungan serta arahan kepada penulis selama perkuliahan.
6. Ibuk Corry Corazon Marzuki, M.Si, selaku Ketua Sidang yang telah memberikan kritikan dan saran dalam penulisan Tugas Akhir ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

7. Ibuk Irma Suryani, M.Sc., selaku Penguji 2 yang telah memberikan kritikan serta saran kepada penulis.
8. Semua Bapak dan Ibu dosen Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama kuliah.
9. Kedua orang tuaku tersayang, ayahanda Wirzal dan ibunda Nelmaitis serta adik-adikku Septian Ahmadi Putra, Sania Junila dan Akila Azzahwa yang senantiasa melimpahkan kasih, sayang, perhatian, motivasi dan doa tulus serta tak lupa materi yang tak terhingga.
10. Keluarga besar dari pihak ayah dan ibu yang selalu memberi semangat, dukungan serta nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman penulis khususnya Vina Septiani, Nur Rahma Pitri, Lisa Utami, Febri Nursakinah, Rahmatul Khairani, Dini Atika Sari, Dyan Elfita Sari, Rifa Salafin, Amalya Kumala Sari, yang selalu memberi semangat dan motivasi kepada penulis.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak atas kebaikan hatinya, semoga Allah membalas segala kebaikan dengan imbalan yang lebih baik. Besar harapan penulis semoga tugas akhir ini bermanfaat serta dapat menambah pengetahuan keilmuan dan sumbangsih pendapat bagi pihak yang membutuhkan. Akhir kata, penulis menyadari akan kekurangan pada tugas akhir ini, oleh sebab itu di harapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak, guna perbaikan di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pekanbaru, 17 Juli 2023

NOVELA OURRATA AINI
11850422205



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Virus Covid-19	5
2.2 Persamaan Diferensial	5
2.3 Kendali Optimal Waktu Kontinu	6
2.4 Model Matematika SEIR	6
2.5 Prinsip Minimum Pontryagin	7
2.6 Metode Runge Kutta 4	8
2.7 Kendali Optimal Penyebaran Covid-19 pada Model SEIR	10



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR SIMBOL

N	: Total Populasi
S	: Populasi rentan <i>susceptible</i>
E	: Populasi terpapar <i>exposed</i>
I	: Populasi terinfeksi <i>infected</i>
R	: Populasi telah sembuh <i>recovered</i>
μ	: tingkat kematian alami individu
α	: <i>rate</i> penularan S menjadi E
β	: <i>rate</i> penambahan gejala dari E ke I
δ	: <i>rate</i> kesembuhan individu terinfeksi dari I ke R
μ_c	: <i>rate</i> kematian individu akibat Covid-19
u	: jumlah orang yang di tes swab
v	: Laju vaksinasi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 diagram penyebaran Covid-19 model SEIR.....	10
Gambar 4.1 Simulasi Kelas Individu Terinfeksi Dengan dan Tanpa Kendali...	23
Gambar 4.2 Simulasi Kelas Individu rentan Dengan dan Tanpa Kendali.....	24
Gambar 4.3 Simulasi Kelas Individu sembuh Dengan dan Tanpa Kendali	24

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



SEIR yang dibagi kedalam beberapa kelompok *susceptible*(S) yaitu individu yang rentan terkena Covid-19, *exposed*(E) yaitu individu yang terpapar dan tidak memiliki gejala ataupun bergejala ringan tetapi belum terdeteksi, *infected*(I) yaitu individu yang terinfeksi penyakit dan sudah terdeteksi, dan *recovered*(R) yaitu individu yang telah sembuh dari Covid19.

Pada penelitian [6] juga dibahas suatu sistem penyebaran Covid-19 dimana populasi terpapar diberikan control berupa *testing*/pemeriksaan. *Testing* yang dilakukan secara optimal dapat menekan laju penyebaran Covid-19 karena dapat meminimalkan jumlah orang yang terpapar, pada [6] digunakan prinsip minimum Pontryagin untuk mendapatkan kontrol yang optimal sehingga penyebaran Covid dapat berkurang. Dari penjelasan diatas, penulis tertarik untuk melakukan pengembangan penelitian dari [5] dengan memakai prinsip minimum Pontryagin pada model[6]. Kemudian diberi kendali optimum untuk pengobatan pada kelas *recovered*(R). Sehingga penulis mengambil judul “**Kendali Optimal Penyebaran Covid-19 dengan Model SEIR di Indonesia**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas, maka untk rumusan masalahnya adalah “Bagaimana kendali optimal untuk mengendalikan penyebaran Covid-19 pada kelas *Infected* (Terinfeksi) untuk model SEIR di Indonesia?”.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka terdapat beberapa batasan-batasan agar tujuan dari penelitian ini dapat dicapai. Batasan masalah masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Pada tugas akhir ini hanya memakai model SEIR, model SEIR yang dibagi kedalam beberapa kelompok *susceptible*(S) *exposed*(E), *infected*(I) dan *recovered*(R) dengan diberi kendali pengobatan pada kelompok *exposed*(E).
2. Waktu pada fungsi tujuan merupakan waktu berhingga.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah mendapatkan kendali optimal untuk mengendalikan tingkat penyebaran Covid-19 pada kelas *Infected* (Terinfeksi) dengan model SEIR di Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat pada bidang pemodelan matematika mengenai analisis kestabilan model epidemi Susceptible Exposed-Infected-Recovered (SEIR) pada penyebaran COVID-19 serta penerapan dan simulasi model menggunakan metode Runge-Kutta orde empat dalam menangani COVID-19, serta dapat memberikan informasi sekaligus dijadikan dasar dalam mengatasi COVID-19 di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini merupakan ulasan dari masing-masing bab yang terdiri dari pokok-pokok permasalahan yang akan dibahas secara terstruktur. Sistematika penulisan tugas akhir ini dapat diulas sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas mengenai gambaran umum isi tugas akhir yang meliputi, latar belakang masalah yang merupakan uraian atau ulasan dari kendali optimal dari suatu penyakit, kemudian, rumusan masalah, batasan dari permasalahan tersebut, lalu, tujuan penelitian, serta manfaat dari penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai teori-teori pendukung terkait pembahasan yang ada pada penelitian ini, sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang akan dibahas.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

BAB III

BAB IV

BAB V

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

METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tahapan-tahapan dalam penelitian, yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah. Tahapan- tahapan tersebut merupakan kerangka yang dijadikan pedoman penelitian untuk memperoleh tujuan yang telah ditetapkan.

PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai model penyebaran Covid-19 dengan model SEIR .

PENUTUP

Dalam bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

LANDASAN TEORI

1.1 Virus Covid-19

Penyakit menular yang disebabkan oleh virus corona dikenal dengan nama Covid-19, ialah jenis virus baru yang diketahui pada tahun 2019 dan belum pernah diidentifikasi menyerang pada manusia sebelumnya. Virus corona muncul pertama kali di provinsi Wuhan, China [1]. Virus Covid-19 disebabkan oleh Virus SARS-CoV-2 yang dapat menular dari hewan ke manusia dan manusia ke manusia itu sendiri melalui kontak langsung pada penderita. Virus corona termasuk virus yang menyerang saluran pernapasan dan akan menargetkan sel epitel dan mukosa sebagai sasaran utama pada saluran pernapasan [7]. Virus ini dapat menyerang siapa saja tanpa mengenal umur, jenis kelamin akan tetapi lebih rentannya kepada orang yang berusia lanjut, dan yang memiliki daya tahan tubuh rendah.

Gejala utama yang paling sering terjadi pada orang yang terjangkit Covid-19 ialah batuk yang disertai demam. Gejala lainnya yang terdapat pada orang yang terjangkit Covid-19 namun sulit ditemukan produksi sputum meningkat, sakit kepala, batuk berdarah dan diare [3]. Waktu yang diperlukan sejak terinfeksi hingga muncul gejala Covid-19 diperkirakan antara 1-14 hari, tetapi perkiraan ini bisa berubah sewaktu-waktu sesuai perkembangan kasus.

1.2 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial meliputi variabel tak bebas dengan turunannya terhadap variabel bebas dengan bentuk umumnya sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (2.1)$$

dengan $f(x, y)$ fungsi kontinunya di x dan y . Orde suatu Persamaan diferensial ditentukan oleh turunan tertinggi dalam persamaan. Pada tugas akhir ini digunakan persamaan diferensial parsial.

Untuk menyelesaikan Persamaan *costate* dan Persamaan stationer maka diperlukanlah Persamaan diferensial parsial

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Persamaan diferensial parsial atau PDP merupakan persamaan diferensial yang mempunyai dua atau lebih variabel bebas. Orde dari suatu PDP adalah orde dari turunan parsialnya[8].

Contoh 2.1

1. $VU_X + U_Y = 0$ PDP orde 1
2. $U_{XX} + U_{YY} U_t = 0$ PDP orde 2.

2.3 Kendali Optimal Waktu Kontinu

Menurut[9], suatu permasalahan waktu kontinu dalam persamaan differensial untuk waktu t dapat dituliskan dengan memasukkan fungsi *u*, sehingga persamaan differensial dinamik dapat dibentuk sebagai berikut :

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t), \tag{2.2}$$

dengan $x(t) \in \mathbb{R}^n$ merupakan *vektor state* dan $u(t) \in \mathbb{R}^m$ merupakan fungsi kendali. Selanjutnya untuk fungsi tujuannya akan ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$J(t_0) = S(x(t), t) + \int_{t_0}^{T_f} V(x(t), u(t), t)dt, \tag{2.3}$$

dengan t_0 merupakan waktu awal dan T_f waktu akhir.

2.4 Model Matematika SEIR

Salah satu pengendalian menggunakan model matematika untuk penyebaran penyakit menular adalah model epidemi SEIR. Menurut [4] model SEIR terdiri dari empat subpopulasi yaitu *susceptible*(S) yaitu jumlah individu sehat yang rentan terinfeksi, *exposed*(E) yaitu jumlah individu yang terinfeksi pada masa inkubasi, *infected*(I) yaitu jumlah individu yang telah positif terinfeksi virus dan dapat menularkannya kepada individu lainnya, dan *recovered*(R) yaitu jumlah individu yang telah sembuh dan kebal terhadap virus.

Model Epidemi SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) merupakan model yang digunakan untuk memperkirakan dinamika penyebaran suatu penyakit sehingga dapat digunakan dalam menarik kesimpulan awal tentang efektivitas tindakan dalam menangani penyakit.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2.5 Prinsip Minimum Pontryagin

Dalam menyelesaikan kendali optimal, salah satu metode yang dapat digunakan adalah minimum pontryagin. Menurut [10] prinsip Prinsip Minimum Pontryagin adalah suatu penyelesaian kondisi kendali optimal yang diformulasikan dalam bentuk matematika yang bertujuan mencari kontrol u sehingga dapat mengoptimalkan fungsi tujuan .

Bentuk umum dari fungsi tujuan diformulasikan sebagai berikut
Diberikan Persamaan diferensial dinamik berikut:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t), \quad (2.4)$$

dengan $x(t) \in \mathbb{R}^n$ dan $u(t) \in \mathbb{R}^m$, sedangkan fungsi tujuan yaitu :

$$J(t_0) = S(x(t), t) + \int_{t_0}^{T_f} V(x(t), u(t), t) dt \quad (2.5)$$

Bentuk umum J pada Persamaan (2.5) yang memuat S dan V disebut fungsi tujuan bentuk Bolza. Ketika fungsi tujuan J pada Persamaan (2.5) tidak memuat S maka fungsi tujuan tersebut disebut bentuk Lagrange. Jika fungsi tujuan J pada Persamaan (2.5) tidak memuat V maka fungsi tujuan tersebut disebut bentuk Meyer. Selanjutnya, untuk mendapatkan kendali optimal pada model epidemi tipe SEIR menggunakan Prinsip Minimum Pontryagin.

Adapun langkah-langkah penyelesaian masalah kendali optimal menggunakan prinsip minimum pantryagin sebagai berikut:

1. Membentuk fungsi Hamilton

$$H(x(t), u(t), \lambda(t), t) = V(x(t), u(t), t) + \lambda(t)^T f(x(t), u(t), t) \quad (2.6)$$

2. Dari langkah nomor 1, selanjutnya membentuk kondisi stasioner dari fungsi hamilton

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad (2.7)$$

Sehingga diperoleh kontrol u

3. Langkah selanjutnya menyelesaikan Persamaan *state* dan *costate*

- a. Persamaan *state*

Caranya yaitu menurunkan Persamaan Hamilton terhadap λ

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

$$\dot{x}(t) = \frac{\partial H}{\partial \lambda} \quad (2.7)$$

- b. Persamaan *costate*

Caranya yaitu menurunkan fungsi Hamilton terhadap variabel state.

$$\dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (2.8)$$

4. Untuk memperoleh kendali yang optimal, selanjutnya substitusikan solusi Persamaan *costate* kedalam kendali sehingga diperoleh kendali yang optimal.

2.6 Metode Runge Kutta Orde 4

Metode Runge Kutta Orde 4 adalah salah satu metode numerik yang dapat digunakan dalam penyelesaian pada suatu Persamaan diferensial dengan syarat awal. Metode ini merupakan pengembangan dari metode euler, sehingga tingkat ketelitian dari metode ini lebih baik.

Bentuk Persamaan Metode Runge Kutta Orde 4 sebagai berikut:

$$y(i + 1) = y_1 + (w_1k_1 + w_2k_2 + w_3k_3 + w_4k_4)h$$

Dengan:

$$K_1 = hf(t_i, y_i)$$

$$K_2 = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}K_1\right)$$

$$K_3 = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}K_2\right)$$

$$K_4 = hf(t_i + h, x_i + K_3)$$

Jenis Metode Runge Kutta Orde 4 yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode *sweep Forward-Backward* yang digunakan untuk Persamaan *state costate*.

Contoh:

Dapatkan penyelesaian Persamaan diferensial pada $x = 0$ dengan step 0,2 bila diketahui nilai awal $y(0) = 1$ menggunakan metode Runge Kutta Orde 4.

$$y' - y = x$$

Dari Persamaan diferensial diatas:

$$f(x_i, y_i) = x + y$$

$$k_1 = hf(x_0, y_0) = (0,2)(0 + 1) = 0,2$$

$$k_2 = hf\left(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + \frac{1}{2}k_1\right) \\ = (0,2)(f(0 + 0,1, 1 + 0,1) = (0,2)(0,1 + 1,1) = 0,24$$

$$k_3 = hf\left(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + \frac{1}{2}k_2\right) \\ = (0,2)(f(0 + 0,1, 1 + 0,12) = (0,2)(0,1 + 1,12) = 0,244$$

$$k_4 = hf(x_0 + h, y_0 + k_3) \\ = (0,2)(f(0 + 0,2, 1 + 0,244) = (0,2)(0,2 + 1,244) = 0,2888$$

$$y_1 = y_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ = 1 + \frac{1}{6}(0,2 + (2)(0,24) + (2)(0,244) + 0,2888) \\ = 1 + 0,2428 = 1,2428$$

Menurut [11] metode *sweep forward-backward* merupakan metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah kendali optimal, dengan cara menyelesaikan Persamaan *state* dan *costate*.

Berikut merupakan langkah dalam metode *sweep forward-backward* yaitu :

1. Menentukan nilai awal u^*
2. Dengan nilai awal u dan keadaan awal $x(0) = x_0$ untuk menyelesaikan Persamaan *state* (x) menggunakan *sweep forward*

$$K_1 = f(t_i, x_i, u_i)$$

$$K_2 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + \frac{h}{2}K_1, \frac{1}{2}(u_i + u_{i+1})\right)$$

$$K_3 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + \frac{h}{2}K_2, \frac{1}{2}(u_i + u_{i+1})\right)$$

$$K_4 = f(t_i + h, x_i + hK_3, u_{i+1})$$

$$x_{i+1} = x_i + \frac{h}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

3. Dengan menggunakan kondisi transversal $\lambda_1(t_{end}) = 0$ diselesaikan Persamaan *costate* menggunakan *sweep backward*.

$$j = n + 2 - 1$$

$$K_1 = f(t_i, \lambda_i, x_i, u_i)$$

$$K_2 = f\left(t_i - \frac{h}{2}, \lambda_i - \frac{h}{2}K_1, \frac{1}{2}(x_i + x_{j-1}), \frac{1}{2}(u_i + u_{j-1})\right)$$

$$K_3 = f\left(t_i - \frac{h}{2}, \lambda_i - \frac{h}{2}K_2, \frac{1}{2}(x_i + x_{j-1}), \frac{1}{2}(u_i + u_{j+1})\right)$$

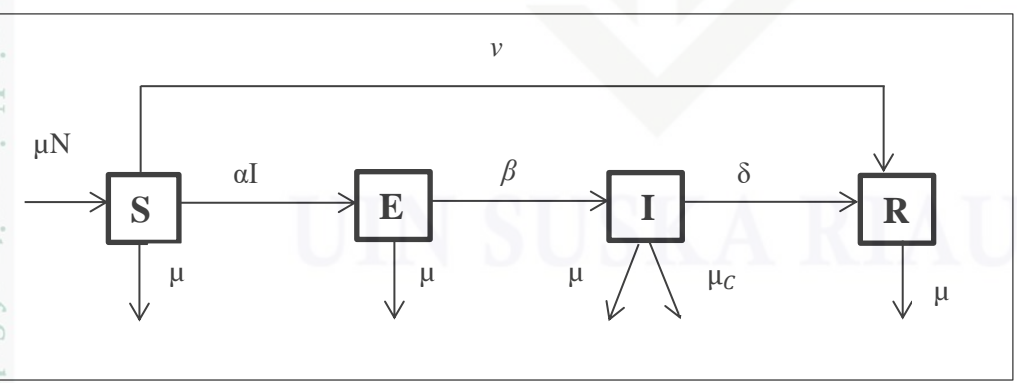
$$K_4 = f(t_i - h, \lambda_i - hK_1, x_{j-1}, u_{j-1})$$

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i - \frac{h}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)$$

4. Memperbarui nilai kendala u dengan memasukkan nilai x dan λ yang baru

2.7 Kendali Optimal Penyebaran Covid-19 pada Model SEIR

Pemodelan matematika untuk penyebaran Covid-19 menurut [6] dibagi dalam empat subpopulasi individu yaitu S (*susceptible*) merupakan individu yang rentan terhadap penyakit Covid-19, E (*exposed*) merupakan individu yang terpapar penyakit dan tidak memiliki gejala ataupun bergejala ringan tetapi belum terdeteksi, I (*infected*) merupakan individu yang terinfeksi penyakit dan sudah terdeteksi, R (*recovered*) merupakan individu yang telah sembuh dari penyakit Covid-19. Dengan model diagram alirnya sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram penyebaran Covid-19 model SEIR

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Bentuk Persamaan diferensial dari diagram diatas :

$$\frac{ds}{dt} = \mu N - (\alpha I + \mu + v)S$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha IS - (\beta + \mu)E \quad (2.9)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - (\mu_c + \delta + \mu)I$$

$$\frac{dR}{dt} = \delta I + vS - \mu R$$

fungsi tujuan untuk model penyebaran Covid-19 sebagai berikut:

$$J(u) = \int_0^{t_f} \left(E + \frac{cu^2}{2} \right) dt \quad (2.10)$$

dengan :

- N : Total Populasi
- S : Populasi rentan *susceptible*
- E : Populasi terpapar *exposed*
- I : Populasi terinfeksi *infected*
- R : Populasi telah sembuh *recovered*
- μ : tingkat kematian alami individu
- α : *rate* penularan S menjadi E
- β : *rate* penambahan gejala dari E ke I
- δ : *rate* kesembuhan individu terinfeksi dari I ke R
- μ_c : *rate* kematian individu akibat Covid-19
- u : jumlah orang yang di tes swab
- v : Laju vaksinasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan metodologi penelitian yang digunakan untuk melakukan penelitian. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Model SEIR yang digunakan pada penyebaran Covid-19 dalam Persamaan (2.9) dirubah dengan menambahkan kendali Tes Swab (u) pada kelompok E.
2. Fungsi tujuan dari model endemik penyebaran Covid-19 dari Persamaan (2.10) diubah berdasarkan kelas *infected* (I)
3. Membentuk fungsi hamilton berdasarkan model penyebaran Covid-19 pada Persamaan (2.9) serta fungsi tujuan (2.10) dengan tujuan untuk mendapatkan kontrol optimal
4. Selanjutnya akan dibentuk persamaan $state \dot{x}(t) = \frac{\partial H}{\partial \lambda}$ dan Persamaan $costate \dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial H}{\partial x}$
5. Kemudian dibentuk kondisi stasioner untuk mendapatkan nilai kendali $u(t)$ merupakan kendali optimal dari upaya pencegahan penyebaran Covid-19
6. Selanjutnya mencari solusi numerik dengan menggunakan metode *sweep forward-backward* yang di aplikasikan menggunakan *software* MATLAB
7. Membuat kesimpulan akhir yang telah diperoleh secara keseluruhan.

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

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang diuraikan pada Bab IV diperoleh kesimpulan bahwa berdasarkan Persamaan diferensial dinamik kasus penyebaran Covid-19 dengan melibatkan upaya vaksinasi dan tes swab pada waktu berhingga diperoleh kendali sebagai berikut:

$$u^* = \frac{\lambda_2 E(\beta + \mu) - \lambda_3 \beta E}{c}$$

Berdasarkan hasil simulasi numerik diketahui bahwa kasus penyebaran virus Covid-19 pada kelas individu terinfeksi akan mengalami penurunan jika kelas tersebut dilakukan upaya untuk mengurangi jumlah individu yang terinfeksi salah satunya yaitu melakukan tes swab. Dalam hal ini pengaruh kendali dapat diketahui dari waktu ke waktu, sehingga pertumbuhan populasi pada kelas individu terinfeksi dapat dimonitori setiap waktu, sudah maksimum atau tidak selama periode waktu yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Semoga dengan tugas akhir ini dapat menambah wawasan bagi penulis dan juga pembaca. Pada penelitian ini kendali optimal diselesaikan dengan menggunakan prinsip minimum Pontryagin yang selanjutnya diselesaikan menggunakan *Metode Sweep Forward-Backward*, oleh karena itu pembaca dapat menjutkan tugas akhir ini menggunakan metode lain agar wawasan menjadi lebih luas dan ilmu yang dipelajari dapat berkembang sesuai dengan kemajuan ilmu yang akan datang.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Armandani and Y. Fuad, "Penerapan Model SEIQR dengan Kontrol Optimal pada Sistem Dinamik Pandemi COVID-19," *J. Ilm. Mat.*, vol. 7, no. 2, pp. 67–71, 2019.
- [2] F. Adi-kusumo, N. Susyanto, I. Endrayanto, and A. Meliala, "Model Berbasis Sir Dalam Prediksi Awal Penyebaran Covid-19 Di Daerah Istimewa Yogyakarta (Diy) (Sir-Based Model in Predicting the Early Outbreak of Covid-19 in the Special Region of Yogyakarta (Diy)), " *J. Mat. thales*, vol. 02, pp. 1–10, 2020.
- [3] Y. A. R. I. Adi, "Masalah Kontrol Optimal Pada Penyebaran," *J. Mat. UNAND*, vol. 10, no. 4, pp. 538–552, 2021.
- [4] N. N. Nasution and L. P. Sinaga, "Analisis Sensitivitas Dan Kontrol Optimal Model Seir Penyebaran Covid-19," *J. Karismatika*, vol. 7, no. 3, pp. 25–40, 2021.
- [5] S. Annas, M. Isbar Pratama, M. Rifandi, W. Sanusi, and S. Side, "Stability analysis and numerical simulation of SEIR model for pandemic COVID-19 spread in Indonesia," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 139, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.chaos.2020.110072.
- [6] A. N. Fitriani, Haryanto, and Mardlijah, "Kontrol Optimal Penyebaran COVID-19 Model SEIR di Jakarta," *J. SAINS DAN SENI*, vol. 11, no. 2, pp. A64–A69, 2022, [Online]. Available: file:///C:/Users/ACER/Downloads/76998-165536-1-PB.pdf
- [7] yankes.kemkes, "Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan," *Kementerian Kesehatan RI*. 2022. [Online]. Available: https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/372/bahaya-perokok-pasif
- [8] I. Maulidi, "Metode Beda Hingga untuk Penyelesaian Persamaan Diferensial Parsial," *OSF Prepr.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [9] G. J. Olsder and J. . van der Woude, *Mathematical Systems Theory Second Edition*, Second edi., vol. 11. Delf University press, 2003. [Online]. Available: http://www.vssd.nl/hlf/a003.htm

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- [10] S. Suherman, F. Fatmawati, and C. Alfiniyah, “Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Matematika Penyebaran Penyakit Ebola dengan Penanganan Medis,” *J. Contemp. Math. Appl.*, vol. 1, no. 1, p. 19, 2019, doi: 10.20473/conmatha.v1i1.14772.
- [11] D. Rahmalia and A. Rohmatullah, “Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Penyebaran Penyakit Zika dari Gejala Dengue Menggunakan Forward Backward Sweep Method,” *J. Ilm. Soulmath J. Edukasi Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 2, pp. 159–173, 2019, doi: 10.25139/smj.v7i2.1953.



LAMPIRAN

```
function z=programskripsiSEIR
```

```
test=-1;
tf=12;
teta=0.01;
M=99;
t=linspace(0,tf,M+1);
h=tf/M;
h2=h/2;
N=100000;
v=0.01;
delta=0.23;
beta=0.005;
alfa=0.00000144;
miuc=0.06;
miu=0.00012;
```

```
S=10560;
E=858;
I=943;
R=84;
C=1;
S0=1;
E0=1;
I0=1;
R0=1;
```

```
S=zeros(1,M+1);
E=zeros(1,M+1);
I=zeros(1,M+1);
R=zeros(1,M+1);
U=zeros(1,M+1);
lS=zeros(1,M+1);
lE=zeros(1,M+1);
lI=zeros(1,M+1);
lR=zeros(1,M+1);
S(1)=S0;
E(1)=E0;
I(1)=I0;
R(1)=R0;
```

```
while(test<0)
    oldU=U;
    oldS=S;
    oldE=E;
    oldI=I;
    oldR=R;
    oldlS=lS;
    oldlE=lE;
    oldlI=lI;
```

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

```

oldlR=1R;

for i=1:M
M1S=((miu*N)-(alfa*I(i)+miu+v)*S(i));
M1E=((alfa*I(i)*S(i))-(beta+miu)*U(i)*E(i));
M1I=((beta*U(i)*E(i))-(miuc+delta+miu)*I(i));
M1R=(delta*I(i)+v*S(i)-miu*R);

M2S=((miu*N)-(alfa*(I(i)+h2*M1I)+miu+v)*(S(i)+h2*M1S));
M2E=((alfa*(I(i)+h2*M1I))*(S(i)+h2*M1S)-
(beta+miu*(1/2*(U(i)+U(i+1))*(E(i)+h2*M1E)))));
M2I=((beta*(1/2*(U(i)+U(i+1))))*(E(i)+h2*M1E)-
(miuc+delta+miu)*(I(i)+h2*M1I));
M2R=((delta*(I(i)+h2*M1I))+v*(S(i)+h2*M1S)-miu*R);

M3S=((miu*N)-(alfa*(I(i)+h2*M2I)+miu+v)*(S(i)+h2*M2S));
M3E=((alfa*(I(i)+h2*M2I))*(S(i)+h2*M2S)-
(beta+miu*(1/2*(U(i)+U(i+1))*(E(i)+h2*M2E)))));
M3I=((beta*(1/2*(U(i)+U(i+1))))*(E(i)+h2*M2E)-
(miuc+delta+miu)*(I(i)+h2*M2I));
M3R=((delta*(I(i)+h2*M2I))+v*(S(i)+h2*M2S)-miu*R);

M4S=((miu*N)-(alfa*(I(i)+h*M3I)+miu+v)*(S(i)+h*M3S));
M4E=((alfa*(I(i)+h*M3I))*(S(i)+h*M3S)-
(beta+miu*(U(i)+1)*(E(i)+h*M3E)));
M4I=((beta*(U(i)+1))*(E(i)+h*M3E)-
(miuc+delta+miu)*(I(i)+h*M3I));
M4R=((delta*(I(i)+h2*M2I))+v*(S(i)+h*M3S)-miu*R);

S(i+1)=S(i)+(h/6)*(M1S(1)+(2*M2S(1))+(2*M3S(1))+M4S(1));
E(i+1)=E(i)+(h/6)*(M1E(1)+(2*M2E(1))+(2*M3E(1))+M4E(1));
I(i+1)=I(i)+(h/6)*(M1I(1)+(2*M2I(1))+(2*M3I(1))+M4I(1));
R(i+1)=R(i)+(h/6)*(M1R(1)+(2*M2R(1))+(2*M3R(1))+M4R(1));
end
for i=1:M
j=M+2-i;
N1S=((1S(j)*(alfa*I(j)))+(1S(j)*(miu))+1S(j)*v))-
((1E(j)*(alfa*I(j))-1R(j)*(v)));
N1E=((1E(j)*beta*U(j))+1E(j)*(miu)*U(j))-
(1I(j)*(beta)*U(j));
N1I=(-1+1S(j)*(alfa)*S(j))-
((1E(j)*(alfa)*S(j)+(1I(j)*(miuc))+1I(j)*delta))+1I(j)*(miu))-
((1R(j)*(miu)))));
N1R=(1R(j)*(miu));

N2S=((1S(j)-h2*N1S)*(alfa*(1/2*(I(j)+I(j-1))))+((1S(j)-
h2*N1S)*(miu))+((1S(j)-h2*N1S)*(v)))-((1E(j)-
h2*N1E)*(alfa*(1/2*(I(j)+I(j-1)))))-((1R(j)-h2*N1R)*(v));
N2E=((1E(j)-h2*N1E)*beta*(1/2*(U(j)+U(j-1))))+((1E(j)-
h2*N1E)*(miu)*((1/2*(U(j)+U(j-1)))))-1I(j)-
h2*N1I*(beta)*(1/2*(U(j)+U(j-1))));
N2I=(-1+((1S(j)-h2*N1S)*(alfa)*(1/2*(S(j)+S(j-1)))))-((1E(j)-
h2*N1E)*(alfa)*(1/2*(S(j)+S(j-1))))+1I(j)-

```

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



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

```

h2*N1I)*(miuc))+((1I(j)-h2*N1I)*(delta))+((1I(j)-h2*N1I)*(miu))-
((1R(j)-h2*N1R)*(delta)));
N2R=(1R(j)-h2*N1R*(miu));

N3S=((1S(j)-h2*N2S)*(alfa*(1/2*(I(j)+I(j-1))))+(((1S(j)-
h2*N2S))*(miu))+(((1S(j)-h2*N2S)*(v))))-((1E(j)-
h2*N2E)*(alfa*(1/2*(I(j)+I(j-1)))))-((1R(j)-h2*N2R)*(v));
N3E=((1E(j)-h2*N2E)*beta*(1/2*(U(j)+U(j-1))))+((1E(j)-
h2*N2E))*(miu)*((1/2*(U(j)+U(j-1))))-(1I(j)-
h2*N2I)*(beta)*(1/2*(U(j)+U(j-1))));
N3I=(-1+((1S(j)-h2*N2S)*(alfa)*(1/2*(S(j)+S(j-1))))-((1E(j)-
h2*N2E)*(alfa)*(1/2*(S(j)+S(j-1))))+((1I(j)-
h2*N2I)*(miuc))+((1I(j)-h2*N2I)*(delta))+((1I(j)-h2*N2I)*(miu))-
((1R(j)-h2*N2R)*(delta)));
N3R=(1R(j)-h2*N2R*(miu));

N4S=((1S(j)-h*N3S)*(alfa*(I(j-1))))+(((1S(j)-
h*N3S))*(miu))+(((1S(j)-h*N3S)*(v))))-((1E(j)-h*N3E)*(alfa*I(j-
1)))-(((1R(j)-h*N3R)*(v)));
N4E=((1E(j)-h*N3E)*(beta*U(j-1)))+(((1E(j)-h*N3E))*(miu)*U(j-
1))-((1I(j)-h*N3I)*-(beta)*U(j-1));
N4I=(1+((1S(j)-h*N3S)*(alfa)*S(j-1))-((1E(j)-
h*N3E)*(alfa)*S(j-1)))+((1I(j)-h*N3I)*(miuc))+((1I(j)-
h*N3I)*(delta))+((1I(j)-h*N3I)*(miu))-((1R(j)-h*N3R)*(delta));
N4R=(1R(j)-h*N3R*(miu));

S(j-1)=1S(j)-(h/6)*(N1S+(2*N2S)+(2*N3S)+N4S);
E(j-1)=1E(j)-(h/6)*(N1E+(2*N2E)+(2*N3E)+N4E);
I(j-1)=1I(j)-(h/6)*(N1I+(2*N2I)+(2*N3I)+N4I);
R(j-1)=1R(j)-(h/6)*(N1R+(2*N2R)+(2*N3R)+N4R);

end
temp=((1E(j+1)*beta*E+1E(j+1)*miu*E-1I(j+1)*beta*E)/C);
U1=0;
U=0.5*(U1+oldU);
err1=teta*sum(abs(U)-sum(abs(oldU-U)));
err2=teta*sum(abs(S)-sum(abs(oldS-S)));
err3=teta*sum(abs(E)-sum(abs(oldE-E)));
err4=teta*sum(abs(I)-sum(abs(oldI-I)));
err5=teta*sum(abs(R)-sum(abs(oldR-R)));
err6=teta*sum(abs(1S)-sum(abs(old1S-1S)));
err7=teta*sum(abs(1E)-sum(abs(old1E-1E)));
err8=teta*sum(abs(1I)-sum(abs(old1I-1I)));
err9=teta*sum(abs(1R)-sum(abs(old1R-1R)));

test=min(err1,min(err2,min(err3,min(err4,min(err5,min(err6,min(err
7,min(err8,min(err9)))))))));
fprintf('pada S(i+1)=%10.8f,lambdaS(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',S(i+1),1S(j
-1),abs(oldS-S),abs(old1S-1S));
fprintf('pada E(i+1)=%10.8f,lambdaE(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',E(i+1),1E(j
-1),abs(oldE-E),abs(old1E-1E));

```



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

```

fprintf('pada I(i+1)=%10.8f, lambdaI(j-
1)=%10.8f, err1=%10.8f, err2=%10.8f, err3=%10.8f, err4=%10.8f, err5=%10
.8f, err6=%10.8f, err7=%10.8f, err8=%10.8f, err9=%10.8f\n', I(i+1), lI(j
-1), abs(oldI-I), abs(oldlI-lI));
fprintf('pada R(i+1)=%10.8f, lambdaR(j-
1)=%10.8f, err1=%10.8f, err2=%10.8f, err3=%10.8f, err4=%10.8f, err5=%10
.8f, err6=%10.8f, err7=%10.8f, err8=%10.8f, err9=%10.8f\n', R(i+1), lR(j
-1), abs(oldR-R), abs(oldlR-lR));
end

z(1,:) = t;
z(2,:) = S;
z(3,:) = E;
z(4,:) = I;
z(5,:) = R;
z(6,:) = U;
z(7,:) = lS;
z(8,:) = lE;
z(9,:) = lI;
z(10,:) = lR;

test = -1;
tf = 12;
delta = 0.001;
M = 99;
t = linspace(0, tf, M+1);
h = tf/M;
h2 = h/2;
N = 1500;
v = 0.05;

beta = 0.0239;
alfa = 0.0012;
miuc = 0.0009;
miu = 0.0128;

W = 1283;
Q = 78;
Y = 172;
Z = 124;
C = 1;
W0 = 1;
Q0 = 1;
Y0 = 1;
Z0 = 1;

W = zeros(1, M+1);
Q = zeros(1, M+1);
Y = zeros(1, M+1);
Z = zeros(1, M+1);
x = zeros(1, M+1);
lW = zeros(1, M+1);
lQ = zeros(1, M+1);
lY = zeros(1, M+1);

```




Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

```

lZ=zeros(1,M+1);
W(1)=W0;
Q(1)=Q0;
Y(1)=Y0;
Z(1)=Z0;

while(test<0)
    oldx=x;
    oldW=W;
    oldQ=Q;
    oldY=Y;
    oldZ=Z;
    oldlW=lW;
    oldlQ=lQ;
    oldlY=lY;
    oldlZ=lZ;

    for i=1:M
        M1W=((miu*N)-(alfa*Y(i)+miu+v)*W(i));
        M1Q=((alfa*Y(i)*W(i))-(beta+miu)*U(i)*Q(i));
        M1Y=((beta*U(i)*Q(i))-(miuc+delta+miu)*Y(i));
        M1Z=(delta*Y(i)+v*W(i)-miu*Z);

        M2W=((miu*N)-(alfa*(Y(i)+h2*M1Y)+miu+v)*(W*(i)+h2*M1W));
        M2Q=((alfa*(Y(i)+h2*M1Y))*(W(i)+h2*M1W)-(beta+miu*(1/2*(U(i)+U(i+1))*(Q(i)+h2*M1Q))));
        M2Y=((beta*(1/2*(U(i)+U(i+1))))*(Q(i)+h2*M1Q)-(miuc+delta+miu)*(Y(i)+h2*M1Y));
        M2Z=((delta*(Y(i)+h2*M1Y))+v*(W(i)+h2*M1W)-miu*Z);

        M3W=((miu*N)-(alfa*(Y(i)+h2*M2Y)+miu+v)*(W*(i)+h2*M2W));
        M3Q=((alfa*(Y(i)+h2*M2Y))*(W(i)+h2*M2W)-(beta+miu*(1/2*(U(i)+U(i+1))*(Q(i)+h2*M2Q))));
        M3Y=((beta*(1/2*(U(i)+U(i+1))))*(Q(i)+h2*M2Q)-(miuc+delta+miu)*(Y(i)+h2*M2Y));
        M3Z=((delta*(Y(i)+h2*M2Y))+v*(W(i)+h2*M2W)-miu*Z);

        M4W=((miu*N)-(alfa*(Y(i)+h*M3I)+miu+v)*(W*(i)+h*M3W));
        M4Q=((alfa*(Y(i)+h*M3Y))*(W(i)+h*M3W)-(beta+miu*(U(i)+1)*(Q(i)+h*M3Q)));
        M4Y=((beta*(U(i)+1))*(Q(i)+h*M3Q)-(miuc+delta+miu)*(Y(i)+h*M3Y));
        M4Z=((delta*(Y(i)+h2*M2Y))+v*(W(i)+h*M3W)-miu*Z);

        W(i+1)=W(i)+(h/6)*(M1W(1)+(2*M2W(1))+(2*M3W(1))+M4W(1));
        Q(i+1)=Q(i)+(h/6)*(M1Q(1)+(2*M2Q(1))+(2*M3Q(1))+M4Q(1));
        Y(i+1)=Y(i)+(h/6)*(M1Y(1)+(2*M2Y(1))+(2*M3Y(1))+M4Y(1));
        Z(i+1)=Z(i)+(h/6)*(M1Z(1)+(2*M2Z(1))+(2*M3Z(1))+M4Z(1));

    end
    for i=1:M
        j=M+2-i;

```



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

```

N1W=(( (LW(j) * (alfa*Y(j))) + ((LW(j) * (miu)) + (LW(j) * v))) + ((LQ(j)) * (alfa
a)*Y(j)) + (LZ(j) * (v)));
N1Q=(( (LQ(j) * beta*U(j)) - (LQ(j) * (miu) * U(j)) + (LY(j) * (-
miu) * U(j)));
N1Y=-1 + (LW(j) * (alfa) * W(j)) -
(( (LQ(j) * (alfa) * W(j)) + ((LY(j) * (miuc)) + ((LY(j) * delta)) + ((LY(j) * (miu))
- ((LZ(j) * (miu))))));
N1Z=(LZ(j) * (miu));

N2W=(( (LW(j) - h2*N1W) * (alfa * (1/2 * (I(j) + Y(j-1)))) + (((LW(j) -
h2*N1W) * (miu)) + (((LW(j) - h2*N1W) * (v)))) - ((LQ(j) -
h2*N1Q) * (alfa * (1/2 * (Y(j) + Y(j-1))))) - ((LZ(j) - h2*N1Z) * (v)));
N2Q=(( (LQ(j) - h2*N1Q) * beta * (1/2 * (U(j) + U(j-1)))) + ((LQ(j) -
h2*N1Q) * (miu) * ((1/2 * (U(j) + U(j-1))))) - (LY(j) -
h2*N1Y) * (beta) * (1/2 * (U(j) + U(j-1))));
N2Y=(-1 + ((LW(j) - h2*N1W) * (alfa) * (1/2 * (W(j) + W(j-1))))) - ((LQ(j) -
h2*N1Q) * (alfa) * (1/2 * (W(j) + W(j-1)))) + ((LY(j) -
h2*N1Y) * (delta)) + ((LY(j) - h2*N1Y) * (delta)) + ((LY(j) - h2*N1Y) * (miu)) -
((LZ(j) - h2*N1Z) * (delta)));
N2Z=(LZ(j) - h2*N1Z * (miu));

N3W=(( (LW(j) - h2*N2W) * (alfa * (1/2 * (Y(j) + Y(j-1)))) + (((LW(j) -
h2*N2W) * (miu)) + (((LW(j) - h2*N2W) * (v)))) - ((LQ(j) -
h2*N2Q) * (alfa * (1/2 * (Y(j) + Y(j-1))))) - ((LZ(j) - h2*N2Z) * (v)));
N3Q=(( (LQ(j) - h2*N2Q) * beta * (1/2 * (U(j) + U(j-1)))) + ((LQ(j) -
h2*N2Q) * (miu) * ((1/2 * (U(j) + U(j-1))))) - (LY(j) -
h2*N2Y) * (beta) * (1/2 * (U(j) + U(j-1))));
N3Y=1 + ((LW(j) - h2*N2W) * (alfa) * (1/2 * (W(j) + W(j-1))))) - ((LQ(j) -
h2*N2Q) * (alfa) * (1/2 * (W(j) + W(j-1)))) + ((LY(j) -
h2*N2Y) * (miuc)) + ((LY(j) - h2*N2Y) * (delta)) + ((LY(j) - h2*N2Y) * (miu)) -
((LZ(j) - h2*N2Z) * (delta));
N3Z=(LZ(j) - h2*N2Z * (miu));

N4W=(( (LW(j) - h*N3W) * (alfa * (Y(j-1)))) + (((LW(j) -
h*N3W) * (miu)) + (((LW(j) - h*N3W) * (v)))) - ((LQ(j) - h*N3Q) * (alfa * Y(j-
1))) - ((LZ(j) - h*N3Z) * (v)));
N4Q=(( (LQ(j) - h*N3Q) * (beta * U(j-1))) + ((LQ(j) - h*N3Q) * (miu) * U(j-
1))) - (LY(j) - h*N3Y) * (beta) * U(j-1));
N4Y=(-1 + ((LW(j) - h*N3W) * (alfa) * W(j-1))) - ((LQ(j) -
h*N3Q) * (alfa) * W(j-1))) + ((LY(j) - h*N3Y) * (miuc)) + ((LY(j) -
h*N3Y) * (delta)) + ((LY(j) - h*N3Y) * (miu)) - ((LZ(j) - h*N3Z) * (delta));
N4Z=(LZ(j) - h*N3Z * (miu));

W(j-1)=LW(j) - (h/6) * (N1W + (2*N2W) + (2*N3W) + N4W);
Q(j-1)=LQ(j) - (h/6) * (N1Q + (2*N2Q) + (2*N3Q) + N4Q);
Y(j-1)=LY(j) - (h/6) * (N1Y + (2*N2Y) + (2*N3Y) + N4Y);
Z(j-1)=LZ(j) - (h/6) * (N1Z + (2*N2Z) + (2*N3Z) + N4Z);
end
temp=(LQ(j+1) * beta * Q + LQ(j+1) * miu * Q - LY(j+1) * beta * Q) / C;
x1=min(0.9, max(0.1, temp));
x=0.5 * (x1 + oldx);
err1=teta * sum(abs(x) - sum(abs(oldx - x)));
err2=teta * sum(abs(W) - sum(abs(oldW - W)));
err3=teta * sum(abs(Q) - sum(abs(oldQ - Q)));
err4=teta * sum(abs(Y) - sum(abs(oldY - Y)));

```



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

```

err5=teta*sum(abs(Z)-sum(abs(oldZ-Z)));
err6=teta*sum(abs(lW)-sum(abs(oldlS-lW)));
err7=teta*sum(abs(lQ)-sum(abs(oldlE-lQ)));
err8=teta*sum(abs(lY)-sum(abs(oldlI-lY)));
err9=teta*sum(abs(lZ)-sum(abs(oldlR-lZ)));

test=min(err1,min(err2,min(err3,min(err4,min(err5,min(err6,min(err7,
min(err8,min(err9)))))))));
fprintf('pada W(i+1)=%10.8f,lambdaW(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',W(i+1),lW(j
-1),abs(oldW-W),abs(oldlW-lW));
fprintf('pada Q(i+1)=%10.8f,lambdaQ(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',Q(i+1),lQ(j
-1),abs(oldQ-Q),abs(oldlQ-lQ));
fprintf('pada Y(i+1)=%10.8f,lambdaY(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',Y(i+1),lY(j
-1),abs(oldY-Y),abs(oldlY-lY));
fprintf('pada Z(i+1)=%10.8f,lambdaZ(j-
1)=%10.8f,err1=%10.8f,err2=%10.8f,err3=%10.8f,err4=%10.8f,err5=%10
.8f,err6=%10.8f,err7=%10.8f,err8=%10.8f,err9=%10.8f\n',Z(i+1),lZ(j
-1),abs(oldZ-Z),abs(oldlZ-lZ));
end
z(1,:)=t;
z(2,:)=W;
z(3,:)=Q;
z(4,:)=Y;
z(5,:)=Z;
z(6,:)=U;
z(7,:)=lW;
z(8,:)=lQ;
z(9,:)=lY;
z(10,:)=lZ;

figure(1)
plot(t,S,'b',t,W,'g','linewidth',1);
xlabel('t (waktu)');
ylabel('S (populasi rentan)');
legend('Tanpa Kendali U=0','Dengan Kendali Umin=0.1 & Umax=0.9');
grid on;
title('populasi rentan');
grid off

figure(2)
plot(t,E,'b',t,Q,'g','linewidth',2);
xlabel('t (waktu)');
ylabel('E (populasi terpapar)');
legend('Tanpa Kendali U=0','Dengan Kendali Umin=0.1 & Umax=0.9');
grid on;
title('populasi terpapar');
grid off

figure(3)
plot(t,I,'b',t,Y,'g','linewidth',3);

```



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

```

xlabel('t (waktu)');
ylabel('I (populasi Terinfeksi)');
legend('tanpa Kendali U=0', 'Dengan Kendali Umin=0.1 & Umax=0.9');
grid on;
title('populasi Terinfeksi');
grid off

figure(4)
plot(t,R, 'b', t,Z, 'g', 'linewidth', 4);
xlabel('t (waktu)');
ylabel('R (populasi telah sembuh)');
legend('tanpa Kendali U=0', 'Dengan Kendali Umin=0.1 & Umax=0.9');
grid on;
title('populasi telah sembuh');
grid off
    
```



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sarik Alahan Tigo, Kecamatan Hiliran Gumanti, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat pada tanggal 24 November 1999 dari ayah yang bernama Wirzal dan ibu yang bernama Nelmaitis. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan Pendidikan formal Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 06 Sarik Alahan Tigo, Kabupaten Solok, lulus pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama di MTsN Koto Baru Solok dan lulus pada tahun 2015 dan penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di MAN 1 Solok dan lulus pada tahun 2018. Setelah menyelesaikan pendidikan MAN pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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