

**SOLUSI EKSAK MODEL PENYEBARAN GANGGUAN
PERILAKU KETERGANTUNGAN TERHADAP
GAME ONLINE**

SKRIPSI

**OLEH
REVAGITA DWI NANDA
NIM. 19610064**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**SOLUSI EKSAK MODEL PENYEBARAN GANGGUAN
PERILAKU KETERGANTUNGAN TERHADAP
*GAME ONLINE***

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Revagita Dwi Nanda
NIM. 19610064**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**SOLUSI EKSAK MODEL PENYEBARAN GANGGUAN
PERILAKU KETERGANTUNGAN TERHADAP
GAME ONLINE**

SKRIPSI

**Oleh
Revagita Dwi Nanda
NIM. 19610064**

Telah diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji
Malang, 6 November 2023

Dosen Pembimbing I



Juhari, M.Si.
NIP. 19840209 202321 1 010

Dosen Pembimbing II



Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.
NIP. 19870218 202321 1 018



Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005

**SOLUSI EKSAK MODEL PENYEBARAN GANGGUAN
PERILAKU KETERGANTUNGAN TERHADAP
GAME ONLINE**

SKRIPSI

**Oleh
Revagita Dwi Nanda
NIM. 19610064**

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Seminar Hasil Skripsi dan Dinyatakan
Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Mengikuti Ujian Skripsi
Tanggal 20 November 2023

Ketua Penguji	: Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.	
Anggota Penguji 1	: Muhammad Khudzaifah, M.Si.	
Anggota Penguji 2	: Juhari, M.Si.	
Anggota Penguji 3	: Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



**Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Revagita Dwi Nanda
NIM : 19610064
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Solusi Eksak Model Penyebaran Gangguan Perilaku
Ketergantungan Terhadap *Game Online*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perilaku tersebut.

Malang, 20 November 2023

Yang membuat pernyataan,



SPULUH RIBU RUPIAH
1000
TR. RI
METERAI
TEMPEL
E25EAAKX796481994

Revagita Dwi Nanda

NIM. 19610064

MOTO

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu”

(Ali bin Abi Thalib)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk Ayahanda Suyono, Ibu Sartini, dan Kakak Rengga Adhi Pratama yang selalu memberi dukungan. sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt atas segala nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Solusi Eksak Model Penyebaran Gangguan Perilaku Ketergantungan Terhadap *Game Online*” dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada nabi Muhammad SAW yang telah menuntun umat Islam dari zaman *jahiliyah* menuju zaman yang terang benderang. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena penulis mengucapkan banyak terima kasih terutama kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Elly Susanti, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Juhari, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, inspirasi, dan berbagai pengalaman yang bermanfaat kepada penulis.
5. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan berbagi ilmunya kepada penulis.
6. Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si., selaku dosen penguji skripsi yang senantiasa memberi arahan, nasehat, dan berbagai pelajaran yang berarti bagi penulis.
7. Muhammad Khudzaifah, M.Si., selaku dosen penguji skripsi yang senantiasa memberi arahan, nasehat, dan berbagai pelajaran yang berarti bagi penulis.
8. Dr. Heni Widayani, M.Si., yang telah memberikan arahan, bimbingan, inspirasi, dan berbagai pengalaman yang bermanfaat kepada penulis.
9. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

10. Ayah Suyono, Ibu Sartini, dan Saudara Rengga yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan doa yang menjadi motivasi besar bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

11. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung ikut terlibat memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan nikmat serta karunia-Nya kepada kita semua. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Batu, 20 November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN TEORI	6
2.1 Teori Pendukung.....	6
2.1.1 Ketergantungan <i>Game Online</i>	6
2.1.2 Model Matematika dan Pemodelan Matematika	7
2.1.3 Model Matematika SEIR.....	8
2.1.4 Persamaan Diferensial Biasa	9
2.1.5 Persamaan Linier.....	9
2.1.6 Polinomial Orde Tiga	10
2.1.7 Nilai Eigen dan Vektor Eigen.....	11
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits.....	12
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung	14
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Jenis Penelitian	19
3.2 Pra Penelitian	19
3.3 Tahapan Penelitian.....	19
BAB IV PEMBAHASAN.....	18
4.1 Solusi Eksak	18
4.1.1 Nilai Eigen Model Matematika SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	18
4.1.2 Vektor Eigen Model Matematika SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	21
4.1.3 Solusi Eksak Model Matematika SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	21
4.1.4 Analisis Validasi Model Matematika SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	27

4.1.5 Titik Tetap Model Matematika SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	29
4.2 Simulasi Model Matematika SEIR untuk Ketergantungan <i>Game Online</i>	30
4.3 Pengaruh Setiap Parameter terhadap Model SEIR Ketergantungan <i>Game Online</i>	30
4.4 Kajian Integrasi Nilai Keagamaan	34
BAB V PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	40
RIWAYAT HIDUP	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Variabel dan Parameter Model Ketergantungan <i>Game Online</i>	15
-----------	---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Kompartemen Model Ketergantungan <i>Game Online</i> ...	14
Gambar 4.1	Simulasi Model Ketergantungan <i>Game Online</i>	30
Gambar 4.2	Grafik Model SEIR saat $\alpha = 0,9$ dan $\alpha = 0,1$	31
Gambar 4.3	Grafik Model SEIR saat $\beta = 0,1$ dan $\beta = 0,001$	32
Gambar 4.4	Grafik Model SEIR saat $\delta = 0,9$ dan $\delta = 0,1$	33
Gambar 4.5	Grafik Model SEIR saat $\theta = 0,9$ dan $\theta = 0,1$	34

DAFTAR SIMBOL

S	:	Jumlah individu yang rentan ketergantungan <i>game online</i>
E	:	Jumlah individu yang mulai bermain <i>game online</i> dengan intensitas jarang
I	:	Jumlah individu yang telah ketergantungan <i>game online</i>
R	:	Jumlah individu yang berhenti bermain <i>game online</i>
μ	:	Laju individu yang memiliki/tidak memiliki <i>game online</i>
α	:	Laju perpindahan individu <i>suspected</i> (S) menjadi <i>exposed</i> (E)
β	:	Laju perpindahan individu <i>exposed</i> (E) menjadi <i>infected</i> (I)
δ	:	Laju perpindahan individu <i>infected</i> (I) menjadi <i>recovered</i> (R)
θ	:	Laju perpindahan individu <i>recovered</i> (R) kembali rentan

ABSTRAK

Nanda, Revagita Dwi. 2023. **Solusi Eksak Model Penyebaran Gangguan Perilaku Ketergantungan Terhadap *Game Online*. Skripsi.** Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (1) Juhari, M.Si (2) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: Solusi Eksak, Model Matematika, Model SEIR

Populasi pada model SEIR dibagi menjadi empat variabel yaitu, populasi individu rentan (S), populasi individu terpapar (E), populasi individu terinfeksi (I), dan populasi individu sembuh (R). Penelitian ini bertujuan mencari solusi eksak dari model SEIR ketergantungan *game online*. Adapun langkah untuk menemukan solusi eksak model dapat dilakukan dengan cara membuat model dalam bentuk matriks, menghitung nilai eigen dan vektor eigen, kemudian menemukan solusi eksak. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk menurunkan populasi individu yang terinfeksi atau dinyatakan ketergantungan *game online*, maka laju perpindahan individu yang terpapar menjadi terinfeksi harus dikurangi. Contohnya yaitu dengan melakukan pengawasan kepada siswa yang mulai bermain *game online*.

ABSTRACT

Nanda, Revagita Dwi. 2023. **Exact Solution to the Model for the Spread of Online Game Addiction Behavioral Disorders**. Thesis. Mathematics Department, Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (1) Juhari, M.Si (2) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: Exact Solution, Mathematical Model, SEIR Model

The population in the SEIR model is divided into four variables, namely, the population of susceptible individuals (S), the population of exposed individuals (E), the population of infected individuals (I), and the population of recovered individuals (R). This research aims to find an exact solution to the SEIR model of online game dependency. The steps to find an exact model solution can be done by creating a model in matrix form, calculating the eigenvalues and eigenvectors, then finding the exact solution. The results of this research indicate that to reduce the population of individuals who are infected or declared to be addicted to online games, the rate of movement of exposed individuals to become infected must be reduced. An example is by supervising students who start playing online games.

مستخلص البحث

ناندا، ريفاجيتا دوي. ٢٠٢٣. **الحل الدقيق لنموذج انتشار اضطراب السلوك المعتمد على الألعاب عبر الإنترنت**. قسم الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: جوهري، الماجستير. المشرف الثاني: محمد نافع جوهري، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: حل دقيق، نموذج رياضية، نموذج SEIR

ينقسم السكان في نموذج SEIR إلى أربع متغيرات وهي عدد الأفراد المعرضين للإصابة (S)، وعدد الأفراد المعرضين (E)، وعدد الأفراد المصابين (I)، وعدد الأفراد المتعافين (R). يهدف هذا البحث إلى إيجاد حل دقيق من نموذج SEIR للاعتماد على الألعاب عبر الإنترنت. يمكن إجراء خطوات العثور على الحل الدقيق للنموذج عن طريق إنشاء نموذج في شكل مصفوفة، وحساب القيمة الذاتية والمتجه الذاتي، ثم إيجاد الحل الدقيق. أشارت نتائج هذا البحث إلى تقليل معدل حركة الأفراد المعرضين للإصابة من أجل تقليل عدد الأفراد المصابين أو المدمنين على الألعاب عبر الإنترنت. مثال على ذلك هو الإشراف على الطلاب الذين يبدأون في لعب الألعاب عبر الإنترنت.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan adalah melakukan sesuatu yang menyenangkan dan dilakukan secara berlebihan sehingga membuat orang tidak dapat mengendalikan diri (Anwar dkk., 2021). Orang yang ketergantungan tidak bisa mengontrol dirinya sehingga melupakan kewajiban-kewajiban yang harus dilakukan. Jadi dapat dikatakan bahwa ketergantungan *game online* yaitu ketergantungan dalam memainkan permainan atau *game online*. Seseorang yang lebih memprioritaskan bermain *game* daripada melakukan kegiatan positif yang lain dikatakan gangguan perilaku. Orang yang ketergantungan *game online* memiliki beberapa tanda yaitu: tidak dapat mengendalikan keinginan bermain *game*, lebih memprioritaskan bermain *game* daripada melakukan aktivitas yang lain, terus bermain *game* meskipun merasakan dampak negatif yang didapatkan.

Penggemar *game online* di Indonesia mencapai enam juta orang yang kebanyakan adalah remaja. Sebanyak 64,45% remaja laki-laki dan 47,85% remaja perempuan berusia 12-22 tahun yang bermain *game online* mengaku telah ketergantungan terhadap *game online* (Anwar dkk., 2021). Remaja yang ketergantungan *game online* dapat melakukan perbuatan yang menyimpang antara lain berbohong, bolos sekolah, dan bahkan mencuri uang agar bisa bermain *game online*. Allah SWT. telah menyatakan dalam surah al-‘Ashr ayat 1-3 yang artinya (Kemenag, 2023a):

“Demi masa, Sesungguhnya manusia berada dalam kerugian. Kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran.”

Menurut tafsir Quraish Shihab surah al-‘Ashr menjelaskan bahwa Allah swt. memperingatkan tentang pentingnya waktu dan bagaimana seharusnya waktu itu diisi. Seperti yang dijelaskan pula oleh Imam Syafi’i “*Kaulah manusia benar-benar memperhatikan isi kandungan surah ini, sesungguhnya cukuplah surah ini menjadi petunjuk bagi kehidupan manusia.*” (Shihab, 2006).

Adanya permasalahan mengenai ketergantungan *game online*, maka solusi untuk masalah tersebut harus ditemukan. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan membuat pemodelan matematika. Model matematika merupakan persamaan atau pertidaksamaan yang menggambarkan dinamika suatu permasalahan (Purwanto, Noviani and Mara, 2014). Salah satu model matematika yaitu model SEIR, yang membagi menjadi empat subpopulasi yaitu subpopulasi *susceptible*, subpopulasi *exposed*, subpopulasi *infected*, dan subpopulasi *recovered*.

Beberapa peneliti telah mengkaji mengenai ketergantungan *game online*, di antaranya penelitian yang dilakukan Side dkk. (2020) pada siswa SMP Negeri 3 Makassar dengan SEIR telah memodelkan kasus ketergantungan *game online*. Dari penelitian tersebut diperoleh empat titik kesetimbangan model serta analisis kestabilan titik kesetimbangan, simulasi model dan menginterpretasikanya, serta mengetahui solusi dari masalah ketergantungan *game online* pada siswa di SMP Negeri 3 Makassar (Side dkk., 2020).

Kemudian pada tahun 2021 juga dilakukan penelitian pada siswa SMKN 1 Jember oleh (Fatahillah, Istiqomah and Dafik, 2021), akan tetapi pada penelitian ini peneliti menggunakan metode Runge Kutta orde 4 untuk menemukan solusi numerik pada kasus ketergantungan *game online*. Dari penelitian tersebut

diperoleh solusi numerik dan tingkat efektivitas dari hasil grafik serta *error* yang dihasilkan.

Tahun 2021 Azwan Anwar juga melakukan pemodelan matematika dan menganalisis dengan menggunakan data dari mahasiswa Universitas Negeri Makassar (UNM) Jurusan Matematika untuk mengetahui dan memprediksi angka ketergantungan *game online* siswa. Dari penelitian tersebut menghasilkan model matematika SEIR. Model penyebaran ini terdiri dari empat variabel yaitu *susceptible* (S), *exposed* (E), *infected* (I), dan *recovered* (R). *Susceptible* yaitu variabel yang menunjukkan jumlah populasi manusia yang rentan ketergantungan *game online*. *Exposed* yaitu variabel yang menunjukkan jumlah populasi manusia yang mulai bermain *game online* dengan intensitas jarang. *Infected* yaitu variabel yang menunjukkan jumlah populasi manusia yang telah ketergantungan *game online*. *Recovered* yaitu variabel yang menunjukkan jumlah populasi manusia yang telah berhenti bermain *game online*.

Model matematika yang diperoleh dari penelitian Azwan Anwar (2021) berbentuk sistem persamaan diferensial biasa linier yang memungkinkan ditemukan solusi analitiknya. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mencari solusi analitik dari model matematika tersebut, serta melakukan simulasi untuk mengetahui penyebaran kasus ketergantungan *game online*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana solusi analitik dari model linier untuk ketergantungan *game online*?

2. Bagaimana simulasi model SEIR untuk ketergantungan *game online*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, tujuan penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui solusi analitik dari model linier untuk ketergantungan *game online*.
2. Untuk mendapatkan *simulasi model SEIR untuk ketergantungan game online*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai pemodelan matematika pada ketergantungan *game online*, sehingga dapat mencegah bertambahnya individu yang ketergantungan *game online*.
2. Dengan plot yang sudah dilakukan, dapat diketahui perkembangan kasus penyebaran ketergantungan *game online* pada setiap waktu.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Model matematika pada siswa yang merujuk pada (Anwar dkk., 2021), yakni:

$$\frac{dS}{dt} = \mu + \theta R - \alpha S - \mu S$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha S - \beta E - \mu E$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - \delta I - \mu I$$

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

2. Syarat awalnya yaitu $S_0 = 0.17$, $E_0 = 0.78$, $I_0 = 0.007$, $R_0 = 0.04$.
3. Siswa yang masuk kelas rentan (*Susceptible*) adalah mereka yang memiliki aplikasi *game online*.
4. Siswa yang masuk kelas mencoba bermain *game online* (*Exposed*) adalah mereka yang mulai bermain *game online* dengan intensitas yang rendah (maksimal 2-3 jam sehari).
5. Siswa yang masuk kelas ketergantungan (*Infected*) adalah mereka yang terus menerus bermain *game online* (lebih dari empat jam dalam sehari) hingga lupa waktu.
6. Siswa yang masuk kelas sembuh dari ketergantungan (*Recovered*) adalah mereka yang telah berhenti bermain *game online*.
7. Populasi dibagi menjadi empat sub populasi yakni sub populasi individu yang rentan (S), terpapar (E), ketergantungan (I), dan individu yang dinyatakan sembuh (R).

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 Ketergantungan *Game Online*

Game online merupakan suatu permainan yang menggunakan perangkat elektronik dan dimainkan secara *online* dengan internet (Side dkk., 2020). Pada awalnya seorang pemain yang ingin bermain *game* dengan pemain lain harus menggunakan beberapa komputer yang dihubungkan dengan kabel sehingga dinamakan *game* jaringan. Akan tetapi dengan berkembangnya teknologi menyebabkan *game* jaringan ini semakin sedikit peminatnya dan beralih pada *game online*, di mana para pemain tidak perlu menyambungkan kabel jika ingin bermain bersama, tetapi menggunakan jaringan yang internet. Seiring bertambahnya variasi dan fitur *game online* menyebabkan penggemar *game* semakin meningkat. Alasan utama seseorang lebih menyukai *game online* karena ragam permainan yang semakin banyak serta komunikasi yang mudah dan tidak terbatas. Pemain dapat bermain secara bersama dari berbagai tempat tanpa perlu berkumpul di satu tempat (Wijayanto, 2018).

Awalnya istilah ketergantungan (*addiction*) dikemukakan oleh Weinsten yang mengacu pada pemakaian alkohol dan obat-obatan (Wijayanto, 2018). Ketergantungan merupakan kegiatan melakukan sesuatu yang menyenangkan dan dilakukan secara berlebihan sehingga membuat orang tidak dapat mengendalikan diri. Sejauh mana seseorang bermain bermain *game* dengan berlebihan bahkan sampai mengganggu aktivitas sehari-hari merupakan tanda orang tersebut mengalami ketergantungan. Beberapa tempat di Indonesia juga mengalami

masalah ketergantungan *game online*. Efek yang dihasilkan cenderung mengarah pada hal yang negatif yang menyebabkan orang-orang disekitarnya maupun dirinya sendiri dirugikan.

Seseorang dikatakan ketergantungan *game online* apabila memenuhi kriteria berikut ini (Istiqomah, 2020):

1. Tidak dapat mengendalikan diri atau mengontrol untuk melakukan permainan tersebut.
2. Lebih mementingkan untuk memainkan *game* dibandingkan dengan melakukan hal-hal yang harus didahulukan.
3. Meskipun telah merasakan dampak negatifnya, intensita bermain *Game Online* semakin meningkat dan berkelanjutan.
4. Perilaku yang berpola yang mengganggu area penting seperti diri sendiri, keluarga, kehidupan sosial, dan pendidikan.
5. Pola tersebut telah terjadi selama 12 bulan.

2.1.2 Model Matematika dan Pemodelan Matematika

Model matematika adalah perwujudan ide atau gagasan matematika dari suatu masalah yang nyata dan diekspresikan melalui simbol atau lambang matematika untuk memecahkan masalah. Salah satu manfaat menggunakan model matematika yaitu untuk memecahkan permasalahan yang terjadi pada kehidupan sehari-hari dan diselesaikan menggunakan matematika (Nurfauziah, Fauzy and Fitriani, 2021).

Tujuan dari pemodelan matematika adalah untuk membuat rumus matematika yang dapat menjelaskan bagaimana memecahkan masalah matematika umum yang dapat diterapkan pada perilaku atau kejadian alam.

(Nurfauziah, Fauzy and Fitriani, 2021). Jadi pemodelan matematika merupakan cara untuk menerapkan atau menggambarkan masalah di dunia nyata kedalam lambang matematika. Pemodelan matematika juga bisa digunakan di berbagai bidang seperti bidang kedokteran ataupun fisika.

2.1.3 Model Matematika SEIR

Model SEIR adalah model matematika dibagi menjadi empat subpopulasi yaitu subpopulasi *susceptible* menyatakan individu yang rentan, subpopulasi *exposed* menyatakan individu terdeteksi penyakit tetapi belum terinfeksi, subpopulasi *infected* menyatakan individu sudah sepenuhnya terinfeksi penyakit, dan subpopulasi *recovered* menyatakan individu yang telah sembuh dari penyakit. (Side., dkk., 2020).

Model SEIR umumnya identik dengan penurunan dari model SIR. Yang membedakannya adalah model SEIR ditambah satu buah variabel *exposed* (E) yaitu variabel yang menyatakan individu yang terpapar atau telah terdeteksi adanya penyakit tetapi belum menyebar sepenuhnya. Dalam hal ini jumlah seluruh populasi tetap konstan, yang dinyatakan dalam rumus berikut:

$$N = S + E + I + R \quad (2.1)$$

Pada kondisi awal individu dapat dikatakan *susceptible* dan bisa berubah menjadi individu *exposed*, artinya individu ini telah terpapar penyakit tetapi belum sepenuhnya terinfeksi. Jika individu *exposed* telah sepenuhnya terinfeksi maka individu tersebut berubah menjadi *infected*. Setelah individu tersebut sembuh, maka berubah menjadi *recovered*.

2.1.4 Persamaan Diferensial Biasa

Persamaan diferensial adalah model matematika yang berperan menggambarkan keadaan pada kehidupan nyata. Berdasarkan jumlah variabelnya, persamaan diferensial dibagi menjadi dua yaitu persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial. Persamaan dengan turunan dari satu variabel tidak bebas terhadap variabel bebas disebut dengan persamaan diferensial biasa (Baiduri, 2002). Secara umum persamaan diferensial berbentuk:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \frac{dx_2}{dt} &= f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} &= f_n(t, x_1, x_2, \dots, x_n)\end{aligned}\tag{2.2}$$

dengan $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^n, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^n$ adalah fungsi t dan $\mathbf{x}$ pada suatu selang

waktu t .

2.1.5 Persamaan Linier

Persamaan yang setiap sukunya memuat konstanta ataupun perkalian konstanta dengan variabelnya dikenal sebagai persamaan linier. Sebuah persamaan dikatakan linier apabila jika digambarkan pada koordinat kartesius akan berbentuk garis lurus (Nasution dkk., 2016). Persamaan diferensial biasa linear memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

1. Persamaan dengan variabel tak bebas serta turunannya berderajat satu

2. Tidak memiliki perkalian antar variabel tak bebas dengan turunan-turunannya
3. Variabel tak bebas bukan merupakan fungsi transenden

Sedangkan sistem persamaan linier adalah kumpulan dari beberapa persamaan yang saling terkait. Secara umum dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}x_1 &= \alpha_{11} + \alpha_{12}x_2 + f_1(t) \\x_2 &= \alpha_{21} + \alpha_{22}x_2 + f_2(t)\end{aligned}\tag{2.3}$$

dimana koefisien α_{11} , α_{12} , α_{21} , α_{22} dan f_1 , f_2 merupakan fungsi t yang kontinu pada selang I dan x_1 , x_2 adalah fungsi t yang tidak diketahui.

2.1.6 Polinomial Orde Tiga

Dalam matematika, polinomial atau suku banyak adalah pernyataan matematika yang melibatkan jumlah perkalian pangkat dalam satu atau lebih variabel dengan koefisien. Pangkat tertinggi pada suatu polinomial menunjukkan orde atau derajat dari polinomial tersebut (Zhao, Wang and Hong, 2011). Polinomial orde tiga secara umum dapat dituliskan:

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

dimana a, b, c , dan d adalah bilangan real. Solusi persamaan ini disebut akar fungsi kubik. Semua akar persamaan dapat ditemukan dengan menggunakan rumus. Misalkan:

$$\Delta_0 = b^2 - 3ac$$

$$\Delta_1 = 2b^3 - 9abc + 27a^2d$$

kemudian,

$$C = \sqrt[3]{\Delta_1 + \sqrt{\frac{\Delta_1^2 - 4\Delta_0^3}{2}}}$$

Untuk menemukan akar polinomial menggunakan rumus:

$$x_1 = -\frac{1}{3a} \left(b + C + \frac{\Delta_0}{c} \right) \quad (2.4)$$

$$x_2 = -\frac{1}{3a} \left(b + \left(\frac{-1+\sqrt{-3}}{2} \right) C + \frac{\Delta_0}{c} \right) \quad (2.5)$$

$$x_3 = -\frac{1}{3a} \left(b + \left(\frac{-1+\sqrt{-3}}{2} \right)^2 C + \frac{\Delta_0}{c} \right) \quad (2.6)$$

2.1.7 Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Diketahui $\mathbf{A}$ merupakan matriks $n \times n$, vektor eigen dari matriks $\mathbf{A}$ yaitu suatu vektor $\mathbf{x} \neq 0$ pada R^n apabila kelipatan scalar dari $\mathbf{x}$ adalah $\mathbf{Ax}$, maka dapat dituliskan:

$$\mathbf{Ax} = \lambda \mathbf{x} \quad (2.7)$$

dimana nilai eigen dari $\mathbf{A}$ merupakan suatu skalar λ . Maka dapat dinyatakan bahwa $\mathbf{x}$ adalah vektor eigen yang bergantung terhadap nilai eigen λ .

Misalkan λ merupakan nilai eigen dari matriks $\mathbf{A}$ dan vektor eigen $\mathbf{x}$ memiliki hubungan dengan nilai eigen λ , maka $\mathbf{Ax} = \lambda \mathbf{x} = \lambda \mathbf{Ix}$ dimana $\mathbf{I}$ adalah sebuah matriks identitas. sehingga $(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0$. Karena $\mathbf{x} \neq 0$ diperoleh:

$$\det(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0$$

Contoh, diketahui nilai Eigen dan vektor Eigen sebagai berikut:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -4 \\ 1 & 5 \end{pmatrix}$$

penyelesaian dari nilai Eigen dapat diputuskan dengan menggunakan $\det(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0$, diperoleh:

$$\det \begin{pmatrix} 1 - \lambda & -4 \\ 1 & 5 - \lambda \end{pmatrix}$$

sehingga

$$(1 - \lambda)(5 - \lambda) + 4 = 0$$

$$(\lambda - 3)^2 = 0 \rightarrow \lambda = 3$$

diketahui nilai Eigen dari A adalah $\lambda = 3$, kemudian temukan vektor Eigen dengan rumus $(A - \lambda I) = 0$

$$\begin{pmatrix} 1 - \lambda & -4 \\ 1 & 5 - \lambda \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} x = 0$$

Karena $x_1 = -x_2$, jika $x_1 = c$ dimana c merupakan sebuah konstanta, sehingga diperoleh

$$x = c \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

maka diketahui bahwa vektor Eigen A adalah $x = c \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$.

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Proses kehidupan ini membutuhkan kendaraan yang berupa waktu. Dalam al-Quran surah Al-Hajj ayat 47 dijelaskan bahwa satu hari di akhirat sama dengan seribu hari di bumi. Dalam surah lainnya yaitu surah Al-Mu'minin ayat 114 yang artinya (Kemenag, 2023b):

“Dia (Allah) berfirman, Kamu tinggal (di bumi) hanya sebentar saja, jika kamu benar-benar mengetahui”

Ayat ini menerangkan bahwa mereka tinggal di dunia hanya sebentar. Andaikata mereka menyadari hal itu ketika mereka tinggal di dunia, sedangkan kehidupan yang dihadapinya di akhirat adalah kehidupan yang tiada batasnya, tentu mereka akan berbuat hal-hal yang bermanfaat dan sesuai dengan yang diperintahkan Allah. Akan tetapi, mereka lalai menyadarinya, sehingga mereka layak mendapat azab dari Allah (Shihab, 2006). Dalam ayat lain Allah menekankan bahwa seorang hamba dapat belajar dan bersyukur dengan

memanfaatkan waktu. Sebagaimana disebutkan dalam surah Al-Furqan ayat 62 yang artinya (Kemenag, 2023c):

“dan Dia (pula) yang menjadikan malam dan siang silih berganti bagi orang yang ingin mengambil pelajaran atau orang yang ingin bersyukur.”

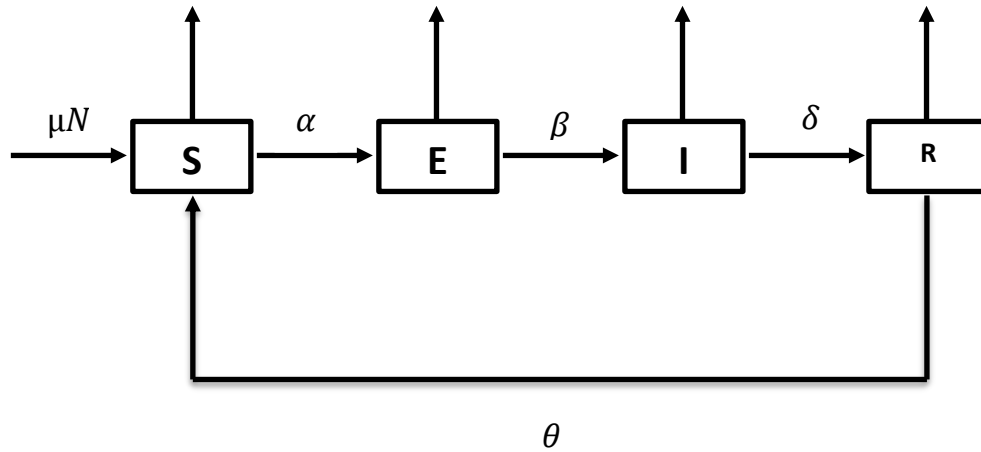
Menurut tafsir Quraish Shihab Allah lah yang menjadikan malam dan siang secara silih berganti, yang satu datang menggantikan yang lain. Kami atur semua ini agar siapa saja dapat mengambil pelajaran dari aturan semacam ini, sehingga dapat mengetahui kebijaksanaan dan kekuasaan Allah. Atau agar ia dapat mensyukuri nikmat yang agung ini (Shihab, 2006). Allah SWT. berfirman dalam surah al-Fathir ayat 37 yang artinya (Kemenag, 2023d):

“Dan mereka berteriak di dalam neraka itu: “Ya Tuhan kami, keluarkanlah kami niscaya kami akan mengerjakan amal yang saleh berlainan dengan yang telah kami kerjakan”. Dan apakah kami tidak memanjangkan umurmu dalam masa yang cukup untuk berpikir bagi orang yang mau berpikir, dan (apakah tidak) datang kepada kamu pemberi peringatan? Maka rasakanlah (azab kami) dan tidak ada bagi orang-orang yang lalim seorang penolong. ”

Menurut tafsir Ibnu Katsir mereka meminta agar dikembalikan ke dunia untuk mengerjakan amal perbuatan yang berlainan dengan yang telah mereka kerjakan dimasa lalu. Allah Swt. telah mengetahui bahwa seandainya mereka dikembalikan ke dunia lagi, pastilah mereka akan kembali mengerjakan apa yang dilarang bagi mereka melakukannya. Karena itu Allah swt. tidak memperkenankan permintaan mereka (Katsir, 1993).

2.3 Kajian Topik dangan Teori Pendukung

Pembentukan model SEIR ketergantungan *game online* dapat digambarkan pada diagram kompartemen berikut:



Gambar 2.1. Diagram Kompartemen Model SEIR Ketergantungan *Game Online*

Berdasarkan diagram tersebut diketahui model matematika untuk ketergantungan *game online* dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial sebagai berikut :

$$\frac{dS}{dt} = \mu + \theta R - \alpha S - \mu S \quad (2.8)$$

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

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - \delta I - \mu I \quad (2.10)$$

$$\frac{dR}{dt} = \delta I - \theta R - \mu R \quad (2.11)$$

Penambahan jumlah individu *susceptible* (S) dapat bertambah karena kelahiran alami sebesar μ dan juga kemungkinan individu *recovered* (R) kembali *susceptible* (S) sebesar θ , pengurangan jumlah individu *susceptible* (S) dipengaruhi oleh tingkat kematian alami manusia sebesar μ dan kemungkinan individu *Suspected* (S) menjadi *exposed* (E) sebesar α .

Penambahan jumlah individu (E) dipengaruhi oleh kemungkinan individu *Suspected* (S) menjadi *exposed* (E) sebesar α , pengurangan jumlah individu *exposed* (E) dipengaruhi oleh tingkat kematian alami manusia sebesar μ dan kemungkinan individu *exposed* (E) menjadi *infected* (I) sebesar β .

Penambahan jumlah individu (I) dipengaruhi oleh kemungkinan individu *exposed* (E) menjadi terinfeksi *infected* (I) sebesar β , pengurangan jumlah individu *infected* (I) dipengaruhi oleh tingkat kematian alami manusia sebesar μ dan kemungkinan individu terinfeksi *infected* (I) dinyatakan *recovered* (R) sebesar δ .

Penambahan jumlah individu *recovered* (R) dipengaruhi oleh kemungkinan individu terinfeksi *infected* (I) dinyatakan sembuh *recovered* (R) sebesar δ , pengurangan jumlah individu *recovered* (R) dipengaruhi oleh tingkat kematian alami manusia sebesar μ dan kemungkinan individu *recovered* (R) kembali rentan sebesar θ .

Tabel 2.1 Variabel dan Parameter dari Model ketergantungan *Game Online*

Parameter	Deskripsi Parameter	Nilai	Satuan
μ	Laju individu yang memiliki/tidak memiliki <i>game online</i>	0.181	Orang/Per Tahun
α	Laju perpindahan individu <i>suspected</i> (S) menjadi <i>exposed</i> (E)	0.331	Orang/Per Tahun
β	Laju perpindahan individu <i>exposed</i> (E) menjadi <i>infected</i> (I)	0.036	Orang/Per Tahun
δ	Laju perpindahan individu <i>infected</i> (I) menjadi <i>recovered</i> (R)	0.895	Orang/Per Tahun

θ	Laju perpindahan individu <i>recovered</i> (R) kembali rentan	0.351	Orang/Per Tahun
----------	--	-------	--------------------

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif yaitu dengan melakukan kajian literatur. Penelitian ini dilakukan dengan cara menelaah jurnal, buku, maupun bahan literatur yang menunjang penelitian ini.

3.2 Pra Penelitian

Tahap awal yang dilakukan sebelum melaksanakan penelitian disebut pra penelitian. Perkara-perkara yang dilakukan pada pra penelitian yaitu:

1. Mempelajari beberapa literatur yang berhubungan dengan penelitian.
2. Mengidentifikasi rumusan masalah penelitian.
3. Menemukan solusi eksak dari model matematika SEIR.

3.3 Tahapan Penelitian

1. Adapun langkah-langkah untuk menemukan solusi analitik sebagai berikut:
 - a. Membuat model dalam bentuk matriks.
 - b. Mencari nilai eigen dari model matematika SEIR.
 - c. Mencari vektor eigen dari nilai eigen yang telah didapatkan.
 - d. Menemukan solusi eksak dari model matematika SEIR pada ketergantungan *game online*.
2. Adapun langkah-langkah untuk melakukan simulasi adalah sebagai berikut:
 - a. Memasukkan nilai awal.
 - b. Menggambar grafik menggunakan MAPLE.
 - c. Melakukan identifikasi.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Solusi Eksak

4.1.1 Nilai Eigen Model Matematika SEIR Ketergantungan *Game Online*

Berdasarkan subbab 2.3 didapatkan model SEIR penyebaran ketergantungan *game online* dapat dilihat pada persamaan (2.5) sampai (2.8). Dari empat persamaan dapat dituliskan dalam matriks sebagai berikut:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -\mu - \alpha & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta - \mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta - \mu & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta - \mu \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Matriks (4.1) dinamakan matriks Jacobi. Matriks $\mathbf{A}$ tersebut merupakan matriks dengan ordo 4×4 . Untuk menemukan nilai eigen pada matriks $\mathbf{A}$ dapat diperoleh dengan menggunakan $\det (\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0$. Dimana λ merupakan nilai eigen dari matriks $\mathbf{A}$ dan $\mathbf{I}$ merupakan matriks identitas. Maka diperoleh:

$$\begin{aligned} & \left| \begin{pmatrix} -\mu - \alpha & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta - \mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta - \mu & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta - \mu \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right| = 0 \\ & \left| \begin{pmatrix} -\mu - \alpha & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta - \mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta - \mu & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta - \mu \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} \right| = 0 \\ & \left| \begin{matrix} -\mu - \alpha - \lambda & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta - \mu - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta - \mu - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta - \mu - \lambda \end{matrix} \right| = 0 \quad (4.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\lambda + \mu) (\alpha \beta \delta + \alpha \beta \lambda + \alpha \beta \mu + \alpha \beta \theta + \alpha \delta \lambda + \alpha \delta \mu + \alpha \delta \theta + \alpha \lambda^2 + 2 \alpha \lambda \mu + \alpha \lambda \theta \\ & + \alpha \mu^2 + \alpha \mu \theta + \beta \delta \lambda + \beta \delta \mu + \beta \delta \theta + \beta \lambda^2 + 2 \beta \lambda \mu + \beta \lambda \theta + \beta \mu^2 + \beta \mu \theta + \delta \lambda^2 \\ & + 2 \delta \lambda \mu + \delta \lambda \theta + \delta \mu^2 + \delta \mu \theta + \lambda^3 + 3 \lambda^2 \mu + \lambda^2 \theta + 3 \lambda \mu^2 + 2 \lambda \mu \theta + \mu^3 + \mu^2 \theta) \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui salah satu nilai eigen dari matriks $\mathbf{A}$ yaitu $\lambda_1 = -\mu$. Kemudian untuk mencari tiga nilai eigen lainnya diperoleh dari persamaan:

$$\begin{aligned} \lambda^3 + (\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)\lambda^2 + (\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + 2\delta\mu \\ + \delta\theta + 3\mu^2 + 2\mu\theta)\lambda + \alpha\beta\delta + \alpha\beta\mu + \alpha\beta\theta + \alpha\delta\mu + \alpha\delta\theta + \alpha\mu^2 + \alpha\mu\theta + \beta\delta\mu \\ + \beta\delta\theta + \beta\mu^2 + \beta\mu\theta + \delta\mu^2 + \delta\mu\theta + \mu^3 + \mu^2\theta \end{aligned} \quad (4.3)$$

dari persamaan (4.3) dapat dimisalkan:

$$a = 1,$$

$$b = \alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta,$$

$$c = \alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta, \text{ dan } d =$$

$$\beta\delta + \alpha\beta\mu + \alpha\beta\theta + \alpha\delta\mu + \alpha\delta\theta + \alpha\mu^2 + \alpha\mu\theta + \beta\delta\mu + \beta\delta\theta + \beta\mu^2 + \beta\mu\theta +$$

$$\delta\mu^2 + \delta\mu\theta + \mu^3 + \mu^2\theta.$$

Untuk langkah selanjutnya yaitu menghitung Δ_0 , didapatkan:

$$\Delta_0 = b^2 - 3ac$$

$$\begin{aligned} &= (\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)^2 - 3(\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + \\ &\quad 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta) \end{aligned}$$

sedangkan Δ_1 yaitu:

$$\Delta_1 = 2b^3 - 9abc + 27a^2d$$

$$\begin{aligned} &= 2(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)^3 - 9(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)(\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \\ &\quad \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta) + 27(\beta\delta + \alpha\beta\mu + \alpha\beta\theta + \alpha\delta\mu + \\ &\quad \alpha\delta\theta + \alpha\mu^2 + \alpha\mu\theta + \beta\delta\mu + \beta\delta\theta + \beta\mu^2 + \beta\mu\theta + \delta\mu^2 + \delta\mu\theta + \mu^3 + \mu^2\theta) \end{aligned}$$

Formula untuk C sebagaimana dituliskan di subbab 2.1.6 adalah:

$$C = \sqrt[3]{\Delta_1 + \sqrt{\frac{\Delta_1^2 - 4\Delta_0^3}{2}}}$$

$$\begin{aligned}
&= (2(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)^3 - 9(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)(\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + \\
&\quad 2\beta\mu + \beta\theta + 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta) + 27(\beta\delta + \alpha\beta\mu + \alpha\beta\theta + \alpha\delta\mu + \alpha\delta\theta + \alpha\mu^2 + \\
&\quad \alpha\mu\theta + \beta\delta\mu + \beta\delta\theta + \beta\mu^2 + \beta\mu\theta + \delta\mu^2 + \delta\mu\theta + \mu^3 + \mu^2\theta) + ((2(\alpha + \beta + \delta + \\
&\quad 3\mu + \theta)^3 - 9(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \theta)(\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + \\
&\quad 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta) + 27(\beta\delta + \alpha\beta\mu + \alpha\beta\theta + \alpha\delta\mu + \alpha\delta\theta + \alpha\mu^2 + \alpha\mu\theta + \\
&\quad \beta\delta\mu + \beta\delta\theta + \beta\mu^2 + \beta\mu\theta + \delta\mu^2 + \delta\mu\theta + \mu^3 + \mu^2\theta)^2 - 4)(\alpha + \beta + \delta + 3\mu + \\
&\quad \theta)^2 - 3(\alpha\beta + \alpha\delta + 2\alpha\mu + \alpha\theta + \beta\delta + 2\beta\mu + \beta\theta + 2\delta\mu + \delta\theta + 3\mu^2 + \mu\theta)^3)/ \\
&\quad 2)^{1/3}
\end{aligned}$$

berdasarkan sub-bab 2.1.6, untuk mencari tiga buah nilai eigen dari matriks A selain $-\mu$ menggunakan formula:

$$\lambda_2 = -\frac{1}{3\alpha}\left(b + C + \frac{\Delta_0}{C}\right)$$

$$\lambda_3 = -\frac{1}{3\alpha}\left(b + \left(\frac{-1 + \sqrt{-3}}{2}\right)C + \frac{\Delta_0}{C}\right)$$

$$\lambda_4 = -\frac{1}{3\alpha}\left(b + \left(\frac{-1 + \sqrt{-3}}{2}\right)^2 C + \frac{\Delta_0}{C}\right)$$

Untuk mempermudah perhitungan, maka disubstitusikan nilai-nilai parameter yang disajikan pada Tabel 2.1, maka didapatkan:

$$\lambda_1 = -0.181$$

$$\lambda_2 = -1.08933615981343$$

$$\lambda_3 = -0.5333319195 + 0.1383241544 I$$

$$\lambda_4 = -0.5333319195 - 0.1383241544 I$$

4.1.2 Vektor Eigen Model Matematika SEIR Ketergantungan *Game Online*

Untuk mencari vektor eigen matriks A dapat menggunakan persamaan $(A - \lambda I) = 0$, dimana empat nilai eigen yang telah didapatkan pada persamaan (4.3) disubstitusikan pada persamaan $(A - \lambda I) = 0$. Selanjutnya akan lebih mudah menemukan vektor eigen dengan mensubstitusikan nilai-nilai parameter yang disajikan pada Tabel 2.1 dengan bantuan MAPLE, (sebagaimana yang terlampir pada lampiran 1) diperoleh:

$$v_1 = \begin{bmatrix} 0.1026889015 \\ -0.038964366 \\ 0.1051814958 \\ -0.1689060307 \end{bmatrix},$$

$$v_2 = \begin{bmatrix} -0.0999476933 \\ -0.9189635120 \\ -0.3696389547 \\ -0.0942526680 \end{bmatrix},$$

$$v_3 = \begin{bmatrix} -0.1582425084 - 0.9173445847I \\ -0.2133564612 + 0.866585663I \\ 0.0004692510440 + 0.05736872355I \\ 0.3711297153 - 0.0066098028I \end{bmatrix}, \text{ dan}$$

$$v_4 = \begin{bmatrix} -0.1582425084 + 0.9173445847I \\ -0.2133564612 - 0.8665856630I \\ 0.000469251044 - 0.05736872355I \\ 0.3711297153 + 0.0066098028I \end{bmatrix}$$

4.1.3 Solusi Eksak Model Matematika SEIR Ketergantungan *Game Online*

Setelah menemukan nilai eigen dan vektor eigen dari model matematika SEIR ketergantungan *game online* maka didapatkan solusi eksak sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} S(t) \\ E(t) \\ I(t) \\ R(t) \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^4 c_i v_i e^{\lambda_i t}$$

$$\begin{pmatrix} S(t) \\ E(t) \\ I(t) \\ R(t) \end{pmatrix} = c_1 v_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 v_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 v_3 e^{\lambda_3 t} + c_4 v_4 e^{\lambda_4 t}$$

$$\begin{pmatrix} S(t) \\ E(t) \\ I(t) \\ R(t) \end{pmatrix} = c_1 e^{-0.181t} \begin{bmatrix} 0.1026889015 \\ -0.038964366 \\ 0.1051814958 \\ -0.1689060307 \end{bmatrix}$$

$$+ c_2 e^{-1.08933615981343t} \begin{bmatrix} -0.0999476933 \\ -0.9189635120 \\ -0.3696389547 \\ -0.0942526680 \end{bmatrix}$$

$$+ c_3 e^{-0.5333319195 + 0.1383241544It} \begin{bmatrix} -0.1582425084 - 0.9173445847I \\ -0.2133564612 + 0.866585663I \\ 0.0004692510440 + 0.05736872355I \\ 0.3711297153 - 0.0066098028I \end{bmatrix}$$

$$+ c_4 e^{-0.5333319195 - 0.1383241544It} \begin{bmatrix} -0.1582425084 + 0.9173445847I \\ -0.2133564612 - 0.8665856630I \\ 0.000469251044 - 0.05736872355I \\ 0.3711297153 + 0.0066098028I \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

dimana c_1 , c_2 , c_3 , dan c_4 merupakan suatu konstanta, kemudian berdasarkan subbab 2.3 didapatkan model SEIR penyebaran ketergantungan game online pada persamaan (2.5)-(2.8) dengan kondisi awal sebagai berikut:

$$S(0) = S_0$$

$$E(0) = E_0$$

$$I(0) = I_0$$

$$R(0) = R_0$$

maka didapatkan:

$$S(0) = c_1(0.1026889015) + c_2(-0.0999476933) + c_3(-0.1582425084 - 0.9173445847I) + c_4(-0.1582425084 + 0.9173445847I) = S_0$$

$$E(0) = c_1(-0.038964366) + c_2(-0.9189635120) + c_3(-0.2133564612 + 0.866585663I) + c_4(-0.2133564612 - 0.8665856630I) = E_0$$

$$I(0) = c_1(0.1051814958) + c_2(-0.3696389547) + c_3(-0.0004692510440 + 0.05736872355I) + c_4(0.000469251044 - 0.05736872355I) = I_0$$

$$R(0) = c_1(-0.1689060307) + c_2(-0.0942526680) + c_3(0.3711297153 - 0.0066098028I) + c_4(0.3711297153 + 0.0066098028I) = R_0$$

dari empat persamaan tersebut dengan bantuan MAPLE didapatkan nilai c_1 , c_2 , c_3 , dan c_4 sebagai berikut:

$$c_1 = 8.949670456 I_0 - 0.3693394261 E_0 - 0.1333566872 R_0 + 0.2117507243 S_0$$

$$c_2 = -0.8694686232 I_0 - 0.8694686158 E_0 - 0.8694686232 R_0 - 0.8694686153 S_0$$

$$c_3 = -(0.6005202087I)E_0 + (0.1677026844I)R_0 + (0.4736456613I)S_0 - 0.1933818868 E_0 + 1.929986351 I_0 + 1.203499092 R_0 - 0.7065611977S_0 - (0.2153615202I) I_0$$

$$c_4 = (8.642894412 \times 10^{-60} + 9.64435255 \times 10^{-61}I) ((9.328703313 \times 10^{57}I) E_0 - (3.451199073 \times 10^{58}I)R_0 - (5.322674871 \times 10^{58}I) S_0 - 2.133370462 \times 10^{58} E_0 + 2.233032429 \times 10^{59}I_0 + 1.353961364 \times 10^{59} R_0 - 1.411446987 \times 10^{58} S_0)$$

Kemudian substitusikan nilai c_1 , c_2 , c_3 , dan c_4 kedalam persamaan (4.4) sehingga didapatkan solusi eksak:

$$\begin{aligned} S(t) = & (0.1026889015(8.949670456 I_0 - 0.3693394261 E_0 - 0.1333566872 R_0 + 0.2117507243 S_0))e^{-1.08933615981343 t} - \\ & (0.999476933 (-0.8694686232 I_0 - 0.8694686158 E_0 - 0.8694686232 R_0 - 0.8694686153 S_0))e^{-0.1810000005 t} + \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned}
& (-0.1582425084 - 0.9173445847I)(-(0.6005202087I) E_0 + \\
& (0.1677026844I)R_0 + (0.4736456613I)S_0 - \\
& 0.1933818868 E_0 + 1.929986351 I_0 + 1.203499092 R_0 - \\
& 0.7065611977 S_0 - \\
& (0.2153615202I)I_0)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (-2.252392751 \times 10^{-60}) + 7.775897731 \times \\
& 10^{-60}I)((9.328703313 \times 10^{57}I) E_0 - (3.451199073 \times \\
& 10^{58}I) R_0 - (5.322674871 \times 10^{58}I) S_0 - 2.133370462 \times \\
& 10^{58} E_0 + 2.233032429 \times 10^{59} I_0 + 1.353961364 \times 10^{59} R_0 - \\
& 1.411446987 \times 10^{58} S_0)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t} \\
E(t) = & -(0.389643660 (8.949670456 I_0 - 0.3693394261 E_0 - \\
& 0.1333566872 R_0 + 0.2117507243 S_0)) e^{-1.08933615981343 t} - \\
& (0.9189635120 (-0.8694686232 I_0 - 0.8694686158 E_0 - \\
& 0.8694686232 R_0 - 0.8694686153 S_0))e^{-0.1810000005 t} + \\
& (-0.2133564612 + 0.8665856630I)(-(0.6005202087I) E_0 + \\
& (0.1677026844I) R_0 + (0.4736456613I) S_0 - \\
& 0.1933818868 E_0 + 1.929986351 I_0 + 1.203499092 R_0 - \\
& 0.7065611977 S_0 - \\
& (0.2153615202I) I_0)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (-1.008251601 \times 10^{-60} - 7.695576877 \times \\
& 10^{-60}I)((9.328703313 \times 10^{57}I) E_0 - (3.451199073 \times \\
& 10^{58}I) R_0 - (5.322674871 \times 10^{58}I) S_0 - 2.133370462 \times \\
& 10^{58} E_0 + 2.233032429 \times 10^{59} I_0 + 1.353961364 \times 10^{59} R_0 -
\end{aligned} \tag{4.6}$$

$$\begin{aligned}
& 1.411446987 \times 10^{58} S_0) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544I)t} \\
I(t) = & (0.1051814958(8.949670456 I_0 - 0.3693394261 E_0 - \\
& 0.1333566872 R_0 + 0.2117507243 S_0)) e^{-1.08933615981343 t} - \\
& (0.3696389547(-0.8694686232 I_0 - 0.8694686158 E_0 - \\
& 0.8694686232 R_0 - 0.8694686153 S_0)) e^{-0.1810000005 t} + \\
& (0.4692510440 + 0.5736872355I)(-(0.6005202087I)E_0 + \\
& (0.1677026844I)R_0 + (0.4736456613I)S_0 - \\
& 0.1933818868 E_0 + 1.929986351 I_0 + 1.203499092 R_0 - \\
& 0.7065611977 S_0 - \\
& (0.2153615202I)I_0) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544I)t} + \\
& (5.938410679 \times 10^{-62} - 4.953792579 \times \\
& 10^{-61}I)((9.328703313 \times 10^{57}I) E_0 - (3.451199073 \times \\
& 10^{58}I) R_0 - (5.322674871 \times 10^{58}I) S_0 - 2.133370462 \times \\
& 10^{58} E_0 + 2.233032429 \times 10^{59} I_0 + 1.353961364 \times 10^{59} R_0 - \\
& 1.411446987 \times 10^{58} S_0) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544I)t}
\end{aligned} \tag{4.7}$$

$$\begin{aligned}
R(t) = & -(0.1689060307(8.949670456 I_0 - 0.3693394261 E_0 - \\
& 0.1333566872 R_0 + 0.2117507243 S_0)) e^{-1.08933615981343 t} - \\
& (0.942526680(-0.8694686232 I_0 - 0.8694686158 E_0 - \\
& 0.8694686232 R_0 - 0.8694686153 S_0)) e^{-0.1810000005 t} + \\
& (0.3711297153 - 0.66098028I)(-(0.6005202087I) E_0 + \\
& (0.1677026844I) R_0 + (0.4736456613I) S_0 - \\
& 0.1933818868 E_0 + 1.929986351 I_0 + 1.203499092 R_0 - \\
& 0.7065611977 S_0 -
\end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
& (0.2153615202I) I_0) e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (3.201260216 \times 10^{-60} + 4.150584096 \times \\
& 10^{-61}I)((9.328703313 * 10^{57}I) E_0 - (3.451199073 \times \\
& 10^{58}I) R_0 - (5.322674871 \times 10^{58}I) S_0 - 2.133370462 \times \\
& 10^{58} E_0 + 2.233032429 \times 10^{59} I_0 + 1.353961364 * 10^{59} R_0 - \\
& 1.411446987 \times 10^{58} S_0) e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t}
\end{aligned}$$

Karena persamaan (4.5) sampai (4.8) masih memuat indeks S_0 , E_0 , I_0 , dan R_0 maka dimasukkan nilai awal sehingga didapatkan solusi eksak:

$$\begin{aligned}
S(t) = & -0.02000109766 e^{-1.08933615981343 t} + \\
& 0.08664067842 e^{-0.1810000005 t} + (0.05168020961 + \\
& 0.08668242237I) e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (0.05168020962 -
\end{aligned}$$

$$0.08668242237I) e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t}$$

$$\begin{aligned}
E(t) = & 0.007589233874 e^{-1.08933615981343 t} + \\
& 0.7966129032 e^{-0.1810000005 t} + (-0.01210106853 - \\
& 0.09599332247I) e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} (-0.01210106854 \\
& 0.09599332247I) e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t}
\end{aligned}$$

(4.10)

$$\begin{aligned}
I(t) = & -0.02048658949 e^{-1.08933615981343 t} + \\
& 0.03204253020 e^{-0.1810000005 t} + (-0.002277970360 - \\
& 0.005787444288I) e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (-0.002277970361 + \\
& 0.005787444288I) e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t}
\end{aligned}$$

(4.11)

$$\begin{aligned}
R(t) = & 0.03289845316 e^{-1.08933615981343 t} + \\
& 0.08170388759 e^{-0.1810000005 t} + (-0.03730117035 + \\
& 0.01509834436I)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)t} + \\
& (-0.03730117035 - \\
& 0.01509834436I)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)t}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

4.1.4 Analisis Validasi Model Matematika SEIR Ketergantungan Game

Online

Untuk melihat validasi dari solusi analitik yang telah ditemukan, dilakukan dengan cara menghitung solusi pada saat t sama dengan nol, harus sesuai dengan nilai awal yaitu:

$$S(0) = S_0 = 0.17$$

$$E(0) = E_0 = 0.78$$

$$I(0) = I_0 = 0.007$$

$$R(0) = R_0 = 0.04$$

sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
S(0) = & -0.02000109766 e^{-1.08933615981343 (0)} \\
& + 0.08664067842 e^{-0.1810000005 (0)} + (0.05168020961 + \\
& 0.08668242237I)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)(0)} + \\
& (0.05168020962 - 0.08668242237I)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)(0)} \\
= & -0.02000109766 + 0.08664067842 + 0.05168020961 \\
& + 0.08668242237I + 0.05168020962 - 0.08668242237I \\
= & 0.17
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(0) &= 0.007589233874 e^{-1.08933615981343(0)} + \\
&\quad 0.7966129032 e^{-0.1810000005(0)} + (-0.01210106853 - \\
&\quad 0.09599332247I)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)(0)} + (-0.01210106854 + \\
&\quad 0.09599332247I)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)(0)} \\
&= 0.007589233874 + 0.7966129032 - 0.01210106853 \\
&\quad -0.09599332247I - 0.01210106854 + 0.09599332247I \\
&= 0.7800000001
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I(0) &= -0.02048658949 e^{-1.08933615981343(0)} + \\
&\quad 0.03204253020 e^{-0.1810000005(0)} + (-0.002277970360 - \\
&\quad 0.005787444288I)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)(0)} + \\
&\quad (-0.002277970361 + \\
&\quad 0.005787444288I)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)(0)} \\
&= -0.02048658949 + 0.03204253020 - 0.002277970360 \\
&\quad -0.005787444288I - 0.002277970361 + 0.005787444288I \\
&= 0.00699999999
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R(0) &= 0.03289845316 e^{-1.08933615981343(0)} + \\
&\quad 0.08170388759 e^{-0.1810000005(0)} + (-0.03730117035 + \\
&\quad 0.01509834436I)e^{(-0.5333319195+0.1383241544I)(0)} + \\
&\quad (-0.03730117035 - \\
&\quad 0.01509834436I)e^{(-0.5333319195-0.1383241544I)(0)} \\
&= 0.03289845316 + 0.08170388759 - 0.03730117035 \\
&\quad +0.01509834436I - 0.03730117035 - 0.01509834436I \\
&= 0.04
\end{aligned}$$

Maka terbukti bahwa pada saat solusi eksak dimasukkan nilai $t = 0$ hasilnya sama dengan nilai awal yang telah diketahui.

4.1.5 Titik Tetap Model Matematika SEIR Ketergantungan *Game Online*

Untuk mengetahui titik tetap dari solusi analitik yang telah ditemukan, dilakukan dengan cara menghitung t menuju tak hingga dari persamaan (4.9) sampai persamaan (4.12), maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} & \left(-0.02000109766 e^{-1.08933615981343 t} + \right. \\ & 0.08664067842 e^{-0.1810000005 t} + (0.05168020961 + \\ & 0.08668242237I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544I)t} + (0.05168020962 - \\ & \left. 0.08668242237I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544I)t} \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} & \left(0.007589233874 e^{-1.08933615981343 t} + 0.7966129032 e^{-0.1810000005 t} + \right. \\ & (-0.01210106853 - \\ & 0.09599332247I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544I)t} (-0.01210106854 + \\ & \left. 0.09599332247I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544I)t} \right) = 0 \end{aligned}$$

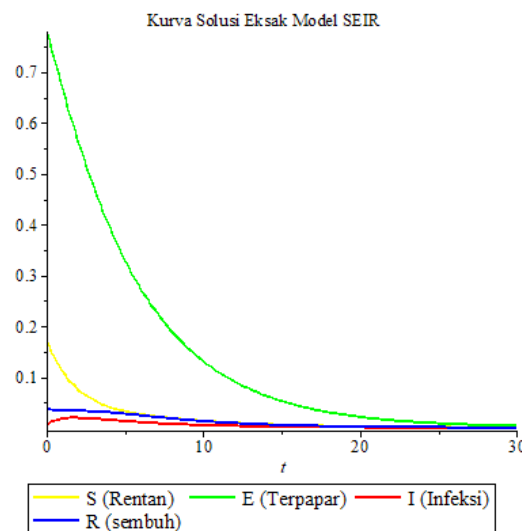
$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} & \left(-0.02048658949 e^{-1.08933615981343 t} + \right. \\ & 0.03204253020 e^{-0.1810000005 t} + (-0.002277970360 - \\ & 0.005787444288I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544I)t} + (-0.002277970361 + \\ & \left. 0.005787444288I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544I)t} \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (0.03289845316 e^{-1.08933615981343 t} + 0.08170388759 e^{-0.1810000005 t} + (-0.03730117035 + 0.01509834436 I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t} + (-0.03730117035 - 0.01509834436 I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t}) = 0$$

Setelah menghitung nilai t menuju tak hingga dari persamaan (4.9) sampai persamaan (4.12) dapat diketahui jika titik tetap model matematika ketergantungan *game online* yaitu nol.

4.2 Simulasi Model Matematika SEIR untuk Ketergantungan *Game Online*

Pada tahap ini dilakukan simulasi pada model SEIR untuk ketergantungan *Game Online* dengan mensubstitusikan nilai awal $S_0 = 0,17$, $E_0 = 0,78$, $I_0 = 0,007$, $R_0 = 0,04$, dan nilai parameter menggunakan aplikasi MAPLE.



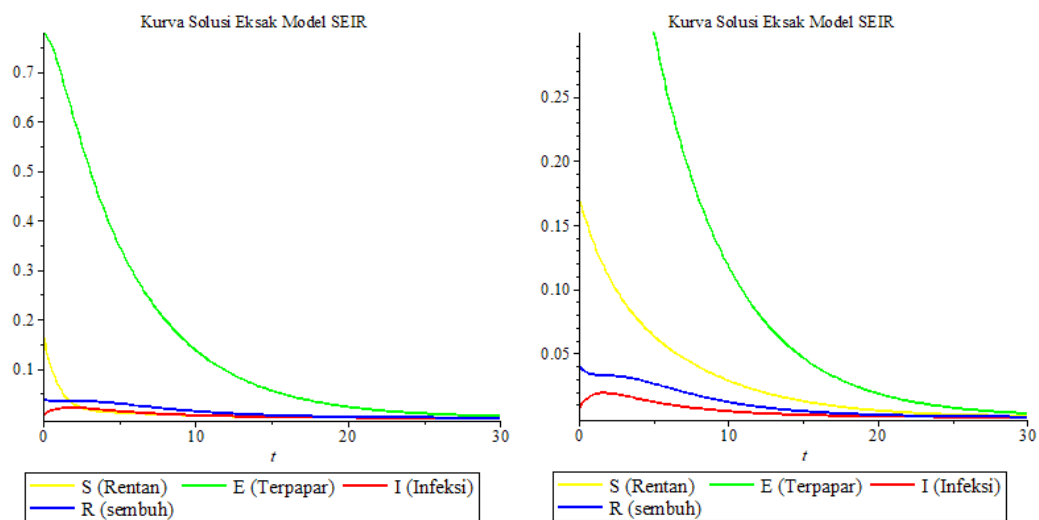
Gambar 4.1 Simulasi Model SEIR untuk Ketergantungan *Game Online*

Berdasarkan Gambar 4.1 diketahui bahwa jumlah mahasiswa Jurusan Matematika UNM yang rentan ketergantungan *game online* terus meningkat, kemudian setelah delapan tahun grafik berangsur-angsur konstan menuju nol. Sedangkan jumlah mahasiswa yang mulai bermain *game online* atau jumlah

populasi *exposed* terus menurun hingga mencapai titik kesetimbangan pada tahun kedelapan. Dapat diketahui jumlah mahasiswa yang ketergantungan *game online* atau populasi individu *infected* pada awalnya meningkat kemudian turun hingga mencapai titik kesetimbangan pada tahun keempat. Sebaliknya mahasiswa yang dinyatakan bebas dari ketergantungan mengalami penurunan hingga tahun keempat.

4.3 Pengaruh Setiap Parameter terhadap Model SEIR Ketergantungan *Game Online*

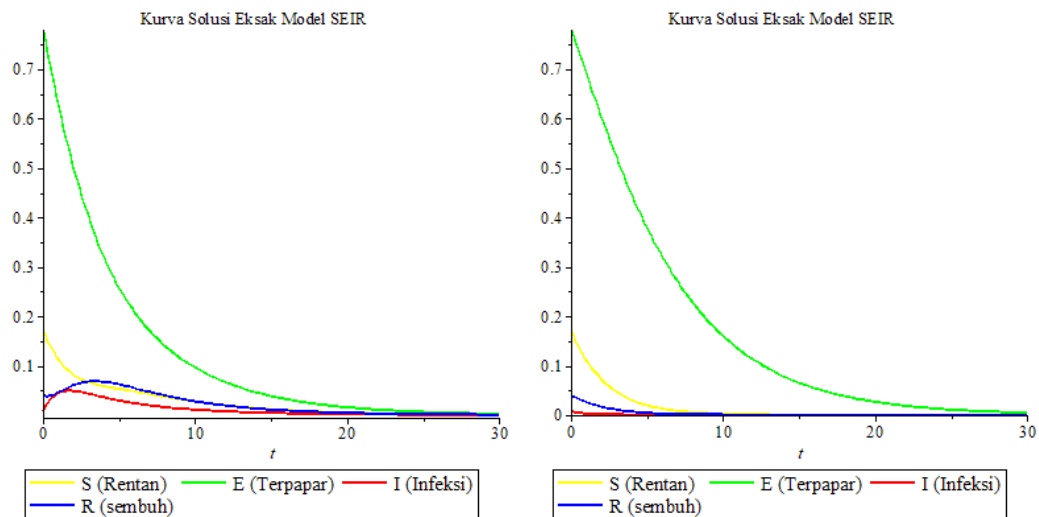
Simulasi pertama yaitu dengan mengubah nilai parameter α , yaitu menjadi $\alpha = 0,9$ dan $\alpha = 0,1$.



Gambar 4.2 Grafik Model SEIR saat $\alpha = 0,9$ dan $\alpha = 0,1$

Gambar 4.2 menunjukkan perbedaan jika nilai parameter α ditambah dan dikurangi. Saat nilai parameter α ditambah jumlah siswa yang rentan turun sejak hari ke-2, sedangkan saat nilai parameter α dikurangi jumlah siswa yang rentan turun pada hari ke-5. Hal ini membuktikan jika nilai parameter α ditambah, maka jumlah siswa yang rentan akan turun lebih cepat.

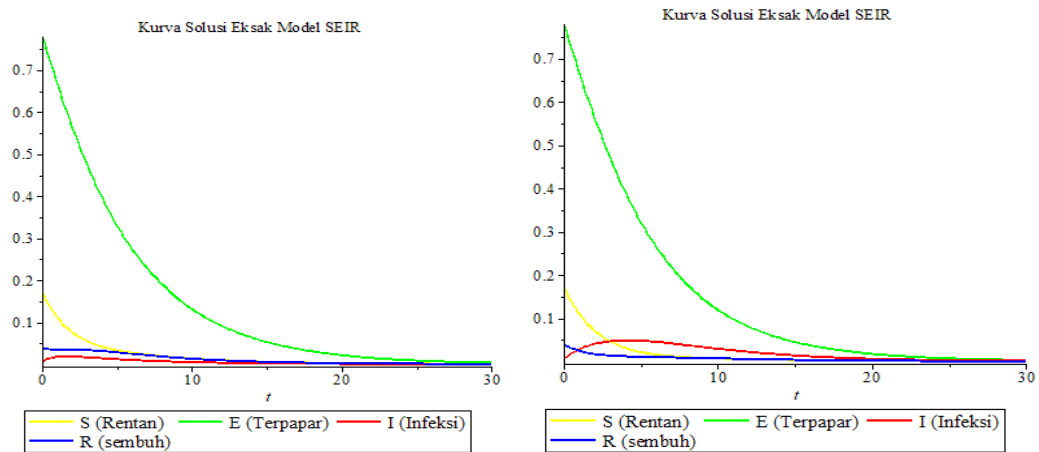
Simulasi kedua yaitu dengan mengubah nilai parameter β , yaitu menjadi $\beta = 0,1$ dan $\beta = 0,001$.



Gambar 4.3 Grafik Model SEIR saat $\beta = 0,1$ dan $\beta = 0,001$

Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan jika nilai parameter β ditambah yaitu $\beta = 0,1$ dan dikurangi yaitu $\beta = 0,001$. Saat nilai parameter β ditambah jumlah siswa yang terinfeksi akan naik lebih banyak sejak hari ke-2, dan siswa yang sembuh juga bertambah dan akan stabil saat hari ke-15. Sedangkan saat nilai parameter β dikurangi tidak ada siswa yang terinfeksi. Hal ini membuktikan jika nilai parameter β dikurangi, maka tidak ada siswa yang terinfeksi atau terdeteksi kecanduan *game online*.

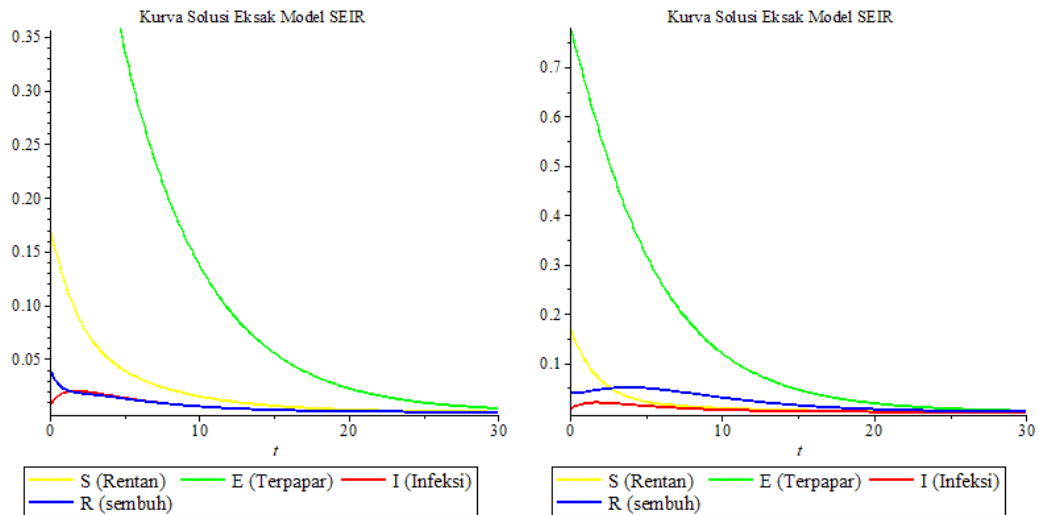
Simulasi ketiga yaitu dengan mengubah nilai parameter δ , yaitu menjadi $\delta = 0,9$ dan $\delta = 0,1$.



Gambar 4.4 Grafik Model SEIR saat $\delta = 0,9$ dan $\delta = 0,1$

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan jika nilai parameter δ ditambah yaitu $\delta = 0,9$ dan dikurangi yaitu $\delta = 0,1$. Saat nilai parameter δ ditambah jumlah siswa yang terinfeksi akan naik sejak hari ke-2, dan siswa yang sembuh juga bertambah dan akan stabil saat hari ke-15. Sedangkan saat nilai parameter δ dikurangi jumlah siswa yang terinfeksi akan bertambah dan turun menuju keadaan setimbang pada hari ke-15, tetapi jumlah siswa yang sembuh terus menurun sejak hari pertama. Hal ini membuktikan jika nilai parameter δ dikurangi, maka jumlah siswa yang terinfeksi akan lebih sedikit dibandingkan jika parameter δ ditambah.

Simulasi keempat yaitu dengan mengubah nilai parameter θ , yaitu menjadi $\theta = 0,9$ dan $\theta = 0,1$.



Gambar 4.5 Grafik Model SEIR saat $\theta = 0,9$ dan $\theta = 0,1$

Gambar 4.5 menunjukkan perbedaan jika nilai parameter θ ditambah yaitu $\theta = 0,9$ dan dikurangi yaitu $\theta = 0,1$. Saat nilai parameter θ ditambah jumlah siswa yang rentan akan turun dan stabil pada hari ke-15, dan siswa yang sembuh terus turun sejak hari pertama dan akan stabil saat hari ke-15. Sedangkan saat nilai parameter θ dikurangi jumlah siswa yang rentan akan turun dan stabil pada hari ke-10, dan jumlah siswa yang sembuh terus naik stabil pada hari ke-20. Hal ini membuktikan jika nilai parameter θ dikurangi, maka jumlah siswa yang rentan akan lebih cepat turun dibandingkan jika parameter θ ditambah.

4.4 Kajian Integrasi Nilai Keagamaan

Hukum asal *game online* adalah boleh. Hal ini sesuai dengan kaidah fikih

“*Hukum asal dari sesuatu adalah mubah sampai ada dalil yang melarangnya (memakruhkannya atau mengharamkannya)*” (Imam as-Suyuthi).

Game online memiliki dampak positif yaitu dapat menambah teman, mengerti teknologi elektronik, bahkan bisa mendapatkan penghasilan dari bermain *game online*. Akan tetapi jika dimainkan secara berlebihan akan

menimbulkan dampak negatif yaitu membuang waktu dengan sia-sia, melupakan kewajiban yang harus dilakukan, serta mengalami gangguan konsentrasi. Kecanduan merupakan suatu hal yang membuat individu melakukan sesuatu dengan terus-menerus tanpa bisa dikontrol. Orang yang kecanduan *game online* bisa memainkannya sepanjang hari sehingga meninggalkan aktivitas penting, dan merasa gelisah jika tidak bermain *game*.

Kecanduan *game online* dalam perspektif Islam termasuk *israf*, yang artinya berlebih-lebihan. Asal kata dari *israf* adalah *sarafa* yang berarti mrenyimpang atau melampaui batas dari hal-hal yang semestinya. Ayat yang menunjukkan *israf* dilarang yaitu dalam surat Al-A'raf ayat 31 yang artinya:

“Wahai anak cucu Adam! Pakailah pakaianmu yang bagus pada setiap (memasuki) masjid, makan dan minumlah, tetapi jangan berlebihan. Sunguh, Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.”

Hukum bermain *game online* dalam Islam boleh jika sewajarnya, akan tetapi dilarang jika sampai pada tingkat kecanduan. Oleh karena itu kita harus mencegah hal tersebut dengan cara beribadah, dan melakukan hal-hal yang bermanfaat agar waktu yang kita habiskan tidak terbuang sia-sia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil pembahasan pada penelitian ini, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Solusi eksak dari model SEIR ketergantungan *game online* adalah:

$$\begin{aligned}
 S(t) &= -0,02000109766 e^{-1,08933615981343 t} + \\
 &\quad 0,08664067842 e^{-0,1810000005 t} + (0,05168020961 + \\
 &\quad 0,08668242237I)e^{(-0,5333319195+0,1383241544I)t} + \\
 &\quad (0,05168020962 - \\
 &\quad 0,08668242237I)e^{(-0,5333319195-0,1383241544I)t} \\
 E(t) &= 0,007589233874 e^{-1,08933615981343 t} + \\
 &\quad 0,7966129032 e^{-0,1810000005 t} + (-0,01210106853 - \\
 &\quad 0,09599332247I)e^{(-0,5333319195+0,1383241544I)t} (-0,01210106854 \\
 &\quad 0,09599332247I)e^{(-0,5333319195-0,1383241544I)t} \\
 I(t) &= -0,02048658949 e^{-1,08933615981343 t} + \\
 &\quad 0,03204253020 e^{-0,1810000005 t} + (-0,002277970360 - \\
 &\quad 0,005787444288I)e^{(-0,5333319195+0,1383241544I)t} + \\
 &\quad (-0,002277970361 + \\
 &\quad 0,005787444288I)e^{(-0,5333319195-0,1383241544I)t} \\
 R(t) &= 0,03289845316 e^{-1,08933615981343 t} + \\
 &\quad 0,08170388759 e^{-0,1810000005 t} + (-0,03730117035 + \\
 &\quad 0,01509834436I)e^{(-0,5333319195+0,1383241544I)t} +
 \end{aligned}$$

$$(-0,03730117035 - 0,01509834436I)e^{(-0,5333319195 - 0,1383241544I)t}$$

2. Setelah memasukkan nilai awal $S_0 = 0,17$, $E_0 = 0,78$, $I_0 = 0,007$, $R_0 = 0,04$ dalam solusi eksak, dilakukan simulasi dan menganalisis pengaruh paramer terhadap model ketergantungan *Game Online*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk menurunkan populasi individu yang terinfeksi atau dinyatakan ketergantungan *game online*, maka laju perpindahan individu yang terpapar menjadi terinfeksi harus dikurangi.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya penulis mengharapkan untuk mengembangkan model matematika SEIR ini dengan ditambahkan variabel kontrol sehingga bisa menurunkan kasus ketergantungan *game online*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A. dkk. (2021) 'SEIRS model analysis for online game addiction problem of mathematics students', *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). doi: 10.1088/1742-6596/1918/4/042024.
- Baiduri, W. (2002) 'Elementary Differential Equation, Textbook and Student Solutions Manuat Set', p. 796
- Fatahillah, A., Istiqomah, M. and Dafik, D. (2021) 'Pemodelan Matematika Pada Kasus Kecanduan Game Online Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 14', *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 18(2), pp. 129–141. doi: 10.12962/limits.v18i2.6854.
- Istiqomah, M. (2020) 'Analisis Numerik Model Matematika pada Kasus Kecanduan Game Online Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 14'.
- Katsir, Ibnu. *Terjemahan Singkat Tafsir Ibnu Katsir*, terj. H. Salim Bahreisy & H. Said Bahreisy. Jilid 8. Surabaya: Bina Ilmu. 1993.
- Kemenag. (2023a). *kemenag al ashr ayat 1-3*. <https://kemenag.go.id/>
- Kemenag. (2023b). *kemenag al mu'minin ayat 114*. <https://kemenag.go.id/>
- Kemenag. (2023c). *kemenag al furqan ayat 62*. <https://kemenag.go.id/>
- Kemenag. (2023d). *kemenag al fathir ayat 37*. <https://kemenag.go.id/>
- Nasution, Z. dkk. (2016) 'Penerapan Metode Simpleks untuk Menganalisa Persamaan Linier dalam Menghitung Keuntungan Maksimum', 3(4), pp. 42–48.
- Nurfauziah, P., Fauzy, A. and Fitriani, N. (2021) 'Desain Lembar Kerja Siswa Materi Bangun Ruang Sisi Datar Dengan Model Matematika Knisley Berbantuan Geometryx', *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 6(1), pp. 1–11. doi: 10.25157/teorema.v6i1.4827.
- Purwanto, H., Noviani, E. and Mara, M. N. (2014) 'Analisis dan Simulasi Model Matematika Penyakit Demam Dengue Dengan Satu Serotif Virus Dengue', *Bimaster*, 03(3), pp. 153–162. Available at: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=195998&val=2316&title=Analisis Dan Simulasi Model Matematika Penyakit Demam Dengue Dengan Satu Serotif Virus Dengue>.
- Rahma, S. (2012) 'Model SEIR Penyakit Campak dengan Vaksinasi dan Migrasi'.
- Shihab, M. Q. (2006) *Tafsir al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Side, S. dkk. (2020) 'Model SEIR Kecanduan Game Online pada Siswa di SMP Negeri 3 Makassar', IX(1), pp. 91–102.

- Wijayanto, R. H. P. (2018) 'Hubungan Kecanduan Game Online Terhadap Kecemasan Akademik Siswa Kelas 2 SMP Negeri 1 Muntilan', *Jurnal Riset Mahasiswa Bimbingan dan Konseling*, 4(7), pp. 322–330.
- Zhao, T., Wang, D. and Hong, H. (2011) 'Solution formulas for cubic equations without or with constraints', *Journal of Symbolic Computation*, 46(8), pp. 904–918. doi: 10.1016/j.jsc.2011.02.001.

Lampiran 1 Nilai Awal Model Penyebaran Ketergantungan *Game Online*

Variabel	Nilai	Keterangan	Sumber
$S(0)$	0,17	Banyaknya Populasi Individu yang Rentan	(Anwar dkk., 2021)
$E(0)$	0,78	Banyaknya Populasi Individu yang Terpapar	(Anwar dkk., 2021)
$I(0)$	0,007	Banyaknya Populasi Individu yang Terinfeksi dengan Gejala	(Anwar dkk., 2021)
$R(0)$	0,04	Banyaknya Populasi Individu yang Sembuh	(Anwar dkk., 2021)

Lampiran 2 Nilai parameter Model Penyebaran Ketergantungan *Game Online*

Parameter	Keterangan	Nilai	Satuan	Sumber
μ	Laju individu yang memiliki/tidak memiliki <i>game online</i>	0,181	Orang/Per Tahun	(Anwar dkk., 2021)
α	Laju perpindahan individu <i>suspected</i> (S) menjadi <i>exposed</i> (E)	0,331	Orang/Per Tahun	(Anwar dkk., 2021)
β	Laju perpindahan individu <i>exposed</i> (E) menjadi <i>infected</i> (I)	0,036	Orang/Per Tahun	(Anwar dkk., 2021)
δ	Laju perpindahan individu <i>infected</i> (I) menjadi <i>recovered</i> (R)	0,895	Orang/Per Tahun	(Anwar dkk., 2021)
θ	Laju perpindahan individu <i>recovered</i> (R) kembali rentan	0,351	Orang/Per Tahun	(Anwar dkk., 2021)

Lampiran 3 Program Pencarian Nilai Eigen Menggunakan Program MAPLE

$$> A := \begin{bmatrix} -\alpha-\mu & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta-\mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta-\mu & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta-\mu \end{bmatrix} :$$

> *eigenvals(A);*

$$\begin{aligned} & -\mu, \frac{1}{6} \left(-48\beta\theta\delta - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 \right. \\ & + 12\alpha\theta^2 + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta \\ & - 48\alpha\beta\theta - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\ & + 12 \left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \right. \\ & - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\ & - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\ & + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\ & + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\ & - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\ & + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\ & - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\ & - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\ & + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4 \Big)^{1/2} \Big)^{1/3} - \left(6 \left(\frac{1}{9}\theta\delta + \frac{1}{9}\alpha\delta + \frac{1}{9}\alpha\theta \right. \right. \\ & + \frac{1}{9}\beta\delta + \frac{1}{9}\beta\theta - \frac{1}{9}\alpha^2 - \frac{1}{9}\beta^2 - \frac{1}{9}\delta^2 - \frac{1}{9}\theta^2 + \frac{1}{9}\alpha\beta \Big) \Big) / \left(-48\beta\theta\delta \right. \\ & - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 + 12\alpha\theta^2 \\ & + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta - 48\alpha\beta\theta \\ & - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\ & + 12 \left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \right. \\ & - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\ & - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\ & + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\ & + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\ & - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4)^{1/3} - \frac{1}{3}\alpha - \frac{1}{3}\beta - \frac{1}{3}\delta - \mu - \frac{1}{3}\theta \\
& - \frac{1}{12} \left(-48\beta\theta\delta - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 \right. \\
& + 12\alpha\theta^2 + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta \\
& - 48\alpha\beta\theta - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& + 12 \left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \right. \\
& - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4)^{1/3} + \left(3 \left(\frac{1}{9}\theta\delta + \frac{1}{9}\alpha\delta + \frac{1}{9}\alpha\theta \right. \right. \\
& + \frac{1}{9}\beta\delta + \frac{1}{9}\beta\theta - \frac{1}{9}\alpha^2 - \frac{1}{9}\beta^2 - \frac{1}{9}\delta^2 - \frac{1}{9}\theta^2 + \frac{1}{9}\alpha\beta \Big) \Big) / \left(-48\beta\theta\delta \right. \\
& - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 + 12\alpha\theta^2 \\
& + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta - 48\alpha\beta\theta \\
& - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& + 12 \left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \right. \\
& - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4)^{1/3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4)^{1/2})^{1/3} + \left(6\left(\frac{1}{9}\theta\delta + \frac{1}{9}\alpha\delta + \frac{1}{9}\alpha\theta \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{1}{9}\beta\delta + \frac{1}{9}\beta\theta - \frac{1}{9}\alpha^2 - \frac{1}{9}\beta^2 - \frac{1}{9}\delta^2 - \frac{1}{9}\theta^2 + \frac{1}{9}\alpha\beta \right) \right) / \left(-48\beta\theta\delta \right. \\
& - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 + 12\alpha\theta^2 \\
& + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta - 48\alpha\beta\theta \\
& - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& + 12\left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \right. \\
& - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& \left. \left. + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4 \right)^{1/2} \right)^{1/3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{12} \left(-48\beta\theta\delta - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 \right. \\
& \quad + 12\alpha\theta^2 + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta \\
& \quad - 48\alpha\beta\theta - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& \quad + 12(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \\
& \quad - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& \quad - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& \quad + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& \quad + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& \quad - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& \quad + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& \quad - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& \quad - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& \quad \left. + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4\right)^{1/2} \Big)^{1/3} + \left(3\left(\frac{1}{9}\theta\delta + \frac{1}{9}\alpha\delta + \frac{1}{9}\alpha\theta \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \frac{1}{9}\beta\delta + \frac{1}{9}\beta\theta - \frac{1}{9}\alpha^2 - \frac{1}{9}\beta^2 - \frac{1}{9}\delta^2 - \frac{1}{9}\theta^2 + \frac{1}{9}\alpha\beta \right) \right) \Big/ \left(-48\beta\theta\delta \right. \\
& \quad - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 + 12\alpha\theta^2 \\
& \quad + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta - 48\alpha\beta\theta \\
& \quad - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& \quad + 12(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3 \\
& \quad - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& \quad - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& \quad + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& \quad + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& \quad - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& \quad + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& \quad - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& \quad - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& \quad \left. + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4\right)^{1/2} \Big)^{1/3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4)^{1/2})^{1/3} + \left(6\left(\frac{1}{9}\theta\delta + \frac{1}{9}\alpha\delta + \frac{1}{9}\alpha\theta\right.\right. \\
& \left.+\frac{1}{9}\beta\delta + \frac{1}{9}\beta\theta - \frac{1}{9}\alpha^2 - \frac{1}{9}\beta^2 - \frac{1}{9}\delta^2 - \frac{1}{9}\theta^2 + \frac{1}{9}\alpha\beta\right)\Bigg) / \left(-48\beta\theta\delta\right. \\
& - 8\alpha^3 - 8\delta^3 - 8\theta^3 + 12\alpha^2\beta + 12\alpha^2\delta + 12\alpha^2\theta + 12\alpha\beta^2 + 12\alpha\delta^2 + 12\alpha\theta^2 \\
& + 12\beta\delta^2 + 12\beta\theta^2 + 12\delta^2\theta + 12\delta\theta^2 + 12\beta^2\delta + 12\beta^2\theta - 48\alpha\beta\delta - 48\alpha\beta\theta \\
& - 48\alpha\delta\theta - 8\beta^3 \\
& + 12\left(-3\alpha^4\beta^2 + 6\alpha^4\beta\delta + 6\alpha^4\beta\theta - 3\alpha^4\delta^2 + 6\alpha^4\delta\theta - 3\alpha^4\theta^2 + 6\alpha^3\beta^3\right. \\
& - 6\alpha^3\beta^2\delta - 6\alpha^3\beta^2\theta - 6\alpha^3\beta\delta^2 - 24\alpha^3\beta\delta\theta - 6\alpha^3\beta\theta^2 + 6\alpha^3\delta^3 - 6\alpha^3\delta^2\theta \\
& - 6\alpha^3\delta\theta^2 + 6\alpha^3\theta^3 - 3\alpha^2\beta^4 - 6\alpha^2\beta^3\delta - 6\alpha^2\beta^3\theta + 18\alpha^2\beta^2\delta^2 + 24\alpha^2\beta^2\delta\theta \\
& + 18\alpha^2\beta^2\theta^2 - 6\alpha^2\beta\delta^3 + 24\alpha^2\beta\delta^2\theta + 24\alpha^2\beta\delta\theta^2 - 6\alpha^2\beta\theta^3 - 3\alpha^2\delta^4 - 6\alpha^2\delta^3\theta \\
& + 18\alpha^2\delta^2\theta^2 - 6\alpha^2\delta\theta^3 - 3\alpha^2\theta^4 + 6\alpha\beta^4\delta + 6\alpha\beta^4\theta - 6\alpha\beta^3\delta^2 - 24\alpha\beta^3\delta\theta \\
& - 6\alpha\beta^3\theta^2 - 6\alpha\beta^2\delta^3 + 24\alpha\beta^2\delta^2\theta + 24\alpha\beta^2\delta\theta^2 - 6\alpha\beta^2\theta^3 + 6\alpha\beta\delta^4 - 24\alpha\beta\delta^3\theta \\
& + 24\alpha\beta\delta^2\theta^2 - 24\alpha\beta\delta\theta^3 + 6\alpha\beta\theta^4 + 6\alpha\delta^4\theta - 6\alpha\delta^3\theta^2 - 6\alpha\delta^2\theta^3 + 6\alpha\delta\theta^4 \\
& - 3\beta^4\delta^2 + 6\beta^4\delta\theta - 3\beta^4\theta^2 + 6\beta^3\delta^3 - 6\beta^3\delta^2\theta - 6\beta^3\delta\theta^2 + 6\beta^3\theta^3 - 3\beta^2\delta^4 \\
& - 6\beta^2\delta^3\theta + 18\beta^2\delta^2\theta^2 - 6\beta^2\delta\theta^3 - 3\beta^2\theta^4 + 6\beta\delta^4\theta - 6\beta\delta^3\theta^2 - 6\beta\delta^2\theta^3 \\
& \left. + 6\beta\delta\theta^4 - 3\delta^4\theta^2 + 6\delta^3\theta^3 - 3\delta^2\theta^4\right)^{1/2})^{1/3})
\end{aligned}$$

Lampiran 4 Program Pencarian Nilai Eigen dan Vektor Eigen Menggunakan Program MAPLE

```

> restart :
> with(linalg) :
>
>  $\mu := 0.181; \alpha := 0.331; \beta := 0.036; \delta := 0.895; \theta := 0.351;$ 

$$\mu := 0.181$$


$$\alpha := 0.331$$


$$\beta := 0.036$$


$$\delta := 0.895$$


$$\theta := 0.351$$

>  $A := \begin{bmatrix} -\alpha-\mu & 0 & 0 & \theta \\ \alpha & -\beta-\mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\delta-\mu & 0 \\ 0 & 0 & \delta & -\theta-\mu \end{bmatrix};$ 

$$A := \begin{bmatrix} -0.512 & 0 & 0 & 0.351 \\ 0.331 & -0.217 & 0 & 0 \\ 0 & 0.036 & -1.076 & 0 \\ 0 & 0 & 0.895 & -0.532 \end{bmatrix}$$

>  $\text{eigenvals}(A);$ 

$$-0.181000000000000, -0.533331920093285 + 0.138324153816045I, -0.533331920093285$$


$$- 0.138324153816045I, -1.08933615981343$$

>  $\text{eigenvectors}(A);$ 

$$\begin{bmatrix} -0.1810000005, 1, \\ \{ [-0.0999476933 \ -0.9189635120 \ -0.03696389547 \ -0.0942526680] \}, [ \\ -1.089336158, 1, \{ [ 0.1026889015 \ -0.0389643660 \ 0.1051814958 \ -0.1689060307] \}], \\ [-0.5333319195 - 0.1383241544I, 1, \{ [-0.1582425084 + 0.9173445847I, \\ -0.2133564612 - 0.8665856630I, 0.0004692510440 - 0.05736872355I, 0.3711297153 \\ + 0.0066098028I] \}], [-0.5333319195 + 0.1383241544I, 1, \{ [-0.1582425084 \\ - 0.9173445847I, -0.2133564612 + 0.8665856630I, 0.0004692510440 \\ + 0.05736872355I, 0.3711297153 - 0.0066098028I] \}] \end{bmatrix}$$


```


LAMPIRAN 5 Program Pencarian Nilai Limit t Menuju Tak Hingga Solusi
Eksak dengan MAPLE

>

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(-0.02000109766 e^{-1.08933615981343 t} + 0.08664067842 e^{-0.1810000005 t} + (0.05168020961 + 0.08668242237 I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t} + (0.05168020962 - 0.08668242237 I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t} \right);$$

0

>

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(0.007589233874 e^{-1.08933615981343 t} + 0.7966129032 e^{-0.1810000005 t} + (-0.01210106853 - 0.09599332247 I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t} + (-0.01210106854 + 0.09599332247 I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t} \right);$$

0

>

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(-0.02048658949 e^{-1.08933615981343 t} + 0.03204253020 e^{-0.1810000005 t} + (-0.002277970360 - 0.005787444288 I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t} + (-0.002277970361 + 0.005787444288 I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t} \right);$$

0

>

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(0.03289845316 e^{-1.08933615981343 t} + 0.08170388759 e^{-0.1810000005 t} + (-0.03730117035 + 0.01509834436 I) e^{(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t} + (-0.03730117035 - 0.01509834436 I) e^{(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t} \right);$$

0

LAMPIRAN 6 Simulasi untuk Menampilkan Grafik dengan Program MAPLE

> restart :

>

```
plot([ -0.02000109766 e-1.08933615981343 t + 0.08664067842 e-0.1810000005 t
      + (0.05168020961 + 0.08668242237 I) e(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t
      + (0.05168020962 - 0.08668242237 I) e(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t,
      0.007589233874 e-1.08933615981343 t + 0.7966129032 e-0.1810000005 t + (-0.01210106853
      - 0.09599332247 I) e(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t + (-0.01210106854
      + 0.09599332247 I) e(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t, -0.02048658949 e-1.08933615981343 t
      + 0.03204253020 e-0.1810000005 t + (-0.002277970360
      - 0.005787444288 I) e(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t + (-0.002277970361
      + 0.005787444288 I) e(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t, 0.03289845316 e-1.08933615981343 t
      + 0.08170388759 e-0.1810000005 t + (-0.03730117035
      + 0.01509834436 I) e(-0.5333319195 + 0.1383241544 I) t + (-0.03730117035
      - 0.01509834436 I) e(-0.5333319195 - 0.1383241544 I) t ], t = 0 .. 30, color = [yellow, green,
      red, blue], title = "Kurva Solusi Eksak Model SEIR", legend = ["S (Rentan)",
      "E (Terpapar)", "I (Infeksi)", "R (sembuh)"]);
```

RIWAYAT HIDUP



Revagita Dwi Nanda, lahir di Kota Batu pada tanggal 02 Agustus 2001. Biasa dipanggil Reva. Anak kedua dari Bapak Suyono dan Ibu Sartini. Pendidikan dasarnya ditempuh di MI Darul Ulum Batu. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTS Hasyim Asy' Ari Batu. Selanjutnya, menempuh jenjang pendidikan menengah atas di MAN Kota Batu. Setelah itu melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang mengambil program studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Revagita Dwi Nanda
NIM : 19610064
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Solusi Eksak Model Penyebaran Gangguan Perilaku
Ketergantungan terhadap *Game Online*
Pembimbing I : Juhari, M.Si.
Pembimbing II : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	20 Februari 2023	Konsultasi Bab I	1.
2.	25 Februari 2023	Revisi Bab I	2.
3.	2 Maret 2023	Konsultasi Bab II dan III	3.
4.	5 Maret 2023	Revisi Bab II dan III	4.
5.	12 Maret 2023	Konsultasi Kajian Agama	5.
6.	13 Maret 2023	Revisi Kajian Agama	6.
7.	16 Maret 2023	ACC Bab I, II, dan III	7.
8.	20 Maret 2023	ACC untuk Seminar Proposal	8.
9.	15 April 2023	Konsultasi Bab IV	9.
10.	20 April 2023	Revisi Bab IV	10.
11.	25 April 2023	Konsultasi Bab IV	11.
12.	28 April 2023	Revisi Bab IV	12.
13.	8 Mei 2023	Konsultasi Bab IV dan V	13.
14.	10 Mei 2023	Revisi Bab IV dan V	14.
15.	14 Mei 2023	Konsultasi Kajian Agama	15.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

16.	20 Mei 2023	Revisi Kajian Agama	16. ✗
17.	31 Mei 2023	ACC untuk Seminar Hasil	17. <i>JH</i>
18.	16 Oktober 2023	ACC Matriks Revisi Seminar Hasil	18. <i>JH</i>
19.	18 Oktober 2023	ACC untuk Sidang Skripsi	19. <i>JH</i>
20.	20 November 2023	ACC keseluruhan	20. <i>JH</i>

Malang, 20 November 2023
Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc
NIP. 19741129 200012 2 005