

**KONTROL OPTIMAL MODEL *SUSCEPTIBLE, EXPOSED,*
ADDICTED, RECOVERY, QUIT (SEA₁A₂RQ)
PADA KECANDUAN TIKTOK**

SKRIPSI

**OLEH
ALISA AYU SAFITRI
NIM.200601110010**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**KONTROL OPTIMAL MODEL *SUSCEPTIBLE, EXPOSED,*
ADDICTED, RECOVERY, QUIT (SEA₁A₂RQ)
PADA KECANDUAN TIKTOK**

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
Alisa Ayu Safitri
NIM.200601110010**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**KONTROL OPTIMAL MODEL SUSCEPTIBLE, EXPOSED,
ADDICTED, RECOVERY, QUIT (SEA₁A₂RQ)
PADA KECANDUAN TIKTOK**

SKRIPSI

**Oleh
Alisa Ayu Safitri
NIM.200601110010**

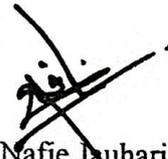
Telah Disetujui untuk Diuji
Malang, 26 Agustus 2024

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



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

**KONTROL OPTIMAL MODEL *SUSCEPTIBLE, EXPOSED, ADDICTED, RECOVERY, QUIT (SEA₁A₂RQ*)
PADA KECANDUAN TIKTOK**

SKRIPSI

Oleh
Alisa Ayu Safitri
NIM.200601110010

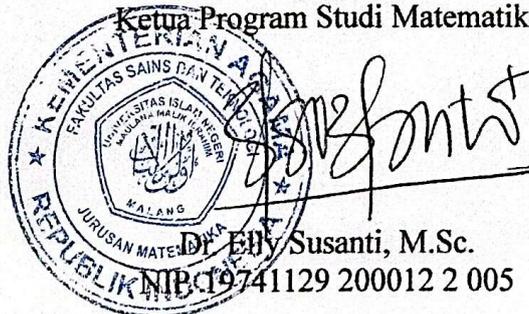
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)
Tanggal, 30 Agustus 2024

Ketua Penguji : Dr. Usman Pagalay, M.Si.
Anggota Penguji 1 : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.
Anggota Penguji 2 : Juhari, M.Si.
Anggota Penguji 3 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

.....
.....
.....
.....

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. EHY Susanti, M.Sc.

NIP.19741129 200012 2 005

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alisa Ayu Safitri

NIM : 200601110010

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Kontrol Optimal Model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA₁A₂RQ)* pada Kecanduan TikTok

Menyatakan dengan sebenar-benarnya 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 di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 30 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Alisa Ayu Safitri

NIM. 200601110010

MOTO

“Akan ada masa depan, bagi semua yang bertahan”

(Idgitaf)

PERSEMBAHAN

Segala puji kehadiran Allah Swt yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini peneliti persembahkan kepada:

Kedua orang tua, Ibu Kastini dan Bapak Mustajab atas cinta, do'a, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti. Sumber inspirasi dan kekuatan terbesar bagi peneliti untuk dapat bertahan dalam setiap proses yang peneliti jalani. Terima kasih sudah mengantarkan peneliti sampai di tempat ini, hiduplah lebih lama lagi untuk ada disetiap perjalanan dan pencapaian hidup peneliti.

Ning Khusnul Khotima, atas kasih sayang, bantuan, semangat, dan teladan yang diberikan. Terima kasih untuk senantiasa membersamai peneliti dalam menempuh pendidikan selama ini. Terima kasih sudah menjadi sosok kakak yang hebat.

Kepada adik dan keponakan peneliti, M. Nur Hafiz Dhiaurrahman dan Maznah Almeera Zahra yang selalu menghibur dan memberikan semangat di setiap proses yang peneliti jalani. Untuk kalian berdua, tumbuhlah menjadi versi paling hebat.

Untuk diri saya sendiri, Alisa Ayu Safitri atas segala kerja keras dan semangatnya hingga tidak pernah menyerah untuk menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Untuk hati yang selalu tegar, raga yang selalu kuat, mari bekerjasama untuk berkembang menjadi pribadi yang lebih baik.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya dalam perjalanan penyusunan skripsi yang berjudul “Kontrol Optimal Model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA₁A₂RQ*) pada Kecanduan TikTok”. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, utusan Allah SWT yang menjadi rahmat bagi seluruh alam.

Pada kesempatan ini, peneliti ingin menyampaikan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. 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 bimbingan, nasihat dan motivasi yang membangun kepada peneliti.
5. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang juga telah memberikan bimbingan, nasihat dan motivasi yang membangun kepada peneliti.
6. Seluruh dosen dan civitas akademik Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orang tua, kakak, adik, dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, doa, semangat dan menjadi sumber inspirasi dalam setiap langkah perjalanan peneliti.
8. Teman-teman “Cinta” yakni Dinda, Inak, Hafiz, Shoha, Fidah, dan Arini yang selalu membersamai peneliti dan berjuang bersama-sama selama di bangku perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini.

9. Penghuni “Rumah Kami” yakni Maya, Kak Lia, dan Alfi yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan setiap saat.
10. Ricca Rosmalinda dan Siti Khovifah yang selalu mendukung, menyediakan telinga untuk mendengar setiap keluh kesah, cerita, dan impian peneliti. Terima kasih sudah menjadi teman terbaik.
11. Teman-teman di lingkungan Gerakan Pramuka Kwarran Purwosari yang tiada henti memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung.
12. Dmitriev Abraham Hariyanto (Abe), bayi TikTok yang lucu dengan tingkah randomnya yang selalu menjadi pelipur lara ketika lelah mengerjakan skripsi ini.
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materiil.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi peneliti, pembaca serta semua pihak yang terlibat.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang, 30 Agustus 2024

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Definisi Istilah	8
BAB II KAJIAN TEORI	9
2.1 Teori Pendukung	9
2.1.1 Persamaan Diferensial	9
2.1.2 Masalah Kontrol Optimal	11
2.1.3 Prinsip Maksimum Pontryagin	16
2.1.4 Metode Runge Kutta Orde 4	17
2.1.5 Model Matematika <i>SEARQ</i>	17
2.1.6 Kecanduan Media Sosial	20
2.2 Pengendalian dan Pengobatan dalam Islam	22
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Pra Penelitian	26
3.3 Tahapan Penelitian	26
BAB IV PEMBAHASAN	28
4.1 Kontrol Optimal Model Kecanduan TikTok	28
4.1.1 Model Kecanduan TikTok dengan Kontrol	28
4.1.2 Penyelesaian Kontrol Optimal Model Kecanduan TikTok	33
4.2 Simulasi Numerik Model Kecanduan TikTok	41
4.3 Kontrol Optimal Kecanduan TikTok dalam Perspektif Islam	57
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59

5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	61
	RIWAYAT HIDUP.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi A	14
Gambar 2.2	Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi B	14
Gambar 2.3	Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi C	15
Gambar 2.4	Diagram Kompartemen Model $SEARQ$	18
Gambar 4.1	Diagram Kompartemen Model SEA_1A_2RQ	29
Gambar 4.2	Simulasi Model SEA_1A_2RQ dengan Kontrol	42
Gambar 4.3	Simulasi Variabel Kontrol u_1 dari Program	45
Gambar 4.4	Plot Polinomial Kontrol u_1	45
Gambar 4.5	Simulasi Variabel Kontrol u_2 dari Program	47
Gambar 4.6	Plot Polinomial Kontrol u_1	48
Gambar 4.7	Simulasi $S(t)$ Model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $S_0 = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $\pi = 0.5, \gamma = 0.35, \eta = 0.4, \beta = 0.6, \sigma = 0.5, k = 0.01$ dan $\mu = 0.25$	49
Gambar 4.8	Simulasi Modifikasi $S(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $S_0 = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $\pi = 0.5, \gamma = 0.35, \eta = 0.4, \beta_1 = 0.6, \sigma_1 = 0.5, \beta_2 = 0.58, \sigma_2 = 0.22, k = 0.01$ dan $\mu = 0.25$	49
Gambar 4.9	Simulasi $E(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $E_0 = 10$ dengan Parameter Berturut-turut $\beta = 0.6, \sigma = 0.5, \delta = 0.25$ dan $\mu = 0.25$	50
Gambar 4.10	Simulasi Modifikasi $E(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $E_0 = 10$ dengan Parameter Berturut-turut $\beta_1 = 0.6, \sigma_1 = 0.5, \beta_2 = 0.58, \sigma_2 = 0.22, \delta_1 = 0.25, \delta_2 = 0.21$ dan $\mu = 0.25$	50
Gambar 4.11	Simulasi $A(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A_0 = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha = 0.7, \delta = 0.25, \mu = 0.25, \epsilon = 0.7$ dan $\rho = 0.01$	52
Gambar 4.12	Simulasi Modifikasi $A_1(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A_1_0 = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_1 = 0.71, \delta_1 = 0.25, \epsilon = 0.688, \epsilon_1 = 0.7, \rho = 0.01$ dan $\mu = 0.25$	52
Gambar 4.13	Simulasi Modifikasi $A_2(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A_2_0 = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_2 = 0.22, \delta_2 = 0.21, \epsilon = 0.688, \epsilon_2 = 0.001, \rho = 0.01$ dan $\mu = 0.25$	53
Gambar 4.14	Simulasi $R(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $R_0 = 0$	

	dengan Parameter Berturut-turut $\alpha = 0.7, \delta = 0.25, \epsilon = 0.7, \eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$	54
Gambar 4.15	Simulasi Rujukan $R(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4], R_0 = 0$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_1 = 0.71, \delta_2 = 0.25, \alpha_2 = 0.22, \delta_2 = 0.21, \epsilon_1 = 0.7, \epsilon_2 = 0.001, \eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$	54
Gambar 4.16	Simulasi $Q(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4], Q_0 = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $k = 0.01, \gamma = 0.35, \eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$	55
Gambar 4.17	Simulasi Modifikasi $Q(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4], Q_0 = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $k = 0.01, \gamma = 0.35, \eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$.	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Keterangan Parameter Model SEARQ	19
Tabel 2.2	Kategori Kecanduan	22
Tabel 4.1	Nilai Awal Populasi	33
Tabel 4.2	Nilai Parameter Model SEA_1A_2RQ	34
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $S(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	49
Tabel 4.4	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $E(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	51
Tabel 4.5	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $A_1(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	52
Tabel 4.6	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $A_2(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	53
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $R(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	55
Tabel 4.8	Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $Q(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2	56

DAFTAR SIMBOL

- $S(t)$: Populasi individu rentan dan tidak memiliki TikTok pada waktu t
- $E(t)$: Populasi pengguna TikTok pada waktu t
- $A_1(t)$: Populasi individu kecanduan tahap ringan pada waktu t
- $A_2(t)$: Populasi individu kecanduan tahap berat pada waktu t
- $R(t)$: Populasi individu yang melakukan penyembuhan pada waktu t
- $Q(t)$: Populasi individu berhenti menggunakan TikTok pada waktu t
- π : Laju rekrutmen individu rentan
- μ : Laju kematian alami
- β_1 : Laju penularan penggunaan TikTok dari individu kecanduan ringan ke individu rentan akibat pengaruh sekitar
- β_2 : Laju penularan penggunaan TikTok dari individu kecanduan berat ke individu rentan akibat pengaruh sekitar
- k : Individu rentan yang tidak menggunakan TikTok
- σ_1 : Laju kontak individu rentan dan individu kecanduan tahap ringan
- σ_2 : Laju kontak individu rentan dan individu kecanduan tahap berat
- α_1 : Proporsi individu terpapar yang kecanduan tahap ringan
- α_2 : Proporsi individu terpapar yang kecanduan tahap berat
- ϵ : Laju perpindahan individu kecanduan dari tahap ringan ke tahap berat
- δ_1 : Individu yang meninggalkan kelas terpapar
- δ_2 : Individu yang meninggalkan kelas terpapar
- ϵ_1 : Laju perpindahan individu kecanduan ringan yang melakukan pengobatan
- ϵ_2 : Laju perpindahan individu kecanduan berat yang melakukan pengobatan
- γ : Proporsi individu pulih tapi masih rentan terhadap kecanduan
- η : Individu yang meninggalkan kelas penyembuhan
- ρ : Laju tingkat kematian karena kecanduan TikTok
- u_1 : Pengendalian
- u_2 : Pengobatan

ABSTRAK

Safitri, Alisa Ayu. 2024. **Kontrol Optimal Model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA₁A₂RQ)* pada Kecanduan TikTok**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Juhari, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: Kontrol Optimal, Model Kecanduan TikTok, Prinsip Maksimum Pontryagin, Simulasi Numerik

Penelitian ini mengkaji penerapan kontrol optimal pada model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA₁A₂RQ)* untuk menangani kecanduan TikTok. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengembangkan strategi kontrol yang efektif dalam mengurangi jumlah individu yang mengalami kecanduan TikTok. Metodologi penelitian ini melibatkan penggunaan Prinsip Maksimum Pontryagin untuk merumuskan masalah kontrol optimal. Model kontrol optimal dirumuskan dengan memperkenalkan dua variabel kontrol bergantung waktu yang berupa pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2) dalam model dasar. Simulasi numerik masalah control optimal menggunakan metode Runge-Kutta orde 4. Kemudian dari grafik yang diperoleh, didapatkan perbandingan hasil simulasi model kecanduan TikTok dengan kontrol dan tanpa kontrol, sekaligus perbandingan hasil dengan penelitian sebelumnya mengenai kecanduan media sosial yang dilakukan oleh Alemneh dan Alemu (2021). Nilai yang didapatkan dari simulasi Runge-Kutta orde 4 menunjukkan selisih yang signifikan pada semua populasi tanpa kontrol dengan populasi terkontrol saat $t = 4$ tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2) dapat secara signifikan mengurangi populasi pengguna kecanduan TikTok.

ABSTRACT

Safitri, Alisa Ayu. 2024. **Optimal Control of Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA_1A_2RQ) Model on TikTok Addiction.** Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Juhari, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Keywords: Optimal Control, TikTok Addiction Model, Pontryagin Maximum Principle, Numerical Simulation

This research examines the application of optimal control in the Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA_1A_2RQ) model to overcome TikTok addiction. The main objective of this research is to develop a control strategy that is effective in reducing the number of individuals experiencing TikTok addiction. The methodology of this research involves the use of Pontryagin's Maximum Principle to formulate the optimal control problem. The optimal control model is formulated by including two time-dependent control variables namely control (u_1) and treatment (u_2) in the base model. Numerical simulation of optimal control problem using the 4th order Runge-Kutta method. Then from the graphs obtained, a comparison of the simulation results of the TikTok addiction model with control and without control is obtained, as well as a comparison of the results with previous research on social media addiction conducted by Alemneh and Alemu (2021). The values obtained from the 4th order Runge-Kutta simulation show significant differences in all populations without control with the controlled population when $t = 4$ years. The results show that the application of control (u_1) and treatment (u_2) can significantly reduce the population of TikTok addicted users.

مستخلص البحث

سافيتري، أليسا آيو. ٢٠٢٤. التحكم الأمثل في نموذج التعرض، المكشوف، المدمن، الانتعاش، الإقلاع عن التدخين (SEA_1A_2RQ) على إدمان تيك توك. الأطروحة. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) جوهاري. الماجستير (٢) محمد نافع جوهاري، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: التحكم الأمثل، نموذج إدمان *TikTok*، مبدأ *Pontryagin* الأقصى، المحاكاة العددية

يدرس هذا البحث تطبيق التحكم الأمثل في نموذج الحساسية والمكشوفة والمدمنة والتعافي والإقلاع عن التدخين الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تطوير استراتيجية تحكم *TikTok* للتغلب على إدمان (SEA_1A_2RQ) تتضمن منهجية البحث هذه استخدام مبدأ *TikTok* فعالة في تقليل عدد الأفراد الذين يعانون من إدمان الأقصى لصياغة مشكلة التحكم المثلى. ويصاغ نموذج التحكم الأمثل بإدراج اثنين من متغيرات *Pontryagin* في النموذج الأساسي. المحاكاة العددية لمسألة التحكم الأمثل (u_2) والمعالجة (u_1) التحكم المعتمدة على الزمن من الدرجة الرابعة. ثم من الرسم البياني الذي تم الحصول عليه، تم الحصول على *Runge-Kutta* باستخدام طريقة بالتحكم ودون تحكم، بالإضافة إلى مقارنة النتائج مع الأبحاث *TikTok* مقارنة لنتائج المحاكاة لنموذج إدمان تظهر القيم التي تم. (*Alemu* (2021) و *Alemneh* السابقة حول إدمان وسائل التواصل الاجتماعي التي أجراها في المرتبة الرابعة اختلافات كبيرة في جميع السكان دون سيطرة مع *Runge-Kutta* الحصول عليها من محاكاة (u_2) والعلاج (u_1) سنوات. تظهر النتائج أن تطبيق السيطرة $t = 4$ السكان الخاضعين للرقابة عندما تكون *TikTok* يمكن أن يقلل بشكل كبير من عدد المستخدمين المدمنين على

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) berkembang dengan pesatnya sehingga mempengaruhi cara mendasar masyarakat dalam berinteraksi. Di era ini, Sebagian besar orang mengakses internet melalui telepon seluler atau *gadget*. Kemajuan teknologi memberikan akses mudah dan cepat ke berbagai platform media sosial dalam aktivitas berbagi dan berkomunikasi melalui internet. Media sosial memudahkan penggunanya untuk berpartisipasi, berbagi, dan menciptakan informasi. Penggunanya dapat dengan mudah berinteraksi dengan banyak orang dan memperluas hubungan tanpa mempertimbangkan waktu atau jarak. Penggunanya bisa dengan mudah berinteraksi dengan banyak orang dan memperluas relasi tanpa memikirkan jarak dan waktu karena penyebaran informasi dapat dilakukan secara cepat dan efisien (Rafiq, 2020).

Di era digitalisasi saat ini, media sosial telah mendominasi interaksi dan komunikasi dalam kehidupan sehari-hari. Hasil survei APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia) tahun 2024 menunjukkan peningkatan 1,31% dalam jumlah pengguna internet di Indonesia dibandingkan tahun sebelumnya hingga mencapai 79,5% atau sebanyak 221.563.479 jiwa penduduk Indonesia yang sebagian besar adalah generasi muda usia 12-27 tahun. Jika ditinjau dari tujuan penggunaan internet, Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023

menyatakan bahwa 84,37% pemuda usia 16-30 tahun menggunakan internet untuk mengakses media sosial.

Platform media sosial yang saat ini menyita perhatian adalah TikTok. Tiktok merupakan platform dengan konten video berdurasi pendek yang berisi hiburan, informasi, dan edukasi (Indah & Maulana, 2022). Keberadaan TikTok memberikan ruang di mana tren, budaya, dan informasi berkembang dengan cepat dan bisa diakses oleh berbagai kalangan. Menurut survei *We Are Social* tahun 2023, Indonesia berada di urutan kedua dengan jumlah pengguna TikTok terbanyak di dunia setelah Amerika Serikat. Pengguna TikTok di Indonesia mencapai 106,52 juta jiwa pada bulan Oktober 2023. Meskipun memiliki banyak manfaat, platform ini juga menimbulkan kekhawatiran terkait dengan potensi timbulnya dampak negatif yaitu kecanduan.

Kecanduan TikTok mengacu kepada perilaku yang kompulsif dan berlebihan saat menggunakan TikTok sehingga mengganggu kehidupan sehari-hari. Pengguna sering kali terjebak dalam pola penggunaan berulang yang berpotensi merugikan, seperti perilaku berlebihan dalam mengonsumsi konten, mengikuti tantangan atau tren tertentu, dan merasakan dorongan yang kuat untuk tetap terhubung dengan platform tersebut. Penggunaan TikTok secara berlebihan dapat menimbulkan sejumlah dampak negatif seperti insomnia, penurunan produktivitas, kesulitan manajemen waktu, dan gangguan kesehatan. Selain itu, kecanduan TikTok juga dapat menimbulkan gangguan kesehatan mental seperti kecemasan, depresi, bahkan sampai mengidap *Tourette Syndrome*. *Tourette Syndrome* adalah gangguan yang biasanya muncul di usia kanak-kanak dan sering kali berlanjut hingga dewasa. Pengidap penyakit ini cenderung melakukan gerakan atau

menirukan suara secara tiba-tiba dan berulang di bawah alam sadarnya (Wójcik-grudzień, dkk., 2022).

Perilaku berlebihan yang dapat mengarah pada kecanduan, seperti halnya penggunaan media sosial secara berlebihan. Sebagaimana dalam Surat Al-A'Raaf ayat 31, Allah SWT berfirman yang artinya (Az-Zuhaili, 2016):

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

Ayat di atas dapat diartikan sebagai peringatan untuk tidak berlebihan, termasuk dalam penggunaan media sosial. Kecanduan media sosial seringkali mengarah pada perilaku berlebihan dalam membagikan informasi pribadi, membandingkan diri sendiri dengan orang lain, dan menghabiskan waktu dengan berlebihan di internet. Sebagai umat muslim, ayat ini mengajarkan pentingnya menjalani kehidupan dengan penuh kesadaran dan keseimbangan, termasuk dalam interaksi di media sosial.

Dalam hal ini, penting untuk dilakukan pengendalian dan pengobatan. Iklan dan edukasi mengenai dampak negatif media sosial bisa menjadi langkah pengendalian. Strategi lainnya bisa diberikan pengobatan dan meminta bantuan medis jika gejala kecanduan mulai mengganggu aktivitas sehari-hari (Alemneh & Alemu, 2021). Pemodelan matematika memegang peran penting dalam pemahaman, prediksi, dan pengendalian penyebaran suatu penyakit menular, kecanduan, dan isu-isu lainnya.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai kecanduan media sosial telah dilakukan oleh Alemneh dan Alemu (2021) yang menganalisis model matematika dengan kontrol optimal pada kecanduan media sosial. Penelitian ini menggunakan

model *SEARQ* dengan asumsi lima sub populasi, yaitu sub populasi rentan (*Susceptible*), sub populasi terpapar (*Exposed*), sub populasi kecanduan (*Addicted*), sub populasi sembuh (*Recovery*), dan sub populasi keluar (*Quit*). Kontrol optimalnya menggunakan dua variabel kontrol yaitu $u_1(t)$ (pengendalian) dan $u_2(t)$ (pengobatan). Penelitian ini menganalisis kecanduan media sosial secara umum, tidak disebutkan secara spesifik sosial media apa yang diteliti dan belum dilakukan pemisahan pada jenis kecanduan (*Addicted*) yang dialami oleh pengguna.

Penelitian mengenai kontrol optimal juga dilakukan oleh Nafisa (2018) yang menganalisis model respon imun bawaan pada makrofag di paru-paru terinfeksi *streptococcus pneumoniae* dengan satu variabel kontrol $v(t)$ yaitu berupa sitokin proinflamasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kontrol optimal dengan Prinsip Minimum Pontryagin. Selain itu, Indah dan Maulana (2022) meneliti tingkat kecanduan TikTok dikalangan mahasiswa FMIPA Unesa menggunakan model *SEIR*. Dari penelitian ini didapatkan titik kesetimbangan bebas kecanduan dan titik kesetimbangan endemik serta diperoleh bilangan reproduksi dasar yang menunjukkan adanya kecanduan TikTok dikalangan mahasiswa FMIPA Unesa. Tetapi pada penelitian ini belum sampai di tahap pemberian kontrol. Sehingga perlu dilakukan kontrol optimal untuk menekan tingkat kecanduan TikTok.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini akan menganalisis masalah kontrol optimal pada kecanduan TikTok yang menggunakan modifikasi model *SEA₁A₂RQ* (*Susceptible*, *Exposed*, *Addicted*, *Recovery*, *Quit*) dengan pemisahan pada jenis kecanduan (*Addicted*) sehingga terdapat penambahan variabel sub populasi A_1 (kecanduan ringan) dan A_2 (kecanduan berat). Penelitian ini akan

menggunakan dua variabel kontrol yaitu pengendalian (u_1) yang bisa berupa edukasi dalam bentuk sosialisasi mengenai dampak negatif media sosial dan kontrol berupa pengobatan (u_2) yang tepat agar sembuh dari kecanduan seperti, menonaktifkan sambungan internet, pembiasaan disiplin waktu penggunaan media sosial dan untuk kecanduan tahap berat dapat diberikan terapi dan pemberian obat-obatan antipsikotik. Variabel kontrol u_1 dan u_2 didefinisikan pada model dasar sehingga akan didapatkan formulasi model dengan kontrol. Selanjutnya digunakan Prinsip Maksimum Pontryagin untuk mendapatkan solusi kontrol yang optimal sehingga jumlah individu kecanduan TikTok dapat berkurang. Dari hasil simulasi numeriknya, model yang belum diberikan kontrol dan yang sudah terkontrol akan dibandingkan sehingga akan diketahui perbedaan tiap sub populasi ketika diberikan kontrol u_1 dan u_2 maupun tanpa diberi kontrol. Dari penjelasan di atas, maka peneliti akan melakukan kontrol optimal pada model matematika kecanduan TikTok, sehingga akan diperoleh solusi persamaan differensial yang optimal dengan diberikannya kontrol pengendalian dan pengobatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang akan diteliti berdasarkan latar belakang yang telah diberikan:

1. Bagaimana kontrol optimal model SEA_1A_2RQ pada kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2)?
2. Bagaimana simulasi numerik model SEA_1A_2RQ pada kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas, adalah:

1. Mengetahui kontrol optimal model SEA_1A_2RQ pada kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2).
2. Mengetahui hasil simulasi numerik model SEA_1A_2RQ pada kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini berdasarkan tujuan penelitian diatas, adalah:

1. Dengan menyelesaikan masalah kontrol optimal model SEA_1A_2RQ pada kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2) maka akan diketahui dengan adanya kontrol dapat menurunkan tingkat individu kecanduan dan meningkatnya individu sembuh.
2. Dengan mengetahui hasil simulasi model SEA_1A_2RQ dapat dilihat perbedaan populasi dengan kontrol dan tanpa kontrol.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memastikan fokus pembahasan sesuai dengan ruang lingkup penelitian, akan diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Model matematika yang digunakan yaitu modifikasi model SEA_1A_2RQ yang dilakukan oleh Zulfa (2023) sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \pi + \gamma\eta R - (\beta_1\sigma_1A_1 + \beta_2\sigma_2A_2)S - (k + \mu)S$$

$$\frac{dE}{dt} = (\beta_1\sigma_1A_1 + \beta_2\sigma_2A_2)S - (\delta_1 + \delta_2 + \mu)E$$

$$\frac{dA_1}{dt} = (\alpha_1\delta_1)E - [\epsilon + \varepsilon_1 + \rho + \mu]A_1$$

$$\frac{dA_2}{dt} = (\alpha_2\delta_2)E + \epsilon A_1 - [\varepsilon_2 + \rho + \mu]A_2$$

$$\frac{dR}{dt} = [(1 - \alpha_1)\delta_1 + (1 - \alpha_2)\delta_2]E + \varepsilon_1A_1 + \varepsilon_2A_2 - (\eta + \mu)R$$

$$\frac{dQ}{dt} = kS + (1 - \gamma)\eta R - \mu Q$$

Terdapat enam sub populasi dengan asumsi sebagai berikut, *Susceptible* (S) adalah populasi individu yang tidak memiliki sosial media TikTok tapi rentan terhadap kecanduan karena faktor lingkungannya. *Exposed* (E) adalah populasi individu yang memiliki sosial media TikTok tapi belum mencapai tingkat kecanduan. *Addicted₁* (A_1) adalah populasi individu yang kecanduan sosial media TikTok dalam tahap ringan, disini pengguna mulai tidak bisa membagi waktu. *Addicted₂* (A_2) adalah populasi individu yang kecanduan sosial media TikTok dalam tahap berat, disini pengguna sampai mengalami *Tourette Syndrome*. *Recovery* (R) adalah populasi individu yang melakukan penyembuhan dengan pengobatan dari kecanduan media sosial TikTok. *Quit* (Q) adalah populasi individu yang akhirnya berhenti (*uninstall*) menggunakan sosial media TikTok.

2. Penelitian ini menggunakan kontrol optimal dengan Prinsip Maksimum Pontryagin.

1.6 Definisi Istilah

1. Kontrol optimal: metode untuk mengelola atau mengendalikan suatu sistem, sehingga tujuan tertentu dapat dicapai dengan cara yang optimal sesuai dengan kriteria yang ditentukan.
2. Model matematika: representasi dari suatu sistem atau fenomena sehari-hari ke dalam bentuk matematika.
3. Persamaan diferensial: persamaan matematika yang melibatkan turunan dari fungsi yang tidak diketahui. Persamaan ini digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dan turunannya.
4. Kecanduan: perilaku dimana individu tidak dapat mengontrol atau menghentikan aktivitas tertentu, meskipun menyadari adanya dampak negatif.
5. Media sosial: platform yang memungkinkan pengguna terlibat dalam aktivitas sosial, berbagi konten, dan berinteraksi secara online.
6. TikTok: platform media sosial dengan konten video berdurasi pendek yang berisi hiburan, informasi, dan edukasi.
7. *Tourette Syndrome*: kelainan yang biasanya terjadi pada masa kanak-kanak dan sering kali berlanjut hingga dewasa. Pengidap penyakit ini cenderung melakukan gerakan atau menirukan suara secara tiba-tiba dan berulang di bawah alam sadarnya.

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 Persamaan Diferensial

Dalam matematika, persamaan diferensial melibatkan turunan dari fungsi yang tidak diketahui. Persamaan ini digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dan turunannya, sehingga dapat menunjukkan bagaimana suatu sistem berubah seiring waktu atau dalam situasi tertentu. Persamaan diferensial memiliki peran yang penting dalam membangun model matematika dari suatu fenomena (Ngainuridwan, 2023). Secara umum, bentuk persamaan diferensial adalah sebagai berikut (Boyce, dkk., 2017):

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y)$$

persamaan ini menyatakan hubungan antara variabel t dan y dimana $\frac{dy}{dt}$ adalah turunan fungsi variabel y terhadap variabel t . Alemneh dan Alemu (2021) dalam penelitiannya menyatakan model kecanduan media sosial dalam bentuk persamaan diferensial nonlinier sebagai berikut:

Populasi *Susceptible* (S) mengacu pada banyaknya individu yang tidak memiliki sosial media TikTok tapi rentan terhadap kecanduan karena faktor lingkungannya. Jumlah awal populasi ini bergantung pada tingkat rekrutmen individu rentan sebesar π dan individu yang pulih dari kecanduan karena pengobatan sebesar γ , kemudian berkurang karena adanya penularan kecanduan pada individu rentan karena faktor lingkungan sebesar β dengan kemungkinan

transmisi sebesar σ . Populasi ini juga berkurang karena adanya individu rentan yang tidak menggunakan media sosial sebesar k dan individu yang telah berhenti menggunakan media sosial sebesar μ . Maka laju perubahan populasi *Susceptible* (S) terhadap waktu (t) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \pi + \gamma\eta R - \beta\sigma AS - (k + \mu)S$$

Populasi *Exposed* (E) mengacu pada banyaknya individu yang memiliki sosial media TikTok tapi belum mencapai tingkat kecanduan atau terpapar. Jumlah individu pada populasi ini akan bertambah karena penularan kecanduan pada individu rentan karena faktor lingkungan sebesar β dengan kemungkinan transmisi sebesar σ . Kemudian berkurang karena adanya individu yang meninggalkan kelas terpapar sebesar δ dan individu yang berhenti menggunakan media sosial sebesar μ . Maka laju perubahan populasi *Exposed* (E) terhadap waktu (t) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dE}{dt} = \beta\sigma AS - (\delta + \mu)E$$

Populasi *Addicted* (A) mengacu pada banyaknya individu yang kecanduan sosial media. Jumlah individu pada populasi ini bertambah dengan individu terpapar yang menjadi kecanduan media sosial sebesar $\alpha\delta$, lalu berkurang karena individu berhenti menggunakan media sosial sebesar μ dan individu yang mendapat pengobatan sebesar ϵ serta individu yang meninggal akibat kecanduan sebesar ρ . Maka laju perubahan populasi *Addicted* (A) terhadap waktu (t) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = \alpha\delta E - (\mu + \epsilon + \rho)A$$

Populasi *Recovery* (R) mengacu pada individu yang melakukan penyembuhan dari kecanduan media sosial. Jumlah individu pada populasi ini akan bertambah dengan individu terpapar yang pulih melalui pengobatan dengan laju $(1 - \alpha)\delta$ dan individu yang mendapat pengobatan sebesar ϵ . Lalu akan berkurang dengan individu yang berhenti menggunakan media sosial sebesar μ dan individu yang meninggalkan kelas R sebesar η . Maka laju perubahan populasi *Recovery* (R) terhadap waktu (t) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dR}{dt} = (1 - \alpha)\delta E + \epsilon A - (\mu + \eta)R$$

Populasi *Quit* (Q) mengacu pada individu yang akhirnya berhenti menggunakan sosial media. Jumlah individu pada populasi ini akan bertambah dengan individu rentan yang tidak menggunakan media sosial dan individu yang telah sembuh dari kecanduan dengan laju $(1 - \gamma)\eta$. Lalu akan berkurang dengan individu yang akhirnya berhenti menggunakan media sosial sebesar μ . Maka laju perubahan populasi *Quit* (Q) terhadap waktu (t) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = kS + (1 - \gamma)\eta R - \mu Q$$

2.1.2 Masalah Kontrol Optimal

Kontrol optimal berkaitan dengan menemukan cara paling efisien untuk mengendalikan suatu sistem dinamis untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan kontrol optimal biasanya mencakup memaksimalkan atau meminimisasi suatu kriteria kinerja, seperti memaksimalkan keuntungan, memaksimalkan biaya, atau mencapai performa sistem tertentu. Secara matematis, masalah kontrol optimal adalah penentuan pengontrol yang memenuhi suatu sistem persamaan differensial

sekaligus mengoptimalkan suatu kriteria *performance* (fungsi biaya/fungsi tujuan) (Hidayat, dkk., 2018). Secara umum, masalah kontrol optimal dirumuskan sebagai berikut (Krik, 1937):

$$J = h(x(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} g(x(t), u(t), t) dt$$

Fungsi di atas disebut fungsi Bolza yang merupakan kombinasi dari biaya pada akhir interval (Mayer) dan biaya terdistribusi (Lagrange) sepanjang interval. Dimana $h(x(t_f), t_f)$ adalah fungsi Mayer (*terminal cost*) yang bergantung pada keadaan akhir $x(t_f)$ dan waktu akhir t_f . Sedangkan $g(x(t), u(t), t)$ adalah fungsi Lagrange (*running cost*) yang merupakan fungsi dari keadaan $x(t)$, kontrol $u(t)$, dan waktu t . Dalam beberapa kasus, *terminal cost* $h(x(t_f), t_f)$ bisa diabaikan atau diatur menjadi nol jika hanya fokus pada kinerja selama interval waktu tertentu. Oleh karena itu, formulasi bisa disederhanakan menjadi:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} g(x(t), u(t), t) dt$$

Alemneh dan Alemu (2021) dalam penelitiannya mengenai model kecanduan media sosial merumuskan masalah kontrol optimal sebagai berikut:

identifikasi variabel keadaan dan kontrol

$$\text{Vektor keadaan } x(t) = [E(t), A(t)]$$

$$\text{Vektor kontrol } u(t) = [u_1(t), u_2(t)]$$

maka dapat ditulis Lagrangian $L(x(t), u(t), t)$:

$$L(x(t), u(t), t) = b_1 E(t) + b_2 A(t) + \frac{1}{2} (w_1 u_1(t)^2 + w_2 u_2(t)^2)$$

selanjutnya dapat diformulasikan masalah kontrol optimal secara lengkap sebagai berikut:

$$J = \int_0^{t_f} \left[b_1 E + b_2 A + \frac{1}{2} (w_1 u_1^2 + w_2 u_2^2) \right] dt$$

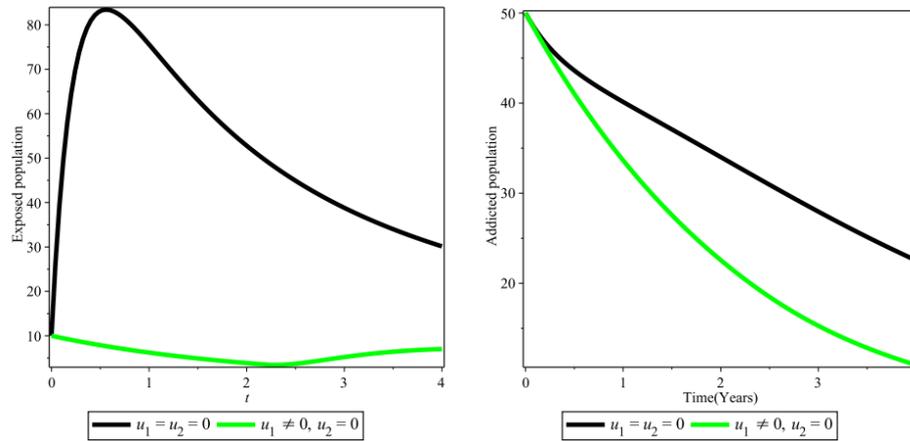
di mana t_0 adalah kondisi awal, t_f adalah kondisi akhir. Kemudian b merupakan konstanta bobot dan w koefisiennya. Variabel kontrol yang mengoptimalkan J dinotasikan sebagai $u^*(t)$. Selanjutnya jika disubstitusikan ke dalam persamaan *state* $x(t)$ maka akan didapatkan keadaan optimal $x^*(t)$. Sehingga pada saat yang sama bisa mengoptimalkan masalah kontrol optimal.

Dalam penelitiannya, Alemneh dan Alemu (2021) menggunakan dua variabel kontrol yaitu pengendalian (u_1) yang bisa berupa edukasi dalam bentuk sosialisasi mengenai dampak negatif media sosial dan kontrol berupa pengobatan (u_2) yang tepat agar sembuh dari kecanduan seperti, menonaktifkan sambungan internet, pembiasaan disiplin waktu penggunaan media sosial dan untuk kecanduan tahap berat dapat diberikan terapi dan pemberian obat-obatan antipsikotik. Variabel kontrol untuk mengoptimalkan fungsi J dinyatakan sebagai berikut:

$$u_1^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_1 - \lambda_5)S + \beta\sigma AS(\lambda_2 - \lambda_1)}{w_1} \right) \right\}$$

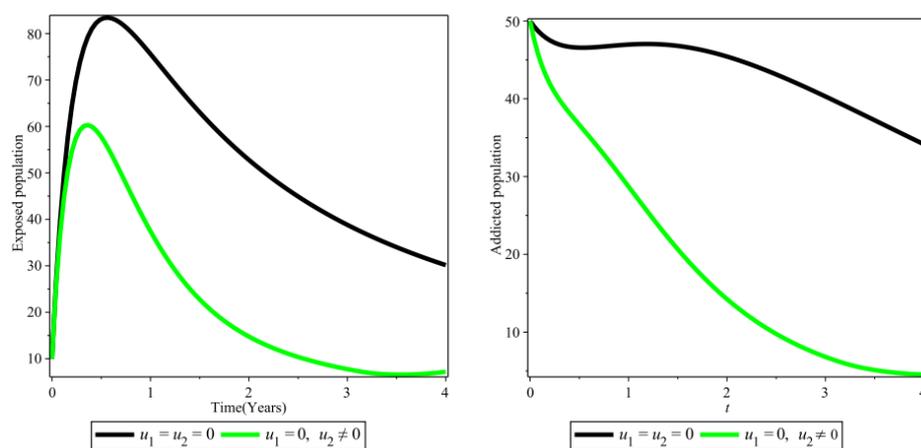
$$u_2^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_2 - \lambda_4)E + (\lambda_4 - \lambda_3)(\alpha E - A)}{w_2} \right) \right\}$$

Kontrol optimal dilakukan dengan menggunakan tiga strategi kontrol dengan hasil sebagai berikut:



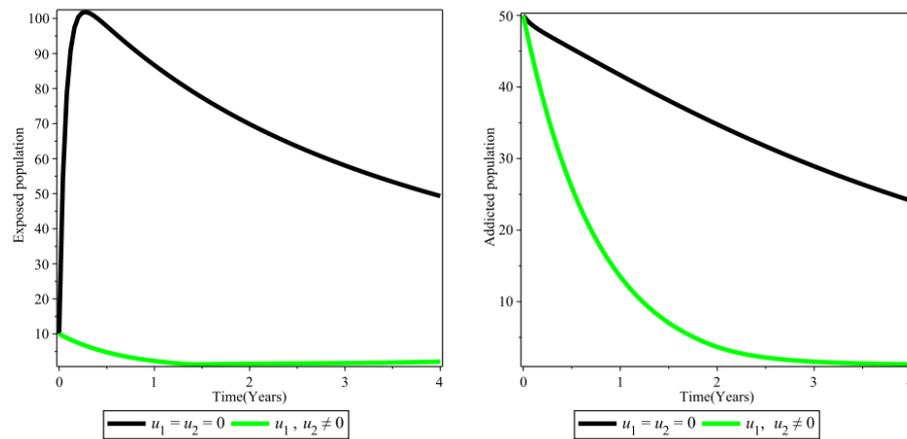
Gambar 2.1 Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi A

Strategi A yang menggunakan u_1 untuk mengoptimalkan fungsi tujuan $J(u_1 \neq 0, u_2 = 0)$. Strategi ini berupa edukasi dan sosialisasi mengenai dampak negatif media sosial. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa jumlah populasi terpapar dan kecanduan menurun secara signifikan. Pada individu terpapar tampaknya mulai menghilang dalam dua tahun pertama, namun akan naik lagi karena kurangnya efektivitas kontrol.



Gambar 2.2 Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi B

Strategi B yang hanya menggunakan u_2 untuk mengoptimalkan fungsi tujuan J ($u_1 = 0, u_2 \neq 0$). Strategi ini berupa pengobatan pada individu yang kecanduan media sosial. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 jumlah populasi individu terpapar dan kecanduan berkurang dan tampak lebih efektif dibandingkan dengan strategi A. Strategi ini bisa menjadi kandidat strategi yang optimal untuk menurunkan populasi terpapar dan kecanduan.



Gambar 2.3 Grafik Kontrol Optimal Menggunakan Strategi C

Strategi C merupakan kombinasi dari strategi A dan strategi B ($u_1 \neq 0, u_2 \neq 0$). Hasil simulasi strategi ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 yang menunjukkan jumlah populasi individu terpapar dan kecanduan sangat berkurang akibat diberikan kontrol u_1 dan u_2 . Pada populasi terpapar terlihat mulai menurun dan menghilang pada tahun pertama sedangkan populasi kecanduan mulai menghilang pada tiga tahun pertama. Jika dibandingkan dengan strategi sebelumnya, strategi C adalah strategi paling efektif untuk menurunkan populasi individu terpapar dan kecanduan sehingga dapat dijadikan solusi masalah kecanduan media sosial.

2.1.3 Prinsip Maksimum Pontryagin

Salah satu ide utama dalam teori kontrol optimal adalah Prinsip Maksimum Pontryagin, yang dikembangkan oleh matematikawan Soviet Lev Pontryagin. Dia menggunakan prinsip ini untuk menemukan kontrol optimal dalam sistem dinamis dengan memaksimalkan fungsi Hamiltonian yang terkait. Kerangka kerja yang diberikan oleh Prinsip Maksimum Pontryagin dipakai untuk menentukan apakah solusi kontrol tertentu adalah optimal. Langkah untuk menyelesaikan masalah kontrol optimal menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin adalah sebagai berikut (Naidu, 2003):

1. Formulasi bentuk Hamiltonian

$$\mathcal{H}(x(t), u(t), \lambda(t), t) = Q(x(t), u(t), \lambda(t), t) + \lambda'(x(t), u(t), \lambda(t), t)$$

dimana $\lambda(t)$ adalah variabel *co-state*.

2. Meminimumkan fungsi Hamiltonian terhadap semua vektor kontrol

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = 0$$

sehingga akan didapatkan kondisi stationer

$$u^*(t) = h(x^*(t), \lambda^*(t), t)$$

3. Kemudian dengan menggunakan variabel kontrol $u^*(t)$ pada langkah 2, akan diperoleh formulasi fungsi Hamiltonian yang optimal

$$\mathcal{H}^*(t), (x^*(t), h(x^*(t), \lambda^*(t), t) = \mathcal{H}^*(x^*(t), \lambda^*(t), t)$$

4. Dengan menggunakan kondisi awal x_0 dan kondisi akhir x_f , selesaikan persamaan *state* dan *co-state* maka akan diperoleh

$$\left[\mathcal{H}^* + \frac{\partial S}{\partial t} \right]_{t_f} \delta t_f + \left[\left(\frac{\partial S}{\partial t} \right) - \lambda^*(t) \right]_{t_f} \delta t_f = 0$$

5. Untuk memperoleh nilai kontrol yang optimal, substitusikan hasil pada langkah 4 ke dalam persamaan $u^*(t)$.

2.1.4 Metode Runge Kutta Orde 4

Metode Runge Kutta Orde 4 adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa. Metode Runge Kutta orde 4 memungkinkan untuk mendekati solusi dari berbagai jenis persamaan diferensial biasa dengan tingkat efisiensi dan akurasi yang tinggi. Berdasarkan (Muhammad, dkk., 2015) ekspresi Runge Kutta Orde 4 adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_1 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h$$

dengan:

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

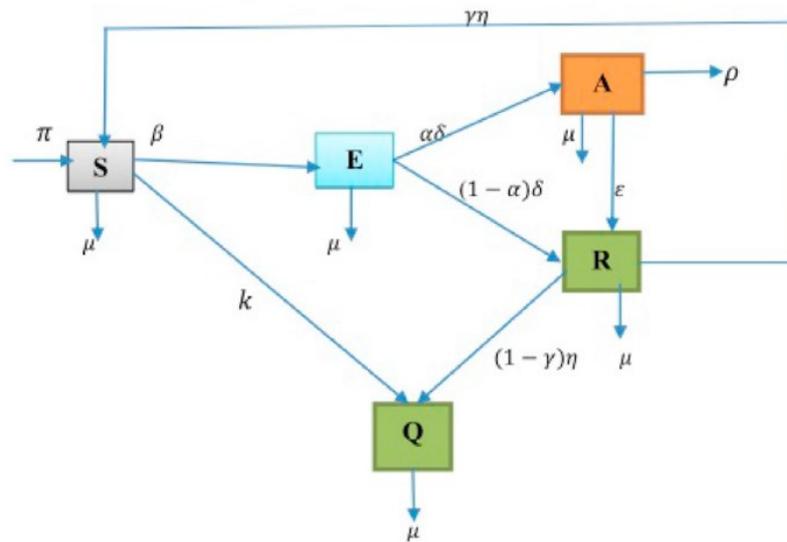
$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3h)$$

di mana k adalah kemiringan titik dalam interval dan h adalah ukuran langkah yang dipakai serta $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N$.

2.1.5 Model Matematika *SEARQ*

Alemneh dan Alemu (2021) menggunakan model *SEARQ* untuk memodelkan kecanduan media sosial. Berikut merupakan diagram dari model matematika kecanduan media sosial:



Gambar 2.4 Diagram Kompartemen Model *SEARQ*

Berdasarkan Gambar 2.1 maka bisa dibentuk suatu sistem persamaan diferensial biasa sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \pi + \gamma\eta R - \beta\sigma AS - (k + \mu)S$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta\sigma AS - (\delta + \mu)E$$

$$\frac{dA}{dt} = \alpha\delta E - (\mu + \epsilon + \rho)A$$

$$\frac{dR}{dt} = (1 - \alpha)\delta E + \epsilon A - (\mu + \eta)R$$

$$\frac{dQ}{dt} = kS + (1 - \gamma)\eta R - \mu Q$$

Model ini membagi populasi menjadi lima kelas dengan asumsi sebagai berikut, populasi *Susceptible* (*S*) adalah individu yang tidak memiliki sosial media TikTok tapi rentan terhadap kecanduan karena faktor lingkungannya. Populasi *Exposed* (*E*) adalah individu yang memiliki sosial media TikTok tapi belum mencapai tingkat kecanduan. Populasi *Addicted* (*A*) adalah individu yang

kecanduan sosial media. Populasi *Recovery (R)* adalah individu yang melakukan penyembuhan dari kecanduan media sosial. Populasi *Quit (Q)* adalah individu yang akhirnya berhenti menggunakan sosial media. Dengan nilai parameter pada model sebagai berikut (Alemneh & Alemu, 2021):

Tabel 2.1 Keterangan Parameter Model *SEARQ*

Parameter	Deskripsi	Nilai	Sumber
π	Laju rekrutmen individu rentan	0.5	(Alemneh & Alemu, 2021)
μ	Laju kematian alami	0.25	(Wang, dkk., 2014)
β	Laju penularan penggunaan media sosial karena faktor lingkungan pada individu rentan	0.6	(Wang, dkk., 2014)
σ	Tingkat kontak individu rentan dengan individu kecanduan	0.5	(Wang, dkk., 2014)
α	Proporsi individu terpapar yang bergabung ke dalam kelas kecanduan	0.7	(Guo & Li, 2020)
ρ	Laju individu meninggal karena kecanduan	0.01	(Alemneh & Alemu, 2021)
δ	Individu yang meninggalkan kelas terpapar	0.25	(Guo & Li, 2020)

Parameter	Deskripsi	Nilai	Sumber
ε	Laju Individu yang bergabung ke kelas penyembuhan	0.7	(Huo & Wang, 2014)
k	Individu rentan yang tidak menggunakan media sosial	0.01	(Alemneh & Alemu, 2021)
γ	proporsi individu pulih tapi masih rentan terhadap kecanduan	0.35	(Li & Guo, 2019)
η	Individu yang meninggalkan kelas penyembuhan	0.4	(Huo & Wang, 2014)

2.1.6 Kecanduan Media Sosial

Kecanduan adalah sesuatu yang menyenangkan dan dilakukan secara berlebihan sehingga menjadikan orang tidak mampu mengendalikan diri (Anwar, dkk., 2021). Kecanduan adalah kondisi medis dan psikiatris di mana seseorang menggunakan sesuatu lebih dari batas dan dapat berdampak negatif pada kehidupannya jika dilakukan secara berlebihan dan berulang (Jamaludin, dkk., 2022). Kecanduan tidak hanya terjadi karena ketergantungan pada zat adiktif; beberapa kegiatan atau perilaku juga dapat menyebabkan kecanduan, seperti penggunaan internet (Kuswantoro, 2020).

Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023 menyatakan bahwa 84,37% pemuda usia 16-30 tahun menggunakan internet untuk mengakses jejaring sosial atau media sosial. Kecanduan media sosial mengacu kepada perilaku yang kompulsif dan berlebihan saat menggunakan media sosial sehingga mengganggu

kehidupan sehari-hari. Pengguna sering kali terjebak dalam pola penggunaan berulang yang berpotensi merugikan, seperti perilaku berlebihan dalam mengonsumsi konten, mengikuti tantangan atau tren tertentu, dan merasakan dorongan yang kuat untuk tetap terhubung dengan platform tersebut.

Kecanduan media sosial tahap ringan menimbulkan gejala – gejala diantaranya yaitu media sosial mendominasi perasaan, pikiran, dan perilaku individu (*salience*), memakai media sosial sebagai tempat untuk melupakan masalah, kegelisahan bahkan depresi (*mood modification*), mengalami peningkatan penggunaan media sosial hingga kesulitan mengatur waktu (*tolerance*), merasa gelisah dan emosi saat tidak mengakses media sosial (*withdrawal symptom*), merasa bersalah ketika mengakses media sosial terlalu lama dan terjadi konflik di lingkungannya akibat penggunaan media sosial yang berlebihan (*conflict*), individu mencoba berhenti mengakses media sosial namun gagal dan terjadi pola berulang (*relapse*)(Griffiths, 2001).

Penggunaan media sosial yang berlebihan dapat mempengaruhi kesehatan mental seseorang, termasuk meningkatkan stres, kecemasan, dan depresi. Kecanduan tahap berat berkaitan dengan *Tourette Syndrome* dengan tipe MSMI-FTB (*Mass Social Media Illness Functional Tourette-like Behavior*). MSMI-FTB merupakan dampak penggunaan media sosial yang berlebihan sehingga dapat menyebabkan pola perilaku yang kompulsif atau impulsif, mirip dengan beberapa gejala *Tourette Syndrome* (Fremer, dkk., 2022). Menurut (Anurogo, 2013), gejala – gejala pada pengidap *Tourette Syndrome* yaitu meniru tingkah laku yang dilihat di media sosial (*echo phenomena*), suka mengulang-ulang gerakan atau ucapan tanpa sadar (*pali phenomena*), menyumpah tanpa sadar dan di luar kemauannya

(*swearing involuntarily and inappropriately*), perilaku melukai diri sendiri (*self-injurious behaviours*). Durasi penggunaan media sosial bisa digunakan untuk menentukan kategori kecanduan media sosial yang selanjutnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.2 Kategori Kecanduan

Durasi (jam)	Kategori	Sumber
$1 \leq h \leq 3$	Normal	(Hartinah, dkk., 2019)
$4 \leq h \leq 6$	Ringan	(Hartinah, dkk., 2019)
$6 \leq h \leq 24$	Berat (<i>Tourette Syndrome</i>)	(Hartinah, dkk., 2019) (Fremer, dkk., 2022)

2.2 Pengendalian dan Pengobatan dalam Islam

Konsep pengendalian dan pengobatan dalam Islam mencakup fisik, mental, dan spiritual seseorang. Dalam Islam diajarkan untuk mengendalikan hawa nafsu dan menjaga keseimbangan dalam kehidupan. Pengendalian ini termasuk memastikan bahwa dapat berperilaku dan bertindak sesuai dengan ajaran agama serta menghindari segala bentuk hal yang merugikan diri sendiri dan orang lain. Hadist Imam Ahmad meriwayatkan dari Abdullah bin Amr dalam Tafsir Al-Munir (2016), bahwa Rasulullah SAW bersabda yang artinya:

“Makanlah dan minumlah, berpakaianlah, bersedekahlah tanpa kesombongan atau berlebihan. Sesungguhnya, Allah ingin nikmatnya terlihat pada hamba-Nya.”

Seorang mukmin haruslah seimbang, tidak berlebih-lebihan, tidak terlalu hemat, tidak melebihi batas halal menuju yang haram. Sesungguhnya, Allah tidak suka orang yang berlebih-lebihan hingga menyebabkan bahaya. Jika berlebihan

sehingga menghalangi seseorang dari memenuhi kewajiban mereka, itu hukumnya haram dan orang yang melakukannya termasuk dalam daftar orang yang berlebihan yang dihukum oleh Allah SWT (Az-Zuhaili, 2016).

Sementara itu, pengobatan dalam Islam mencakup pengobatan fisik serta aspek spiritual dan mental. Individu juga diajarkan untuk memohon pertolongan Allah SWT dan memperbanyak doa untuk kesembuhan selain mengambil langkah-langkah medis yang tepat. Mengikuti pengobatan yang halal dan mematuhi aturan kesehatan yang disarankan sambil tetap mempercayakan diri pada kehendak Allah SWT adalah penting dalam agama Islam. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Surat Asy-Syu'ara' ayat 80, yang artinya (Az-Zuhaili, 2016):

“Dan apabila aku sakit, Dialah yang menyembuhkanku.”

Ayat tersebut menggambarkan proses penyembuhan yang diberikan Allah SWT pada Nabi Ibrahim AS saat beliau sakit. Hal ini dapat dikaitkan dengan kecanduan media sosial, dimana kecanduan dianggap sebagai penyakit yang mempengaruhi kesehatan mental dan emosional individu. Mereka yang kecanduan media sosial dapat mencari penyembuhan dan pemulihan dengan merujuk kepada ajaran agama dan meningkatkan kesadaran spiritual mereka. Allah SWT menunjukkan bahwa Dia memiliki kekuatan dan kesembuhan yang tak terbatas untuk orang-orang yang beriman. Dengan memahami dan mengikuti ajaran Islam, orang dapat melepaskan diri dari kecanduan media sosial, menemukan ketenangan hati, dan memperbaiki keseimbangan dalam hidup mereka.

2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Penelitian sebelumnya mengenai kecanduan media sosial telah dilakukan oleh Alemneh dan Alemu (2021) yang menganalisis model matematika dengan kontrol optimal pada kecanduan media sosial. Penelitian ini menggunakan model *SEARQ* yang diasumsikan dengan lima sub populasi, yaitu sub populasi rentan (*Susceptible*), sub populasi terpapar (*Exposed*), sub populasi kecanduan (*Addicted*), sub populasi sembuh (*Recovery*), dan sub populasi keluar (*Quit*). Penelitian ini menggunakan dua variabel kontrol yaitu u_1 (pengendalian) dan u_2 (pengobatan). Sistem optimalitas menggunakan bantuan Prinsip Maksimum Pontryagin. Dari hasil simulasi numerik, menunjukkan bahwa penerapan kontrol gabungan paling efektif untuk menurunkan populasi terpapar dan kecanduan dalam waktu tertentu.

Selanjutnya penelitian mengenai kontrol optimal juga dilakukan oleh Nafisa (2018) yang menganalisis model respon imun bawaan pada makrofag di paru-paru terinfeksi *streptococcus pneumoniae* dengan satu variabel kontrol $v(t)$ yaitu berupa sitokin proinflamasi. Metode yang dipakai adalah kontrol optimal dengan bantuan Prinsip Minimum Pontryagin. Dari hasil simulasi numerik, menunjukkan bahwa penambahan variabel kontrol $v(t)$ yang berupa sitokin proinflamasi dapat menghambat penyebaran bakteri *streptococcus pneumoniae* dan meningkatkan kekebalan tubuh.

Selain itu, Indah dan Maulana (2022) meneliti tingkat kecanduan TikTok dikalangan mahasiswa FMIPA Unesa menggunakan model *SEIR*. Dari penelitian ini didapatkan titik kesetimbangan bebas kecanduan dan titik kesetimbangan endemik serta diperoleh bilangan reproduksi dasar yang menunjukkan adanya kecanduan TikTok dikalangan mahasiswa FMIPA Unesa. Akan tetapi, pada

penelitian ini belum sampai di tahap pemberian kontrol. Sehingga perlu dilakukan kontrol optimal untuk menekan tingkat kecanduan TikTok.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif menggunakan pendekatan studi literatur dengan mengidentifikasi literatur atau sumber-sumber informasi yang berkaitan dan dibutuhkan dalam penelitian. Sumber informasi ini bisa berupa jurnal, artikel, buku, laporan penelitian dan materi tertulis lainnya.

3.2 Pra Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, peneliti mengumpulkan dan mengidentifikasi literatur yang relevan dengan topik penelitian ini, dilakukan pembacaan kritis untuk memahami sudut pandang, metode dan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Selain itu, perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian juga dilakukan sebagai tahapan awal penelitian.

3.3 Tahapan Penelitian

1. Melakukan perhitungan kontrol optimal SEA_1A_2RQ pada kecanduan media sosial dengan dua variabel kontrol yaitu kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2), dengan tahapan sebagai berikut:
 - a. Menentukan model kecanduan TikTok dengan kontrol.
 - b. Menyelesaikan masalah kontrol optimal kecanduan TikTok menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin sebagai berikut:
 - Menentukan *objective function* atau fungsi tujuan.

- Menentukan persamaan diferensial dalam bentuk Fungsi Hamiltonian.
 - Menentukan nilai persamaan *state*.
 - Menentukan nilai persamaan *co-state*.
 - Menentukan kondisi stationer yang berupa nilai kontrol optimal.
2. Simulasi numerik model SEA_1A_2RQ pada kecanduan media sosial dengan dua variabel kontrol yaitu kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2).

BAB IV

PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas penyelesaian masalah kontrol optimal model SEA_1A_2RQ (*Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit*) pada kecanduan TikTok dengan menggunakan dua variabel kontrol yaitu pengendalian (u_1) yang bisa berupa edukasi dalam bentuk sosialisasi mengenai dampak negatif media sosial dan kontrol berupa pengobatan (u_2) yang tepat agar sembuh dari kecanduan. Kontrol optimal u_1 dan u_2 akan diselesaikan menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin yang selanjutnya akan disimulasikan secara numerik untuk mengetahui pengaruh adanya kontrol u_1 dan u_2 yang telah diberikan.

4.1 Kontrol Optimal Model Kecanduan TikTok

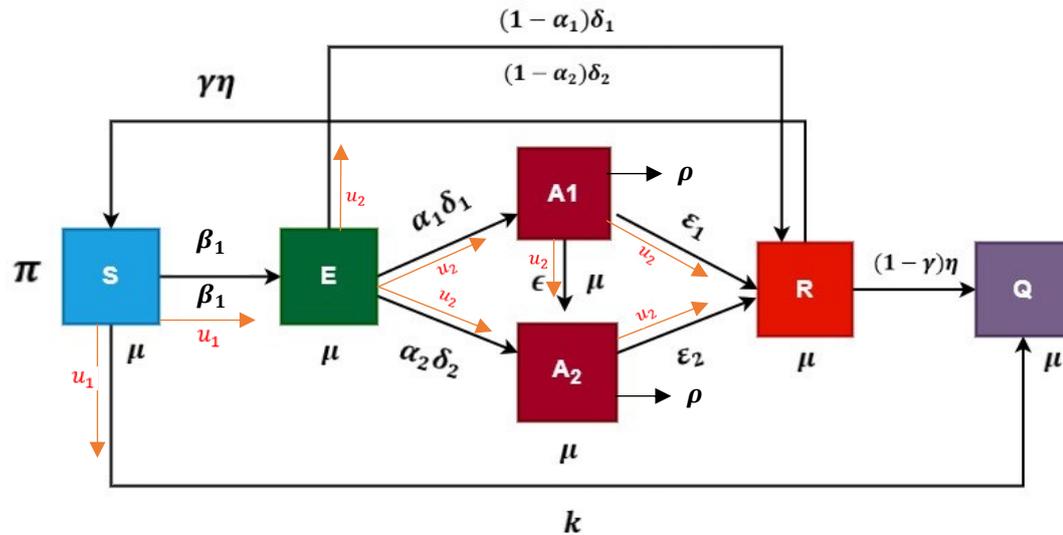
4.1.1 Model Kecanduan TikTok dengan Kontrol

Tujuan kontrol optimal kecanduan TikTok yaitu mengoptimalkan model dengan meminimumkan pertumbuhan populasi terpapar dan populasi kecanduan. Dalam model SEA_1A_2RQ diterapkan kontrol sebagai berikut:

1. u_1 adalah upaya pengendalian yang diterapkan pada populasi rentan kecanduan yang bisa berupa edukasi dalam bentuk sosialisasi mengenai dampak negatif media sosial.
2. u_2 adalah upaya pengobatan yang diterapkan pada populasi yang sudah memasuki kecanduan tahap ringan yang bisa berupa menonaktifkan sambungan internet, pembiasaan disiplin waktu penggunaan media sosial serta mengoptimalkan waktu lebih baik lagi. Untuk kecanduan tahap berat

umumnya akan diberikan terapi dan obat – obatan antipsikotik yang bertujuan untuk menurunkan kadar dopamin dalam otak, sehingga pengidap bisa mengontrol gejala sindrom.

Berdasarkan hal tersebut model matematika kecanduan TikTok dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram Kompartemen Model SEA_1A_2RQ

Untuk meminimalkan kecanduan TikTok, perlu dirumuskan masalah kontrol optimal dengan dua variabel kontrol $u_1(t)$ dan $u_2(t)$. Kontrol $u_1(t)$ mewakili upaya yang bertujuan untuk mencegah populasi rentan melakukan kontak dengan pecandu melalui sosialisasi dan edukasi masyarakat mengenai dampak negatif TikTok. Variabel kontrol $u_2(t)$ digunakan untuk mengontrol individu kecanduan untuk diberikan tindakan pengobatan agar pulih dari kecanduan. Model matematika kecanduan TikTok terkontrol diberikan oleh sistem persamaan diferensial berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \pi + \gamma\eta R - (1 - u_1)(\beta_1\sigma_1A_1 + \beta_2\sigma_2A_2)S - (k + u_1 + \mu)S$$

$$\frac{dE}{dt} = (1 - u_1)(\beta_1\sigma_1A_1 + \beta_2\sigma_2A_2)S - (\delta_1 + \delta_2 + u_2 + \mu)E$$

$$\frac{dA_1}{dt} = \alpha_1(\delta_1 + u_2)E - [\epsilon + u_2 + \epsilon_1 + \rho + \mu]A_1$$

$$\frac{dA_2}{dt} = \alpha_2(\delta_2 + u_2)E + (\epsilon + u_2)A_1 - [\epsilon_2 + u_2 + \rho + \mu]A_2$$

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dt} = & [(1 - \alpha_1)(\delta_1 + u_2) + (1 - \alpha_2)(\delta_2 + u_2)]E + (\epsilon_1 + u_2)A_1 \\ & + (\epsilon_2 + u_2)A_2 - (\eta + \mu)R \end{aligned}$$

$$\frac{dQ}{dt} = (k + u_1)S + (1 - \gamma)\eta R - \mu Q$$

Kecanduan TikTok mengacu kepada perilaku yang kompulsif dan berlebihan saat menggunakan media sosial sehingga mengganggu kehidupan sehari-hari bahkan bisa sampai mengidap *Tourette Syndrome*. Oleh karena itu, semua individu yang menggunakan TikTok maupun yang berada di lingkungan dan jangkauan pengguna TikTok ini rentan akan kecanduan TikTok. π adalah tingkat rekrutmen yang menentukan jumlah awal individu rentan terhadap kecanduan (S). Populasi rentan juga akan bertambah dengan laju individu yang pulih dari kecanduan karena pengobatan sebesar $\gamma\eta$, kemudian berkurang karena laju penularan penggunaan TikTok dari individu kecanduan ringan $\beta_1\sigma_1$ dan berat $\beta_2\sigma_2$ ke individu rentan. Oleh karena itu, diperlukan adanya sosialisasi dan edukasi untuk mencegah terjadinya kecanduan sehingga perlu diberikan kontrol u_1 . Populasi ini juga berkurang karena adanya individu rentan yang tidak menggunakan TikTok sebesar k dan laju kematian alami sebesar μ . Perlu diberikan sosialisasi dan edukasi untuk individu yang tidak menggunakan TikTok untuk mencegah kecanduan terjadi sehingga diberikan kontrol u_1 .

Kemudian, dengan laju β sejumlah individu mulai menggunakan TikTok untuk mengonsumsi konten, menyebarkan informasi dan mengikuti tren karena

adanya kontak individu rentan dengan individu kecanduan ringan $\beta_1\sigma_1$ dan berat $\beta_2\sigma_2$. Hal ini perlu diberikan kontrol u_1 yang berupa sosialisasi dan edukasi untuk mencegah terjadinya kecanduan. Populasi *Exposed (E)* ini akan berkurang karena individu mulai kecanduan dalam tahap ringan δ_1 hingga menghabiskan banyak waktunya untuk bermain TikTok dan adanya individu yang sudah kecanduan tahap berat δ_2 hingga menyebabkan *Tourette Syndrome*. Fase kecanduan ini bisa mengganggu kegiatan sehari-hari. Sehingga perlu dilakukan pengobatan agar individu bisa sembuh dan kembali beraktifitas dengan normal. Maka dari itu diberikan kontrol u_2 yang berupa pengobatan untuk mengurangi jumlah populasi kecanduan. Selain itu, populasi ini juga berkurang karena laju kematian alami sebesar μ .

Dengan laju $\alpha_1\delta_1$ pengguna TikTok yang terpapar kecanduan tahap ringan harus diberikan pengobatan agar tidak sampai menjadi kecanduan berat, maka dari itu diberikan kontrol u_2 . Populasi *Addicted (A₁)* akan berkurang karena adanya individu yang mengalami *Tourette Syndrome* ϵ dan adanya individu yang melakukan pengobatan untuk mengurangi waktu bermain TikTok ϵ_1 . Untuk mengatasi ini, diberikan kontrol u_2 yang berupa pengobatan untuk meminimumkan populasi kecanduan. Populasi ini juga berkurang karena laju kematian akibat kecanduan ρ dan laju kematian alami sebesar μ .

Individu yang sudah kecanduan tahap berat hingga menyebabkan *Tourette Syndrome* $\alpha_2\delta_2$ menjadi jumlah awal dari Populasi *Addicted (A₂)* yang kemudian akan bertambah karena adanya perpindahan individu dari kecanduan tahap ringan menjadi kecanduan tahap berat ϵ . *Tourette Syndrome* adalah gangguan yang cenderung melakukan gerakan atau menirukan suara secara tiba-tiba dan berulang

di bawah alam sadarnya. Pengobatan untuk penyakit ini umumnya akan diberikan terapi dan obat – obatan antipsikotik yang bertujuan untuk menurunkan kadar dopamin dalam otak, sehingga pengidap bisa mengontrol gejala sindrom, maka dari itu, perlu diberikan kontrol u_2 yang berupa pengobatan untuk kecanduan tahap berat. Populasi ini akan berkurang karena individu yang kecanduan melakukan pengobatan untuk penyembuhan *Tourette Syndrome* ε_2 . Untuk itu, diberikan kontrol u_2 untuk meminimumkan populasi kecanduan tahap berat. Populasi ini juga berkurang karena laju kematian karena kecanduan ρ dan laju kematian alami sebesar μ .

Jumlah awal populasi *Recovery* (R) berdasarkan individu pengguna TikTok yang tidak terpapar setelah kontak dengan individu kecanduan TikTok tahap ringan $(1 - \alpha_1)\delta_1$ dan tahap berat $(1 - \alpha_1)\delta_1$. Akan tetapi, harus tetap diberikan pengobatan untuk memastikan tidak terpapar kecanduan, sehingga diberikan kontrol u_2 . Populasi ini juga bertambah karena adanya individu yang melakukan pengobatan untuk kecanduan tahap ringan dengan laju ε_1 dan individu yang melakukan pengobatan untuk kecanduan tahap berat dengan laju ε_2 . Dalam hal ini, perlu diberikan kontrol u_2 untuk meminimumkan jumlah individu terpapar. Dengan diberikan pengobatan yang sesuai maka tingkat kecanduan TikTok dapat berkurang. Dengan laju η individu yang akhirnya pulih dan kembali menjadi individu rentan akan mengurangi jumlah populasi ini. Selain itu, populasi ini juga akan berkurang karena laju kematian alami sebesar μ .

Jumlah awal populasi *Quit* (Q) berdasarkan individu yang tidak menggunakan TikTok dengan laju k . Golongan individu tidak menggunakan TikTok ini perlu diberikan kontrol u_1 agar tidak sampai menggunakan TikTok atau

kecanduan. Populasi ini akan bertambah dengan laju individu yang telah sembuh dari kecanduan $(1 - \gamma)\eta R$ kemudian akan berkurang karena laju kematian alami sebesar μ .

4.1.2 Penyelesaian Kontrol Optimal Model Kecanduan TikTok

Nilai awal populasi dan nilai parameter yang akan digunakan merujuk pada penelitian Alemneh dan Alemu (2021) sebagai berikut:

Tabel 4.1 Nilai Awal Populasi

Variabel	Deskripsi	Nilai	Satuan
$S(0)$	Banyaknya populasi individu rentan dan tidak menggunakan TikTok saat $t = 0$	100	$\frac{1}{\text{tahun}}$
$E(0)$	Banyaknya populasi pengguna TikTok saat $t = 0$	10	$\frac{1}{\text{tahun}}$
$A_1(0)$	Banyaknya populasi individu kecanduan ringan saat $t = 0$	50	$\frac{1}{\text{tahun}}$
$A_2(0)$	Banyaknya populasi individu kecanduan berat saat $t = 0$	50	$\frac{1}{\text{tahun}}$
$R(0)$	Banyaknya populasi individu yang melakukan pengobatan saat $t = 0$	0	$\frac{1}{\text{tahun}}$
$Q(0)$	Banyaknya populasi individu yang berhenti menggunakan TikTok saat $t = 0$	100	$\frac{1}{\text{tahun}}$

Tabel 4.2 Nilai Parameter Model SEA_1A_2RQ

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
π	Laju rekrutmen individu rentan	0.5	$\frac{1}{\text{tahun}}$
μ	Laju kematian alami	0.25	$\frac{1}{\text{tahun}}$
β_1	Laju penularan penggunaan TikTok dari individu kecanduan ringan ke individu rentan akibat pengaruh sekitar	0.6	$\frac{1}{\text{tahun}}$
β_2	Laju penularan penggunaan TikTok dari individu kecanduan berat ke individu rentan akibat pengaruh sekitar	0.58	$\frac{1}{\text{tahun}}$
σ_1	Kontak individu rentan dan individu kecanduan tahap ringan	0.5	$\frac{1}{\text{tahun}}$
σ_2	Kontak individu rentan dan individu kecanduan tahap berat	0.22	$\frac{1}{\text{tahun}}$
k	Laju individu rentan yang tidak menggunakan TikTok	0.01	$\frac{1}{\text{tahun}}$
α_1	Proporsi individu terpapar yang kecanduan tahap ringan	0.71	
α_2	Proporsi individu terpapar yang kecanduan tahap berat	0.22	

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
δ_1	Individu yang yang meninggalkan populasi <i>Exposed</i>	0.25	$\frac{1}{\text{tahun}}$
δ_2	Individu yang yang meninggalkan populasi <i>Exposed</i>	0.21	$\frac{1}{\text{tahun}}$
ϵ	Laju perpindahan individu kecanduan dari tahap ringan ke tahap berat	0.688	$\frac{1}{\text{tahun}}$
ϵ_1	Laju perpindahan individu kecanduan ringan yang melakukan pengobatan	0.7	$\frac{1}{\text{tahun}}$
ϵ_2	Laju perpindahan individu kecanduan berat yang melakukan pengobatan	0.001	$\frac{1}{\text{tahun}}$
γ	Proporsi individu yang sudah melakukan pengobatan tapi masih rentan terhadap kecanduan	0.35	
η	Individu yang meninggalkan kelas penyembuhan	0.4	$\frac{1}{\text{tahun}}$
ρ	Laju tingkat kematian karena kecanduan TikTok	0.01	$\frac{1}{\text{tahun}}$

Sumber: Alemneh & Alemu, (2021)

Nilai parameter pada Tabel 4.2 akan disubstitusikan pada model kecanduan tiktok dengan kontrol, sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dS}{dt} = 0,5 + (0,35)(0,4)R - (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,01 + u_1 + 0,25)S$$

$$\frac{dE}{dt} = (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,25 + 0,21 + u_2 + 0,25)E$$

$$\frac{dA_1}{dt} = 0,71(0,25 + u_2)E - (0,688 + u_2 + 0,7 + 0,01 + 0,25)A_1$$

$$\frac{dA_2}{dt} = 0,22(0,21 + u_2)E + (0,688 + u_2)A_1 - (0,001 + u_2 + 0,01 + 0,25)A_2$$

$$\frac{dR}{dt} = [(1 - 0,71)(0,25 + u_2) + (1 - 0,22)(0,21 + u_2)]E + (0,7 + u_2)A_1 + (0,001 + u_2)A_2 - (0,4 + 0,25)R$$

$$\frac{dQ}{dt} = (0,01 + u_1)S + (1 - 0,35)0,4R - 0,25Q$$

Selanjutnya ditentukan fungsi tujuan J (*Objective Function*) yang ingin dioptimalkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi Tujuan Kontrol

Tujuan diberikannya kontrol yaitu meminimalkan populasi *Exposed*, *Addicted₁* dan *Addicted₂* serta meminimalkan biaya kontrol.

2. Identifikasi Variabel Keadaan dan Kontrol

$$x(t) = \begin{bmatrix} S(t) \\ E(t) \\ A_1(t) \\ A_2(t) \\ R(t) \\ Q(t) \end{bmatrix}, \quad u(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

3. Tentukan Fungsi Biaya

Fungsi biaya berupa integral dari beberapa fungsi yang melibatkan variabel keadaan dan kontrol:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t), t) dt$$

di mana L adalah fungsi Lagrangian yang menggambarkan biaya per unit waktu. Kemudian bobot biaya didefinisikan sebagai berikut:

$b_1E(t)$: Biaya terkait dengan populasi *Exposed*

$b_2A_1(t)$: Biaya terkait dengan populasi *Addicted₁*

$b_3A_2(t)$: Biaya terkait dengan populasi *Addicted₂*

$\frac{1}{2}w_1u_1^2(t)$: Biaya implementasi kontrol pengendalian

$\frac{1}{2}w_2u_2^2(t)$: Biaya implementasi kontrol pengobatan

4. Formulasi *Objective Function*

$$L(x(t), u(t), t) = b_1E + b_2A_1 + b_3A_2 + \frac{1}{2}(w_1u_1^2 + w_2u_2^2)$$

Sehingga *Objective function* diformulasikan sebagai berikut:

$$J = \int_0^{t_f} \left(b_1E + b_2A_1 + b_3A_2 + \frac{1}{2}(w_1u_1^2 + w_2u_2^2) \right) dt$$

Solusi optimal dari masalah kontrol optimal bisa diperoleh dari fungsi Hamiltonian dengan menggabungkan *objective function* dan *variable state*. Setiap variabel *state* harus dikalikan dengan multiplier Lagrange yang dilambangkan dengan λ dimana $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ adalah fungsi adjoint yang terkait dengan persamaan untuk keadaan masing masing variabel $SEAI_1A_2RQ$.

$$\begin{aligned} \mathcal{H} = & b_1E + b_2A_1 + b_3A_2 + \frac{1}{2}w_1u_1^2 + \frac{1}{2}w_2u_2^2 \\ & + \lambda_1[0,5 + (0,35)(0,4)R - (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,01 + u_1 + 0,25)S] \\ & + \lambda_2[(1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,25 + 0,21 + u_2 + 0,25)E] \\ & + \lambda_3[0,71(0,25 + u_2)E - (0,688 + u_2 + 0,7 + 0,01 + 0,25)A_1] \\ & + \lambda_4[0,22(0,21 + u_2)E + (0,688 + u_2)A_1 - (0,001 + u_2 + 0,01 + 0,25)A_2] \end{aligned}$$

$$+\lambda_5[(1 - 0,71)(0,25 + u_2) + (1 - 0,22)(0,21 + u_2)]E + (0,7+u_2)A_1 + (0,001 + u_2)A_2 \\ - (0,4 + 0,25)R] + \lambda_6[(0,01 + u_1)S + (1 - 0,35)0,4R - 0,25Q]$$

dimana $\lambda_i, i = 1, \dots, 6$ adalah variabel fungsi adjoint yang akan ditentukan

Berdasarkan Hamiltonian diatas, akan ditentukan persamaan *state* dan persamaan *co-state*. Persamaan *state* adalah persamaan yang menjadi kendala dalam menyelesaikan masalah kontrol optimal. Persamaan *state* diperoleh dari turunan fungsi Hamiltonian terhadap masing-masing $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$. Maka persamaan *state* dari Hamiltonian tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_1} = 0,5 + (0,35)(0,4)R - (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,01 \\ + u_1 + 0,25)S$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_2} = (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,25 + 0,21 + u_2 + 0,25)E$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_3} = 0,71(0,25 + u_2)E - (0,688 + u_2 + 0,7 + 0,01 + 0,25)A_1$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_4} = 0,22(0,21 + u_2)E + (0,688 + u_2)A_1 - (0,001 + u_2 + 0,01 + 0,25)A_2$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_5} = [(1 - 0,71)(0,25 + u_2) + (1 - 0,22)(0,21 + u_2)]E + (0,7+u_2)A_1 \\ + (0,001 + u_2)A_2 - (0,4 + 0,25)R$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda_6} = (0,01 + u_1)S + (1 - 0,35)0,4R - 0,25Q$$

dengan kondisi awal $S(0) = S_0, E(0) = E_0, A_1(0) = A_{10}, A_2(0) = A_{20}, R(0) = R_0, Q(0) = Q_0$

Terdapat variabel adjoint $\lambda_i, i = 1, \dots, 6$ yang memenuhi persamaan di bawah ini:

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial S}(t)$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial E}(t)$$

$$\frac{d\lambda_3}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial A_1}(t)$$

$$\frac{d\lambda_4}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial A_2}(t)$$

$$\frac{d\lambda_5}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial R}(t)$$

$$\frac{d\lambda_6}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial Q}(t)$$

Dengan menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin, akan ditentukan persamaan adjoint dengan mendifferensialkan fungsi Hamiltonian terhadap masing-masing variabel state sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_1}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial S} = & \lambda_1((1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S + 0,01 \\ & + (1 - u_1) + 0,25) \\ & - \lambda_2((1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S) \\ & - \lambda_6(0,01 + u_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_2}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial E} = & -b_1 + \lambda_2(0,25 + 0,21 + u_2 + 0,25) \\ & - \lambda_3(0,71(0,25 + u_2)) - \lambda_4(0,22(0,21 + u_2)) \\ & - \lambda_5((1 - 0,71)(0,25 + u_2) + (1 - 0,22)(0,21 + u_2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_3}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial A_1} = & -b_2 + \lambda_1((1 - u_1)(0,6)(0,25)S) \\ & - \lambda_2((1 - u_1)(0,6)(0,5)S) \\ & - \lambda_3(0,688 + u_2 + 0,7 + 0,01 + 0,025) - \lambda_4(0,688 - u_2) \\ & - \lambda_5(0,001 + u_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\lambda_4}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial A_2} = -b_3 + \lambda_1((1-u_1)(0,58)(0,22)S) \\ &\quad - \lambda_2((1-u_1)(0,58)(0,22)S) \\ &\quad + \lambda_4(0,001 + u_{2q} + 0,01 + 0,25) - \lambda_5(0,001 + u_2) \\ \frac{d\lambda_5}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial R} = -\lambda_1((0,35)(0,4)) + \lambda_5(0,4 + 0,25) - \lambda_6((1-0,35)4) \\ \frac{d\lambda_6}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial Q} = \lambda_6(0,25)\end{aligned}$$

Kemudian dicari nilai u_1 dan u_2 , agar kondisi optimal sehingga turunan fungsi

Hamiltonian harus sama dengan 0.

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_1} = 0 \text{ dan } \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_2} = 0$$

a. Untuk $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_1} = 0$ diperoleh

$$\begin{aligned}w_1 u_1 + \lambda_1((0,6)(0,5)A_1 S + (0,58)(0,22)A_2 S - S) - \\ \lambda_2((0,6)(0,5)A_1 S + (0,58)(0,22)A_2 S) + \lambda_6(S) &= 0 \\ w_1 u_1 = -\lambda_1((0,6)(0,5)A_1 S + (0,58)(0,22)A_2 S - S) \\ &\quad + \lambda_2((0,6)(0,5)A_1 S + (0,58)(0,22)A_2 S) - \lambda_6(S) \\ u_1 &= \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(0,6)(0,5)A_1 S + (0,58)(0,22)A_2 S + (\lambda_1 - \lambda_6)S}{w_1}\end{aligned}$$

b. Untuk $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_2} = 0$ diperoleh

$$\begin{aligned}w_2 u_2 - \lambda_2(E) + \lambda_3(0,71E - A_1) + \lambda_4(0,22E + A_1 - A_2) \\ - \lambda_5(0,71E + 0,22E - E - A_1 - A_2) &= 0 \\ w_2 u_2 = \lambda_2(E) - \lambda_3(0,71E - A_1) - \lambda_4(0,22E + A_1 - A_2) \\ &\quad + \lambda_5(0,71E + 0,22E - E - A_1 - A_2) \\ u_2 &= \frac{(\lambda_2 - \lambda_5)E + (\lambda_5 - \lambda_3)0,71E - A_1 + (\lambda_5 - \lambda_4)0,22E - A_2 - (\lambda_4)A_1}{w_2}\end{aligned}$$

Jika $u_{1,2}(t) = 1$, maka kontrol tersebut dapat dikatakan optimal atau efektif dan jika $u_{1,2}(t) = 0$, maka dapat dikatakan pemberian kontrol tidak berpengaruh dalam mengurangi jumlah populasi *Exposed*, *Addicted₁* dan *Addicted₂*. Dengan kondisi transversalitas, $\lambda_i(tf) = 0, i = 1, \dots, 6$ dan variabel kontrol optimal u_1^* dan u_2^* berbentuk fungsi yang diberikan oleh:

$$u_1^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(0,6)(0,5)A_1S + (0,58)(0,22)A_2S + (\lambda_1 - \lambda_6)S}{w_1} \right) \right\}$$

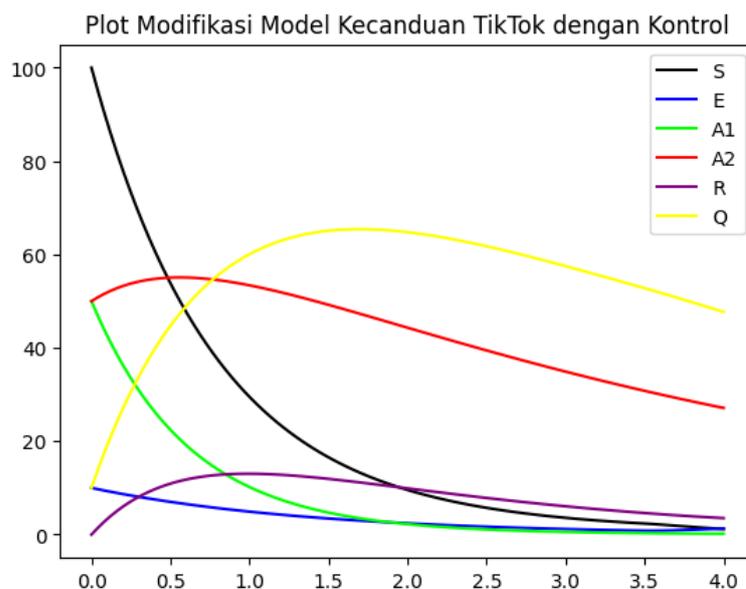
$$u_2^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_2 - \lambda_5)E + (\lambda_5 - \lambda_3)0,71E - A_1 + (\lambda_5 - \lambda_4)0,22E - A_2 - (\lambda_4)A_1}{w_2} \right) \right\}$$

4.2 Simulasi Numerik Model Kecanduan TikTok

Berdasarkan persamaan *state* dan *co-state* yang didapatkan berbentuk persamaan diferensial nonlinier yang sulit diselesaikan secara analitik, sehingga akan diselesaikan dengan pendekatan numerik. Pada pembahasan ini, akan dilakukan simulasi numerik menggunakan metode Runge Kutta orde 4. Simulasi ini digunakan untuk mengetahui efektivitas kontrol pengendalian masyarakat dan pengobatan untuk kecanduan TikTok. Simulasi numerik dilakukan menggunakan menggunakan *Google Colab*. Tabel 4.1 merupakan nilai awal yang digunakan dan Tabel 4.2 adalah nilai dari parameternya. Berdasarkan penelitian Alemneh dan Alemu (2021), interval waktu yang digunakan yaitu $t_0 = 0$ dan $t_f = 4$ dalam satuan tahun. Konstanta pembobot yang berlaku untuk populasi *Exposed*, *Addicted₁* dan *Addicted₂* berturut-turut sebesar $b_1 = 1$, $b_2 = 2$, $b_3 = 2$. Selanjutnya, bobot untuk biaya kontrol pengendalian dan pengobatan berturut-turut sebesar $w_1 = 10$, $w_2 = 10$. Hasil simulasi model tanpa kontrol dan terkontrol akan dibandingkan dengan hasil simulasi model pada penelitian Alemneh dan Alemu (2021). Hal ini

bertujuan untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi dari pemberian kontrol pengendalian dan pengobatan dengan model yang sudah dimodifikasi.

Hasil simulasi numerik untuk kontrol optimal model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit* (SEA_1A_2RQ) pada kecanduan tiktok dengan kontrol u_1 dan u_2 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Simulasi Model SEA_1A_2RQ dengan Kontrol

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa setelah diberikan kontrol u_1 dan u_2 pada model SEA_1A_2RQ , populasi *Susceptible* mengalami penurunan dari nilai awalnya yaitu 100 hingga mendekati nol dalam kurun waktu empat tahun. Penurunan populasi *Susceptible* dikarenakan adanya interaksi antara populasi *Exposed* atau *Addicted_{1,2}* dengan populasi *Susceptible*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak orang yang berpindah dari kategori rentan ke kategori terkena paparan atau kecanduan. Pada populasi *Exposed* dan *Addicted₁* juga mengalami penurunan hingga mendekati nol. Ini menggambarkan individu yang baru terpapar TikTok, kemudian sebagian besar pindah ke populasi kecanduan ringan dan berat.

Akan tetapi, pada populasi *Addicted₂* mengalami peningkatan dan tetap dalam jumlah yang tinggi dalam kurun waktu yang lebih lama daripada kecanduan ringan. Populasi kecanduan berat kemudian akan menurun secara perlahan. Ini menunjukkan bahwa individu yang mengalami kecanduan berat cenderung berada dalam kondisi tersebut lebih lama sebelum mungkin beralih ke pemulihan. Penurunan populasi-populasi sebelumnya berdampak pada peningkatan populasi *Recovery* dan populasi *Quit*. Hal ini menunjukkan bahwa lebih banyak individu yang berhasil pulih dari kecanduan TikTok seiring waktu dan pemberian kontrol berdampak positif dalam mengurangi tingkat kecanduan TikTok.

Dari titik kontrol terhadap waktu yang didapatkan akan diselesaikan menggunakan interpolasi kuadratik untuk mendapatkan persamaan polinomial kuadratik yang selanjutnya akan divisualisasikan menggunakan Matlab. Interpolasi kuadratik adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai sebuah fungsi pada suatu titik tertentu berdasarkan tiga titik yang diketahui. Metode ini menggunakan polinomial kuadrat (polinomial derajat dua) yang melalui ketiga titik tersebut. Polinomial kuadratik dapat ditulis dalam bentuk umum:

$$P(x) = ax^2 + bx + c$$

1. Untuk u_1 , menentukan koefisien a , b , dan c , kita menggunakan tiga titik yang diketahui yaitu $(0, 1)$, $(2, 0.61)$, dan $(4, 0.37)$. Berdasarkan titik-titik tersebut didapatkan persamaan

$$1 = a(0)^2 + b(0) + c$$

$$0,61 = a(2)^2 + b(2) + c$$

$$0,37 = a(4)^2 + b(4) + c$$

menjadi

$$1 = c$$

$$0,61 = 4a + 2b + c$$

$$0,37 = 16a + 4b + c$$

substitusi $c = 1$ ke persamaan kedua dan ketiga

$$0,61 = 4a + 2b + 1$$

$$0,37 = 16a + 4b + 1$$

menjadi

$$-0,39 = 4a + 2b$$

$$-0,63 = 16a + 4b$$

selanjutnya eliminasi b untuk mencari nilai a , sehingga didapatkan

$$-0,78 - (-0,63) = 8a + 4b - (16a + 4b)$$

$$-0,15 = -8a$$

$$a = 0,01875$$

substitusi $a = 0,01875$

$$-0,39 = 4(0,01875) + 2b$$

$$-0,39 = 0,075 + 2b$$

$$-0,39 - 0,075 = 2b$$

$$-0,465 = 2b$$

$$b = -0,2325$$

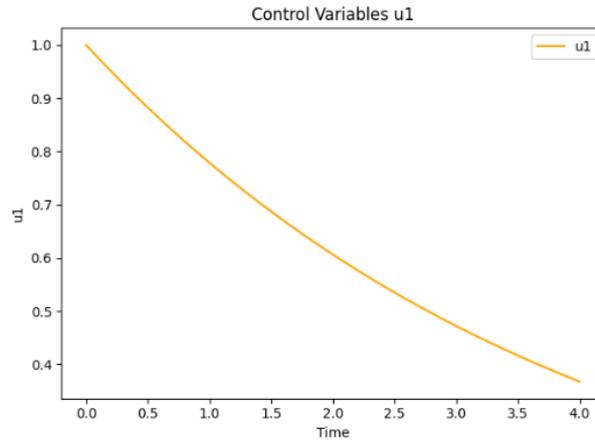
jadi, koefisien polinomial kuadratik adalah

$$a = 0,01875 \quad b = -0,2325 \quad c = 1$$

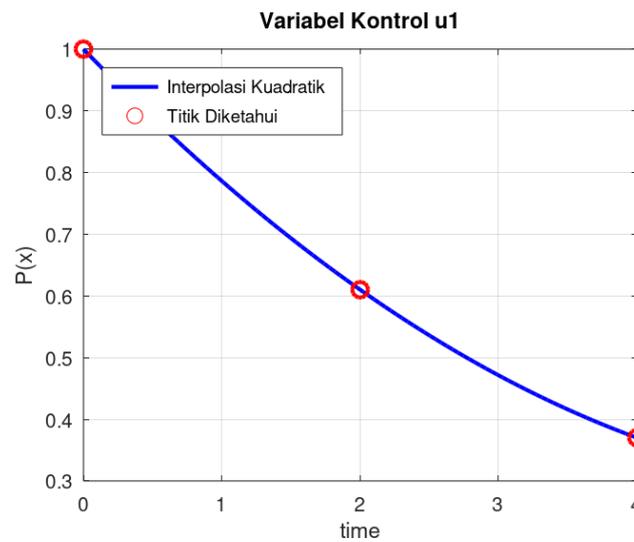
polinomial kuadratiknya adalah

$$P(x) = 0,01875x^2 - 0,2325x + 1$$

selanjutnya akan divisualisasikan kurva polinomial dan titik-titik data yang diinterpolasi sebagai berikut:



Gambar 4.3 Simulasi Variabel Kontrol u_1 dari Program



Gambar 4.4 Plot Polinomial Kontrol u_1

Gambar 4.3 merupakan simulasi variabel kontrol u_1 yang dimunculkan dari program. Kemudian pada Gambar 4.4 menggambarkan hubungan antara pemberian kontrol u_1 terhadap waktu berdasarkan tiga titik data yaitu $(0, 1)$, $(2, 0.61)$, dan $(4, 0.37)$. Kurva yang dihasilkan

menunjukkan penurunan pemberian kontrol u_1 yang konsisten seiring berjalannya waktu hingga tahun keempat.

2. Untuk u_2 , menentukan koefisien a , b , dan c , kita menggunakan tiga titik yang diketahui yaitu $(0, 1)$, $(3.72, 0.40)$, dan $(4, 0.39)$. Berdasarkan titik-titik tersebut didapatkan persamaan

$$1 = a(0)^2 + b(0) + c$$

$$0,40 = a(3,72)^2 + b(3,72) + c$$

$$0,39 = a(4)^2 + b(4) + c$$

menjadi

$$1 = c$$

$$0,40 = (13,8384)a + (3,72)b + c$$

$$0,39 = 16a + 4b + c$$

substitusi $c = 1$ ke persamaan kedua dan ketiga

$$0,40 = (13,8384)a + (3,72)b + 1$$

$$0,39 = 16a + 4b + 1$$

menjadi

$$-0,60 = 13,8384a + 3,72b$$

$$-0,61 = 16a + 4b$$

selanjutnya eliminasi b untuk mencari nilai a , sehingga didapatkan

$$-2,40 - (-2,2652) = 55,3536a - 59,52a$$

$$-0,1348 = -4,1664a$$

$$a = 0,03234$$

substitusi $a = 0,03234$

$$-0,60 = 13,8384(0,03234) + 3,72b$$

$$-0,60 = 0,4474 + 3,72b$$

$$-1,0474 = 3,72b$$

$$-0,2816 = b$$

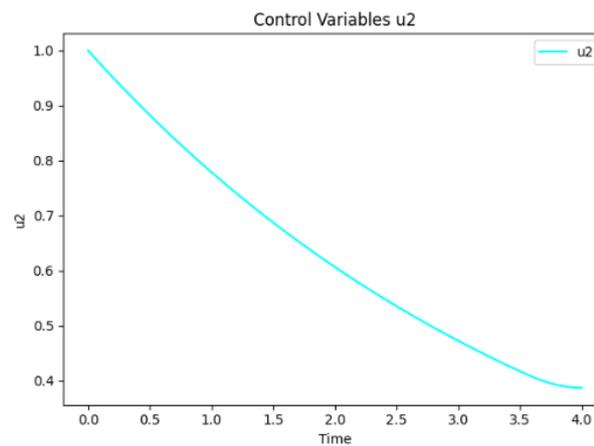
jadi, koefisien polinomial kuadratik adalah

$$a = 0,03234 \quad b = -0,2816 \quad c = 1$$

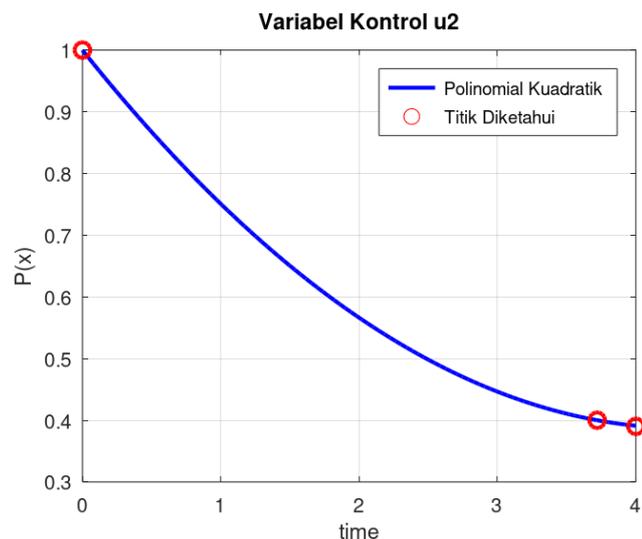
polinomial kuadratiknya adalah

$$P(x) = 0,03234x^2 - 0,2816x + 1$$

selanjutnya akan divisualisasikan kurva polinomial dan titik-titik data yang diinterpolasi sebagai berikut:



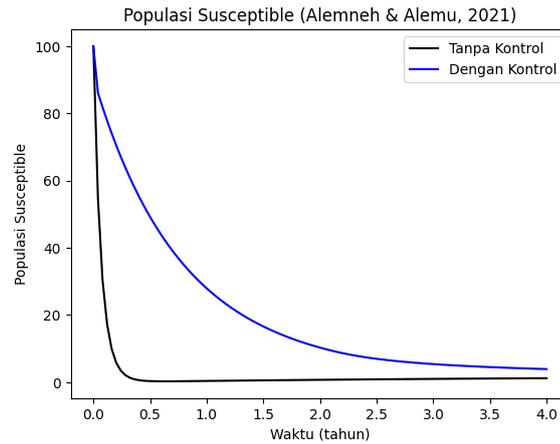
Gambar 4.5 Simulasi Variabel Kontrol u_2 dari Program



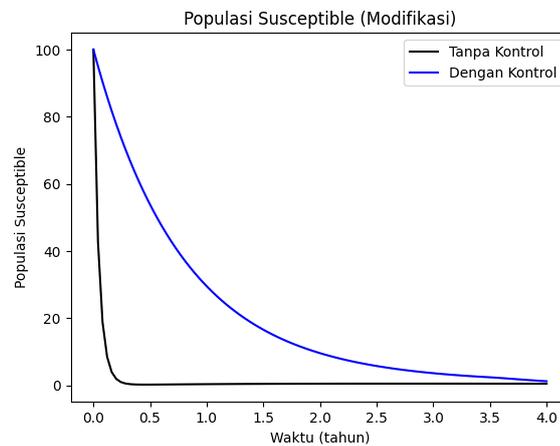
Gambar 4.6 Plot Polinomial Kontrol u_2

Gambar 4.5 merupakan simulasi variabel kontrol u_2 yang dimunculkan dari program. Kemudian pada Gambar 4.6 menggambarkan hubungan antara pemberian kontrol u_2 terhadap waktu berdasarkan tiga titik data yaitu $(0, 1)$, $(3.72, 0.40)$, dan $(4, 0.39)$. Kurva yang dihasilkan juga menunjukkan penurunan pemberian kontrol u_2 yang konsisten seiring berjalannya waktu hingga tahun keempat seperti halnya dengan pemberian kontrol u_1 .

Selanjutnya dilakukan simulasi numerik untuk model kecanduan TikTok yang kemudian didapatkan perbandingan hasil simulasi model kecanduan TikTok dengan kontrol dan tanpa kontrol, sekaligus perbandingan hasil dengan penelitian sebelumnya mengenai kecanduan media sosial yang dilakukan oleh Alemneh dan Alemu (2021).



Gambar 4.7 Simulasi $S(t)$ Model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $S(0) = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $\pi = 0.5, \gamma = 0.35, \eta = 0.4, \beta = 0.6, \sigma = 0.5, k = 0.01$ dan $\mu = 0.25$

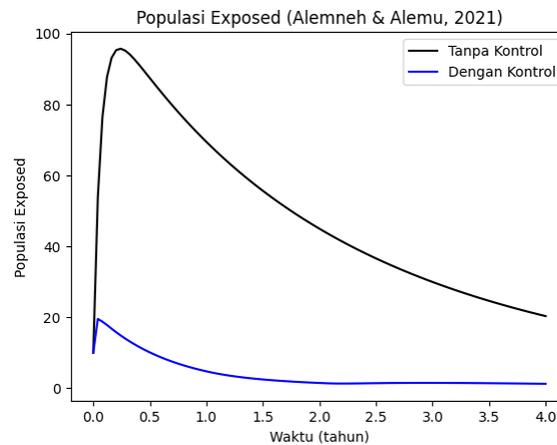


Gambar 4.8 Simulasi Modifikasi $S(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $S(0) = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $\pi = 0.5, \gamma = 0.35, \eta = 0.4, \beta_1 = 0.6, \sigma_1 = 0.5, \beta_2 = 0.58, \sigma_2 = 0.22, k = 0.01$ dan $\mu = 0.25$

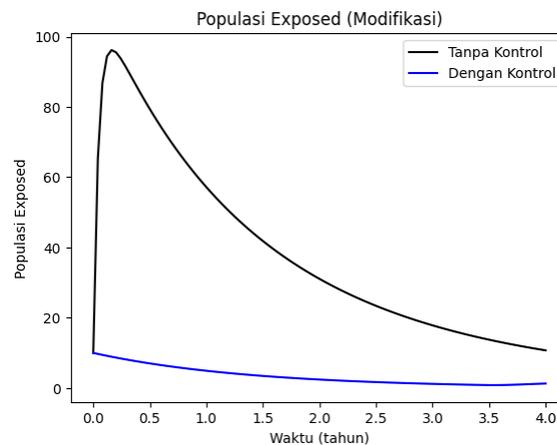
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $S(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

t	$S(t)$ Tanpa Kontrol	$S(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	0.5809	29.146956	28.566056
2	0.6272	9.358857	8.731657
3	0.48365	3.498808	3.015158
4	0.45702	1.194176	0.737156

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 memperlihatkan perbandingan populasi $S(t)$ yang terdapat perbedaan dalam kecepatan penurunan di model terkontrol. Terlihat pada Gambar 4.8, model modifikasi menunjukkan perlambatan yang lebih signifikan dan stabilitas populasi *Susceptible* yang lebih tinggi dalam jangka waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan model rujukan. Jika dilihat dari Tabel 4.3, penerapan kontrol u_1 dan u_2 secara signifikan meningkatkan nilai $S(t)$ pada semua waktu yang diukur dibandingkan dengan tanpa kontrol.



Gambar 4.9 Simulasi $E(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $E(0) = 10$ dengan Parameter Berturut-turut $\beta = 0.6$, $\sigma = 0.5$, $\delta = 0.25$ dan $\mu = 0.25$

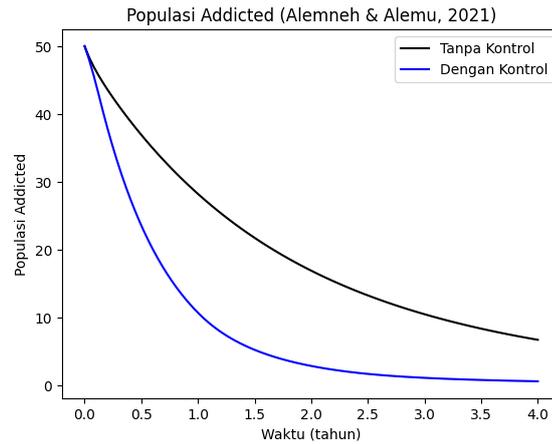


Gambar 4.10 Simulasi Modifikasi $E(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $E(0) = 10$ dengan Parameter Berturut-turut $\beta_1 = 0.6$, $\sigma_1 = 0.5$, $\beta_2 = 0.58$, $\sigma_2 = 0.22$, $\delta_1 = 0.25$, $\delta_2 = 0.21$ dan $\mu = 0.25$

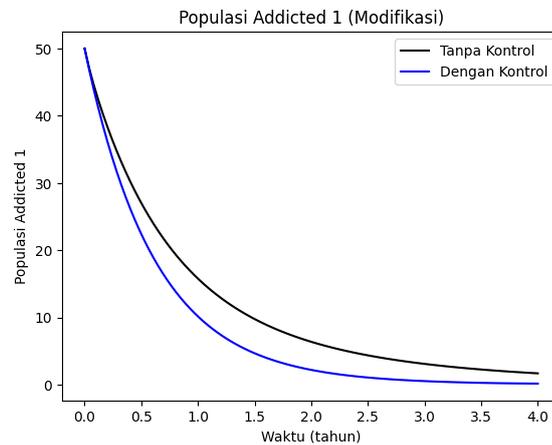
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $E(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

t	$E(t)$ Tanpa Kontrol	$E(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	57.152	4.881309	52.270691
2	31.066	2.382718	28.683282
3	17.812	1.163078	16.648922
4	10.697	1.286493	9.410507

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 memperlihatkan perbandingan populasi *Exposed*. Kedua model tanpa kontrol menunjukkan pola yang sama di mana populasi yang terpapar meningkat tajam pada awalnya dan mencapai puncak dalam kurun waktu 0,5 tahun, kemudian menurun secara bertahap hingga mendekati nol dalam empat tahun. Ketika diberikan kontrol, model modifikasi menunjukkan bahwa populasi yang terpapar tetap rendah lebih lama dibandingkan dengan model rujukan. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat selisih antara $E(t)$ tanpa kontrol dan dengan kontrol menunjukkan bahwa kontrol u_1 dan u_2 efektif dalam menurunkan populasi pengguna TikTok, dengan selisih yang cukup besar terutama pada waktu-waktu awal dan sedikit berkurang seiring waktu empat tahun.



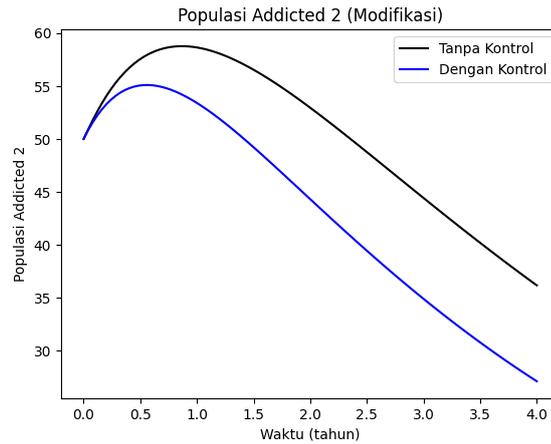
Gambar 4.11 Simulasi $A(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A(0) = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha = 0.7$, $\delta = 0.25$, $\mu = 0.25$, $\epsilon = 0.7$ dan $\rho = 0.01$



Gambar 4.12 Simulasi Modifikasi $A_1(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A_1(0) = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_1 = 0.71$, $\delta_1 = 0.25$, $\epsilon = 0.688$, $\epsilon_1 = 0.7$, $\rho = 0.01$ dan $\mu = 0.25$

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $A_1(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

t	$A_1(t)$ Tanpa Kontrol	$A_1(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	15.776	10.020480	5.755520
2	6.409	2.168634	4.240366
3	3.0319	0.543291	2.488609
4	1.6612	0.196122	1.465078



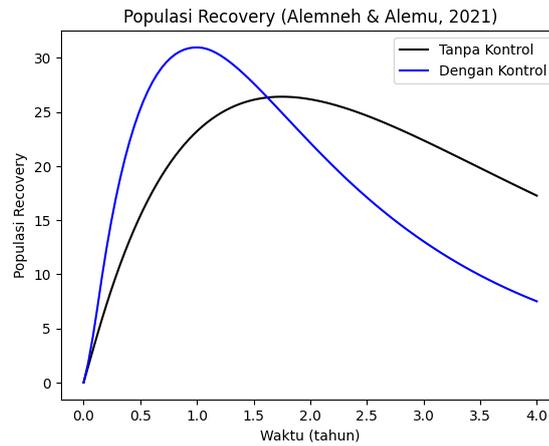
Gambar 4.13 Simulasi Modifikasi $A_2(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $A_2(0) = 50$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_2 = 0.22$, $\delta_2 = 0.21$, $\epsilon = 0.688$, $\varepsilon_2 = 0.001$, $\rho = 0.01$ dan $\mu = 0.25$

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $A_2(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

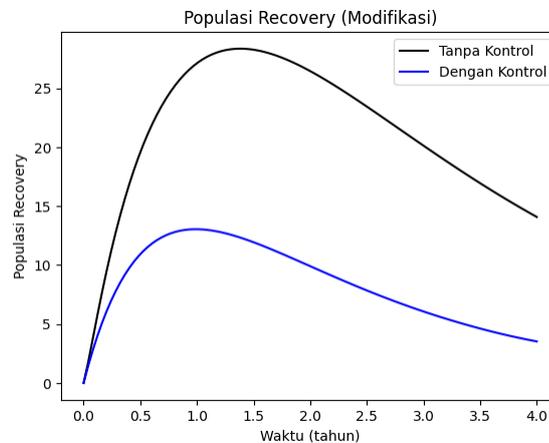
t	$A_2(t)$ Tanpa Kontrol	$A_2(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	58.968	53.325936	5.642064
2	53.366	44.115739	9.250261
3	44.757	34.646692	10.110308
4	36.542	27.125357	9.416643

Gambar 4.11 menunjukkan populasi *Addicted* mengalami penurunan hampir nol dalam kurun waktu empat tahun, Ketika diberikan kontrol, penurunan terjadi lebih cepat ke hampir nol dalam kurun waktu dua tahun. kemudian pada Gambar 4.12 dan 4.13 menunjukkan model modifikasi kecanduan menjadi kecanduan ringan dan berat. Populasi A_1 menunjukkan penurunan cepat menuju nol, sedangkan populasi A_2 menunjukkan pola yang lebih kompleks dengan peningkatan awal dan penurunan lebih lambat. Melihat selisih nilai A_1 dan A_2 dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa kontrol u_1 dan u_2 efektif dalam

menurunkan angka kecanduan ringan maupun kecanduan berat pada setiap titik waktu, dengan dampak yang lebih stabil pada angka kecanduan ringan daripada angka kecanduan berat.



Gambar 4.14 Simulasi $R(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $R(0) = 0$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha = 0.7$, $\delta = 0.25$, $\epsilon = 0.7$, $\eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$

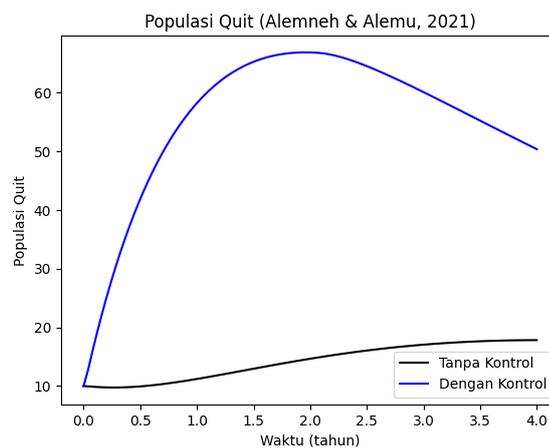


Gambar 4.15 Simulasi Rujukan $R(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $R(0) = 0$ dengan Parameter Berturut-turut $\alpha_1 = 0.71$, $\delta_1 = 0.25$, $\alpha_2 = 0.22$, $\delta_2 = 0.21$, $\epsilon_1 = 0.7$, $\epsilon_2 = 0.001$, $\eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$

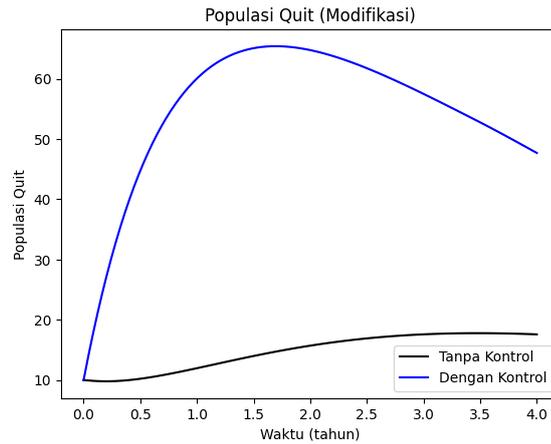
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $R(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

t	$R(t)$ Tanpa Kontrol	$R(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	26.854	13.037829	13.816171
2	26.159	9.818800	16.340200
3	19.893	5.966721	13.926279
4	13.933	3.524810	10.408190

Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 menunjukkan model dengan kontrol selalu menunjukkan puncak *Recovery* populasi yang lebih rendah dibandingkan model tanpa kontrol. Pada Tabel 4.7 dapat dilihat selisih yang signifikan, hal ini menunjukkan kontrol u_1 dan u_2 efektif untuk menjaga populasi *Recovery* agar tidak meningkat. Karena jika populasi R meningkat dapat dikatakan tingkat kecanduan masih tinggi.



Gambar 4.16 Simulasi $Q(t)$ model Alemneh & Alemu (2021) Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $Q(0) = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $k = 0.01$, $\gamma = 0.35$, $\eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$



Gambar 4.17 Simulasi Modifikasi $Q(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2 saat $t \in [0,4]$, $Q(0) = 100$ dengan Parameter Berturut-turut $k = 0.01$, $\gamma = 0.35$, $\eta = 0.4$ dan $\mu = 0.25$

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Runge-Kutta Orde 4 Model Modifikasi $Q(t)$ Tanpa Kontrol dan Terkontrol u_1 dan u_2

t	$Q(t)$ Tanpa Kontrol	$Q(t)$ Dengan Kontrol u_1 dan u_2	Selisih
1	11.933	60.241780	48.30878
2	15.608	64.692780	49.08478
3	17.455	57.228956	39.773956
4	17.431	47.701221	30.270221

Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 menunjukkan populasi *Quit*. Kedua plot menunjukkan bahwa kontrol memiliki dampak signifikan dalam meningkatkan populasi yang berhenti menggunakan TikTok. Namun, model modifikasi memiliki mekanisme kontrol yang lebih efektif sehingga populasi meningkat lebih cepat daripada model rujukan. Pada Tabel 4.8 terlihat bahwa penerapan kontrol u_1 dan u_2 secara signifikan meningkatkan populasi yang berhenti menggunakan TikTok dibandingkan dengan tanpa kontrol. Hal ini ditunjukkan oleh selisih yang besar

setiap waktu t . Ini menandakan bahwa pendekatan kontrol dalam model modifikasi lebih baik dalam mengatasi kecanduan TikTok.

Berdasarkan uraian hasil simulasi yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa pemberian kontrol pengendalian dan pengobatan mampu mengurangi populasi kecanduan TikTok serta memaksimalkan populasi individu yang akhirnya berhenti menggunakan TikTok. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol yang efektif dapat memperlambat laju transisi menuju kecanduan, meningkatkan jumlah individu yang pulih, dan mengurangi dampak negatif kecanduan TikTok.

4.3 Kontrol Optimal Kecanduan TikTok dalam Perspektif Islam

Kecanduan TikTok telah menjadi fenomena yang menghawatirkan dalam beberapa tahun terakhir. TikTok sebagai salah satu platform media sosial yang populer saat ini menawarkan konten video pendek yang sering kali memicu perilaku adiktif. Banyak pengguna terutama usia remaja dan dewasa yang menghabiskan waktu berjam-jam dalam sehari untuk mengonsumsi konten ataupun membuat konten TikTok. Hal ini dapat berdampak negatif pada kesehatan mental, produktivitas dan interaksi sosial mereka. Kecanduan tiktok bisa menyebabkan berbagai masalah sehingga diperlukan sebuah upaya untuk mengatasi masalah ini. Upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memberikan kontrol berupa edukasi kepada masyarakat dan pengobatan pada yang kecanduan. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Surat Ar-Rad ayat 11, yang artinya (Az-Zuhaili, 2016):

“Baginya (manusia) ada malaikat-malaikat yang selalu menjaganya bergiliran, dari depan dan belakangnya. Mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka

mengubah keadaan diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya dan tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.”

Ayat ini menekankan pentingnya inisiatif pribadi dan usaha dalam mengubah diri dan kondisi seseorang. Perubahan harus dimulai dari diri sendiri, dengan kesadaran dan kemauan untuk mengubah kebiasaan yang merugikan. Pengendalian diri menjadi kunci dalam proses ini, di mana individu harus berusaha membatasi waktu penggunaan TikTok, menghapus TikTok atau mencari aktivitas alternatif yang lebih bermanfaat. Selain itu, mengatasi kecanduan memerlukan usaha yang konsisten dan mungkin memerlukan bantuan profesional, seperti terapi atau pengobatan. Dukungan dari keluarga dan teman juga sangat penting untuk membantu individu tetap termotivasi.

Penerapan kontrol pengendalian dan pengobatan tidak hanya membantu individu mengatasi kecanduan, tetapi juga dapat mengurangi jumlah orang yang kecanduan di masyarakat secara keseluruhan. Ketika banyak orang berhasil mengatasi kecanduan, populasi kecanduan dalam masyarakat juga akan berkurang. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa dengan adanya upaya pemberian dua kontrol berupa pengendalian dan pengobatan akan mengurangi populasi pengguna TikTok (*Exposed*), populasi kecanduan ringan (*Addicted₁*) dan populasi kecanduan berat (*Addicted₂*). Sehingga dapat dipastikan tingkat kecanduan TikTok akan berkurang secara bertahap.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model kecanduan TikTok dengan kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2) diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = 0,5 + (0,35)(0,4)R - (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,01 + u_1 + 0,25)S$$

$$\frac{dE}{dt} = (1 - u_1)((0,6)(0,5)A_1 + (0,58)(0,22)A_2)S - (0,25 + 0,21 + u_2 + 0,25)E$$

$$\frac{dA_1}{dt} = 0,71(0,25 + u_2)E - (0,688 + u_2 + 0,7 + 0,01 + 0,25)A_1$$

$$\frac{dA_2}{dt} = 0,22(0,21 + u_2)E + (0,688 + u_2)A_1 - (0,001 + u_2 + 0,01 + 0,25)A_2$$

$$\frac{dR}{dt} = [(1 - 0,71)(0,25 + u_2) + (1 - 0,22)(0,21 + u_2)]E + (0,7 + u_2)A_1 + (0,001 + u_2)A_2 - (0,4 + 0,25)R$$

$$\frac{dQ}{dt} = (0,01 + u_1)S + (1 - 0,35)0,4R - 0,25Q$$

Fungsi kontrol yang paling optimal menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin yaitu

$$u_1^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(0,6)(0,5)A_1S + (0,58)(0,22)A_2S + (\lambda_1 - \lambda_6)S}{w_1} \right) \right\}$$

$$u_2^* = \max \left\{ 0, \min \left(1, \frac{(\lambda_2 - \lambda_5)E + (\lambda_5 - \lambda_3)0,71E - A_1 + (\lambda_5 - \lambda_4)0,22E - A_2 - (\lambda_4)A_1}{w_2} \right) \right\}$$

2. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa pemberian kontrol pengendalian (u_1) dan pengobatan (u_2) dapat meminimalkan jumlah populasi *Exposed*, *Addicted₁* dan *Addicted₂*.

5.2 Saran

1. Penelitian ini menggunakan data dari luar negeri, dikarenakan belum ada penelitian mengenai *Tourette Syndrome* di Indonesia. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan parameter yang berbeda dengan menggunakan data dari penelitian yang dilakukan di Indonesia. Sehingga hasilnya efektif untuk menurunkan populasi kecanduan TikTok dengan *Tourette Syndrome* sesuai kondisi di Indonesia.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan variabel kontrol yang lebih beragam atau mengasumsikan strategi kontrol yang berbeda untuk melihat pendekatan kontrol optimal yang paling efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemneh, H. T., & Alemu, N. Y. (2021). Mathematical Modeling with Optimal Control Analysis of Social Media Addiction. *Infectious Disease Modelling*, 6, 405–419. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2021.01.011>
- Anwar, A., Syam, R., Pratama, M. I., & Side, S. (2021). SEIRS Model Analysis for Online Game Addiction Problem of Mathematics Students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042024>
- APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia). (2024). *Press Conference Hasil Survei Penetrasi Internet Indonesia 2024*. <https://survei.apjii.or.id/survei/>
- Az-Zuhaili, W. (2016). *Tafsir Al-Munir* (Jilid 4). Gema Insani.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Pemuda Indonesia 2023* (Volume 21,).
- Boyce, W. E., Diprima, R. C., & Meade, D. B. (2017). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*.
- Fremer, C., Szejko, N., Pisarenko, A., Haas, M., Laudenbach, L., Wegener, C., & Müller-vahl, K. R. (2022). *Mass Social Media-Induced Illness Presenting With Tourette-Like Behavior. 1*.
- Griffiths, M. (2001). *Excessive Internet Use: Implications for Education. Vol. 19*. https://www.academia.edu/429636/Griffiths_M_D_2001_Excessive_internet_use_Implications_for_education_Education_and_Health_19_23_29
- Guo, Y., & Li, T. (2020). *Optimal Control and Stability Analysis of an Online Game Addiction Model With Two Stages. October 2019*, 1–18. <https://doi.org/10.1002/mma.6200>
- Hartinah, S., Sriati, A., & Kosasih, C. E. (2019). *Gambaran Tingkat Gejala Kecanduan Media Sosial pada Mahasiswa Keperawatan Universitas Padjadjaran. VII(1)*, 123–133.
- Hidayat, T., Jenizon, & Rudianto, B. (2018). *Aplikasi Prinsip Maksimum Pontryagin dan Metode Runge-Kutta Dalam Masalah Kontrol Optimal. VII(2)*, 212–220.
- Huo, H., & Wang, Q. (2014). *Modelling the Influence of Awareness Programs by Media on the Drinking Dynamics. 2014*.
- Indah, A. P., & Maulana, D. A. (2022). *Model Dinamika Kecanduan Media Sosial : Studi Kasus Kecanduan TikTok Pada Mahasiswa FMIPA UNESA. 10(01)*, 131–139.
- Jamaludin, Syarifah, A., & Karyadi. (2022). *Faktor-Faktor Penyebab Kecanduan Media Sosial Pada Mahasiswa Fakultas Ilmu Kesehatan UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. 06(02)*.

- Krik, D. E. (1937). *Optimal Control Theory-An Introduction*. Dver Publications.
- Kuswanto. (2020). *Pendidikan Profetik untuk Anak di Era Digital : Upaya Menangani Kecanduan Gadget pada Anak*. 2(1), 87–99.
- Li, T., & Guo, Y. (2019). *Stability and Optimal Control in a Mathematical Model of Online Game Addiction*. 17(August), 5691–5711.
- Muhammad, S. T., Apriliani, E., & Hanafi, L. (2015). *Pengkajian Metode Extended Runge Kutta dan Penerapannya pada Persamaan Diferensial Biasa*. 4(2).
- Nafisa, D. Z. (2018). *Kontrol Optimal Model Matematika Respon Imun Bawaan pada Makrofag di Paru-Paru yang Terinfeksi Streptococcus Pneumoniae*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Naidu, D. S. (2003). *Press Conference Hasil Survei Penetrasi Internet Indonesia 2024*. CRC Press.
- Ngainuridwan, M. K. (2023). *Kontrol Optimal Model SEIT (Susceptible, Exposed, Infective, Treatment) pada Penularan Penyakit Skabies*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rafiq, A. (2020). *Dampak Media Sosial Terhadap Perubahan Sosial Suatu Masyarakat*. 18–29.
- Wang, X., Huo, H., Kong, Q., & Shi, W. (2014). *Optimal Control Strategies in an Alcoholism Model*. 2014.
- Wójcik-grudzień, J., Rozenbajgier, M., Ozga-stachurska, A., & Pawłowska, P. (2022). *Tourette Syndrom - a Review of Current Literature*. 12(9), 607–613.

RIWAYAT HIDUP



Alisa Ayu Safitri, akrab disapa dengan Alisa dilahirkan di Kabupaten Pasuruan pada tanggal 21 Juli 2002. Peneliti merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Mustajab dan Ibu Kastini. Pendidikan dasar ditempuh di SDN Gunting 01 dan lulus pada tahun 2014. Kemudian, peneliti melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sukorejo dan lulus pada tahun 2017. Pendidikan jenjang sekolah menengah atas peneliti tempuh di SMA Negeri 1 Purwosari dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, peneliti terdaftar sebagai Mahasiswa di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Matematika melalui jalur SNMPTN.

Selama menempuh pendidikan, peneliti aktif dalam mengikuti beberapa organisasi. Dari SD hingga SMA peneliti aktif mengikuti Pramuka di Gugus Depan maupun di Kwartir Ranting. Selain itu, peneliti juga mengikuti ekstrakurikuler Paduan Suara di SMA. Selama menempuh pendidikan pada bangku kuliah, peneliti bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Program Studi “Integral” Matematika selama dua periode sebagai anggota divisi penerbitan dan jurnalistik yang kemudian menjadi ketua divisi penerbitan dan jurnalistik di periode berikutnya.



**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 : Alisa Ayu Safitri
NIM : 200601110010
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Kontrol Optimal Model *Susceptible, Exposed, Addicted, Recovery, Quit (SEA₁A₂RQ)* pada Kecanduan TikTok
Pembimbing I : Juhari, M.Si.
Pembimbing II : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	15 Januari 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	1.
2.	31 Januari 2024	Konsultasi Revisi Bab I, II, dan III	2.
3.	28 Februari 2024	Konsultasi Revisi Bab II dan III	3.
4.	28 Februari 2024	Konsultasi Kajian Agama	4.
5.	4 Maret 2024	Konsultasi Revisi Kajian Agama	5.
6.	5 Maret 2024	ACC Seminar Proposal	6.
7.	3 April 2024	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	7.
8.	22 April 2024	Konsultasi Bab IV	8.
9.	20 Mei 2024	Konsultasi Bab IV dan V	9.
10.	27 Mei 2024	Konsultasi Revisi Bab IV dan V	10.
11.	30 Mei 2024	Konsultasi Revisi Bab II dan IV	11.
12.	3 Juni 2024	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	12.
13.	7 Juni 2024	ACC Bab IV dan V	13.
14.	10 Juni 2024	ACC Seminar Hasil	14.
15.	23 Juni 2024	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	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

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
16.	4 Juli 2024	ACC Matriks Revisi Seminar Hasil	16.
17.	26 Agustus 2024	ACC Sidang Skripsi	17.
18.	30 Agustus 2024	ACC Keseluruhan	18.

Malang, 30 Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Ely Susanti, M.Sc.

NIP. 19741129.200012.2.005