

**ANALISIS DINAMIK MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN
PERILAKU KUALITATIF MEROKOK**

SKRIPSI

**OLEH
HILMA DWI IKTAMALA
NIM. 15610104**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**ANALISIS DINAMIK MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN
PERILAKU KUALITATIF MEROKOK**

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

Hilma Dwi Iktamala

NIM. 15610104

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**ANALISIS DINAMIK MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN
PERILAKU KUALITATIF MEROKOK**

SKRIPSI

Oleh
Hilma Dwi Iktamala
NIM. 15610104

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 04 Desember 2019

Pembimbing I,



Heni Widayani, M.Si
NIP. 19901006 20180201 2 229

Pembimbing II,



Mohammad Jamhuri, M.Si
NIP. 19810502 200501 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

**ANALISIS DINAMIK MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN
PERILAKU KUALITATIF MEROKOK**

SKRIPSI

Oleh
Hilma Dwi Iktamala
NIM. 15610104

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 27 Desember 2019

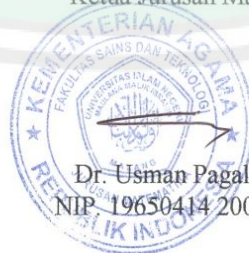
Penguji Utama : Dr. Usman Pagalay, M.Si

Ketua Penguji : Ari Kusumastuti, M.Si, M.Pd

Sekretaris Penguji : Heni Widayani, M.Si

Anggota Penguji : Mohammad Jamhuri, M.Si

Mengetahui
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hilma Dwi Iktamala

NIM : 15610104

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Analisis Dinamik Model Matematika Penyebaran Perilaku

Kualitatif Merokok

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

Malang, 04 Desember 2019
Yang membuat pernyataan



Hilma Dwi Iktamala
NIM.15610104

MOTO

“Satu ons pencegahan sama harganya dengan dua pon penyembuhan”

(Anonim)



PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Ayahanda Subaiki dan Ibunda Djamilatus Salmah, yang senantiasa dengan ikhlas dan istiqomah mendoakan, memberi nasihat, semangat, dan kasih sayang yang tak ternilai, serta kakak tersayang Niska Kamilasari yang selalu menjadi kebanggaan bagi penulis



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah Swt atas rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan terutama kepada:

1. Prof. Dr. H. Abd Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Heni Widayani, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, motivasi, dan berbagi pengalaman yang berharga kepada penulis
5. Mohammad Jamhuri, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan berbagi ilmunya kepada penulis.

6. Segenap sivitas akademika Jurusan Matematika, Fakultas sains dan teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang terutama seluruh dosen, terima kasih atas segala ilmu dan bimbingannya.
7. Bapak dan Ibu serta kakak tercinta yang selalu memberikan doa, semangat, serta motivasi kepada penulis sampai saat ini.
8. Sahabat-sahabat terbaik penulis, yang selalu menemani, membantu , dan memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materiil.

Semoga Allah Swt melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Akhirnya penulis berharap semoga dengan rahmat dan izin-Nya mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca.
Amiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang, 04 Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
ملخص	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
 BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Persamaan Differensial	7
2.2 Sistem Persamaan Diferensial	7
2.3 Analisis Kestabilan	9
2.3.1 Linierisasi	9
2.3.2 Nilai Eigen dan Vektor Eigen	10
2.3.3 Jenis Kestabilan Titik Kesetimbangan	12
2.3.4 Kestabilan Routh Hurwitz	14
2.4 Model Matematika	16
2.4.1 Perilaku Kualitatif Merokok	17

2.5	Kajian Islam mengenai Merokok dalam Menjaga Kesehatan	20
-----	-------------------------------------------------------------	----

BAB III PEMBAHASAN

3.1	Diagram Alir Model Matematika Perilaku Kualitatif Merokok	22
3.1.1	Konstruksi Model Matematika	25
3.2	Analisis Kestabilan Model Perilaku Kualitatif Merokok	26
3.2.1	Titik-titik Kesetimbangan	26
3.2.2	Kestabilan Titik Kesetimbangan	34
3.2.3	Simulasi Numerik	41

BAB IV PENUTUP

4.1	Kesimpulan	51
4.2	Saran	52

DAFTAR RUJUKAN	53
-----------------------------	----

LAMPIRAN-LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis Kestabilan	14
Tabel 3.1	Nilai Awal Model Perilaku Kualitatif	25
Tabel 3.2	Nilai Parameter Model Perilaku Kualitatif Merokok	26



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Node Stabil	13
Gambar 2.2	Node Tidak Stabil	13
Gambar 2.3	Spiral Stabil	13
Gambar 2.4	Spiral Tidak Stabil	13
Gambar 2.5	Trayektori Sadel	13
Gambar 2.6	Trayektori Titik Pusat	13
Gambar 2.7	Plot Permukaan Laju Interaksi \sqrt{PS}	17
Gambar 3.1	Diagram Alir dari Model Merokok	22
Gambar 3.2	Solusi Numerik Sistem Persamaan Linier dari Model Matematika Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok	45
Gambar 3.3	Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\alpha \in [0.2, 1.5]$	46
Gambar 3.4	Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\beta \in [0.0005, 0.003]$	47
Gambar 3.5	Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$	47
Gambar 3.6	Tingkat Endemik model perilaku kualitatif merokok dengan $\alpha \in [0.2, 1.5]$	49
Gambar 3.7	Tingkat Endemik model perilaku kualitatif merokok dengan $\beta \in [0.0005, 0.003]$	49

ABSTRAK

Iktamala, Hilma Dwi, 2019. **Analisis Dinamik Model Matematika Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok**. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (1) Heni Widayani, M.Si, (2) Mohammad Jamhuri, M.Si.

Kata kunci: Analisis Dinamik, Sistem Nonlinier, Model Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok

Penelitian ini membahas tentang analisis dinamik pada model penyebaran perilaku kualitatif merokok dengan menggunakan laju interaksi akar kuadrat. Model tersebut dianalisis dinamikanya dengan menghitung titik kesetimbangan, nilai eigen, dan vektor eigen. Dari sistem hasil linierisasi diperoleh grafik solusi untuk himpunan parameter yang diberikan untuk menginterpretasikan pengaruh setiap parameter pada dinamika model penyebaran perilaku kualitatif merokok. Dua titik kesetimbangan dari model ini yaitu $E_0^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx E_0^*(20.460, 0, 0, 0, 0)$ dan $E_1^*(P_2^*, S_2^*, X_2^*, Y_2^*, Z_2^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$. Linierisasi di sekitar E_1^* menghasilkan tiga nilai eigen riil negatif dan sepasang nilai eigen kompleks dengan bagian riil negatif sehingga titik E_1^* tersebut bersifat stabil asimtotik. Simulasi numerik dengan variasi parameter $\alpha \in [0.2, 0.5]$, $\beta \in [0.0005, 0.003]$, dan $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$ juga ditampilkan untuk pengaruh parameter tersebut pada populasi perokok (S) dan populasi perokok sementara (X). Peningkatan laju penerimaan dari kelas non perokok (α) dan laju perpindahan dari kelas non perokok ke kelas perokok (β) mengakibatkan meningkatnya populasi perokok. Dengan demikian, penurunan α dan β dapat dilakukan untuk menurunkan populasi perokok.

ABSTRACT

Iktamala, Hilma Dwi. 2019. **Dynamic Analysis of the Mathematical Model of the Spread of Qualitative Behavior of Smoking**. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisors: (1) Heni Widayani, M.Si, (2) Mohammad Jamhuri, M.Si.

Keyword: Dynamic Analysis, Nonlinear System, Spread of Qualitative Behavior of Smoking

This study discusses dynamic analysis on the model of the distribution of qualitative smoking behavior using the rate of interaction of the square root. The model is analyzed dynamically by calculating the equilibrium point, eigenvalue, and eigenvector. From the linearization system, a solution graph is obtained for the parameter set given to interpret the effect of each parameter on the dynamics of the qualitative smoking behavior distribution model. The two equilibrium points of this model are $E_0^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx E_0^*(20.460, 0, 0, 0, 0)$ and $E_1^*(P_2^*, S_2^*, X_2^*, Y_2^*, Z_2^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$. Linearisation around E_1^* produces three negative real eigenvalues and a pair of complex eigenvalues with negative real parts so that the point E_1^* is asymptotically stable. Numerical simulations with variations in the parameters $\alpha \in [0.2, 0.5]$, $\beta \in [0.0005, 0.003]$, and $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$ are also displayed for the effect of these parameters on the smoker population (S) and the temporary smoker population (X). An increase in the rate of acceptance of the non-smoker class (α) and the rate of movement from the non-smoker class to the smoker class (β) results in an increase in the smoker population. Thus, decreasing α and β can be done to reduce the smoker population.

ملخص

إكتملا، حلما دوي. ٢٠١٩. التحليل الديناميكي النموذج الرياضي إنتشار السلوكية النوعي التدخين. البحث الجامعي. شعبة الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا ملك إبراهيم مالانج. المشرف: (١) هاني وداياني الماجستير (٢) محمد جمهوري الماجستير.

الكلمات الرئيسية: التحليل الديناميكي، نظام غير الخطية، نموذج إنتشار السلوكية النوعي التدخين.

تناقش هذه الدراسة التحليل الديناميكي علي نموذج إنتشار السلوكية النوعي التدخين باستخدام معدل التفاعل من جذور التربيعية. تحليل نماذج ديناميات بحساب رأس التوازن، و القيم الذاتية، و اللمتجه الذاتية. من أنظمة النتائج الخطية متناول من أنظمة النتائج الخطية متناول الرسم الحل لمجموعة معلمات التي تعطي لتفسير تأثير كل معلمة على ديناميكية نموذج إنتشار السلوكية النوعي التدخين. رأسين توازنين من هذا نموذج هو $E_0^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx E_0^*(20.460, 0, 0, 0, 0)$ و $E_1^*(P_2^*, S_2^*, X_2^*, Y_2^*, Z_2^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$ و E_1^* تنتج ثلاث درجات ذاتية سالبة حقيقية و زوج من قيمة ذاتية مجمع بسالبة حقيقية حتي رأس E_1^* الذي مستقر مقارب. المحاكاة العددية بالتكرار المعلمات $\alpha \in [0.2, 0.5]$ ، $\beta \in [0.0005, 0.003]$ ، و $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$ معرض لتأثير المعلمات علي السكان المدخنين (S) و السكان المدخنين اللظهورات (X). إزدياد معدل قبول من فئة غير المدخن (α) و معدل نقلة من فئة غير المدخن إلي فئة المدخن (β) أدى إلي زيادة السكان المدخنين. عندئذ، إنخفاض α و β مستطاع ليخفيض السكان المدخنين.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini rokok merupakan benda yang sudah tidak asing lagi bagi penduduk daerah perkotaan maupun perdesaan. Menurut Jaya (2009), untuk beberapa orang, rokok sudah menjadi gaya hidup yang membudaya di Indonesia. Indonesia merupakan Negara dengan reputasi terburuk di seluruh dunia, bukan hanya untuk perokok aktif, tetapi juga untuk perokok pasif pada usia 13-15 tahun.

Penelitian yang dilakukan oleh *Global Youth Tobacco Surveys* pada tahun 2001 hingga 2006, sebanyak 81,4 persen pelajar di Indonesia terpapar asap rokok. “Lebih dari 37,3 persen pelajar dilaporkan biasa merokok. Bahkan yang lebih mengkhawatirkan, 3 diantara 10 pelajar mencoba merokok sejak di bawah usia 10 tahun. Namun demikian, banyak dampak negatif dari rokok khususnya bagi kesehatan. Merokok merupakan salah satu masalah kesehatan paling signifikan di dunia yang dapat dicegah kematiannya (Din, 2016).

Kegiatan merokok yang sering terlihat menunjukkan perilaku kualitatif yang dapat diamati dan dikaji lebih jauh. Perilaku kualitatif merokok ini dapat dibuat suatu model matematikanya untuk melihat kemungkinan jangka panjang eksistensi populasi perilaku di suatu daerah.

Model matematika digunakan untuk mencari penyelesaian masalah dalam kehidupan nyata dengan menetapkan asumsi-asumsi mendasar dan pencarian solusi model baik secara analisis maupun secara numerik. Model matematika dalam perilaku kualitatif merokok oleh Din, dkk (2016) dengan menggunakan sistem persamaan diferensial biasa nonlinier terdiri dari lima sub populasi, yaitu

populasi orang yang belum pernah merokok (P), perokok (S), perokok yang berhenti merokok sementara (X), perokok yang berhenti merokok selamanya (Y), dan perokok aktif yang mengidap penyakit karena merokok (Z).

Salah satu artikel penelitian yang berkaitan dengan Kajian ini adalah kajian Din, dkk dalam penelitiannya yang berjudul “*Qualitative behavior of a smoking model*” mengkonstruksi model matematika dari perilaku kualitatif merokok berupa sistem persamaan diferensial nonlinier. Penelitian lain oleh Zeb (2013) pada artikel “*Square-root dynamics of a giving up smoking model*” mengajukan dinamika model berhenti merokok baru sebagai fungsi akar kuadrat dari model dengan menggunakan kelas sub kelas yaitu berpotensi merokok, perokok sesekali, perokok, dan perokok yang telah berhenti.

Berdasarkan penjelasan di atas, fokus penelitian ini adalah pada kajian analisis dinamik sistem persamaan diferensial non-linear dari model matematika populasi perokok. Peneliti menganalisis kestabilan model tersebut dan menunjukkan simulasi dari sistem menggunakan ODE45.

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada bidang kesehatan khususnya dalam upaya menurunkan perokok aktif sehingga penyebaran kegiatan merokok pada anak-anak hingga remaja juga dapat berkurang. Selain itu penelitian ini dapat memberikan simulasi penyebaran perilaku merokok. Kampanye anti-rokok dapat dilakukan secara lebih efisien dan menurunkan kematian akibat rokok dengan sabda Nabi *shallallahu ‘alaihi wa sallam*

نِعْمَتَانِ مَعْبُودٌ فِيهِمَا كَثِيرٌ مِنَ النَّاسِ الصَّحَّةُ وَالْفَرَاغُ

“Dua nikmat, kebanyakan manusia tertipu dengan keduanya, yaitu kesehatan dan waktu luang.” (HR. Bukhari)

Hadits tersebut menunjukkan bahwa kesehatan adalah salah satu nikmat bagi manusia. Kesehatan yang baik menyebabkan manusia dapat melakukan aktifitas yang bermanfaat. Jika sudah terbaring lemah diakibatkan kesehatan yang buruk maka manusia akan mengalami penyesalan.

Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul “Analisis Dinamik Model Matematika Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana analisis dinamik model matematika penyebaran perilaku kualitatif merokok.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu mengetahui analisis dinamik model matematika dari perilaku kualitatif merokok.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada bidang kesehatan khususnya untuk melihat penyebaran perilaku merokok sehingga dapat dijadikan rujukan bagi pengambil kebijakan sebagai upaya mengurangi jumlah perokok aktif.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diisi dengan asumsi-asumsi yang digunakan pada model yang akan di analisis secara dinamik:

1. Daerah pengamatan merupakan suatu daerah tertutup sehingga tidak ada migrasi populasi, masuk maupun keluar dari daerah pengamatan.
2. Populasi perokok aktif dapat tetap menjadi perokok aktif dan dapat berubah menjadi non perokok sementara maupun permanen.
3. Populasi terbagi menjadi 5 sub populasi, populasi non-perokok (P), perokok aktif (S), non-perokok sementara (X), non-perokok permanen (Y), dan perokok yang sakit karena merokok (Z).
4. Non perokok terpengaruh menjadi perokok karena berinteraksi dengan perokok aktif dengan menggunakan model akar kuadrat.
5. Perokok yang berhenti merokok sementara dapat kembali ke kelas perokok aktif.
6. Ada kelompok perokok yang terkena penyakit setelah merokok dan berhenti merokok karena sakit.
7. Ada tingkat kematian tambahan dari kelas perokok yang sakit selain kematian alami.
8. Nilai parameter dibatasi $\alpha, \beta, \gamma, \delta(1 - \eta), \delta\eta, \epsilon, \zeta$, dan ϑ berturut-turut sebagai berikut 0,8; 0,0005; 0,0000391; 0,00910261; $2,739 \times 10^{-5}$; $4,58 \times 10^{-4}$; 0,002; dan 0,0457 (Din dkk, 2016).

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah literatur. Metode ini dilakukan dengan membaca, memahami, menelaah kemudian menerapkan konsep yang diperoleh dari literatur tersebut. Literatur utama penelitian ini adalah jurnal Din, dkk (2016).

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam membahas penelitian ini yaitu:

1. Konstruksi model perilaku kualitatif merokok.
 - a. Menganalisis perilaku kualitatif merokok.
 - b. Mengidentifikasi variabel yang berpengaruh pada penyebaran model perilaku kualitatif merokok.
 - c. Menjelaskan model dari masalah nyata menjadi sebuah persamaan
2. Analisis dinamik.
 - a. Menentukan titik kesetimbangan.
 - b. Melakukan linierisasi model
 - c. Menentukan nilai Eigen dan vektor Eigen.
 - d. Menentukan kestabilan.
 - e. Melakukan simulasi numerik dengan bantuan aplikasi MATLAB
 - f. Menarik kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari empat bab dengan uraiannya sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab pendahuluan terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penelitian.

Bab II Kajian Pustaka

Bab kajian pustaka menjelaskan teori tentang persamaan diferensial, sistem persamaan diferensial, titik kesetimbangan, linierisasi sistem di sekitar titik kesetimbangan dengan pendekatan deret Taylor, nilai Eigen, vektor Eigen, jenis kestabilan titik kesetimbangan, kestabilan dengan menggunakan kriteria Routh Hurwitz, pemodelan matematika dan perilaku kualitatif merokok.

Bab III Pembahasan

Bab pembahasan menjelaskan diagram alir model matematika perilaku kualitatif merokok, konstruksi model, analisis kestabilan model perilaku kualitatif merokok, vektor Eigen dan solusi numerik yang diilustrasikan menggunakan aplikasi MATLAB.

Bab IV Penutup

Bab penutup berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Differensial

Menurut Baiduri (2002) persamaan yang memuat turunan suatu fungsi satu atau lebih variabel terikat disebut persamaan diferensial. Jika derivatif fungsi tersebut hanya bergantung pada satu variabel bebas maka disebut Persamaan Diferensial Biasa (PDB) namun jika bergantung pada lebih dari satu variabel bebas disebut Persamaan Diferensial Parsial (PDP). Salah satu contoh sederhana dari persamaan diferensial biasa yaitu

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

Jika tidak terdapat perkalian antara variabel tak bebas dan derivatifnya maka persamaan tersebut dikatakan linear dan berderajat satu. Secara umum persamaan diferensial biasa linear orde- n yaitu:

$$a_0(t)y^{(n)} + a_1(t)y^{(n-1)} + \dots + a_n(t)y = f(t) \quad (2.2)$$

Sedangkan pada persamaan diferensial non linear adalah persamaan diferensial yang memuat perkalian antara variabel terikat dan turunannya. Contohnya yaitu:

$$\frac{d^3y}{dx^3} + \sin y = 0 \quad (2.3)$$

2.2 Sistem Persamaan Diferensial

Menurut Boyce & DiPrima (2009), klasifikasi yang lain dari persamaan diferensial yaitu terdapat satu fungsi dan terdapat dua atau lebih fungsi yang tidak

diketahui. Jika hanya terdapat satu fungsi yang harus ditentukan maka cukup satu persamaan. Namun, jika terdapat dua atau lebih fungsi yang tidak diketahui maka diperlukan suatu sistem persamaan.

Sistem persamaan diferensial merupakan suatu sistem yang memuat n buah fungsi yang tidak diketahui. Bentuk umum dari suatu sistem n persamaan orde pertama yaitu:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t)\end{aligned}\tag{2.4}$$

dengan x_1, x_2, \dots, x_n adalah variabel bebas dan t merupakan variabel terikat, sehingga $x_1 = x_1(t), x_2 = x_2(t), \dots, x_n = x_n(t)$, dengan $\frac{dx_n}{dt}$ merupakan derivatif fungsi x_n terhadap t (Kartono, 2012)

Contoh dalam sistem persamaan adalah pada persamaan Lotka-Volterra, atau predator Prey, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= ax - \alpha xy \\ \frac{dy}{dt} &= -cy + \gamma xy,\end{aligned}\tag{2.5}$$

di mana $x(t)$ dan $y(t)$ adalah populasi masing-masing spesies mangsa dan predator. Konstanta a, α, c , dan γ berdasarkan pengamatan yang dilakukan dan bergantung pada spesies tertentu (Boyce & DiPrima, 2009)

2.3 Analisis Kestabilan

Menurut Iswanto (2012), langkah pertama adalah menentukan titik kesetimbangan dari model. Setelah itu, metode linierisasi dengan mengevaluasi nilai Eigen dari matriks Jacobi.

Titik kesetimbangan dari suatu sistem adalah solusi konstan dari sistem yang menjadikan sistem tidak berubah disepanjang waktu (Sulisti, dkk, 2012).

Misalkan diberikan suatu persamaan diferensial:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= F(x, y) \\ \frac{dy}{dt} &= G(x, y)\end{aligned}\tag{2.6}$$

dengan F dan G adalah fungsi kontinu terhadap x dan y . Titik kritis dari sistem (2.6) adalah titik (x^*, y^*) sedemikian sehingga $F(x^*, y^*) = G(x^*, y^*) = 0$. Titik kesetimbangan x^* dan y^* diperoleh ketika terjadi keadaan setimbang, atau dinyatakan secara matematis sebagai $\frac{dx}{dt} = 0$ dan $\frac{dy}{dt} = 0$ (Edwards & Penney, 2008).

2.3.1 Linierisasi

Konsep deret Taylor akan digunakan pada proses linierisasi sistem persamaan diferensial non linier. Menurut Boyce DiPrima (2000), sistem persamaan diferensial (2.6) dapat dilakukan linierisasi disekitas titik kesetimbangan (x_0^*, y_0^*) dengan menggunakan ekspansi deret Taylor di titik (x_0^*, y_0^*) sebagai berikut

$$\begin{aligned}F(x, y) &= F(x_0^*, y_0^*) + F_x(x_0^*, y_0^*)(x - x_0^*) + F_y(x_0^*, y_0^*)(y - y_0^*) \\ G(x, y) &= G(x_0^*, y_0^*) + G_x(x_0^*, y_0^*)(x - x_0^*) + G_y(x_0^*, y_0^*)(y - y_0^*)\end{aligned}\tag{2.7}$$

dengan $F(x_0^*, y_0^*) = G(x_0^*, y_0^*) = 0$, serta $\frac{dx}{dt} = \frac{d(x-x_0)}{dt}$ dan $\frac{dy}{dt} = \frac{d(y-y_0)}{dt}$.

Kemudian sistem (2.6) direduksi sehingga sistem menjadi linier yaitu

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x - x_0^* \\ y - y_0^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_x(x_0^*, y_0^*) & F_y(x_0^*, y_0^*) \\ G_x(x_0^*, y_0^*) & G_y(x_0^*, y_0^*) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0^* \\ y - y_0^* \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

atau

$$\frac{du}{dt} = \frac{df}{dx}(x^0)u$$

Dimana $u = (x - x_0, y - y_0)^T$.

Persamaan (2.7) dan (2.8) dapat menjadi

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_x(x_0^*, y_0^*) & F_y(x_0^*, y_0^*) \\ G_x(x_0^*, y_0^*) & G_y(x_0^*, y_0^*) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Dimana $u_1 = x - x_0^*$ dan $u_2 = y - y_0^*$. Persamaan (13) dapat dibuat suatu matriks sebagai berikut

$$J = \begin{pmatrix} F_x & F_y \\ G_x & G_y \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Matriks (2.9) disebut dengan matrix Jacobian dari fungsi F dan G yang berkaitan dengan x dan y .

2.3.2 Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Misalkan A anggota $R^{n \times n}$. Vektor tidak nol x anggota R^n disebut vektor Eigen dari A terdapat skalar λ yang memenuhi

$$Ax = \lambda x$$

skalar λ disebut nilai Eigen dari A dan x disebut vektor Eigen yang sesuai dengan λ (Arif, 2015).

Jika A merupakan suatu matriks, maka λ nilai Eigen dari A jika dan hanya jika memenuhi persamaan sebagai berikut

$$\det(\lambda I - A) = 0$$

Persamaan ini disebut dengan persamaan karakteristik dari A (Anton & Rorres, 2010).

Contoh 2.1

Terdapat persamaan sebagai berikut dengan vektor Eigen $\mathbf{u} = \begin{bmatrix} -3 \\ 1 \end{bmatrix}$ dan $\mathbf{v} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ yaitu:

$$\frac{dx}{dt} = 2x - 3y$$

$$\frac{dy}{dt} = y - 2x$$

Maka dapat dibuat suatu matriks

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$$

Sehingga

$$|\lambda I - A| = 0$$

$$\lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \lambda - 2 & 3 \\ 1 & \lambda + 2 \end{bmatrix} = 0$$

didapatkan,

$$\lambda^2 = 1$$

Nilai Eigen yang di dapat dari persamaan di atas adalah $\lambda_1 = 1$ atau $\lambda_2 = -1$

2.3.3 Jenis Kestabilan Titik Keseimbangan

Menurut Iswanto (2012), jenis kestabilan dari titik keseimbangan pada suatu sistem persamaan diferensial linear dapat digolongkan berdasarkan nilai Eigen.

Teorema 2.1

- (i) Titik kritis $(0,0)$ dari suatu sistem stabil jika dan hanya jika kedua akar dari persamaan adalah riil negatif atau mempunyai bagian riil tak positif.
- (ii) Titik kritis $(0,0)$ dari suatu sistem stabil asimtotik jika dan hanya jika kedua akar dari persamaan adalah riil dan negatif atau mempunyai bagian riil negatif.
- (iii) Titik kritis $(0,0)$ dari suatu sistem tidak stabil jika dan hanya jika kedua akar dari persamaan adalah riil dan positif atau mempunyai riil positif.

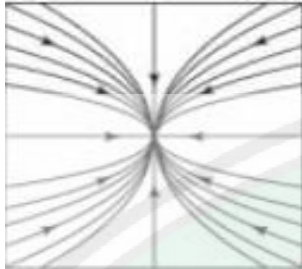
Teorema 2.1 tersebut berlaku untuk sistem linear. Jika sistem nonlinier maka berlaku.

Teorema 2.2

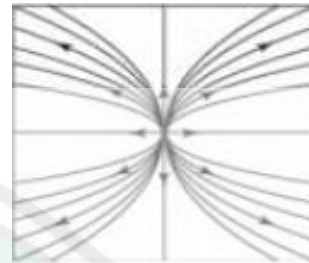
- (a) Titik kritis $(0,0)$ dari suatu sistem nonlinear adalah stabil asimtotik jika titik kritis $(0,0)$ dari sistem yang “diliniarkan” adalah stabil asimtotik.
- (b) Titik kritis $(0,0)$ dari suatu sistem tak linear adalah tidak stabil jika titik kritis $(0,0)$ dari sistem yang “diliniarkan” adalah tidak stabil.

(Santoso, 1982)

Jika λ_1 dan λ_2 adalah dua buah nilai Eigen dengan $\lambda_1 \neq \lambda_2$, arah trayektori pada bidang fase dibedakan menjadi dua yaitu menjauhi dan mendekati. Arah trayektori yang mendekati maka stabil dan begitu pula sebaliknya.

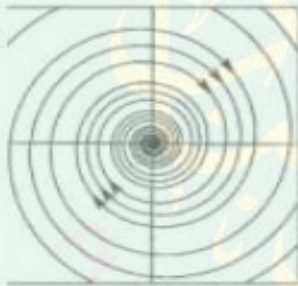


Gambar 2.1 Node Stabil

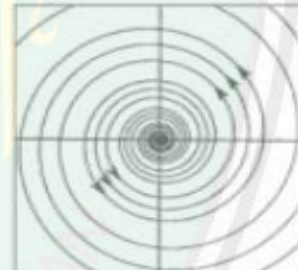


Gambar 2.2 Node tidak stabil

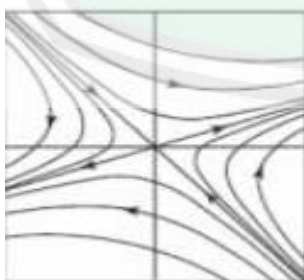
Jika nilai Eigen merupakan bilangan kompleks dan lawannya, seperti $\lambda_1 = \lambda + i\omega, \lambda_2 = \lambda - i\omega$ yang penyelesaiannya dapat ditulis dalam bentuk kombinasi fungsi sinus dan kosinus maka arah trayektori untuk melihat jenis kestabilannya dapat berupa:



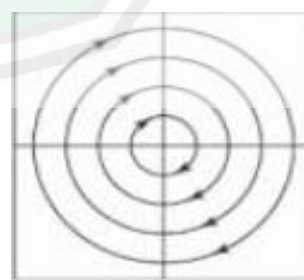
Gambar 2.3 Spiral stabil



Gambar 2.4 Spiral tidak stabil



Gambar 2.5 Trayektori sadel



Gambat 2.6 Trayektori titik pusat

Sederhananya, mengenai jenis-jenis kestabilan berdasarkan nilai Eigen dan bentuk bidang fasenya maka dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2.1 Jenis-jenis Kestabilan

Nilai Eigen	Tipe	Kestabilan
$\lambda_1, \lambda_2 > 0$	Node	Tak stabil
$\lambda_1, \lambda_2 < 0$	Node	Stabil asimtotik
$\lambda_1 < 0 < \lambda_2$	Tidak sadel	Tak stabil
$\lambda_2 < 0 < \lambda_1$	Tidak sadel	Tak stabil
λ_1, λ_2 kompleks, $\text{Re}(\lambda_1) < 0$	Spiral	Stabil asimtotik
λ_1, λ_2 kompleks, $\text{Re}(\lambda_1) > 0$	Spiral	Tak stabil
λ_1, λ_2 kompleks, $\text{Re}(\lambda_1) = 0$	Titik Pusat	Stabil

(Iswanto, 2012)

2.3.4 Kestabilan Routh Hurwitz

Menurut Iswanto (2012), jika dalam sebuah persamaan nilai Eigen ada dalam bentuk persamaan seperti berikut:

$$p(\lambda) = k_0\lambda^n + k_1\lambda^{n-1} + k_2\lambda^{n-2} + \dots + k_{n-1}\lambda + k_n = 0 \quad (2.11)$$

dengan kondisi bahwa nilai $k_0 > 0$ maka $p(\lambda)$ akan stabil jika semua akar memiliki bagian real negatif. Suatu teknik standar dapat diberikan mengenai kestabilan langsung dari koefisien ini.

Teknik standar mengenai kestabilan langsung dari koefisien tersebut dapat gagal jika sistem tersebut tidak stabil. Perlakuan tes selanjutnya yaitu dengan menggunakan metode yang dinamakan kriteria Routh Hurwitz. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan pengetesan masing-masing koefisien $p(\lambda)$.

Jika diberikan polinomial yang kemudian dapat dituliskan dalam bentuk $n \times n$ matriks H_i berikut ini.

$$H_i = \begin{bmatrix} k_1 & k_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ k_3 & k_2 & k_1 & k_1 & \dots & 0 \\ k_5 & k_4 & k_3 & k_2 & \dots & 0 \\ k_7 & k_6 & k_5 & k_4 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ k_{2n-1} & k_{2n-2} & k_{2n-3} & \cdot & \dots & c_n \end{bmatrix}$$

Semua unsur dengan $> n$ atau < 0 dapat digantikan dengan 0. Prinsip subdeterminant dari polinomial penting ditemukan untuk stabilitas. Sehingga setelah didapatkan subdeterminan dari polinomial maka dapat digunakan masing-masing kriteria untuk kuadrat, kubik, dan kuartik. Dapat dimuali dari kriteria untuk kuadrat sebagai berikut.

$$p(\lambda) = k_0\lambda^2 + k_1\lambda + k_2$$

diperoleh matriks Hurwitz sebagai

$$D_1 = k_1 > 0,$$

dan

$$D_2 = \begin{vmatrix} k_1 & k_0 \\ 0 & k_2 \end{vmatrix} = k_1k_2 > 0,$$

sehingga lebih mudah mengetes bahwa semua nilai masing-masing koefisien tersebut adalah positif.

Hal tersebut sama halnya dalam bentuk kubik atau $p(\lambda) = k_0\lambda^3 + k_1\lambda^2 + k_2\lambda + k_3$. Maka kriteria Routh Hurwitz yang berlaku ada tiga, yaitu

$$D_1 = k_1 > 0,$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} k_1 & k_0 \\ k_3 & k_2 \end{vmatrix} = k_1k_2 - k_0k_3 > 0,$$

dan

$$D_3 = \begin{vmatrix} k_1 & k_0 & 0 \\ k_3 & k_2 & k_1 \\ 0 & 0 & k_3 \end{vmatrix} = k_3D_2 > 0.$$

dalam hal ini menjadi bentuk tunggal yaitu $k_1k_2 - k_0k_3 > 0$ sehingga syarat perlu dan kondisi cukup bahwa polinomial kubik menjadi stabil adalah semua koefisien positif dan nilai $D_2 > 0$ (Iswanto, 2012).

2.4 Model Matematika

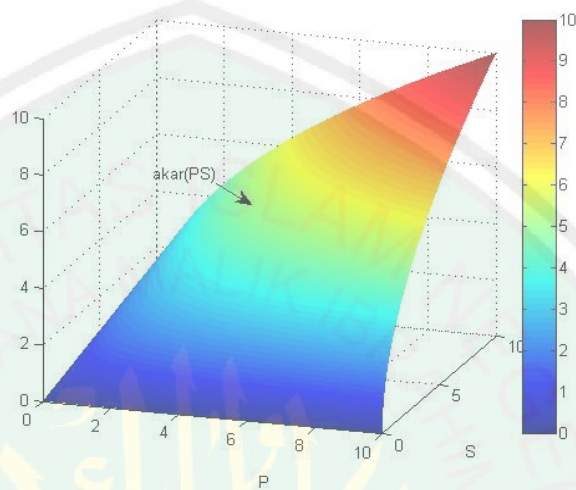
Menurut Iswanto (2012) model matematika dibuat untuk memberikan deskripsi dengan persamaan atau dengan logika secara fisik terhadap fenomena yang terkadang kompleks. Umumnya model matematika dikembangkan berdasarkan metode yang mengatur terhadap simulasi dengan efektif tanpa observasi dan eksperimen. Model matematika ini dirancang untuk menggambarkan perubahan variabel sebagai langkah untuk mendeskripsikan sistem tersebut.

Jumlah persamaan dan dimensi variabel haruslah sama sehingga model tersebut konsisten. Dikatakan konsisten jika jumlah variabel dependen yang tidak diketahui sama dengan jumlah variabel independen pada persamaan tersebut.

Variabel independen merupakan variabel yang memengaruhi suatu keadaan secara bebas, umumnya berupa ruang dan waktu. Sedangkan, variabel dependen berupa variabel keadaan yang nilainya dipengaruhi oleh variabel independen (Iswanto, 2012).

Model matematika pada suatu sistem persamaan diferensial biasa didalamnya terdapat fungsi interaksi pada persamaannya sehingga pada fungsi interaksi tersebut dapat dilihat suatu plot permukaannya. Fungsi interaksi dalam suatu model ada yang menggunakan perkalian dan ada yang menggunakan fungsi akar kuadrat.

Jika terdapat dua model matematika pada sistem persamaan diferensial biasa dengan fungsi interaksi \sqrt{PS} , dimana P yaitu non perokok dan S yaitu perokok maka dapat dilihat fungsi interaksi dengan melihat plot permukaan menggunakan aplikasi MATLAB yaitu:



Gambar 2.7 Plot Permukaan Laju Interaksi \sqrt{PS}

dimana P adalah banyaknya populasi non perokok dan S yaitu banyaknya populasi perokok.

Berdasarkan Gambar 2.7, dapat terlihat bahwa pada fungsi interaksi antara non perokok dengan perokok dengan menggunakan fungsi interaksi akar kuadrat yaitu \sqrt{PS} sudah sesuai dikarenakan pada laju interaksi tersebut tidak seluruh populasi mengalami perpindahan dari non perokok ke perokok. Sehingga, model perilaku kualitatif merokok pada fungsi interaksi antara non perokok dengan perokok menggunakan akar kuadrat.

2.4.1 Perilaku Kualitatif Merokok

Banyak orang dari kalangan remaja maupun dewasa yang menjadikan rokok sebagai gaya hidup dengan berbagai macam latar belakang. Menurut Kurt

Lewis sejalan dengan pendapat Green yang menyatakan bahwa perilaku seseorang, termasuk perilaku merokok, dipengaruhi oleh faktor pendahulu yakni pengetahuan, sikap, kepercayaan, keyakinan, tradisi, nilai. Selain itu, faktor pemungkin, yang meliputi ketersediaan sumber-sumber atau fasilitas; dan faktor penguat/pendorong yang meliputi sikap dan perilaku orang-orang di sekitar juga turut memengaruhi perilaku atau gaya hidup dari seseorang (Salawati, 2010).

Menurut Dokter Daniel Horn, Direktur dari *National Clearing House for Smoking and Health* secara umum: (1) untuk membangkitkan semangat atau motivasi terutama pagi hari, (2) kecanduan, (3) untuk mengurangi perasaan-perasaan negatif, (4) karena sudah menjadi kebiasaan, (5) kepuasan di mulut, dan (6) untuk santai (Nainggolan, 2009).

Menurut Salawati (2010) perilaku kualitatif merokok merupakan perilaku merokok yang dapat diamati menggunakan proses berfikir yang dimulai dengan mengumpulkan data kemudian ditarik kesimpulan secara umum. Metode kualitatif dalam penelitian bertujuan untuk menggali lebih dalam faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran perilaku merokok (Sutha, 2016).

Berdasarkan perilaku kualitatif merokok tersebut, perokok biasanya mengajak orang lain yang belum pernah merokok untuk merokok agar merasakan hal yang sama dengannya yaitu ketagihan dalam merokok. Seorang pecandu merokok yang sulit untuk menghilangkan kebiasaannya dalam merokok. Lingkungan sangat memengaruhi kebiasaan dalam merokok. Salah satu cara untuk mengurangi perokok aktif maupun pasif adalah dengan melakukan penyuluhan akan bahaya merokok bagi kesehatan.

Sedangkan, pada seorang perokok yang sudah mulai meninggalkan merokok untuk beberapa saat masih dapat memikirkan tentang menghisap rokok atau bahkan mengharapkannya. Sulit untuk melewati hal tersebut pada sebagian waktu serta pikiran akan sulit dipalingkan dari hal yang berkaitan dengan merokok. Hal tersebut dapat sampai menjadi dalam bentuk yang memuaskan dan dapat di terima secara penuh sehingga mengada-ngadakan alasan dapat dijadikannya untuk mulai merokok kembali. Hal ini yang menjadi faktor utama banyaknya organisasi bantuan yang menangani kecanduan rokok di seluruh penjuru negeri. (Wetherall, 2008).

Sekitar 500.000 orang mati pada usia muda setiap tahunnya sebagai dampak dari merokok hal ini sesuai dengan sensus yang diadakan *U.S. Public Health Service Office on Smoking*. Orang-orang tersebut meninggal akibat tertimpa kanker paru-paru, penyakit jantung, emphysema, dan penyakit-penyakit lainnya (Wetherall, 2008).

Faktor utama penyebab kanker paru-paru dan emfisema yaitu dikarenakan menghisap rokok (merokok). Merokok juga menambah angka kematian yang diakibatkan oleh tekanan jantung. Jika telah menghisap rokok sejak usia dini dapat memungkinkan terserah kanker paru-paru Sembilan belas kali lebih cepat dibandingkan dengan yang tidak merokok dan penyakit ini menjadi penyebab kematian terbesar dalam kalangan perempuan dibandingkan dengan kanker lainnya.

Bukan saja hanya dikarenakan menghisap rokok hingga dapat berpotensi mati. Asap rokok yang dihirup oleh orang yang bukan perokok telah

menyebabkan kematian. Perokok pasif ini yang menyebabkan terserang penyakit jantung memperparah asma, dan menghambat siklus aliran darah (Jaya, 2009).

2.5 Kajian Islam mengenai Merokok dalam Menjaga Kesehatan

Dalam kajian Islam mengenai merokok dalam menjaga kesehatan kaitannya dapat berkontribusi pada bidang kesehatan khususnya dalam upaya menurunkan perokok aktif. Selain itu penelitian ini dapat memberikan simulasi penyebaran perilaku merokok. Kampanye anti-rokok dapat dilakukan secara lebih efisien dan menurunkan kematian akibat rokok dengan sabda Nabi *shallallahu 'alaihi wa sallam*

نِعْمَتَانِ مَغْبُورٌ فِيهِمَا كَثِيرٌ مِنَ النَّاسِ الصِّحَّةُ وَالْفَرَاغُ

Artinya: “Dua nikmat, kebanyakan manusia tertipu dengan keduanya, yaitu kesehatan dan waktu luang.” (HR. Bukhari)

Hadits tersebut menunjukkan bahwa kesehatan adalah salah satu nikmat bagi manusia agar manusia dapat melakukan aktifitas yang bermanfaat jika sudah terbaring lemah akibat sakit manusia akan mengalami penyesalan.

Jika mendapatkan penyakit maka sama saja jatuh dalam kebinasaan. Terdapat pula ayat al-Quran yang melarang untuk menjatuhkan diri dari kebinasaan yaitu dalam surah al-Baqarah ayat 195 yang berbunyi:

وَأَنْفِقُوا فِي سَبِيلِ اللَّهِ وَلَا تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ وَأَحْسِنُوا إِنَّ اللَّهَ

مُحِبُّ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “dan belanjakanlah (harta bendamu) di jalan Allah, dan janganlah kamu menjatuhkan dirimu sendiri ke dalam kebinasaan, dan berbuat baiklah, karena Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.” (QS. al-Baqarah/2:195)

Menurut penafsiran Ibnu Katsir, makna dari firman Allah dalam surah al-Baqarah ayat ke 195 tersebut adalah kebinasaan itu ada pada tindakan kami menetap bersama keluarga dan harta kekayaan, serta meninggalkan jihad. Dikatakan,

وَلَا تُلقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ

“Dan janganlah kamu menjatuhkan dirimu sendiri ke dalam kebinasaan,” maksudnya adalah janganlah kalian menginfakkan harta yang haram karena hal itu akan ditolak dari kalian sehingga kalian akan binasa” (Ibnu Katsir, 2007).

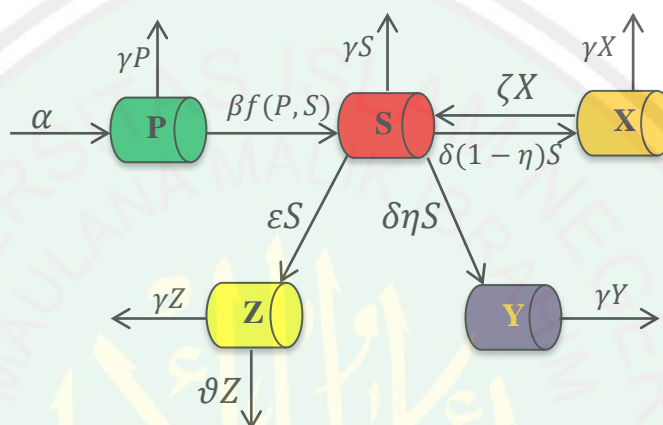
Aspek yang menggambarkan perbuatan dalam pendalilan dari ayat tersebut bahwa merokok termasuk perbuatan yang dapat menjatuhkan diri dalam kebinasaan. Ibnu Abbas mengatakan bahwa ayat ini berkenaan dengan masalah membelanjakan harta, yaitu bila kamu genggamkan tanganmu, tidak mau membelanjakan harta di jalan Allah, maka dikatakan, "Janganlah kalian menjatuhkan diri kalian ke dalam kebinasaan."

Makna menyianyiakan harta juga dapat dimaksudkan dalam pengalokasian harta kepada hal yang tidak bermanfaat. Sebagaimana dalam mengalokasikan harta dengan cara memberi rokok adalah termasuk pengalokasiannya yang tidak bermanfaat.

BAB III PEMBAHASAN

3.1 Diagram Alir Model Matematika Perilaku Kualitatif Merokok

Mekanisme pembentukan model Perilaku Kualitatif Merokok adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir dari model merokok (Din, dkk, 2016)

Laju interaksi perokok dan non perokok menggunakan laju interaksi akar kuadrat sebagai:

$$f(P, S) = \sqrt{PS}$$

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.1, populasi orang yang belum pernah merokok akan meningkat karena adanya laju kelahiran orang yang konstan sebesar α . Hal ini disebabkan karena bayi yang baru lahir dikategorikan sebagai non perokok. Formula matematika untuk laju populasi non perokok adalah sebagai berikut:

$$\frac{dP}{dt} = \alpha$$

Laju populasi non perokok menurun karena adanya non perokok yang menjadi perokok dikarenakan berinteraksi dengan perokok. Laju kontak ini mengikuti fungsi akar kuadrat dari banyak interaksi perokok dan non perokok sebesar \sqrt{PS} .

$$\frac{dP}{dt} = \alpha - \beta\sqrt{PS}$$

Kemudian populasi non perokok juga dapat menurun dikarenakan terdapat kematian alami pada populasi orang yang belum pernah merokok.

$$\frac{dP}{dt} = \alpha - \beta\sqrt{PS} - \gamma P$$

Populasi perokok akan mengalami peningkatan dikarenakan terdapat laju kontak dinamika akar kuadrat antara orang yang belum pernah merokok dengan perokok.

$$\frac{dS}{dt} = \beta\sqrt{PS}$$

Kemudian menurun ketika terdapat kematian alami dari perokok, laju perokok yang berhenti perokok permanen dan yang berhenti merokok sementara serta laju perkembangan dari perokok aktif yang mengidap penyakit karena merokok.

$$\frac{dS}{dt} = \beta\sqrt{PS} - (\gamma + \delta + \epsilon)S$$

Penurunan populasi tersebut akan meningkat kembali ketika terdapat kelas perokok yang berhenti merokok sementara kembali ke dalam kelas merokok.

$$\frac{dS}{dt} = \beta\sqrt{PS} - (\gamma + \delta + \epsilon)S + \zeta X$$

Populasi perokok yang berhenti secara sementara akan meningkat oleh laju dimana perokok berhenti merokok sementara.

$$\frac{dX}{dt} = \delta(1 - \eta)S$$

Kemudian populasi tersebut menurun saat terdapat kematian alami pada perokok yang berhenti merokok sementara serta laju dimana berhenti merokok sementara kembali merokok.

$$\frac{dX}{dt} = \delta(1 - \eta)S - (\gamma + \zeta)X$$

Populasi perokok yang berhenti merokok selamanya akan meningkat oleh laju dimana perokok tersebut berhenti merokok selamanya.

$$\frac{dY}{dt} = \delta\eta S$$

Populasi yang mengalami peningkatan tersebut akan menurun ketika terdapat kematian alami pada perokok yang berhenti merokok selamanya.

$$\frac{dY}{dt} = \delta\eta S - \gamma Y$$

Sedangkan, pada populasi terakhir yaitu populasi perokok aktif yang mengidap penyakit karena merokok akan meningkat oleh laju perkembangan dari penyakit karena merokok pada perokok aktif.

$$\frac{dZ}{dt} = \epsilon S$$

Kemudian populasi tersebut akan menurun ketika terdapat kematian alami dari perokok yang mengidap penyakit karena merokok dan semakin menurun dikarenakan tingkat kematian tambahan dari kelas penyakit karena merokok pada perokok aktif yang mengidap penyakit karena merokok

$$\frac{dZ}{dt} = \epsilon S - (\gamma + \vartheta)Z$$

3.1.1 Konstruksi Model Matematika

Berdasarkan paparan di atas maka konstruksi model perilaku kualitatif merokok terdiri dari lima persamaan diferensial biasa bergantung terhadap waktu.

Adapun model tersebut adalah:

$$\frac{dP}{dt} = \alpha - \beta\sqrt{PS} - \gamma P \quad (3.1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \beta\sqrt{PS} - (\gamma + \delta + \epsilon)S + \zeta X \quad (3.2)$$

$$\frac{dX}{dt} = \delta(1 - \eta)S - (\gamma + \zeta)X \quad (3.3)$$

$$\frac{dY}{dt} = \delta\eta S - \gamma Y \quad (3.4)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \epsilon S - (\gamma + \vartheta)Z \quad (3.5)$$

Nilai awal dari variabel dan parameter yang digunakan dalam sistem persamaan diferensial biasa pada model perilaku kualitatif merokok ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Nilai Variabel Model Perilaku Kualitatif Merokok (Din, dkk 2016)

Variabel	Definisi	Nilai Awal
$P(t)$	Banyaknya populasi non perokok bergantung terhadap waktu	500 orang
$S(t)$	Banyaknya populasi perokok aktif bergantung terhadap waktu	100 orang
$X(t)$	Banyaknya populasi perokok yang berhenti merokok sementara bergantung terhadap waktu	60 orang
$Y(t)$	Banyaknya populasi perokok yang berhenti permanen bergantung terhadap waktu	25 orang
$Z(t)$	Banyaknya populasi perokok yang sakit karena merokok bergantung terhadap waktu	40 orang

Tabel 3.2 Nilai Parameter Model Perilaku Kualitatif Merokok (Din, dkk 2016)

Parameter	Definisi	Nilai & Satuan
α	Laju penerimaan dari kelas non-perokok (potensi merokok) dari populasi terbesar	0,8 per hari
β	Laju perpindahan dari non-perokok ke kelas merokok, γ yaitu tingkat kematian alami	0,0005 per hari
γ	Laju kematian alami	0,0000391 per hari
$\delta(1 - \eta)$	Laju perokok berhenti merokok sementara	0,00910261 per hari
$\delta\eta$	Laju perokok berhenti merokok permanen yang diasumsikan bahwa $0 < \eta < 1$	$2,739 \times 10^{-5}$ per hari
ϵ	Laju perkembangan dari perokok yang terkait dengan penyakit karena merokok	$4,58 \times 10^{-4}$ per hari
ζ	Laju perokok yang berhenti sementara kembali ke kelas merokok	0,002 per hari
ϑ	Laju kematian tambahan dari kelas penyakit yang berhubungan dengan merokok	0,0457 per hari

3.2 Analisis Kestabilan Model Perilaku Kualitatif Merokok

3.2.1 Titik-titik Keseimbangan

Titik kesetimbangan pada sistem persamaan (3.1) sampai dengan persamaan (3.5) dapat dikatakan setimbang jika memenuhi $\frac{dP(t)}{dt} = 0$, $\frac{dS(t)}{dt} = 0$, $\frac{dX(t)}{dt} = 0$, $\frac{dY(t)}{dt} = 0$, dan $\frac{dZ(t)}{dt} = 0$. Sehingga persamaan (3.1) sampai dengan persamaan (3.5) menjadi sebagai berikut:

$$\alpha - \beta\sqrt{P(t)S(t)} - \gamma P(t) = 0 \quad (3.6)$$

$$\beta\sqrt{P(t)S(t)} - (\gamma + \delta + \epsilon)S(t) + \zeta X(t) = 0 \quad (3.7)$$

$$\delta(1 - \eta)S(t) - (\gamma + \zeta)X(t) = 0 \quad (3.8)$$

$$\delta\eta S(t) - \gamma Y(t) = 0 \quad (3.9)$$

$$\epsilon S(t) - (\gamma + \vartheta)Z(t) = 0 \quad (3.10)$$

Persamaan (3.6) sampai dengan persamaan (3.10) tersebut akan dicari titik kesetimbangan yaitu dengan tanpa parameter dan juga dengan menggunakan parameter. Adapun titik kesetimbangan tersebut yaitu:

Persamaan (3.2) – (3.5) dapat didefinisikan sebagai berikut $\frac{dS(t)}{dt} = 0$,

$\frac{dX(t)}{dt} = 0$, $\frac{dY(t)}{dt} = 0$, dan $\frac{dZ(t)}{dt} = 0$ sehingga didapatkan

$$\alpha - \beta\sqrt{P(t)S(t)} - \gamma P(t) = 0$$

$$\alpha - \gamma P(t) = 0$$

$$P(t) = \frac{\alpha}{\gamma}$$

$$P^* = \frac{\alpha}{\gamma}$$

Maka, titik kesetimbangan yang pertama atau titik bebas perokok (E_0^*) yaitu $E_0^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) = E_0^*(\frac{\alpha}{\gamma}, 0, 0, 0, 0)$. Titik bebas perokok yang telah diperoleh sebelumnya diberikan nilai parameter yang telah dicantumkan dalam jurnal Din, dkk (2016) pada tabel (3.2). Sehingga diperoleh yaitu $E_0^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx E_0^*(20460, 0, 0, 0, 0)$.

Kemudian dilakukan linierisasi dengan menggunakan deret Taylor. Proses linierisasi dilakukan dengan pemisalan dan karena titik kesetimbangan maka sama dengan nol sehingga:

$$\frac{dP}{dt} = f_1(P, S, X, Y, Z)$$

$$\frac{dS}{dt} = f_2(P, S, X, Y, Z) \tag{3.11}$$

$$\frac{dX}{dt} = f_3(P, S, X, Y, Z)$$

$$\frac{dY}{dt} = f_4(P, S, X, Y, Z)$$

$$\frac{dZ}{dt} = f_5(P, S, X, Y, Z)$$

Kemudian dicari pendekatan sistem linier di sekitar titik kesetimbangan dengan menggunakan deret Taylor dan dipotong sampai orde satu.

$$f_1(P, S, X, Y, Z) = f_1(E_0^*) + \frac{\partial f_1}{\partial P} \Big|_{E_0^*} (P - P^*) + \frac{\partial f_1}{\partial S} \Big|_{E_0^*} (S - S^*) + \frac{\partial f_1}{\partial X} \Big|_{E_0^*} (X - X^*) \\ + \frac{\partial f_1}{\partial Y} \Big|_{E_0^*} (Y - Y^*) + \frac{\partial f_1}{\partial Z} \Big|_{E_0^*} (Z - Z^*)$$

$$f_2(P, S, X, Y, Z) = f_2(E_0^*) + \frac{\partial f_2}{\partial P} \Big|_{E_0^*} (P - P^*) + \frac{\partial f_2}{\partial S} \Big|_{E_0^*} (S - S^*) + \frac{\partial f_2}{\partial X} \Big|_{E_0^*} (X - X^*) \\ + \frac{\partial f_2}{\partial Y} \Big|_{E_0^*} (Y - Y^*) + \frac{\partial f_2}{\partial Z} \Big|_{E_0^*} (Z - Z^*)$$

$$f_3(P, S, X, Y, Z) = f_3(E_0^*) + \frac{\partial f_3}{\partial P} \Big|_{E_0^*} (P - P^*) + \frac{\partial f_3}{\partial S} \Big|_{E_0^*} (S - S^*) + \frac{\partial f_3}{\partial X} \Big|_{E_0^*} (X - X^*) \\ + \frac{\partial f_3}{\partial Y} \Big|_{E_0^*} (Y - Y^*) + \frac{\partial f_3}{\partial Z} \Big|_{E_0^*} (Z - Z^*)$$

$$f_4(P, S, X, Y, Z) = f_4(E_0^*) + \frac{\partial f_4}{\partial P} \Big|_{E_0^*} (P - P^*) + \frac{\partial f_4}{\partial S} \Big|_{E_0^*} (S - S^*) + \frac{\partial f_4}{\partial X} \Big|_{E_0^*} (X - X^*) \\ + \frac{\partial f_4}{\partial Y} \Big|_{E_0^*} (Y - Y^*) + \frac{\partial f_4}{\partial Z} \Big|_{E_0^*} (Z - Z^*)$$

$$f_5(P, S, X, Y, Z) = f_5(E_0^*) + \frac{\partial f_5}{\partial P} \Big|_{E_0^*} (P - P^*) + \frac{\partial f_5}{\partial S} \Big|_{E_0^*} (S - S^*) + \frac{\partial f_5}{\partial X} \Big|_{E_0^*} (X - X^*) \\ + \frac{\partial f_5}{\partial Y} \Big|_{E_0^*} (Y - Y^*) + \frac{\partial f_5}{\partial Z} \Big|_{E_0^*} (Z - Z^*)$$

Sehingga, dapat dibuat suatu matriks Jacobi sebagai berikut:

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial P} & \frac{\partial f_1}{\partial S} & \frac{\partial f_1}{\partial X} & \frac{\partial f_1}{\partial Y} & \frac{\partial f_1}{\partial Z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial P} & \frac{\partial f_2}{\partial S} & \frac{\partial f_2}{\partial X} & \frac{\partial f_2}{\partial Y} & \frac{\partial f_2}{\partial Z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial P} & \frac{\partial f_3}{\partial S} & \frac{\partial f_3}{\partial X} & \frac{\partial f_3}{\partial Y} & \frac{\partial f_3}{\partial Z} \\ \frac{\partial f_4}{\partial P} & \frac{\partial f_4}{\partial S} & \frac{\partial f_4}{\partial X} & \frac{\partial f_4}{\partial Y} & \frac{\partial f_4}{\partial Z} \\ \frac{\partial f_5}{\partial P} & \frac{\partial f_5}{\partial S} & \frac{\partial f_5}{\partial X} & \frac{\partial f_5}{\partial Y} & \frac{\partial f_5}{\partial Z} \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Maka,

$$J(E^*) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \frac{\beta S}{\sqrt{PS}} - \gamma & -\frac{1}{2} \frac{\beta S}{\sqrt{PS}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} \frac{\beta S}{\sqrt{PS}} & \frac{1}{2} \frac{\beta S}{\sqrt{PS}} - \gamma - \beta - \epsilon & \zeta & 0 & 0 \\ 0 & \beta - \eta & -\zeta - \gamma & 0 & 0 \\ 0 & \delta \eta & 0 & -\gamma & 0 \\ 0 & \epsilon & 0 & 0 & -\gamma - \vartheta \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Titik kesetimbangan E_0^* yang telah diberikan nilai parameter tersebut disubstitusikan ke dalam $J(E^*)$. Hasil yang didapatkan dari matriks Jacobi yang telah diberikan titik kesetimbangan pertama tak dapat didefinisikan karena $\sqrt{PS} = 0$. Sehingga titik kesetimbangan pertama ini tidak dapat diketahui sifat kestabilannya.

Titik kesetimbangan kedua atau titik perokok eksis (E_1^*) dicari dengan meninjau penyelesaian dari persamaan (3.8) sehingga didapatkan:

$$\delta(1 - \eta)S(t) - (\gamma + \zeta)X(t) = 0$$

$$X(t) = \frac{-S(t)\delta(-1 + \eta)}{\gamma + \zeta} \quad (3.14)$$

Kemudian hasil dari penyelesaian persamaan (3.8) disubstitusikan ke dalam persamaan (3.8) yaitu

$$\beta\sqrt{P(t)S(t)} - (\gamma + \delta + \epsilon)S(t) + \zeta X(t) = 0$$

$$\beta\sqrt{P(t)S(t)} - (\gamma + \delta + \epsilon)S(t) + \zeta \left(\frac{-S(t)\delta(-1 + \eta)}{\gamma + \zeta} \right) = 0$$

$$\frac{\beta(\gamma + \zeta)\sqrt{P(t)S(t)} - S(t)(\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))}{\gamma + \zeta} = 0$$

$$S(t) = \frac{P(t)\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2} \quad (3.15)$$

Persamaan (3.15) tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan (3.14) sehingga dihasilkan

$$X(t) = -\frac{\beta^2(\gamma + \zeta)P(t)\delta(\eta - 1)}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2} \quad (3.16)$$

Kemudian hasil dari penyelesaian yaitu pada persamaan (3.15) disubstitusikan pada persamaan (3.6) sehingga

$$\alpha - \beta\sqrt{PS} - \gamma P(t) = 0$$

$$\alpha - \beta \sqrt{P(t) \frac{P(t)\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}} - \gamma P(t) = 0$$

$$\alpha - \beta \sqrt{\frac{P(t)^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}} - \gamma P(t) = 0 \quad (3.17)$$

Penyelesaian dari persamaan (3.17) tersebut adalah sebagai berikut

$$\alpha - \beta \sqrt{\frac{P(t)^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}} - \gamma P(t) = 0$$

$$\beta \sqrt{\frac{P(t)^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}} = \alpha - \gamma P(t)$$

$$\beta \left(\frac{P(t)^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2} \right) = \alpha - \gamma P(t)^2$$

$$\left(\frac{P(t)^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2} \right) = \frac{\alpha - \gamma P(t)^2}{\beta}$$

$$\left(\frac{P(t)\beta(\gamma + \zeta)}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2} \right) = \frac{\alpha - \gamma P(t)}{\beta}$$

$$\frac{P(t)\beta^2\gamma + P\beta^2\zeta}{(\zeta\delta\eta^2 + \zeta\epsilon^2 + \zeta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^4)} = \alpha - \gamma P(t)$$

$$P(t)(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta) = (\alpha - \gamma P(t))(\zeta\delta\eta^2 + \zeta\epsilon^2 + \zeta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^4)$$

$$P(t)(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta) = (\alpha - \gamma P(t))(\zeta\delta\eta^2 + \zeta\epsilon^2 + \zeta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^4)$$

$$P(t)(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta) = \alpha\gamma^4 - \gamma^4\gamma P + \alpha\zeta\epsilon^2 + \alpha\zeta\gamma^2 + \alpha\epsilon\gamma^2 + \alpha\zeta\delta\eta^2 \\ - \gamma P\zeta\epsilon^2 - \gamma P\zeta\gamma^2 - \gamma P\epsilon\gamma^2 - \gamma P\zeta\delta\eta^2$$

$$P(t)(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta) + \gamma^4\gamma P + \gamma P\zeta\epsilon^2 + \gamma P\zeta\gamma^2 + \gamma P\epsilon\gamma^2 + \gamma P\zeta\delta\eta^2 \\ = \alpha\gamma^4 + \alpha\zeta\epsilon^2 + \alpha\zeta\gamma^2 + \alpha\epsilon\gamma^2 + \alpha\zeta\delta\eta^2$$

$$P(t)(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta + \gamma^5 + \gamma\zeta\epsilon^2 + \gamma^3\zeta + \gamma^3\epsilon + \gamma\zeta\delta\eta^2) = \alpha\gamma^4 + \alpha\zeta\epsilon^2 \\ + \alpha\zeta\gamma^2 + \alpha\epsilon\gamma^2 + \alpha\zeta\delta\eta^2$$

$$P(t) = \frac{\alpha\gamma^4 + \alpha\zeta\epsilon^2 + \alpha\zeta\gamma^2 + \alpha\epsilon\gamma^2 + \alpha\zeta\delta\eta^2}{(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta + \gamma^5 + \gamma\zeta\epsilon^2 + \gamma^3\zeta + \gamma^3\epsilon + \gamma\zeta\delta\eta^2)}$$

$$P(t) = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta^2 + \zeta\epsilon^2 + \zeta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^4)}{(\beta^2\gamma + \beta^2\zeta + \gamma^5 + \gamma\zeta\epsilon^2 + \gamma^3\zeta + \gamma^3\epsilon + \gamma\zeta\delta\eta^2)}$$

$$P(t) = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\beta^2\gamma + \beta^2\zeta + \zeta\delta\eta\gamma + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3}$$

$$P(t) = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3}$$

Sehingga titik kesetimbangan pada persamaan (3.6) yaitu

$$P_2^* = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3} \quad (3.18)$$

Selanjutnya, substitusikan persamaan (3.18) ke dalam persamaan (3.15) yang bergantung terhadap waktu sehingga

$$S(t) = \frac{P(t)\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}$$

$$S(t) = \frac{\left(\frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3} \right) \beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}$$

$$S(t) = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)(\beta^2(\gamma + \zeta)^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3((\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2)}$$

$$S(t) = \frac{\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

Maka titik kesetimbangan dari persamaan (3.7) yaitu

$$S_2^* = \frac{\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)} \quad (3.19)$$

Persamaan (3.18) disubstitusikan pula ke dalam persamaan (3.16) sebagai berikut

$$X(t) = -\frac{\beta^2(\gamma + \zeta)P(t)\delta(\eta - 1)}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}$$

$$X(t) = -\frac{\beta^2(\gamma + \zeta) \left(\frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3} \right) \delta(\eta - 1)}{(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)^2}$$

$$X(t) = \frac{\beta^2(\gamma + \zeta)\alpha\delta(1 - \eta)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

Sehingga titik kesetimbangan dari persamaan (3.8) adalah

$$X_2^* = \frac{\beta^2(\gamma + \zeta)\alpha\delta(1 - \eta)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)} \quad (3.20)$$

Penyelesaian dari persamaan (3.9) adalah sebagai berikut

$$\delta\eta S(t) - \gamma Y(t) = 0$$

$$\gamma Y(t) = \delta\eta S(t)$$

$$Y(t) = \frac{\delta\eta S(t)}{\gamma} \quad (3.21)$$

Lalu substitusikan persamaan (3.19) ke dalam persamaan (3.21)

$$Y(t) = \frac{\delta\eta S(t)}{\gamma}$$

$$Y(t) = \frac{\delta\eta\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

$$Y(t) = \frac{\delta\eta\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\gamma(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))}$$

Titik kesetimbangan dari persamaan (3.9) yaitu

$$Y_2^* = \frac{\delta\eta\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\gamma(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))} \quad (3.22)$$

Penyelesaian dari persamaan (3.10) adalah sebagai berikut

$$\epsilon S(t) - (\gamma + \vartheta)Z(t) = 0$$

$$(\gamma + \vartheta)Z(t) = \epsilon S(t)$$

$$Z(t) = \frac{\epsilon S(t)}{(\gamma + \vartheta)} \quad (3.23)$$

Selanjutnya substitusikan persamaan (3.19) ke persamaan (3.23)

$$Z(t) = \frac{\epsilon S(t)}{(\gamma + \vartheta)}$$

$$Z(t) = \frac{\epsilon\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

$$Z(t) = \frac{\epsilon\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\gamma + \vartheta)(\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))}$$

Sehingga, titik kesetimbangan pada persamaan (3.10) yaitu

$$Z_2^* = \frac{\epsilon\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\gamma + \vartheta)(\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))} \quad (3.24)$$

Misalkan titik perokok eksis $E_1^*(P_2^*, S_2^*, X_2^*, Y_2^*, Z_2^*)$ merupakan titik kesetimbangan kedua pada sistem persamaan (3.6) – (3.10) sehingga:

$$P_2^* = \frac{\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3}$$

$$S_2^* = \frac{\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

$$X_2^* = \frac{\beta^2(\gamma + \zeta)\alpha\delta(1 - \eta)}{\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)}$$

$$Y_2^* = \frac{\delta\eta\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{\gamma(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))}$$

$$Z_2^* = \frac{\epsilon\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\gamma + \vartheta)(\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2))}$$

Maka, jika titik perokok eksis dari (3.6) – (3.10) diberikan nilai parameter sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$E_1^*(P_2^*, S_2^*, X_2^*, Y_2^*, Z_2^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$$

3.2.2 Kestabilan Titik Keseimbangan

Sistem persamaan model perilaku merokok akan dilakukan linierisasi terlebih dahulu dengan menggunakan Jacobian pada titik keseimbangan kedua sebagai berikut:

Matriks (3.13) disubstitusikan dengan E_1^* pada $J(E_1^*)$ maka diperoleh matriks Jacobi sehingga

$$J(E_1^*) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}\psi - \gamma & -\frac{1}{2}\psi & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}\psi & \frac{1}{2}\psi - \gamma - \beta - \epsilon & \zeta & 0 & 0 \\ 0 & \beta - \eta & -\zeta - \gamma & 0 & 0 \\ 0 & \delta\eta & 0 & -\gamma & 0 \\ 0 & \epsilon & 0 & 0 & -\gamma - \vartheta \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

dengan

ψ didapatkan sebagai berikut $\frac{\beta S^*}{\sqrt{P^* S^*}}$ sehingga

$$\psi = (\beta^3\alpha(\gamma + \zeta^2))/((\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma\epsilon\gamma + \gamma^2)(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3) \sqrt{\frac{(\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}})$$

Titik keseimbangan model perilaku merokok yang telah didapatkan dan sistem persamaan model perilaku merokok yang telah dilinierisasi akan dilakukan analisis kestabilannya dengan mencari persamaan karakteristik pada $D = \det J(E^*) - \lambda I = 0$ untuk menentukan nilai Eigen (λ),

$$D = \begin{vmatrix} \lambda + \frac{1}{2}E_1 + \gamma & \frac{1}{2}E_1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}E_1 & \lambda - \frac{1}{2}E_1 + \gamma + \beta + \epsilon & -\zeta & 0 & 0 \\ 0 & -\delta(1-\eta) & \lambda + \gamma + \zeta & 0 & 0 \\ 0 & -\delta\eta & 0 & \lambda + \gamma & 0 \\ 0 & -\epsilon & 0 & 0 & \lambda + \gamma + \vartheta \end{vmatrix} \quad (3.26)$$

Berdasarkan nilai $|(\lambda I - J(E^*))|$ diperoleh persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K(\lambda) = & -\frac{1}{2}(((\lambda + \gamma + \delta)(\lambda + \gamma)((\gamma^3 + (\zeta + \beta + \epsilon)\gamma^2 + ((\beta + \epsilon + ((\eta - 1) \\ & \delta)\gamma + \beta^2\zeta)(\gamma^6 + (3\zeta + 2\beta + 2\lambda + 2\epsilon)\gamma^5 + (3\zeta + 2\beta + 2\lambda + 2\epsilon)\gamma^5 \\ & + (3\zeta + 2\beta + 2\lambda + 2\epsilon)\gamma^5 + (3\zeta^2 + (6\beta + 4\lambda + (4\eta - 4)\delta + 6\epsilon)\zeta^2 \\ & + ((10\lambda + (2\eta - 2)\delta + 6\epsilon)\beta + 2\lambda^2 + ((4\eta - 4)\delta + 10\epsilon)\lambda + 2 \\ & \left((\eta - 1)\delta + \frac{3}{2}\epsilon \right) \epsilon)\zeta - \beta^3 - \beta^2\epsilon + 2\lambda(\lambda + 2\epsilon)\beta + 2\lambda\epsilon(\lambda + \epsilon))\gamma^3 \\ & + ((2\beta + \lambda + (2\eta - 2)\delta + 2\epsilon)\zeta^3 + ((8\lambda + (4\eta - 4)\delta + 6\epsilon)\beta + \lambda^2 \\ & + ((6\eta - 6)\delta + 8\epsilon)\lambda + ((\eta - 1)\delta + 3\epsilon)((\eta - 1)\delta + \epsilon))\zeta^2 + (-3\beta^3 \\ & + (\delta(1 - \eta) - 3\epsilon)\beta^2 + 4\lambda \left(\lambda + (\eta - 1)\delta + \frac{5}{2}\epsilon \right) \beta + 2\lambda(((\eta - 1)\delta \\ & + 2\epsilon)\lambda + 2 \left((\eta - 1)\delta + \frac{5}{4}\epsilon \right) \epsilon))\zeta - \lambda(\beta^3 + \beta^2\epsilon - 2\beta\epsilon\lambda - \epsilon^2\lambda))\gamma^2 \\ & + (((2\lambda + (2\eta - 2)\delta + 2\epsilon)\beta + (2\lambda + (\eta - 1)\delta + \epsilon)((\eta - 1)\delta \\ & + \epsilon))\zeta^2 + (-3\beta^3 + ((-2\eta + 2)\delta - 3\epsilon)\beta^2 + 6\lambda \\ & \left(\frac{1}{3}\lambda + (\eta - 1)\delta + \frac{4}{3}\epsilon \right) \beta + 2\lambda(\lambda + (\eta - 1)\delta + 2\epsilon)((\eta - 1)\delta + \epsilon))\zeta \\ & + 2\lambda(-\beta^3 - \beta^2\epsilon + ((\eta - 1)\delta + 2\epsilon)\lambda\beta + \lambda\epsilon((\eta - 1)\delta + \epsilon)))\zeta\gamma + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& ((-\beta^3 + (\delta(1 - \eta) - \epsilon)\beta^2 + 2\lambda((\eta - 1)\delta + \epsilon)\beta + \lambda((\eta - 1)\delta + \epsilon)^2 \\
&)\zeta + \lambda(-\beta^3 - \beta^2\epsilon + 2\lambda((\eta - 1)\delta + \epsilon)\beta + \lambda((\eta - 1)\delta + \epsilon)^2)\zeta^2) \\
& \sqrt{\frac{(\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \beta + \epsilon)\gamma^2 + ((\beta + \epsilon + (\eta - 1)\delta)\zeta + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}} - 2 \\
& (\gamma + \zeta)^2\beta(\gamma^2 + (\zeta + \beta + 2\lambda + \epsilon)\gamma + (\beta + \lambda + (\eta - 1)\delta + \epsilon)\zeta + \lambda \\
& (\beta + \lambda + \epsilon))(\gamma^2 + (\zeta + \beta + \epsilon)\gamma + (\beta + \epsilon + (\eta - 1)\delta)\zeta)\alpha(\lambda + \gamma)) \\
& (\lambda + \gamma + \vartheta)(\lambda + \gamma))/((\gamma + \zeta)^2\beta(\gamma^2 + (\zeta + \beta + \epsilon)\gamma + (\beta + \epsilon + \\
& (\eta)\delta)\zeta)\alpha)
\end{aligned}$$

Atau bisa disederhanakan sebagai berikut:

$$K(\lambda) = (\lambda + \gamma)(\lambda + \gamma + \vartheta)Q(\lambda)$$

dimana

$$Q(\lambda) = k_0\lambda^3 + k_1\lambda^2 + k_2\lambda + k_3$$

dengan

$$\begin{aligned}
k_1 = \frac{1}{2} & (\beta((\alpha(\gamma^2 + (\zeta - \beta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta - \beta + \epsilon))(\gamma^2 + (\zeta + \beta + \delta + \epsilon) \\
& \gamma + \zeta(\delta\eta + \beta + \epsilon)))/((\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \\
& \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta))) + 2
\end{aligned}$$

$$\sqrt{\frac{(\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}(\zeta + \delta + 3\gamma + \epsilon))/}$$

$$\left(\sqrt{\frac{((\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2)}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}} \right),$$

$$k_2 = \frac{1}{2}(-(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)(2\gamma^5 + (5\zeta + 4\delta$$

$$\begin{aligned}
& +4\epsilon)\gamma^4 + (4\zeta^2 + ((4\eta + 6)\delta + 10\epsilon)\zeta - 2(\beta + \delta + \epsilon)(\beta - \delta - \epsilon))\gamma^3 \\
& + (\zeta^3 + ((6\eta + 2)\delta + 8\epsilon)\zeta^2 + ((4\eta + 1)\delta^2 + (4\eta + 6)\epsilon\delta - 5\beta^2 + 5\epsilon^2) \\
& \zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\gamma^2 + 2\zeta((\delta\eta + \epsilon)\zeta^2 + ((\eta^2 + \eta)\delta^2 + \epsilon(3\eta + 1)\delta - 2\beta^2 \\
& + 2\epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\gamma + ((\delta^2\eta^2 + 2\delta\epsilon\eta - \beta^2 + \epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\zeta^2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sqrt{\frac{((\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2)}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}} + 2(\gamma^2 + (\zeta + \delta \\
& + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))(3\gamma^2 + (2\zeta + 2\delta + 2\epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))\beta(\gamma + \zeta)^2\alpha) / \\
& ((\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))\beta(\gamma + \zeta)^2\alpha), \\
k_3 = & \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2} (((\beta^3\alpha(\gamma + \zeta)^2 \\
& \sqrt{\frac{\alpha^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3)^2}} (\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon) \\
& \gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))) / ((\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma \\
& + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3)) + (\gamma\alpha(\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2) \\
& ((2\alpha\beta^2(\gamma + \zeta)^2(\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon)))) / ((\zeta\delta\eta + \zeta\epsilon + \zeta\gamma \\
& + \delta\gamma + \epsilon\gamma + \gamma^2)(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3)) \\
& - \beta(\gamma + \zeta) \sqrt{\frac{\alpha^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\zeta(\delta\eta\gamma + \beta^2 + \epsilon\gamma + \gamma^2) + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3)^2}}) / \\
& ((\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma + \zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3))(\zeta\delta\eta\gamma + \zeta\beta^2 + \zeta\epsilon\gamma
\end{aligned}$$

$$+\zeta\gamma^2 + \beta^2\gamma + \delta\gamma^2 + \epsilon\gamma^2 + \gamma^3)^2).$$

Nilai akar persamaan karakteristik $|(\lambda I - J(E^*))| = 0$ dapat dianalisis kestabilannya dengan menggunakan kriteria Routh Hurwitz jika memenuhi syarat sebagai berikut:

a. $D_1 = k_1 > 0$

$$D_1 = \frac{1}{2}(\beta((\alpha(\gamma^2 + (\zeta - \beta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta - \beta + \epsilon))(\gamma^2 + (\zeta + \beta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \beta + \epsilon)))/((\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta))) + 2\sqrt{\frac{(\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}}(\zeta + \delta + 3\gamma + \epsilon))/\left(\sqrt{\frac{((\gamma + \zeta)^2\beta^2\alpha^2)}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}}\right)$$

b. $D_2 = k_1k_2 - k_0k_3 > 0$

$$D_2 = \frac{1}{2}(-2\gamma^5 + (5\zeta + 4\delta + 4\epsilon)\gamma^4 + (4\zeta^2 + ((4\eta + 6)\delta + 10\epsilon)\zeta - 2(\delta + \epsilon + \beta)(-\delta - \epsilon + \beta))\gamma^3 + (\zeta^3 + ((6\eta + 2)\delta + 8\epsilon)\zeta^2 + ((4\eta + 1)\delta^2 + (4\eta + 6)\epsilon\delta - 5\beta^2 + 5\epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\gamma^2 + 2\zeta((\delta\eta + \epsilon)\zeta^2 + ((\eta^2 + \eta)\delta^2 + \epsilon(3\eta + 1)\delta - 2\beta^2 + 2\epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\gamma + \zeta^2((\delta^2\eta^2 + 2\delta\epsilon\eta - \beta^2 + \epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))(\gamma^3 + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta\sqrt{\frac{\alpha^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}} + 2\alpha(\gamma$$

$$+ \zeta)^2 \beta (\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \epsilon)) (3\gamma^2 + (2\zeta + 2\delta + 2\epsilon) \gamma \\ \zeta (\delta \eta + \epsilon)) / (\alpha (\gamma + \zeta)^2 \beta (\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \epsilon)))$$

c. $D_3 = k_3 D_2 > 0$

$$D_3 = \frac{1}{2} \frac{1}{(\gamma + \zeta) \beta \alpha} ((-\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) - \beta^2) \gamma - \beta^2 \zeta)$$

$$(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta)$$

$$\sqrt{\frac{\alpha^2 \beta^2 (\gamma + \zeta)^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta)^2} + 2\alpha (\gamma^2$$

$$+ (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \epsilon)) \gamma (\gamma + \zeta) \beta} \left(-\frac{1}{2} \frac{1}{(\gamma + \zeta) \beta \alpha} \right.$$

$$\left. (-\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta) (\gamma^3 \right.$$

$$\left. + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) - \beta^2) \gamma - \beta^2 \zeta) \right)$$

$$\sqrt{\frac{\alpha^2 \beta^2 (\gamma + \zeta)^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta)^2} + 2\alpha (\gamma^2$$

$$+ (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \epsilon)) \gamma (\gamma + \zeta) \beta} + \frac{1}{4} ((-\gamma^2 + (\zeta - \beta + \delta$$

$$+ \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta - \beta + \epsilon)) (\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma$$

$$+ \beta^2 \zeta) (\gamma^2 + (\zeta + \beta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \beta + \epsilon))$$

$$\sqrt{\frac{\alpha^2 \beta^2 (\gamma + \zeta)^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta)^2} + 2(\zeta + \delta$$

$$+ 3\gamma + \epsilon) \alpha (\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma + \zeta (\delta \eta + \epsilon)) (\gamma + \zeta)^2 \beta} (-\gamma^3$$

$$+ (\zeta + \delta + \epsilon) \gamma^2 + (\zeta (\delta \eta + \epsilon) + \beta^2) \gamma + \beta^2 \zeta) (2\gamma^5 + (5\zeta + 4\delta$$

$$+ 4\epsilon) \gamma^4 + (4\zeta^2 + ((4\eta + 6)\delta + 10\epsilon)\zeta - 2(\delta + \epsilon + \beta)(-\delta - \epsilon$$

$$+ \beta)) \gamma^3 + (\zeta^3 + ((6\eta + 2)\delta + 8\epsilon)\zeta^2 + ((4\eta + 1)\delta^2 + (4\eta + 6)\epsilon\delta$$

$$- 5\beta^2 + 5\epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon)) \gamma^2 + 2((\delta \eta + \epsilon)\zeta^2 + ((\eta^2 + \eta)\delta^2$$

$$\begin{aligned}
& +\epsilon(3\eta + 1)\delta - 2\beta^2 + 2\epsilon^2)\zeta - \beta^2(\delta + \epsilon))\zeta\gamma + \zeta^2((\delta^2\eta^2 \\
& + 2\delta\epsilon\eta - \beta^2 + \epsilon^2)\zeta - \beta(\delta + \epsilon)) \\
& \sqrt{\frac{\alpha^2\beta^2(\gamma + \zeta)^2}{(\gamma^3 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma^2 + (\zeta(\delta\eta + \epsilon) + \beta^2)\gamma + \beta^2\zeta)^2}} + 2\alpha(\gamma^2 \\
& + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))(\gamma + \zeta)^2(3\gamma^2 + (2\zeta + 2\delta + 2\epsilon)\gamma \\
& + \zeta(\delta\eta + \epsilon)\beta))/(\alpha^2(\gamma^2 + (\zeta + \delta + \epsilon)\gamma + \zeta(\delta\eta + \epsilon))^2(\gamma \\
& + \zeta)^4\beta^2)))
\end{aligned}$$

Jika nilai parameter pada tabel 3.2 dimasukkan ke dalam D_1 , D_2 , dan D_3 sehingga dihasilkan nilai yang positif sebagai berikut:

$$D_1 = 0,01154825831$$

$$D_2 = 3,757610604 \times 10^{-8}$$

$$D_3 = 1.059796856 \times 10^{-17}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa E_1^* stabil karena memenuhi syarat dari kriteria Routh Hurwitz. Titik E_1^* eksis karena nilai dari $E_1^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) > 0$.

Selanjutnya diberikan nilai parameter pada titik kesetimbangan kedua sehingga didapatkan $E_1^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$. Maka persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$

$$\begin{vmatrix}
\lambda + 0,0002 & 0,00034 & 0 & 0 & 0 \\
-0,00018 & \lambda + 0,009 & -0,002 & 0 & 0 \\
0 & -0,009 & \lambda + 0,00204 & 0 & 0 \\
0 & -9,13 \times 10^{-6} & 0 & \lambda + 3,91 \times 10^{-5} & 0 \\
0 & -0,0005 & 0 & 0 & \lambda + 0,046
\end{vmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Setelah itu akan didapatkan nilai Eigen dari titik tetap kedua dengan menggunakan MAPLE sehingga didapatkan sebagai berikut:

$$\lambda_1 = -0,046$$

$$\lambda_2 = -0,01126$$

$$\lambda_3 = -0,00014447 + 0,000065I$$

$$\lambda_4 = -0,00014447 - 0,000065I$$

$$\lambda_5 = -0,0000391$$

Berdasarkan nilai Eigen yang didapatkan dapat diketahui bahwa $\lambda_1 < 0$ maka jenis kestabilan pada titik kesetimbangan kedua yaitu stabil asimtotik, $\lambda_2 < 0$ maka pada titik kesetimbangan kedua yaitu stabil asimtotik, $\lambda_3 = x \pm yi$ dengan $k < 0$ maka jenis kestabilan pada titik kesetimbangan kedua yaitu stabil asimtotik, dan $\lambda_4 = x \pm yi$ dengan $k < 0$ maka jenis kestabilan pada titik kesetimbangan kedua stabil asimtotik, $\lambda_5 < 0$ maka jenis kestabilan pada titik kesetimbangan kedua yaitu stabil asimtotik. Secara keseluruhan $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5 < 0$ maka jenis kestabilan titik perokok eksis pada model perilaku merokok yaitu stabil asimtotik.

3.2.3 Simulasi Numerik

1. Vektor Eigen

Vektor Eigen dapat dicari dengan cara mensubstitusikan nilai Eigen (λ) pada persamaan (3.24), yaitu semua nilai Eigen yang didapatkan dari titik kesetimbangan kedua dengan perhitungan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil dari nilai eigen pada titik kesetimbangan yang kedua, jika nilai $\lambda_1 = -0,046$ dimasukkan ke dalam persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$ sehingga:

$$\begin{bmatrix} 0,046 & 0,000341 & 0 & 0 & 0 \\ -0,000184 & 0,0365 & -0,002 & 0 & 0 \\ 0 & -0,009 & -0,0437 & 0 & 0 \\ 0 & -9,13 \times 10^{-6} & 0 & -0,0457 & 0 \\ 0 & -0,00046 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Maka diperoleh vektor Eigen pertama sebagai berikut:

$$\vec{u}_1 = \begin{pmatrix} \vec{X}_1 \\ P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -9,2144 \times 10^{-17} \\ -0,022 \\ 0,447 - 0,345I \\ 0,447 + 0,345I \\ 2,715 \times 10^{-16} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{a}_1 \\ -9,2144 \times 10^{-17} \\ -0,022 \\ 0,447 \\ 0,447 \\ 2,715 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{b}_1 \\ 0 \\ 0 \\ -0,345 \\ 0,345 \\ 0 \end{pmatrix} I$$

Jika nilai $\lambda_2 = -0,01126$

dimasukkan ke dalam persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$ sehingga:

$$\begin{bmatrix} -0,011037 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,000184 & -0,002 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,009 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,0112 & -0,01122 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0345 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Maka diperoleh vektor Eigen kedua sebagai berikut:

$$\vec{u}_2 = \begin{pmatrix} \vec{X}_2 \\ P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2,056 \times 10^{-16} \\ -0,7107 \\ -0,168 - 0,006I \\ -0,168 + 0,006I \\ -1,446 \times 10^{-15} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{a}_2 \\ -2,056 \times 10^{-16} \\ -0,7107 \\ -0,168 \\ -0,168 \\ -1,446 \times 10^{-15} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{b}_2 \\ 0 \\ 0 \\ -0,006 \\ 0,006 \\ 0 \end{pmatrix} I$$

Jika nilai $\lambda_3 = -0,00014447 + 0,000065I$ dimasukkan ke dalam persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$ sehingga:

$$\begin{bmatrix} 0,0000782 + 0,000065I & 0,000341 & 9 \\ -0,000184 & 0,009 + 0,646I & -0,002 \\ 0 & -0,009 & 0,0019 + 0,000065I \\ 0 & -0,00000913 & 0 \\ 0 & -0,000458 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -0,00011 + 0,000065I & 0 & 0 \\ 0 & 0,046 + 0,000065I & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Maka diperoleh vektor Eigen ketiga sebagai berikut:

$$\vec{u}_3 = \begin{pmatrix} \vec{X}_3 \\ P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,804 \times 10^{-16} \\ 0,7031 \\ 0,808 \\ -0,808 \\ -6,9592 \times 10^{-15} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{a}_3 \\ 1,804 \times 10^{-16} \\ 0,7031 \\ 0,808 \\ -0,808 \\ -6,9592 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

Jika nilai $\lambda_4 = -0,00014447 - 0,000065I$ dimasukkan ke dalam persamaan

karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$ sehingga:

$$\begin{bmatrix} 0,0000782 - 0,000065I & 0,000341 & 9 \\ -0,000184 & 0,009 - 0,646I & -0,002 \\ 0 & -0,009 & 0,0019 - 0,000065I \\ 0 & -0,00000913 & 0 \\ 0 & -0,000458 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -0,00011 - 0,000065I & 0 & 0 \\ 0 & 0,046 - 0,000065I & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Maka diperoleh vektor Eigen keempat sebagai berikut:

$$\vec{u}_4 = \begin{pmatrix} \vec{X}_4 \\ P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,427 \times 10^{-17} \\ 0,0006 \\ 0,01035 + 0,007I \\ 0,01035 - 0,007I \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{a}_4 \\ 3,427 \times 10^{-17} \\ 0,0006 \\ 0,01035 \\ 0,01035 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{b}_5 \\ 0 \\ 0 \\ 0,007 \\ -0,007 \\ 0 \end{pmatrix} I$$

Sedangkan, jika nilai $\lambda_5 = -0,0000391$ dimasukkan ke dalam persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E^*)) = 0$ sehingga:

$$\begin{bmatrix} 0,000184 & 0,000341 & 0 & 0 & 0 \\ -0,0002 & 0,00925 & -0,002 & 0 & 0 \\ 0 & -0,009 & 0,002 & 0 & 0 \\ 0 & -9,13 \times 10^{-6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,000458 & 0 & 0 & 0,0457 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Maka diperoleh vektor Eigen kelima sebagai berikut:

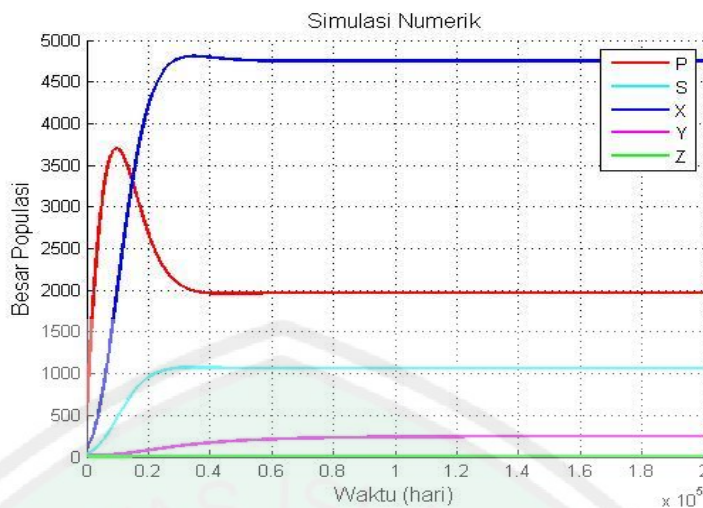
$$\vec{u}_5 = \begin{pmatrix} \vec{X}_5 \\ P \\ S \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -0,0094 \\ -0,0017 - 0,00006I \\ -0,0017 + 0,00006I \\ 1,422 \times 10^{-16} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{a}_5 \\ 1 \\ -0,0094 \\ -0,0017 \\ -0,0017 \\ 1,422 \times 10^{-16} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{b}_5 \\ 0 \\ 0 \\ -0,00006 \\ 0,00006 \\ 0 \end{pmatrix} I$$

Misalkan, untuk $\lambda_3 = -0,00014447 + 0,000065I$ dan $\lambda_4 = -0,00014447 - 0,000065I$ pada bagian riil adalah x sedangkan pada bagian imajiner adalah y . Sehingga untuk $\lambda_3 = x + iy$ dan $\lambda_4 = x - iy$. Maka, untuk solusi umum pada sistem persamaan diferensial biasa 3.6 – 3.10 sebagai berikut:

$$\vec{X}(t) = c_1 e^{-\lambda_1 t} \vec{a}_1 + c_2 e^{-\lambda_2 t} \vec{a}_2 + c_3 e^{-xt} \cos yt \vec{a}_3 + c_4 e^{-xt} \sin yt \vec{a}_3 + c_5 e^{-\lambda t} \vec{a}_5$$

2. Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan untuk melihat pertumbuhan populasi dari sistem persamaan model matematika penyebaran perilaku kualitatif merokok yang telah dimasukkan nilai awal dan parameter pada Tabel 3.1 dan 3.2 secara numerik menggunakan metode ODE45 dengan bantuan aplikasi MATLAB.



Gambar 3.2 Solusi Numerik Sistem Persamaan Linier dari Model Matematika Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok

Plot pada Gambar 3.2 menunjukkan dinamika dari total populasi dengan $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,0005$; $\gamma = 3,91 \times 10^{-5}$; $\delta = 9,13 \times 10^{-5}$; $\eta = 10^{-7}$; $\epsilon = 0,00458$; $\zeta = 0,002$; $\vartheta = 0,0457$ selama 200.000 hari. Terlihat bahwa populasi P, S, X, Y , dan Z stabil pada titik kesetimbangan $E_1^*(P_1^*, S_1^*, X_1^*, Y_1^*, Z_1^*) \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$ yaitu bersifat stabil asimtotik secara lokal.

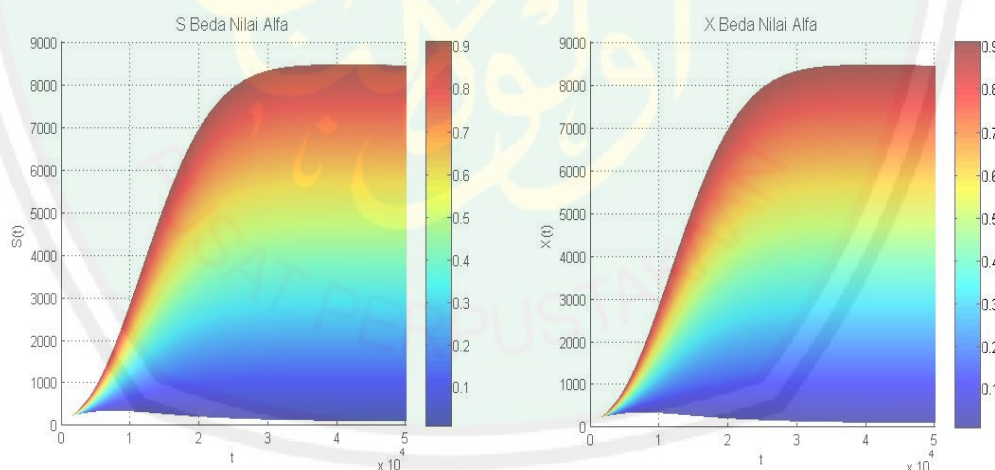
Berdasarkan Gambar 3.2, populasi perokok mengalami suatu peningkatan dari waktu ke waktu karena semakin banyaknya penerimaan dari kelas orang-orang yang belum pernah merokok yang berpotensi untuk merokok pada populasi terbesar dan terlihat populasi tersebut mengalami penurunan dikarenakan terdapat laju kontak dinamika akar kuadrat interaksi populasi non perokok dengan perokok serta dikarenakan terdapat kematian alami pada populasi tersebut. Populasi non perokok tersebut akan mengalami kestabilan dengan stabil secara asimtotik pada waktu tertentu dengan populasi sebanyak 1970.

Populasi perokok mengalami suatu peningkatan karena terdapat laju kontak dinamika akar kuadrat populasi non perokok dengan perokok dan

dikarenakan terdapat perokok yang berhenti merokok sementara kembali merokok. Populasi perokok ini akan mengalami kestabilan dengan stabil secara asimtotik pada waktu tertentu dengan populasi sebanyak 1062.

Populasi perokok yang berhenti merokok sementara terlihat mengalami peningkatan dikarenakan terdapat laju dimana perokok berhenti merokok secara sementara dan populasi tersebut terlihat mengalami kestabilan dengan stabil secara asimtotik dengan populasi sebanyak 4748.

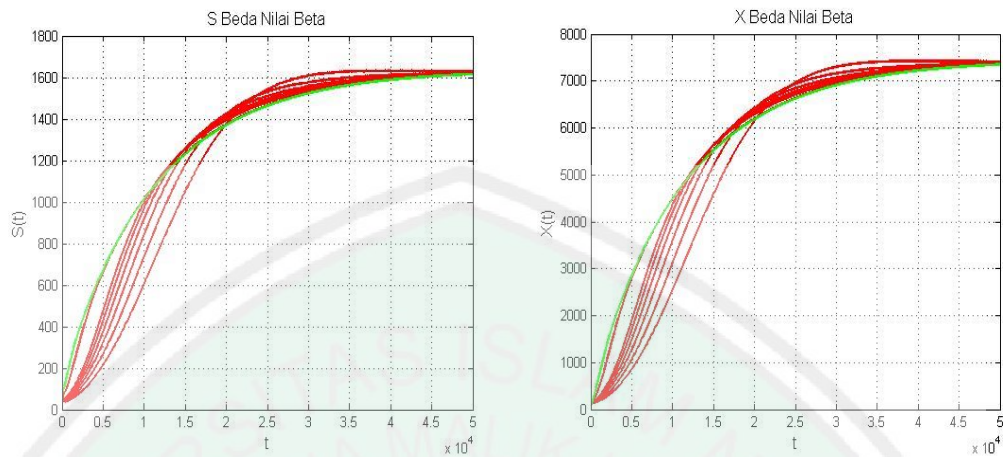
Populasi perokok yang berhenti merokok secara pemanen terlihat mengalami peningkatan karena laju perokok yang berhenti merokok secara permanen. Terlihat pada Gambar 3.2, populasi tersebut mengalami kestabilan dengan stabil asimtotik dengan populasi sebanyak 248. Sedangkan, pada populasi perokok yang mengidap penyakit karena merokok mengalami kestabilan dengan stabil asimtotik secara lokal dengan populasi sebanyak 11



(a) (b)
Gambar 3.3 Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\alpha \in [0.2, 1.5]$.

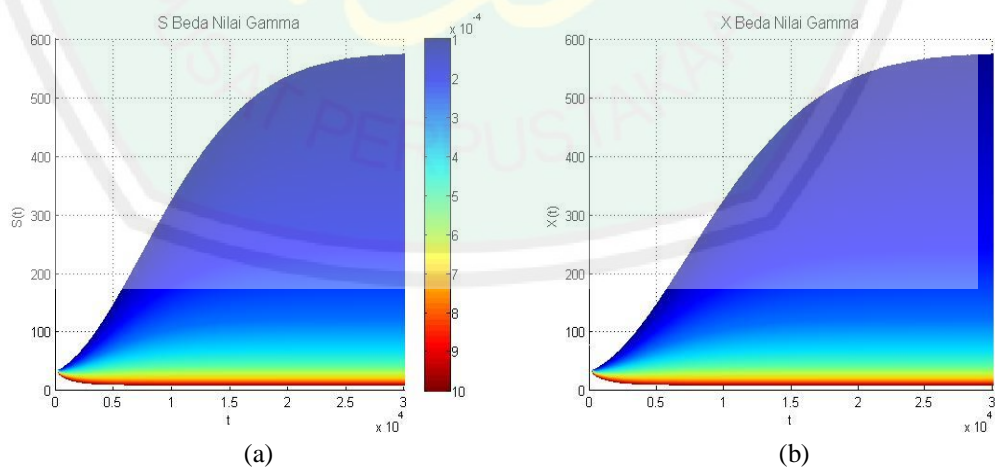
Plot pada Gambar 3.3 menunjukkan tingkat endemik dari populasi perokok dan perokok yang berhenti merokok sementara dengan $\alpha \in [0.2, 1.5]$; $\beta = 0,0005$;

$\gamma = 3,91 \times 10^{-5}$; $\delta = 9,13 \times 10^{-5}$; $\eta = 10^{-7}$; $\epsilon = 0,00458$; $\zeta = 0,002$;
 $\vartheta = 0,0457$ selama 50.000 hari.



(a) (b)
 Gambar 3.4 Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\beta \in [0.0005, 0.003]$.

Plot pada Gambar 3.4 menunjukkan tingkat endemik dari populasi perokok dan perokok yang berhenti merokok sementara dengan $\alpha = 0,8$; $\beta \in [0.0005, 0.003]$;
 $\gamma = 3,91 \times 10^{-5}$; $\delta = 9,13 \times 10^{-5}$; $\eta = 10^{-7}$; $\epsilon = 0,00458$; $\zeta = 0,002$;
 $\vartheta = 0,0457$ selama 50.000 hari.

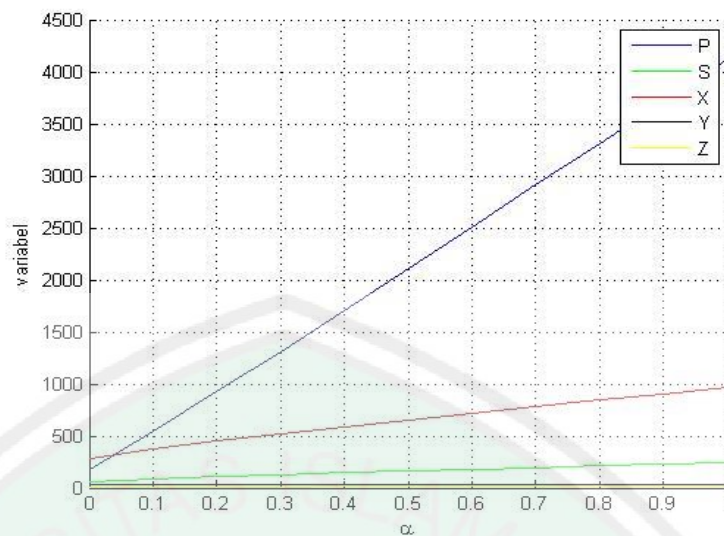


(a) (b)
 Gambar 3.5 Tingkat Endemik dari S dan X dengan nilai $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$.

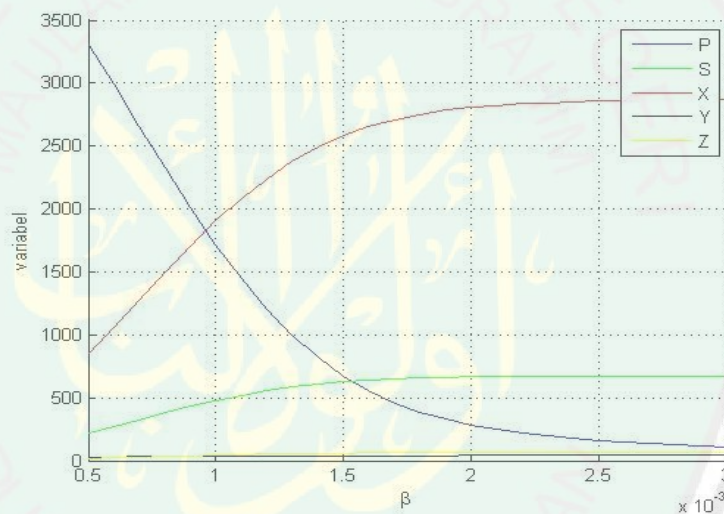
Plot pada Gambar 3.5 menunjukkan tingkat endemik dari populasi perokok dan perokok yang berhenti merokok sementara dengan $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,0005$; $\gamma \in [0.0001, 0.0010]$; $\delta = 9,13 \times 10^{-5}$; $\eta = 10^{-7}$; $\epsilon = 0,00458$; $\zeta = 0,002$; $\vartheta = 0,0457$ selama 50.000 hari.

Tingkat endemik dari perokok dan perokok yang berhenti sementara dapat ditingkatkan atau diturunkan dengan meningkatnya atau menurunnya nilai dari parameter yang berbeda. Gambar 3.3, 3.4, dan 3.5 menunjukkan tingkat endemik dari perokok dan perokok yang berhenti sementara dari nilai parameter yang berbeda.

Terlihat pada Gambar 3.3 terlihat bahwa laju penerimaan dari kelas non perokok yang semakin tinggi maka populasi perokok akan semakin meningkat dan populasi non perokok sementara semakin meningkat pula, serta akan mengalami kestabilan pada waktu dan jumlah populasi tertentu. Gambar 3.4 terlihat bahwa semakin meningkatnya laju perpindahan dari non perokok ke perokok maka semakin besar populasi perokok dan non perokok sementara pada awalnya dan semakin menurun populasi pada waktu tertentu serta akan mengalami kestabilan pada waktu dan jumlah populasi tertentu. Sedangkan, Gambar 3.5 terlihat bahwa jika laju kematian alami semakin meningkat maka populasi perokok dan non perokok sementara semakin menurun, serta mengalami kestabilan pada waktu dan jumlah populasi tertentu. Sebagai perbandingan, ditampilkan pula simulasi untuk populasi non perokok, perokok, non perokok sementara, non perokok permanent, dan perokok yang terkena penyakit akibat merokok dengan $\alpha \in [0.2, 1.5]$ dan $\beta \in [0.0005, 0.003]$ dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan 3.7.



Gambar 3.6 Tingkat endemik model perilaku kualitatif merokok dengan $\alpha \in [0, 1]$



Gambar 3.7 Tingkat endemik model perilaku kualitatif merokok dengan $\beta \in [0.0005, 0.003]$

Plot pada Gambar 3.6 dan 3.7 menggunakan $\Delta t = [0:50.000]$. Berdasarkan Gambar 3.6 dapat terlihat bahwa peningkatan populasi non perokok, perokok, dan non perokok sementara terjadi dikarenakan laju penerimaan dari kelas non perokok. Kenaikan yang paling signifikan terdapat pada populasi non perokok. Laju penerimaan dari kelas non perokok tersebut kurang memengaruhi

peningkatan populasi non perokok permanent dan populasi perokok yang terkena penyakit karena merokok.

Sedangkan, pada Gambar 3.7 terlihat bahwa terjadi penurunan populasi non perokok. Sedangkan populasi perokok dan non perokok sementara terjadi peningkatan populasi. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada populasi non perokok sementara. Hal ini dikarenakan terdapat laju perpindahan dari non perokok ke kelas perokok. Tetapi, laju perpindahan dari non perokok ke kelas perokok tersebut kurang memengaruhi populasi non perokok permanent dan perokok yang terkena penyakit karena merokok.

Berdasarkan simulasi numerik dengan variasi parameter tersebut maka populasi perokok meningkat dikarenakan meningkatnya laju penerimaan dari kelas non perokok dan laju perpindahan dari non perokok ke kelas perokok. Oleh karena itu, pengurangan laju penerimaan dari kelas non perokok dan laju perpindahan dari non perokok ke kelas perokok akan mengakibatkan berkurangnya jumlah populasi perokok. Sehingga perokok dapat lebih menjaga kesehatannya dikarenakan kesehatan penting supaya tetap dapat menjalankan aktifitas yang bermanfaat. Kesehatan juga merupakan salah satu nikmat yang Allah berikan dan kebanyakan manusia tertipu olehnya. Hal tersebut sesuai dengan sabda Nabi *shallallahu 'alaihi wa sallam*

نِعْمَتَانِ مَغْبُورٌ فِيهِمَا كَثِيرٌ مِنَ النَّاسِ الصِّحَّةُ وَالْفَرَاغُ

Artinya: “Dua nikmat, kebanyakan manusia tertipu dengan keduanya, yaitu kesehatan dan waktu luang.” (HR. Bukhari)

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Model matematika perilaku kualitatif merokok terhadap waktu yaitu

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha - \beta\sqrt{P(t)S(t)} - \gamma P(t) = 0$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \beta\sqrt{P(t)S(t)} - (\gamma + \delta + \epsilon)S(t) + \zeta X(t) = 0$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = \delta(1 - \eta)S(t) - (\gamma + \zeta)X(t) = 0$$

$$\frac{dY(t)}{dt} = \delta\eta S(t) - \gamma Y(t) = 0$$

$$\frac{dZ(t)}{dt} = \epsilon S(t) - (\gamma + \vartheta)Z(t) = 0$$

Titik kesetimbangan dari model matematika perilaku kualitatif merokok memiliki dua titik kesetimbangan. Titik kesetimbangan yang digunakan adalah titik kesetimbangan yang kedua yaitu $E_1^* \approx (1970, 1062, 4748, 248, 11)$ dengan berdasarkan nilai parameter pada tabel 3.2. Maka, dengan analisis dinamik menghasilkan nilai eigen riil negatif dan nilai eigen imajiner dengan riil negatif yang menunjukkan stabil node asimtotik dan stabil spiral asimtotik. Kemudian vektor eigen didapatkan dari nilai eigen menghasilkan solusi umum dan simulasi numerik untuk mengetahui perilaku model yang terdapat dalam pembahasan.

Simulasi numerik pada model perilaku kualitatif merokok pada Gambar 3.2 menghasilkan kestabilan model terjadi pada saat $t \geq 4000$. Tingkat endemik dari perokok dan perokok yang berhenti sementara dapat ditingkatkan atau diturunkan dengan meningkatnya atau menurunnya nilai dari parameter berbeda

pada Gambar 3.3, 3.4, dan 3.5. Jika nilai parameter diberikan sebesar $\alpha \in [0,2, 1,5]$, $\beta \in [0,0005, 0,003]$ dan $\gamma \in [0,0001, 0,0010]$ maka terlihat pada Gambar 3.3 populasi perokok dan perokok sementara meningkat dikarenakan terdapat penerimaan dari kelas yang belum pernah merokok. Populasi perokok dan perokok sementara pada Gambar 3.4 mengalami peningkatan hingga akhirnya populasi keduanya menurun dikarenakan laju perpindahan dari non perokok ke perokok. Sedangkan, pada Gambar 3.5 terlihat populasi perokok dan perokok sementara mengalami penurunan dikarenakan laju kematian alami. Berdasarkan hal tersebut dapat dilakukan penurunan laju penerimaan dari kelas non perokok dan laju perpindahan dari kelas non perokok ke perokok untuk mengurangi populasi perokok.

4.2 Saran

Bagi penelitian selanjutnya, disarankan kepada pembaca untuk:

1. Meneliti model penyebaran perilaku kualitatif merokok dengan laju interaksi selain akar kuadrat.
2. Meneliti model penyebaran perilaku kualitatif merokok dengan kontrol optimal.

DAFTAR RUJUKAN

- Anton, Howard & Rorres, C. 2010. *Elementary Linear Algebra: Ninth Edition*. United States: John Wiley and Sons, Inc.
- Arif, A., Abidin, W., & Nurman, T. A.. 2015. Metode Pangkat dan Metode Deflasi dalam Menentukan Nilai Eigen dan Vektor Eigen Dari Matriks. *Matematika Dan Statistika Serta Aplikasinya*, 3(2).
- Baiduri. 2002. *Persamaan Differensial & Matematika Model*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Boyce, W. E., & DiPrima, R. C. 2009. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems: Ninth Edition*. United States: John Willey and Sons, Inc.
- Edwards, C. H., & Penney, D. E. 2008. *Differential Equation and Linear Algebra*. New Jersey: Prentice hall Inc. Pagalay, U. 2009. *Mathematical Modelling Aplikasi pada kedokteran, Immunologi, Biologi, Ekonomi, dan Perikanan*. Malang: UIN-Maliki Press.
- Din, Qamar, dkk.. 2016. Qualitative Behavior of a Smoking Model. *Advances in Differential Equations*. 96:1-12.
- Ibnu Katsir. 2000. *Tafsir Ibnu Katsir (Terjemah)*. Bogor: Pustaka Ibnu Katsir.
- Iswanto, R. J. 2012. *Pemodelan Matematika (Aplikasi dan Terapannya)*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Jaya, Muhammad. 2009. *Pembunuhan Berbahaya Itu Bernama Rokok*. Yogyakarta: Riz'ma.
- Kartono. 2012. *Persamaan Diferensial Biasa Model Matematika Fenomerna Perubahan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Neinggolan, R.A. 2009. *Anda Mau Berhenti Merokok? Pasti Berhasil*. Bandung: Indonesia Publishing House.
- Salawati, Trixie & Rizki Amalia. 2010. Perilaku Merokok di Kalangan Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Semarang. *Prosiding Seminar Nasional Unimus*. 71-180.
- Santoso, Widiarti. 1982. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapan Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Sulisti, H., Noviani, E., & Kusumastuti, N. 2014. Analisis Kestabilan Model Dinamika Penyebaran Penyakit Flu Burung. *Buletin Ilmiah Math. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 3(3), 235-244.

- Sutha, Diah Wijayanti. 2016. Analisis Lingkungan Sosial terhadap Perilaku Merokok Remaja di Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang Madura. *Jurnal Manajemen Kesehatan STIKES Yayasan RS. Dr, Soetomo*. 2(1). 43-59.
- Wetherall, Charles F. 2008. *5 Langkah Jitu Cara Berhenti Merokok*. Alih Bahasa: Jamaluddin. Jakarta: Darul Haq.
- Zaman, G. 2011. Qualitative behavior of giving up smoking model. *Bull. Malays. Math. Soc.* 34(2), 403-415.
- Zeb, A, Zaman, G, Momani, S. 2013. Square-root dynamics of a giving up smoking model. *Appl. Math. Model.* 37, 5326-5333.



LAMPIRAN 1

Nilai Eigen, Titik Kesetimbangan, dan Vektor Eigen Model Penyebaran Perilaku Merokok dengan Menggunakan Program Maple

```
> restart;
> unprotect(gamma) : unprotect(Zeta) :
  Zeta := 'Zeta': gamma := 'gamma': gamma := 0.0000391 : alpha := 0.8 : beta := 0.0005 :
  eta := 10(-3) : delta := 9.13·10(-3) : epsilon := 4.58·10(-4) : Zeta := 0.002 : theta := 0.0457 :

> dP := alpha - beta·sqrt(P·S) - gamma·P :
> dS := beta·sqrt(P·S) - (gamma + delta + epsilon)·S + Zeta·X :
> dX := delta·(1 - eta)·S - (gamma + Zeta)·X :
> dY := delta·eta·S - gamma·Y :
> dZ := epsilon·S - (gamma + theta)·Z :
> TitikTetap := solve( {dP, dS, dX, dY, dZ}, {P, S, X, Y, Z} ) :
> factor(TitikTetap[2]) :
> TitikTetap1 := TitikTetap[1] : TitikTetap2 := TitikTetap[2] :
> with(linalg) : with(DEtools) : with(LinearAlgebra) : with(LinearAlgebra) :
> Jac := Matrix( jacobian( [dP, dS, dX, dY, dZ], [P, S, X, Y, Z] ) ) :
> Jac1 := subs( TitikTetap1, Jac ) :
> Jac2 := subs( TitikTetap2, Jac ) :
> eigenvals( Jac2 ) :
> v, e := Eigenvectors( Jac2 ) :
```

LAMPIRAN 2

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok Menggunakan ODE45

```
function dxdt=solusinumerial(t,x)

gamma=0.0000391;
alpha=0.8;
beta=0.0005;
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=0.002;
vartheta=0.0457;

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];
end

clc; clear all; close all;

t=0:2*(10^5);

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

[t,x]=ode45(@solusinumerial,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial_Y;initial_Z]);
figure(1)
grid on
hold on;
plot(t,(x(:,1)),'r','LineWidth',1.5);
plot(t,(x(:,2)),'c','LineWidth',1.5);
plot(t,(x(:,3)),'b','LineWidth',1.5);
plot(t,(x(:,4)),'m','LineWidth',1.5);
plot(t,(x(:,5)),'g','LineWidth',1.5); hold off
title('Simulasi Numerik','FontSize',12);
xlabel('Waktu (hari)','FontSize',12);
ylabel('Besarnya Populasi','FontSize',12);
legend('P','S','X','Y','Z');
```

LAMPIRAN 3

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok pada Populasi Perokok dan Non Perokok Sementara dengan Variasi Parameter α Menggunakan ODE45

```
function dxdt=BedaAlphaOde(t,x)
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];

clc; clear all; close all;
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta
t=0:5*(10^4);

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

gamma=3.91*10^(-6);
beta=5*10^(-4);
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=2*10^(-3);
vartheta=4.57*10^(-3);

A=0.01:0.1:1;
Solusi=zeros(length(t),length(A));

for i=1:length(A)
alpha=A(i);
[t,x]=ode45(@BedaAlphaOde,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial_Y;initial_Z]);
Solusi(:,i)=x(:,2);
grid on
hold on
Solusi(:,i)=x(:,3);
grid on
```

```
hold on;
end

[T,A]=meshgrid(t,A);
figure(1);
surf(T,Solusi',A); shading interp;
xlabel('t'); ylabel('S(t)'); zlabel('\alpha');
title('S Beda Nilai Alfa','FontSize',12)
view(0,90);
colorbar
figure(2);
surf(T,Solusi',A); shading interp;
xlabel('t'); ylabel('X(t)'); zlabel('\alpha');
title('X Beda Nilai Alfa','FontSize',12);
view(0,90);
colorbar
```



LAMPIRAN 4

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok pada Populasi Perokok dan Non Perokok Sementara dengan Variasi Parameter β Menggunakan ODE45

```
function dxdt=BedaBetaOde(beta,x)
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];
end

clc; clear all; close all;
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta
t=0:5*(10^4);

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

alpha=0.8;
gamma=3.91*10^(-6);
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=2*10^(-3);
vartheta=4.57*10^(-3);

line_color = ['r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'g'];
B=[0.0005 0.0006 0.0007 0.0008 0.0009 0.001 0.002 0.003]

for i=1:length(B)
beta=B(i);
[t,x]=ode45(@BedaBetaOde,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial_Y;initial_Z]);
figure(1)
plot(t,(x(:,2)),line_color(i),'LineWidth',1.5);
grid on
hold on
x(:,2);
```

```

title('S Beda Nilai Beta','FontSize',12);
xlabel('t','FontSize',12);
ylabel('S(t)','FontSize',12);
figure (2)
plot(t,(x(:,3)),line_color(i),'LineWidth',1.5);
grid on
hold on;
x(:,3)
title('X Beda Nilai Beta','FontSize',12);
xlabel('t','FontSize',12);
ylabel('X(t)','FontSize',12);
end
figure(1); hold off;
figure(2); hold off;

```



LAMPIRAN 5

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok pada Populasi Perokok dan Non Perokok Sementara dengan Variasi Parameter γ Menggunakan ODE45

```
function dxdt=BedaGammaOde(t,x)
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];
end

clc; clear all; close all;
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

t=0:10:30000;

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

alpha=0.8;
beta=5*10^(-4);
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=2*10^(-3);
vartheta=4.57*10^(-3);

G=0.0001:0.0001:0.0010;
Solusi=zeros(length(t),length(G));
for i=1:length(G)
gamma=G(i);
[t,x]=ode45(@BedaGammaOdeX,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial_Y;initial_Z]);
Solusi(:,i)=x(:,3);
grid on
hold on;
Solusi(:,i)=x(:,2);
end
[T,GM]=meshgrid(t,G);
```

```
figure(1);  
surf(T,Solusi',GM); shading interp;  
title('X Beda Nilai Gamma','FontSize',12);  
xlabel('t'); ylabel('X(t)'); zlabel('\gamma');  
figure(2);  
surf(T,Solusi',GM); shading interp;  
title('S Beda Nilai Gamma','FontSize',12);  
xlabel('t'); ylabel('S(t)'); zlabel('\gamma');  
view(0,90);  
C=colorbar  
set(C, 'YDir', 'reverse' );
```



LAMPIRAN 6

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok dengan Variasi Parameter α Menggunakan ODE45

```
function dxdt=BedaAlphaOde(t,x)
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];

clc; clear all; close all;
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta
t=0:5*(10^4);

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

gamma=3.91*10^(-6);
beta=5*10^(-4);
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=2*10^(-3);
vartheta=4.57*10^(-3);

line_color = ['r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'g' 'g' 'g' 'g' 'g' 'b' 'b' 'b'
'b'];
A=0:0.1:1;
Solusi=zeros(length(t),length(A));

for i=1:length(A)
alpha=A(i);
[t,x]=ode45(@BedaAlphaOde,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial
_Y;initial_Z]);
Solusip(:,i)=x(:,1);
Solusis(:,i)=x(:,2);
Solusix(:,i)=x(:,3);
Solusiy(:,i)=x(:,4);
Solusiz(:,i)=x(:,5);
End
```

```
figure(1);  
grid on  
hold on  
plot(A,Solusip(5001,:),),'b-');  
plot(A,Solusis(5001,:),),'g-');  
plot(A,Solusix(5001,:),),'r-');  
plot(A,Solusiy(5001,:),),'k-');  
plot(A,Solusiz(5001,:),),'y-');  
xlabel('\alpha'); ylabel('Keadaan Setimbang');  
view(0,90);  
legend('P','S','X','Y','Z');
```



LAMPIRAN 7

Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Penyebaran Perilaku Merokok dengan Variasi Parameter β Menggunakan ODE45

```
function dxdt=BedaBetaOde(beta,x)
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta

P=x(1);
S=x(2);
X=x(3);
Y=x(4);
Z=x(5);

dxdt_1=alpha-(beta*sqrt(P*S))-(gamma*P);
dxdt_2=(beta*sqrt(P*S))-((gamma+delta+epsilon)*S)+(zeta*X);
dxdt_3=(delta*(1-eta)*S)-((gamma+zeta)*X);
dxdt_4=(delta*eta*S)-(gamma*Y);
dxdt_5=(epsilon*S)-((gamma+vartheta)*Z);

dxdt=[dxdt_1;dxdt_2;dxdt_3;dxdt_4;dxdt_5];
end

clc; clear all; close all;
global gamma alpha beta eta delta epsilon zeta vartheta
t=0:5*(10^4);

initial_P=500;
initial_S=100;
initial_X=60;
initial_Y=25;
initial_Z=40;

alpha=0.8;
gamma=3.91*10^(-6);
eta=10^(-3);
delta=9.13*10^(-3);
epsilon=4.58*10^(-4);
zeta=2*10^(-3);
vartheta=4.57*10^(-3);

line_color = ['r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'g'];
B=0.0005:0.0001:0.003;
Solusi=zeros(length(t),length(B));

for i=1:length(B)
beta=B(i);
[t,x]=ode45(@BedaBetaOde,t,[initial_P;initial_S;initial_X;initial_Y;initial_Z]);
Solusip(:,i)=x(:,1);
Solusis(:,i)=x(:,2);
Solusix(:,i)=x(:,3);
Solusiy(:,i)=x(:,4);
Solusiz(:,i)=x(:,5);
end
```

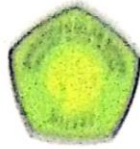
```
figure(1);  
grid on  
hold on  
plot(B,Solusip(5001,:),),'b-');  
plot(B,Solusis(5001,:),),'g-');  
plot(B,Solusix(5001,:),),'r-');  
plot(B,Solusiy(5001,:),),'k-');  
plot(B,Solusiz(5001,:),),'y-');  
xlabel('\beta'); ylabel('Keadaan Setimbang');  
view(0,90);  
legend('P','S','X','Y','Z');
```



RIWAYAT HIDUP

Hilma Dwi Iktamala, lahir di Denpasar pada tanggal 01 Mei 1997, Biasa dipanggil Hilma. Adik dari Niska Kamilasari yang merupakan anak bungsu dari dua bersaudara pasangan Bapak Subaiki dan Ibu Djamilatus Salmah.

Pendidikan Taman Kanak-kanak ditempuh di TK Aisyah, Negara, Bali pada tahun 2003. Kemudian, pendidikan dasarnya ditempuh di SDN 5 Baler Bale Agung, Negara, Bali dan lulus pada tahun 2009. Setelah itu, melanjutkan sekolah di SMPN 2 Negara, Bali dan lulus tahun 2012. Pendidikan selanjutnya ditempuh di MAN 1 Jembrana, Bali dan lulus tahun 2015. Selanjutnya pada tahun yang sama melanjutkan kuliah di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Jurusan Matematika Murni.



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 : Hilma Dwi Iktamala
NIM : 15610104
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Analisis Dinamik Model Matematika Penyebaran Perilaku Kualitatif Merokok
Pembimbing I : Heni Widayani, M.Si
Pembimbing II : Mohammad Jamhuri, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	23 Mei 2019	Konsultasi Bab I & Bab II	1.
2	13 Juni 2019	Revisi Bab I, Bab II dan Konsultasi Bab III	2.
3	09 Juli 2019	Revisi Bab III dan ACC Bab I & Bab II	3.
4	31 Juli 2019	Konsultasi Agama Bab I & Bab II	4.
5	07 Agustus 2019	ACC Agama Bab I & Bab II	5.
6	05 November 2019	Revisi Bab I & Bab II	6.
7	28 November 2019	Revisi Bab III dan Konsultasi Bab IV	7.
8	25 November 2019	Revisi Bab III & Bab IV	8.
9	03 Desember 2019	Revisi Bab III	9.
10	03 Desember 2019	Konsultasi Agama Bab III	10.
11	04 Desember 2019	ACC Keseluruhan	11.
12	04 Desember 2019	ACC Agama Keseluruhan	12.

Malang, 04 Desember 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001