

**MODEL MATEMATIKA PENGARUH KEMOTERAPI TERHADAP
KANKER**

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat
Sarjana Sains Ilmu Matematika



diajukan oleh

ABD. MUKIT

16610018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
PROGRAM STUDI MATEMATIKA
YOGYAKARTA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2022



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2817/Un.02/DST/PP.00.9/12/2022

Tugas Akhir dengan judul : MODEL MATEMATIKA PENGARUH KEMOTERAPI TERHADAP KANKER

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ABD. MUKIT
Nomor Induk Mahasiswa : 16610018
Telah diujikan pada : Jumat, 09 Desember 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Pipit Pratiwi Rahayu, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 639aa0ce2a1e4



Penguji I
Dr. Sugiyanto, S.Si., ST., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 639ab68ae9be3



Penguji II
Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, S.Si.,
M.Si.
SIGNED

Valid ID: 639aa5940d263



Yogyakarta, 09 Desember 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 63a1662bd8ea4

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : ABD. MUKIT
Nomor Induk Mahasiswa : 16610018
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul : **"Model Matematika Pengaruh Kemoterapi Terhadap Kanker"** adalah hasil karya pribadi yang tidak mengandung plagiarism dan tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penulis ambil sebagai acuan dengan tata cara yang dibenarkan secara ilmiah.

Jika terbukti pernyataan ini tidak benar, maka penulis siap mempertanggungjawabkan sesuai hukum yang berlaku

Yogyakarta, 25 November 2022



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : ABD. MUKIT

NIM : 16610018

Judul Skripsi : MODEL MATEMATIKA PENGARUH KEMOTERAPI TERHADAP KANKER

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing I

Pipit Pratiwi Rahayu, S.Si., M.Sc.,

NIP. 19861208 201503 2 006

Yogyakarta, 23 November 2022

Pembimbing II

Dr. Suqiyanto, S.Si., S.T., M.Si.,

NIP. 19800505 200801 1 028

INTISARI

MODEL MATEMATIKA PENGARUH KEMOTERAPI TERHADAP KANKER

Oleh
ABD. MUKIT
NIM. 16610018

Kanker merupakan salah satu penyakit penyebab utama kematian di dunia. Menurut National Cancer Institute, terdapat banyak jenis pengobatan kanker. Kemoterapi merupakan salah satu pengobatan kanker dengan metode pemberian obat ke dalam tubuh pengidapnya. Penelitian dengan judul “Model Matematika Pengaruh Kemoterapi Terhadap Kanker”, memiliki rumusan masalah bagaimana bentuk model matematika dari pengaruh kemoterapi terhadap kanker. Tujuan penelitian ini ialah ingin mengetahui bentuk model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur atau kajian pustaka. Adapun sumber yang digunakan dalam penelitian ini ialah literatur berbahasa Indonesia dan Inggris yang membahas mengenai kanker, kemoterapi dan model matematika. Literatur tersebut dipelajari dan didiskusikan bersama ilmuwan matematika. Landasan teori yang digunakan ialah seputar kanker, kemoterapi, serta pemodelan matematika. Berdasarkan analisa yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa obat kemoterapi (doxorubicin) memiliki pengaruh positif terhadap sel kanker dalam kesembuhan pasien kanker.

Kata Kunci : *Kanker, Kemoterapi, Model Matematika.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELLING OF THE EFFECT CHEMOTHERAPY ON CANCER

by

ABD. MUKIT

NIM. 16610018

Cancer is one of the leading causes of death in the world. According to the National Cancer Institute, there are many types of cancer treatment. Chemotherapy is one of the cancer treatments with the method of administering drugs into the sufferer's body. The research entitled "*Mathematical Model of the Effect of Chemotherapy on Cancer*", has a problem formulation of how to form a mathematical model of the effect of chemotherapy on cancer. The purpose of this study is to determine the form of a mathematical model of the effect of chemotherapy on cancer. This research uses the method of literature study or literature review. The sources used in this study are Indonesian and English literature that discuss cancer, chemotherapy and mathematical models. The literature is studied and discussed with mathematicians. The theoretical basis used is cancer, chemotherapy, and mathematical modeling. Based on the analysis performed, it was concluded that a chemotherapy drug (doxorubicin) has a positive effect on cancer cells in the recovery of cancer patients.

Keywords : *Cancer, Chemotherapy, Mathematical model.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

لَا حَوْلَ وَلَا قُوَّةَ إِلَّا بِاللَّهِ الْعَلِيِّ الْعَظِيمِ

*“Tiada daya dan upaya kecuali dengan kekuatan Allah yang maha tinggi lagi
maha agung”*



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk :

1. Para sesepuh yang selalu mendo'akan kebaikan untuk salah satu keturunannya ini
2. Guru alif saya dan guru alif para sesepuh saya yang telah ikhlas mengajarkan huruf hijaiyah.
3. Semua guru yang telah mengajarkan kebaikan dan mendidik dengan baik saya dan para sesepuh saya.
4. Semua makhluk yang telah berbuat kebaikan kepada saya dan para sesepuh saya.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Bismillahirrahmanirrahiim, segala puji terpanjatkan kepada Allah SWT., tidak ada pertolongan selain pertolongan-Nya, tidak ada tuhan selain-Nya.

Shalawat serta salam tercurah-limpahkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW., makhluk paling utama dari segala makhluk.

Penulis ingin mengingatkan bahwa segala sesuatu telah diatur oleh Allah SWT., termasuk proses penulis menyelesaikan studi strata satu. Penulis memulai studi strata satu ini pada tahun 2016. Pada saat itu, penulis berharap bisa menyelesaikan studi ini selama 3,5 tahun. Namun ternyata harapan tersebut tidak sama dengan apa yang telah diatur-Nya.

Begitupun juga mengenai proses penyembuhan penyakit seperti kanker. Kemoterapi hanya merupakan salah satu upaya sebagai makhluk ciptaan-Nya dalam merawat apa yang telah diberikan-Nya. Oleh karena itu, penulis tidak berharap lebih terhadap kemoterapi. Penulis hanya berikhtiar melalui tulisan "Model Matematika Pengaruh Kemoterapi Terhadap Kanker" dalam upaya merawat tubuh manusia hasil ciptaan-Nya.

Demikian kiranya yang dapat penulis sampaikan dalam kata pengantar ini. Mari kita berupaya menjadi makhluk yang diridhoi-Nya.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, 25 November 2022



ABD. MUKIT

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Tinjauan Pustaka	4
1.7. Metode Penelitian.....	4
1.8. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Landasan Biologis	6
2.1.1. Kanker	6
2.1.2. Kemoterapi	8
2.2. Landasan Matematis.....	11
2.2.1. Pemodelan Matematika.....	11
2.2.2. Persamaan Diferensial.....	12
2.2.3. Persamaan Diferensial Biasa (PDB)	12
2.2.4. Persamaan Diferensial Biasa Linier dan Nonlinier	13

2.2.5.	Persamaan Logistik	14
2.2.6.	Persamaan Michaelis-Menten	14
2.2.7.	Titik Ekulilibrium	14
2.2.8.	Matriks Jacobian	15
2.2.9.	Linierisasi.....	16
2.2.10.	Nilai Eigen dan Vektor Eigen	18
2.2.11.	Kestabilan Titik Ekulilibrium	20
2.2.12.	Solusi Umum.....	21
2.2.13.	Persamaan Diferensial Eksak.....	22
2.2.14.	Metode Euler	22
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
3.1.	Model Matematika Pengaruh Kemoterapi Terhadap Kanker	25
3.2.	Titik Ekuilibrium.....	31
3.3.	Kestabilan Titik Ekuilibrium.....	34
3.4.	Solusi Eksak.....	44
3.5.	Solusi Sistem Melalui Metode Euler.....	67
BAB IV PENUTUP		83
4.1	Kesimpulan.....	83
4.2	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA		85
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		87

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. 1. Estimasi Nilai Parameter Sistem Persamaan	28
Tabel 3.5. 1. Kondisi Awal dan Parameter Sistem Persamaan	68
Tabel 3.5. 2. Solusi Numerik Menggunakan Metode Euler.....	81



DAFTAR ISTILAH

Koefisien	:	Bilangan yang menyatakan banyaknya jumlah variabel yang sejenis.
Kestabilan Asimtotik	:	Suatu kondisi dimana semua nilai eigen dari matriks sistem A memiliki bagian real negatif.
Linierisasi	:	Upaya menemukan pendekatan linier terhadap fungsi pada titik tertentu.
Matriks	:	Sekelompok angka atau simbol lain yang disusun dalam persegi panjang yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah matematika tertentu
Metode Euler	;	Metode numerik orde pertama dalam menyelesaikan persamaan diferensial biasa dengan nilai awal yang diberikan.
Nilai Eigen	:	Himpunan khusus nilai skalar yang diasosiasikan dengan himpunan persamaan linier yang paling mungkin dalam persamaan matriks.
Nullitas	:	Jumlah nilai eigen nol dalam spektrum grafik G.
Persamaan Linier	:	Sebuah persamaan yang pangkat tertinggi dari variabelnya selalu 1.
Persamaan Logistik	:	Persamaan yang digunakan untuk memodelkan pertumbuhan populasi yang sebanding dengan ukuran populasi dan mempertimbangkan bahwa ada sejumlah terbatas sumber daya yang diperlukan untuk bertahan hidup.
Persamaan Nonlinier	:	Persamaan yang memiliki derajat maksimum 2 atau lebih.
Populasi	:	Semua orang atau hewan dari jenis atau kelompok tertentu yang tinggal di satu negara, wilayah, atau tempat
Ruang Null	:	Subruang dari ruang vektor yang terdiri dari vektor yang di bawah transformasi linier tertentu dipetakan ke nol
Solusi Eksak	:	Prosedur yang memungkinkan penyelesaian persamaan diperoleh dengan satu atau lebih kuadratur dari persamaan diferensial biasa.
Solusi Numerik	:	Metode pendekatan komputer untuk memecahkan masalah matematika yang sering tidak memiliki solusi analitis.

- Titik Ekuilibrium** : Suatu titik dimana laju perubahan untuk semua *the state variables* adalah nol (*the state space* adalah ruang di mana setiap *the state variables* adalah sumbu).
- Trayektori** : Letak suatu objek dalam waktu tertentu.
- Variabel** : Nilai yang dapat berubah dalam suatu cakupan soal atau himpunan operasi yang diberikan.
- Variabel Independen (Bebas)** : Variabel yang menjelaskan atau mempengaruhi variabel yang lain.
- Variabel Dependen (Terikat)** : Variabel yang dijelaskan atau dipengaruhi oleh variabel independen.
- Vektor Eigen** : Vektor bukan nol yang dipetakan oleh transformasi linier tertentu dari ruang vektor menjadi vektor yang merupakan perkalian skalar dengan vektor asli.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan disampaikan tentang latar belakang penelitian ini dilakukan. Lalu, dirumuskan latar belakang yang ada ke dalam rumusan masalah disertai batasan-batasan masalahnya. Kemudian, berdasarkan rumusan dan batasan masalah, akan diketahui tujuan dari penelitian ini. Di samping itu, pada bab ini akan disampaikan mengenai manfaat penelitian, tinjauan pustaka, Sistematika penulisan dan metode penelitian.

1.1. Latar Belakang Masalah

Kanker atau tumor ganas merupakan salah satu penyakit penyebab utama kematian di seluruh dunia. Menurut Global Cancer Observatory (GCO), sebuah platform berbasis web interaktif yang menyajikan statistik kanker global untuk menginformasikan pengendalian dan penelitian kanker. Pada tahun 2020 tercatat di dunia ini sebanyak 7.794.798.844 orang mengidap kanker, yakni 3 3.929.973.836 laki-laki dan 3.864.824.712 perempuan. Dari 7.794.798.844 orang yang mengidap kanker, terdapat 9.958.133 orang meninggal dunia akibat kanker, yaitu 5.528.810 laki-laki dan 4.429.323 perempuan.

Sedangkan di Indonesia, pada tahun 2020 GCO mencatat sebanyak 273.523.621 orang dinyatakan mengidap kanker, yakni 137.717.861 laki-laki dan 135.805.760 perempuan. Dari sebanyak 273.523.621 orang Indonesia yang dinyatakan mengidap kanker, terdapat 234.511 orang meninggal akibat kanker, yakni 124.698 laki-laki dan 109.813 perempuan. Secara khusus, prevalensi kanker terbanyak di Indonesia yakni Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan angka 4,1 per 1000 penduduk.

Tinggi kasus kanker dan kematian akibat kanker berhubungan erat dengan faktor resiko kanker yang seharusnya dapat dicegah. Untuk kanker yang terdeteksi dini, ada pilihan pengobatan yang lebih baik. Oleh karena itu, upaya pencegahan harus dilakukan untuk meningkatkan kesadaran akan gejala dan risiko kanker sehingga dapat ditentukan tindakan pencegahan dan deteksi dini secara cepat.

Menurut National Cancer Institute, terdapat banyak jenis pengobatan dalam mengobati kanker, yang antara lain ialah pengujian biomarker, kemoterapi, terapi hormon, hipertemia, imunoterapi, terapi fotodinamik, radioterapi, transplantasi sel induk, operasi dan terapi bertarget. Di antara itu semua, penulis memilih kemoterapi sebagai pengobatan terhadap kanker yang akan diuji pengaruhnya dalam mengobati kanker secara matematis, yakni dengan pemodelan matematika.

Menurut Rainer Ansorge dalam pengantar buku “*Mathematical Models of Fluid Dynamics* (2002)”, pemodelan matematika adalah proses mengganti masalah non-matematis dengan masalah matematika. Selanjutnya, pengerjaan matematis dari model ini berjalan dengan langkah-langkah teori dan/atau numerik, seperti transisi dari fenomena luar matematis ke deskripsi matematis, pengerjaan pengganti matematis, penerjemahan ulang hasil dan pemeriksaan model.

Berdasarkan pemaparan di atas, penulis ingin mengetahui model menyelidiki bentuk model matematika dari proses kemoterapi dalam mempengaruhi kanker, titik ekuilibrium dari model, kestabilan titik ekuilibrium, solusi eksak model serta penyelesaian numerik dari model.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat dikenali beberapa persoalan atau masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker?
2. Bagaimana menentukan titik ekuilibrium dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker?
3. Bagaimana analisis kestabilan titik-titik ekuilibrium dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker?
4. Bagaimana bentuk solusi eksak dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker?
5. Bagaimana penyelesaian secara numerik model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker?

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini dibatasi pada :

1. Model hanya dipengaruhi oleh kemoterapi dengan doxorubicin.
2. Analisis yang digunakan adalah titik ekuilibrium dengan metode nilai karakteristik.
3. Analisis model matematika menggunakan parameter- parameter yang tersedia pada literatur L.G. de Pillis, dkk (2006).
4. Penyelesaian numerik menggunakan pendekatan metode Euler.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka isi tujuan penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Mengetahui bentuk model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.
2. Mengetahui titik ekuilibrium model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.
3. Menganalisis kestabilan titik ekuilibrium model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.
4. Mengetahui bentuk solusi eksak dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.
5. Mengetahui bentuk penyelesaian secara numerik dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.

1.5. Manfaat Penelitian

Berdasarkan pada pemaparan tujuan penelitian di atas, manfaat dilaksanakan penelitian ini di antaranya sebagai berikut:

1. Melengkapi hasil penelitian yang dilakukan para peneliti lainnya di bidang kanker dengan kemoterapi.
2. Berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang matematika, terkhusus dalam matematika biologi dan Persamaan diferensial.
3. Sebagai dasar acuan penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan kanker.

1.6. Tinjauan Pustaka

Berawal dari jurnal yang ditulis oleh Fariz Hasby Sulaiman, Kartika Yulianti dan Husty Serviana pada tahun 2019 yang berjudul “Model Matematika Terapi Kanker Menggunakan Kemoterapi, Imunoterapi dan Biochemotherapy”. Jurnal tersebut menerangkan tentang pengobatan penyakit kanker dengan tiga metode terapi.

Dari jurnal tersebut, penulis ingin menyelidiki bagaimana jika hanya satu metode terapi, seperti kemoterapi, yang digunakan dalam mengobati penyakit kanker. Oleh karena itu, penulis mencari referensi lain yang membahas mengenai pengaruh kemoterapi terhadap kanker. Sehingga, penulis menemukan jurnal yang berjudul “*Chemotherapy for tumours: An Analysis of the dynamics and study of quadratic and linear optimal controls*” oleh L.G. de Pillis dkk (2006), dan menjadikannya sebagai rujukan.

Di sisi lain, penulis menggunakan referensi lain dalam melakukan penelitian, seperti buku, jurnal, artikel serta situs-situs yang sekiranya dapat membantu penulis menyelesaikan penelitian ini. Referensi lain tersebut akan dicantumkan dalam daftar pustaka.

1.7. Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis dalam melakukan penelitian ini ialah kajian pustaka atau studi literatur. Adapun yang dilakukan dengan metode studi literatur ialah mengumpulkan data dan informasi dari beberapa sumber, seperti buku, jurnal dan sumber penelitian ilmiah lainnya. Sehingga sifat dari penelitian yang penulis lakukan ialah kualitatif.

Selanjutnya, penulis melakukan diskusi-diskusi ringan dengan beberapa ilmuwan matematika dalam rangka mencapai tujuan. Akan tetapi, penulis mengumpulkan dan mempelajari terlebih dahulu sumber-sumber pengetahuan yang membahas mengenai kanker, kemoterapi dan model matematika. Adapun yang dipelajari penulis ialah pemodelan matematika, Persamaan diferensial, matriks dan metode numerik, serta penulis mempelajari jurnal “*Model Matematika Terapi Kanker Menggunakan Kemoterapi, Imunoterapi dan Biochemotherapy*” oleh Fariz Hasby Sulaiman

dkk dan “*Chemotherapy for tumours: An Analysis of the dynamics and study of quadratic and linear optimal controls*” oleh LG. De Pillis dkk. Dari karya L.G. de Pillis, penulis mengambil Sistem Persamaan, variabel, parameter serta estimasi nilainya. Namun, penulis masih perlu menjelaskan lagi sesuai pemahaman penulis dan sekiranya juga nantinya dapat dipahami oleh pembaca lainnya.

1.8. Sistematika Penulisan

Secara garis besar, Sistematika penulisan tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini, akan disampaikan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka, metode penelitian dan Sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini, akan disampaikan mengenai teori-teori dan penelitian terdahulu, baik dari teori biologis maupun matematisnya. Yang mana, teori-teori tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

BAB III : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan disajikan mengenai bentuk model matematika, titik ekulibrium model, kestabilan titik ekulibrium, solusi eksak dan penyelesaian numerik dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker.

BAB IV: PENUTUP

Pada bab ini akan disampaikan kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian beserta sarannya.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker menggambarkan laju perubahan dari populasi sel kanker, sel efektor-imun, sirkulasi sel limfosit dan konsentrasi obat kemoterapi (Doxurubicin).
2. Ketika populasi sel kanker dalam keadaan bernilai nol $\left(\dot{T}=0\right)$, titik ekuilibrium dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker ialah $\left(\hat{T}, \hat{N}, \hat{C}, \hat{M}\right)=\left(0, \frac{\alpha_1 \gamma}{f \gamma+K_N V_M}, \frac{\alpha_2 \gamma}{\beta \gamma+K_C V_M}, \frac{V_M}{\gamma}\right)$.
3. Kestabilan titik ekuilibrium dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker bersifat asimtotik.
4. Solusi eksak dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker ialah sebagai berikut:

a.
$$T(t) = T_0 e^{\lambda_4 t}$$

b.
$$N(t) = \frac{\alpha_1 \gamma}{\gamma f + K_N V_M} + M_0 \left(\frac{\gamma}{V_M} \right) (qw) e^{\lambda_1 t}$$

$$+ N_0 - \frac{\alpha_1 \gamma}{\gamma f + K_N V_M} - M_0 \left(\frac{\gamma}{V_M} \right)$$

$$(qw) - T_0 (ts) e^{\lambda_3 t} + T_0 (ts) e^{\lambda_4 t}$$

$$c. \quad C(t) = \frac{\alpha_2 \gamma}{\gamma \beta + K_C V_M} + M_0 \left(\frac{\gamma}{V_M} \right) (qr) e^{\lambda_1 t} + \left(C_0 - \frac{\alpha_2 \gamma}{\gamma \beta + K_C V_M} - qt \right) e^{\lambda_2 t}$$

$$d. \quad M(t) = \frac{V_M}{\gamma} + M_0 \left(\frac{\gamma}{V_M} \right) e^{\lambda_1 t}$$

5. Solusi numerik dari model matematika pengaruh kemoterapi terhadap kanker menggunakan pendekatan metode euler. Dengan metode euler, dihasilkan nilai-nilai yang mendekati nilai eksak dari keempat model. Nilai sel kanker yang pada awal mulanya bernilai positif, berubah mengarah kepada nilai yang menandakan sel kanker akan pasif atau mati. Dengan perubahan tersebut, dapat dikatakan obat kemoterapi yang digunakan berpengaruh terhadap kesembuhan pasien kanker.

4.2 Saran

1. Lebih teliti dalam melakukan penghitungan maupun penulisan, karena akan berakibat fatal terhadap hasil.
2. Gunakan media visualisasi dalam menjelaskan laju perubahan dari setiap model untuk lebih memudahkan dalam memahami laju perubahan model atau yang sering disebut simulasi numerik.
3. Kembangkan model dari penelitian ini agar masalah-masalah yang masih berhubungan dengan penelitian ini juga terbantu.
4. Tambahkan titik ekuilibrium lain seperti titik ekuilibrium “endemik”.
5. Proses perhitungan keempat kompartemen cukup sampai nilai 0.

DAFTAR PUSTAKA

- Antsaklis, Panos J., and Anthony N. Michael, 2007, A Linear Systems Primer, USA: Birkhäuser Boston Inc. p. 152
- Banasiak, Jacek, 2013, Mathematical Modelling in One Dimension: An Introduction via Difference and Differential Equations, UK: Cambridge University Press, p. 68
- Banasiak, Jacek, 2013, Mathematical Modelling in One Dimension: An Introduction via Difference and Differential Equations, UK: Cambridge University Press, p. 76.
- Baquiran, Delia C., and Gallagher, Jean, 2001, Lippincott's Cancer Chemotherapy Handbook, Second Edition, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, Inc., p. 1-5.
- Brauer, Fred, and Castillo-Chavez, Carlos, 2012, Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology, Second Edition, New York: Springer, p. 8.
- Campbell, Stephen L., and Haberman, Richard, 2008, Introduction oo Differential Equations with Dynamical Systems, Princeton: Princeton University Press, p. 2.
- Garfinkel, Alan., Shevtsov, Jane., and Guo, Yina., 2017, Modelling Life: The Mathematics of Biological Systems, Switzerland: Springer International Publishing AG, p. 115-117.
- Gupta, R.K., and Sharma, J.N., 2019, Advanced Differential Equations, India: Krishna Prakashan Media (P) Ltd., p. 3.
- Liston, D. R., & Davis, M. (2017). Clinically Relevant Concentrations of Anticancer Drugs: A Guide for Nonclinical Studies. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research*, 23(14), 3489–3498. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-16-3083>
- Mathews, John H., and Fink, Kurtis D., 2004, Numerical Methods Using MATLAB, Fourth Edition, New Jersey: Pearson Educations, Inc., p. 465-467.
- National Cancer Institute. “Types of Cancer”. <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types>. diakses pada 01 Februari 2022.
- National Cancer Institute. “Types of Cancer Treatment”. <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types>. diakses pada 01 Februari 2022.
- Perko, Lawrence, 2001, Differential Equations and Dynamical Systems, Third Edition, New York: Springer-Verlag, p. 102.
- Priestman, Terry J., 1989, Cancer Chemotherapy: an Introduction, Oxford: Yhe Alden Press, p. 152
- Polyanin, Andrei D., and Zaitsev, Valentin F., 2003, Handbook of Exact Solutions for Ordinary Differential Equations, Second Edition, Folrida: CRC Press, p. 29.
- Ross, Shepley L., 1984, Differential Equations, Third Edition, Singapore: John Wiley & Sons, Inc., p. 5.

- Ross, Shepley L., 1984, *Differential Equations, Third Edition*, Singapore: John Wiley & Sons, Inc., p. 5-6.
- Wiley, John. & Sons, Inc., 1999, *ODE Architect: Companion*, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 26
- Wiley, John. & Sons, Inc., 1999, *ODE Architect: Companion*, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 30
- Wiley, John. & Sons, Inc., 1999, *ODE Architect: Companion*, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 97-99
- Zhang, Wei-Bin, 2005, *Differential Equations, Bifurcations, And Chaos In Economics*, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences-Vol. 68, USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p. 63.

